



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
DOUTORADO EM CIÊNCIA ANIMAL

JOÃO PAULO ARAÚJO FERNANDES DE QUEIROZ

**DINÂMICA TÉRMICA EM CUTIAS (*Dasyprocta leporina* Linnaeus, 1758) E PREÁS  
(*Galea spixii* Wagler, 1831) EM AMBIENTE SEMIÁRIDO NEOTROPICAL**

MOSSORÓ-RN

2016

JOÃO PAULO ARAÚJO FERNANDES DE QUEIROZ

**DINÂMICA TÉRMICA EM CUTIAS (*Dasyprocta leporina* Linnaeus, 1758) E PREÁS  
(*Galea spixii* Wagler, 1831) EM AMBIENTE SEMIÁRIDO NEOTROPICAL**

Tese apresentada ao Doutorado em Ciência Animal do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Linha de Pesquisa: Morfofisiologia e Biotecnologia Animal

Orientador: Prof. Dr. Moacir Franco de Oliveira

MOSSORÓ-RN

2016

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Q3d      Queiroz, João Paulo Araújo Fernandes de.  
            Dinâmica térmica em cutias (*Dasyprocta leporina*  
            Linnaeus, 1758) e preás (*Galea spixii* Wagler,  
            1831) em ambiente semiárido neotropical / João  
            Paulo Araújo Fernandes de Queiroz. - 2016.  
            65 f. : il.

            Orientador: Moacir Franco de Oliveira.  
            Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural  
            do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em  
            Ciência Animal, 2016.

            1. roedor histricognato. 2. transferência de  
            calor. 3. janelas térmicas. 4. semiárido. I.  
            Oliveira, Moacir Franco de, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JOÃO PAULO ARAÚJO FERNANDES DE QUEIROZ

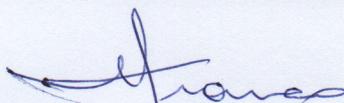
**DINÂMICA TÉRMICA EM CUTIAS (*Dasyprocta leporina* Linnaeus, 1758) E PREÁS  
(*Galea spixii* Wagler, 1831) EM AMBIENTE SEMIÁRIDO NEOTROPICAL**

Tese apresentada ao Doutorado em Ciência Animal do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Linha de Pesquisa: Morfofisiologia e Biotecnologia Animal

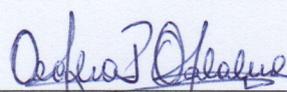
Defendida em: 31/05/2016.

**BANCA EXAMINADORA**



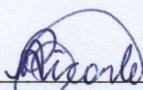
---

Prof. Dr. Moacir Franco de Oliveira (UFERSA)  
Presidente



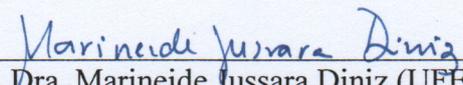
---

Profa. Dra. Cecília Irene Pérez Calabuig (UFERSA)  
Membro Examinador



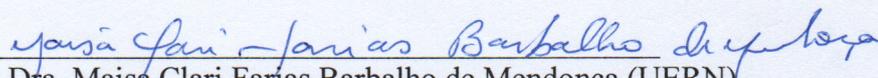
---

Profa. Dra. Aracely Rafaelle Fernandes Ricarte (UFERSA)  
Membro Examinador



---

Profa. Dra. Marineide Jussara Diniz (UFERSA)  
Membro Examinador



---

Profa. Dra. Maísa Clari Farias Barbalho de Mendonça (UERN)  
Membro Examinador

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**JOÃO PAULO ARAÚJO FERNANDES DE QUEIROZ** nasceu no dia 28 de novembro de 1984, no município de Mossoró, Rio Grande do Norte. Ingressou no curso de Medicina Veterinária da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) no ano de 2002, concluindo sua graduação em 2007, desenvolvendo seu trabalho de conclusão de curso sob a orientação do Professor Doutor Alexandre Rodrigues Silva. No ano seguinte, ingressou no Programa de Pós-graduação em Ciência Animal desta Instituição, sob a orientação do Professor Doutor Alex Sandro Campos Maia. Enquanto mestrando desenvolveu pesquisas sobre a termorregulação de animais silvestres e realizou estágio de docência nas disciplinas de Comportamento e Bem-Estar Animal e Bioclimatologia Animal. No período de 2012 a 2016, na qualidade de doutorando deste mesmo Programa de Pós-graduação e orientado pelo Professor Doutor Moacir Franco de Oliveira, desenvolveu atividades de pesquisa sobre comportamento e termorregulação de animais silvestres, ectotérmicos e endotérmicos. Nesse período, realizou estágio de docência nas disciplinas de Biofísica Ambiental, Comportamento e Bem-Estar Animal e Bioclimatologia Animal.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus... “*a inteligência suprema, causa primeira de todas as coisas*” (Allan Kardec, O Livro dos Espíritos).

À minha família, maior e mais valioso presente divino. Obrigado pela educação moral e apoio em todos os momentos da minha caminhada.

Aos queridos amigos João Batista, Vanessa e Leonardo Lelis, cuja amizade foi fundamental para o meu sucesso.

Ao Professor Jean Berg Alves da Silva e à Professora Valéria Veras de Paula, estendendo ao colegiado do Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPGCA), agradeço pela paciência, solicitude e incessante empenho em fortalecer o PPGCA.

Ao Professor Moacir, pela ajuda no meu momento de maior dificuldade. O tempo sob sua orientação foi enriquecedor, tanto pessoalmente quanto profissionalmente. Reconheço em você um exemplo de Pesquisador e Orientador. Obrigado pela amizade, confiança e dedicação ao nosso trabalho.

Às Professoras Cecília Irene Pérez Calabuig, Aracelly Rafaella Fernandes Ricarte, Marineide Jussara Diniz e Maisa Clari Farias Barbalho de Mendonça, por comporem a banca examinadora e pelas contribuições dadas ao trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos da qual fui usufrutuário.

*“... o homem, meus amigos, transforma a procura de nitrogênio em movimento de paixões desvairadas, ferindo e sendo ferido, ofendendo e sendo ofendido, escravizando e tornando-se cativo, segregado em densas trevas! Ajudemo-lo a compreender, para que se organize uma era nova. Auxiliemo-lo a amar a terra, antes de explorá-la no sentido inferior, a valer-se da cooperação dos animais, sem os recursos do extermínio! Nessa época, o matadouro será convertido em local de cooperação, onde o homem atenderá aos seres inferiores e onde estes atenderão às necessidades do homem, e as árvores úteis viverão em meio do respeito que lhes é devido. Nesse tempo sublime, a indústria glorificará o bem e, sentindo-nos o entendimento, a boa vontade e a veneração às Leis divinas, permitir-nos-á o Senhor, pelo menos em parte, a solução do problema técnico da fixação do nitrogênio da atmosfera. Ensinemos aos nossos irmãos que a vida não é um roubo incessante, em que a planta lesa o solo, o animal extermina a planta e o homem assassina o animal, mas um movimento de permuta divina, de cooperação generosa, que nunca perturbaremos sem grave dano à própria condição de criaturas responsáveis e evolutivas! Não condenemos! Auxiliemos sempre!”*

pelo Espírito André Luiz; [psicografado por] Francisco Cândido Xavier. Evangelho no Ambiente Rural. In: \_\_\_\_\_. Os Mensageiros. 47 ed. 2 imp. Brasília: Federação Espírita Brasileira, 2013. cap. 42, p. 255-260.

## DINÂMICA TÉRMICA EM CUTIAS (*Dasyprocta leporina* Linnaeus, 1758) E PREÁS (*Galea spixii* Wagler, 1831) EM AMBIENTE SEMIÁRIDO NEOTROPICAL

QUEIROZ, João Paulo Araújo Fernandes de. Dinâmica térmica em cutias (*Dasyprocta leporina* Linnaeus, 1758) e preás (*Galea spixii* Wagler, 1831) em ambiente semiárido neotropical. 2016. 65f. Tese (Doutorado em Ciência Animal/Produção e Sanidade Animal). Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPGCA), Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, Brasil, 2016.

**RESUMO:** Como a termorregulação de cutias (*Dasyprocta leporina* Linnaeus, 1758) e preás (*Galea spixii* Wagler, 1831) em um ambiente semiárido permanece desconhecida, o presente trabalho objetivou determinar a termólise evaporativa e a transferência de calor por radiação e convecção. Foram utilizadas 20 cutias e 28 preás em experimentos distintos. As cutias foram submetidas a oito dias de amostragem, sendo as coletas de dados realizadas em cinco horários (7h00, 9h00, 11h00, 14h00 e 16h00). Cada preá foi submetido a três dias de amostragem, com coletas de dados realizadas em intervalos de uma hora, das 6h00 às 13h00. O ambiente térmico foi monitorado em cada horário de coleta. A temperatura da superfície corporal foi mensurada por termografia infravermelha. As regiões corporais consideradas nos termogramas das cutias foram: focinho, olhos, orelhas, corpo, membros torácicos e pélvicos. Nos termogramas dos preás foram consideradas, além daquelas mencionadas para cutias, as vibrissas e as perioculares. A termólise evaporativa foi determinada por calorimetria. As orelhas ( $13,10 \pm 1,17 \text{ W m}^{-2}$ ) e os membros pélvicos ( $11,19 \pm 1,17 \text{ W m}^{-2}$ ) foram as principais regiões envolvidas na perda de calor por radiação em cutias, funcionando como janelas térmicas. A termólise por radiação em preás foi mais elevada nas regiões perioculares ( $45,23 \pm 0,81 \text{ W m}^{-2}$ ), seguida dos olhos ( $41,41 \pm 0,81 \text{ W m}^{-2}$ ), orelhas ( $31,56 \pm 0,80 \text{ W m}^{-2}$ ) e vibrissas ( $27,03 \pm 0,80 \text{ W m}^{-2}$ ). As temperaturas das regiões perioculares mostraram ser valorosas preditoras da temperatura retal de preás, exibindo coeficiente de correlação de 0,61. A termólise convectiva em cutias foi mais intensa no corpo e membros pélvicos em todos os horários. Nos preás, a transferência de calor por convecção foi irrisória ( $0,54 \pm 0,56 \text{ W m}^{-2}$ ). A termólise evaporativa em cutias ( $52,53 \pm 1,64 \text{ W m}^{-2}$ ) e preás ( $143,69 \pm 1,37 \text{ W m}^{-2}$ ) foi mais intensa no horário com maior temperatura atmosférica. Assim, observamos que tanto mecanismos não-evaporativos quanto evaporativos são importantes para a manutenção da homeotermia de cutias e preás em ambiente quente. Estes roedores utilizam regiões corporais especializadas na transferência de calor, que correspondem às janelas térmicas.

**Palavras-chave:** roedor histicognato, transferência de calor, janelas térmicas, semiárido

## **THERMAL DYNAMICS IN AGOUTIS (*Dasyprocta leporina* Linnaeus, 1758) AND CAVIES (*Galea spixii* Wagler, 1831) IN NEOTROPICAL SEMIARID ENVIRONMENT**

QUEIROZ, João Paulo Araújo Fernandes de. Dinâmica térmica em cutias (*Dasyprocta leporina* Linnaeus, 1758) e preás (*Galea spixii* Wagler, 1831) em ambiente semiárido neotropical. 2016. 65f. Tese (Doutorado em Ciência Animal/Produção e Sanidade Animal). Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPGCA), Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, Brasil, 2016.

**ABSTRACT:** Because the thermoregulation of red-rumped agouti (*Dasyprocta leporina* Linnaeus, 1758) and Spix's yellow-toothed cavy (*Galea spixii* Wagler, 1831) facing a semiarid environment remain unknown, this study aimed to determine the evaporative heat loss and heat exchanges by radiation and convection. Twenty red-rumped agoutis and twenty-eight Spix's yellow-toothed caviés were used in different experiments. Red-rumped agoutis were subjected to eight samplings days, and the data collection was performed in five times (7h00, 9h00, 11h00, 14h00 and 16h00). Each Spix's yellow-toothed cavy was subjected to three sampling days, with data collection performed at hourly intervals, from 6h00 to 13h00. The thermal environment was monitored in each data collection. The body surface temperature was measured by infrared thermography. The body regions considered in the thermograms of red-rumped agoutis were nose, eyes, pinna, body, fore and hindlimbs. In addition to those mentioned for agoutis, thermograms of Spix's yellow-toothed caviés considered the vibrissae and periocular regions. Evaporative heat loss was determined by calorimetry. The pinna ( $13.10 \pm 1.17 \text{ W m}^{-2}$ ) and hindlimbs ( $11.19 \pm 1.17 \text{ W m}^{-2}$ ) of the agoutis were the main regions involved in heat loss by radiation, working as thermal windows. The radiation was higher in the periocular regions ( $45.23 \pm 0.81 \text{ W m}^{-2}$ ), followed by the eyes surface ( $41.41 \pm 0.81 \text{ W m}^{-2}$ ), pinna ( $31.56 \pm 0.80 \text{ W m}^{-2}$ ) and vibrissae ( $27.03 \pm 0.80 \text{ W m}^{-2}$ ). The periocular temperatures proved to be a valuable predictor of rectal temperature of the caviés, showing a correlation coefficient of 0.61. The convection in agoutis was more intense in the body and hindlimbs at all day times. In caviés, the convection was insignificant ( $0.54 \pm 0.56 \text{ W m}^{-2}$ ). Evaporative heat loss in agoutis ( $52.53 \pm 1.64 \text{ W m}^{-2}$ ) and caviés ( $143.69 \pm 1.37 \text{ W m}^{-2}$ ) was more intense when the atmospheric temperature was higher. Thus, we observe that both non-evaporative and evaporative mechanisms are important for the maintenance of homeothermy in red-rumped agouti and Spix's yellow-toothed cavy in a hot environment. These rodents use specialized body regions in the heat transfer, the thermal windows.

**Keywords:** hystricognathi rodent, heat transfer, thermal windows, semi-arid

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Instalações para a criação de cutias (*Dasyprocta leporina*) do Centro de Multiplicação de Animais Silvestres da Universidade Federal Rural do Semi-Árido ..... 23
- Figura 2 – Cutias (*Dasyprocta leporina*) pertencentes ao Centro de Multiplicação de Animais Silvestres da Universidade Federal Rural do Semi-Árido ..... 24
- Figura 3 – Termogramas de cutias (*Dasyprocta leporina*) ..... 26
- Figura 4 – Média ( $\pm$  erro padrão) das variáveis meteorológicas nos diferentes horários do dia. Temperatura do ar e temperatura radiante média (a), umidade relativa do ar (b), velocidade do vento (c) e carga térmica radiante (d). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P>0,05$ ) ..... 31
- Figura 5 – Transferência de calor por radiação ( $R$ ,  $W\ m^{-2}$ ) em cutias (*Dasyprocta leporina*) em diferentes horários do dia. Médias diferem entre si ao nível de significância de 1% ..... 34
- Figura 6 – Transferência de calor por radiação ( $R$ ,  $W\ m^{-2}$ ) em cutias (*Dasyprocta leporina*) em função da temperatura radiante média ( $T_{RM}$ ,  $W\ m^{-2}$ ) ..... 34
- Figura 7 – Perda de calor por evaporação em cutias (*Dasyprocta leporina*) em diferentes horários do dia. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P>0,05$ ) ..... 36
- Figura 8 – Instalações para a criação de preás (*Galea spixii*) do Centro de Multiplicação de Animais Silvestres da Universidade Federal Rural do Semi-Árido ..... 46
- Figura 9 – Preá (*Galea spixii*) pertencente ao Centro de Multiplicação de Animais Silvestres da Universidade Federal Rural do Semi-Árido ..... 46
- Figura 10 – Termogramas de preás (*Galea spixii*) ..... 49
- Figura 11 – Média ( $\pm$ erro padrão) das variáveis meteorológicas nos diferentes horários do dia. Temperatura do ar ( $T_A$ ,  $^{\circ}C$ ) e temperatura radiante média ( $T_{RM}$ ,  $^{\circ}C$ ) (a), carga térmica radiante (b), umidade relativa do ar ( $UR$ , %) (c) e velocidade do vento ( $V$ ,  $m\ s^{-1}$ ) (d). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P>0,05$ ) ..... 53
- Figura 12 – Temperatura de superfície ( $T_S$ ,  $^{\circ}C$ ) das regiões do focinho, vibrissas,

	orelhas, olhos e perioculares de preás ( <i>Galea spixii</i> ) em função da temperatura do ar ( $T_A$ , °C) .....	54
Figura 13	– Temperatura de superfície ( $T_S$ , °C) das regiões da cabeça, corpo, membros torácicos e pélvicos de preás ( <i>Galea spixii</i> ) em função da temperatura do ar ( $T_A$ , °C) .....	54
Figura 14	– Transferência de calor por radiação ( $R$ , $W m^{-2}$ ) em preás ( <i>Galea spixii</i> ) em função da temperatura radiante média ( $T_{RM}$ , $W m^{-2}$ ) .....	56
Figura 15	– Perda de calor por radiação ( $R$ , $W m^{-2}$ ) em preás ( <i>Galea spixii</i> ). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P>0,05$ ) .....	56
Figura 16	– Perda de calor por evaporação ( $E$ , $W m^{-2}$ ) em machos e fêmeas de <i>Galea spixii</i> . Letras minúsculas representam comparações de médias ao longo do dia. Letras maiúsculas representam comparações de médias entre os sexos, em cada horário do dia. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P>0,05$ ) .....	57
Figura 17	– Temperatura retal ( $T_R$ , °C) de machos e fêmeas de <i>Galea spixii</i> . Letras minúsculas representam comparações de médias ao longo do dia. Letras maiúsculas representam comparações de médias entre os sexos, em cada horário do dia. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P>0,05$ ) .....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Temperatura retal ( $T_R$ , °C) e temperatura de superfície corporal ( $T_S$ , °C) de cutias ( <i>Dasyprocta leporina</i> ) .....	32
Tabela 2	–	Transferência de calor por radiação ( $R$ , $W m^{-2}$ ) em cutias ( <i>Dasyprocta leporina</i> ) considerando as diferentes regiões corporais .....	33
Tabela 3	–	Efeito da interação entre regiões corporais e hora do dia sobre a transferência de calor por convecção ( $C$ , $W m^{-2}$ ) em cutias ( <i>Dasyprocta leporina</i> ) .....	35
Tabela 4	–	Coefficientes de correlação para a temperatura da superfície das diferentes regiões corporais de cutias ( <i>Dasyprocta leporina</i> ) e perda de calor por evaporação ( $E$ , $W m^{-2}$ ), temperatura retal ( $T_R$ , °C), temperatura do ar ( $T_A$ , °C), temperatura radiante média ( $T_{RM}$ , °C) e carga térmica radiante ( $CTR$ , $W m^{-2}$ ) ....	36
Tabela 5	–	Temperatura da superfície corporal ( $T_S$ , °C) e transferência de calor por radiação ( $R$ , $W m^{-2}$ ) em preás ( <i>Galea spixii</i> ) nas diferentes regiões corporais ....	55
Tabela 6	–	Coefficientes de correlação ( $c$ de Pearson) para a temperatura da superfície das diferentes regiões corporais de preás ( <i>Galea spixii</i> ) e perda de calor por evaporação ( $E$ , $W m^{-2}$ ), temperatura retal ( $T_R$ , °C), temperatura do ar ( $T_A$ , °C), temperatura radiante média ( $T_{RM}$ , °C) e carga térmica radiante ( $CTR$ , $W m^{-2}$ ) ....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>C</i>	Transferência de calor por convecção
<i>CTR</i>	Carga térmica radiante
°C	Graus Celsius
<i>E</i>	Perda de calor por evaporação
<i>h</i>	Hora
<i>K</i>	Kelvin
<i>m</i>	Metro
<i>R</i>	Transferência de calor por radiação
<i>s</i>	Segundo
<i>T<sub>A</sub></i>	Temperatura do ar
<i>T<sub>G</sub></i>	Temperatura do globo negro
<i>T<sub>R</sub></i>	Temperatura retal
<i>T<sub>RM</sub></i>	Temperatura radiante média
<i>T<sub>S</sub></i>	Temperatura da superfície corporal
<i>UR</i>	Umidade relativa do ar
<i>V</i>	Velocidade do vento
<i>W</i>	Watts

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
®	Marca registrada

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
<b>CAPÍTULO 1 – TROCAS TÉRMICAS EVAPORATIVAS E NÃO-EVAPORATIVAS EM CUTIAS (<i>Dasyprocta leporina</i> LINNAEUS, 1758)</b>		
	<b>RESUMO</b>	<b>19</b>
	<b>ABSTRACT</b>	<b>19</b>
	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>20</b>
	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>21</b>
	LOCAL DE ESTUDO	22
	ANIMAIS, INSTALAÇÕES E MANEJO	22
	PROTOCOLO EXPERIMENTAL	23
	AMBIENTE TÉRMICO	23
	IMAGENS TÉRMICAS	25
	TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO	25
	TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO	25
	TERMÓLISE EVAPORATIVA	28
	ANÁLISE ESTATÍSTICA	29
	<b>RESULTADOS</b>	<b>29</b>
	<b>DISCUSSÃO</b>	<b>35</b>
	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO 2 – TERMORREGULAÇÃO EM PREÁS (<i>Galea spixii</i> WAGLER, 1831)</b>		
	<b>RESUMO</b>	<b>39</b>
	<b>ABSTRACT</b>	<b>39</b>
	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>40</b>
	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>41</b>
	LOCAL DE ESTUDO	41
	ANIMAIS, INSTALAÇÕES E MANEJO	41
	PROTOCOLO EXPERIMENTAL	43
	AMBIENTE TÉRMICO	43
	IMAGENS TÉRMICAS	44
	TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO	45
	TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO	45
	TERMÓLISE EVAPORATIVA	47
	ANÁLISE ESTATÍSTICA	48
	<b>RESULTADOS</b>	<b>49</b>

	<b>DISCUSSÃO</b>	<b>55</b>
	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>57</b>
<b>3</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL</b>	<b>58</b>
<b>4</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A ordem Rodentia é a maior ordem da classe Mammalia, representando aproximadamente 42% da biodiversidade mundial da mastofauna (REIS et al., 2011). No Brasil ocorrem 75 gêneros e 243 espécies (WILSON; REEDER, 2005). Os gêneros diferem quanto à morfologia e morfometria corporais, coloração e tipo de pelagem, habitats e distribuição geográfica (BONVICINO; OLIVEIRA; D'ANDREA, 2008).

A espécie *Dasyprocta leporina* distribui-se geograficamente ao norte da região amazônica e a leste do Rio Negro, até o estado do Maranhão, Nordeste brasileiro. A cutia também é nativa da Guiana, Guiana Francesa, Suriname, Trinidad e Tobago, Bolívia e Venezuela (EMMONS; REID, 2008). Esses roedores apresentam um corpo cilíndrico e cabeça alongada. As orelhas externas são pequenas e eretas, completamente desprovidas de pelos e com vascularização evidente. A cauda é uma estrutura vestigial, caracterizada pela ausência de pelos e tamanho reduzido. Os membros torácicos são bem menores em comprimento que os pélvicos e exibem quatro dedos funcionais. Estes conferem às cutias grande habilidade em manipular alimentos e pequenos objetos, além de escavar o solo. Os membros pélvicos são longos e musculosos, típicos de animais saltadores. A partir da região do tarso (tarso, metatarso e falanges), a densidade de pelos diminui e a epiderme aparente mostra-se pigmentada, à semelhança da extremidade dos membros torácicos (falanges). Os pelos hispídicos variam em comprimento, cor e tonalidade entre as regiões corporais. As cores vermelha e castanha predominam nesta espécie; os pelos da região da boca são brancos e aqueles da superfície ventral exibem os tons mais claros de castanho.

O preá (*Galea spixii*) pertence à infraordem Hystricognathi, família Caviidae e subfamília Caviinae (ITIS, 2016). Distribui-se geograficamente desde a Bolívia, a leste dos Andes, até o Nordeste brasileiro (EISENBERG; REDFORD, 1999; WOODS; KILPATRICK, 2005). Esta espécie não é encontrada apenas no Pampa, sendo abundante nos biomas Amazônia, Pantanal, Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga (PAGLIA et al., 2012). É um roedor de pequeno porte, com corpo cilíndrico e cabeça alongada. Não possui cauda. Suas orelhas externas são relativamente pequenas, eretas e desprovidas de pelos. Um anel de pelos brancos circula os olhos. O pelame hispídeo apresenta coloração acinzentada ou amarelada na superfície dorsal, enquanto aquele da superfície ventral e membros exhibe cor branca. Na face medial dos membros torácicos há uma pequena área com baixa densidade de pelos. A epiderme aparente nas orelhas e nos membros pouco difere quanto ao grau de pigmentação.

Cutias e preás são endotérmicos homeotérmicos, isto é, produzem grandes quantidades de calor via metabolismo e mantêm sua temperatura corporal central dentro de limites estreitos apesar da atividade em execução e ao longo de ampla faixa de temperatura atmosférica. Essa estabilidade térmica é resultado do equilíbrio entre a termogênese e as trocas de calor com o ambiente. Como a produção endógena de calor em relação à área da superfície corporal é maior em pequenos animais, eles necessitam mover uma quantidade maior de calor por unidade de área que um animal com grande massa corporal (PHILLIPS; HEATH, 1995). As trocas térmicas podem ser efetuadas por mecanismos não-evaporativos e evaporativos. Os primeiros representam mecanismos passivos de ganho ou perda de calor; são regidos por um gradiente de temperatura e incluem a condução, convecção e radiação. Por outro lado, os mecanismos evaporativos constituem vias de termólise e são capazes de movimentar calor corporal contra um gradiente de temperatura, pois são regidos por um gradiente de pressão parcial de vapor (DA SILVA; MAIA, 2013).

O risco iminente de extinção devido à pressão antrópica sobre os biomas brasileiros, como a Caatinga e o Cerrado, e o potencial zootécnico destes roedores justificam sua criação em cativeiro. A manutenção de animais em ambientes artificiais requer o conhecimento prévio de sua biologia térmica. No entanto, as respostas termorreguladoras de cutias e preás frente a um ambiente quente e árido, caracterizado por intensa radiação solar ao longo do ano e baixa pluviosidade, permanecem desconhecidas. A utilização de novas tecnologias, como a termografia infravermelha, auxiliaria no conhecimento das relações térmicas que estes animais estabelecem com o ambiente. Como não requer contenção física para a tomada de dados de termometria, sua aplicação é especialmente valiosa em roedores, pois estímulos estressores afetam sua dinâmica térmica.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Identificar quais os mecanismos físicos de transferência de calor são utilizados por cutias e preás para a manutenção da homeotermia em um ambiente semiárido neotropical.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Avaliar as respostas termorreguladoras à variação do ambiente térmico no interior de instalações para criação de cutias e preás, ao longo do dia.

Aplicar a termografia infravermelha para avaliar diferenças regionais na temperatura de superfície corporal e identificar a existência de janelas térmicas em cutias e preás.

Determinar a participação de cada região corporal nas trocas térmicas por radiação e convecção.

Quantificar a perda de calor por evaporação nas espécies estudadas.

## TROCAS TÉRMICAS EVAPORATIVAS E NÃO-EVAPORATIVAS EM CUTIAS (*Dasyprocta leporina* LINNAEUS, 1758)

**Resumo:** O presente trabalho objetivou determinar a termólise evaporativa e a transferência de calor por radiação e convecção em cutias. Foram utilizadas 20 fêmeas adultas não gestantes, pesando  $2,793 \pm 0,09$  kg. Os animais foram submetidos a oito dias de amostragem, sendo as coletas de dados realizadas em cinco horários (7h00, 9h00, 11h00, 14h00 e 16h00). O ambiente térmico foi monitorado quanto à temperatura atmosférica, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura de globo negro. A temperatura da superfície corporal, utilizada no cálculo das trocas térmicas não evaporativas, foi mensurada por termografia infravermelha em diferentes regiões corporais (focinho, olhos, orelhas, corpo, membros torácicos e pélvicos). A termólise evaporativa foi determinada por calorimetria. A temperatura de superfície foi mais elevada nas orelhas ( $36,84 \pm 0,11$  °C), seguidas pelos membros pélvicos ( $36,55 \pm 0,11$  °C). Estas regiões foram as principais responsáveis pela perda de calor por radiação, sendo de  $13,10 \pm 1,17$  W m<sup>-2</sup> nas orelhas e  $11,19 \pm 1,17$  W m<sup>-2</sup> nos membros pélvicos, funcionando como janelas térmicas biológicas. As trocas térmicas por convecção foram mais intensas no corpo e membros pélvicos em todos os horários do dia. A termólise evaporativa foi mais intensa ( $52,53 \pm 1,64$  W m<sup>-2</sup>) no horário com maior temperatura atmosférica ( $34,0 \pm 0,15$  °C). Assim, observamos que tanto mecanismos não-evaporativos quanto evaporativos são importantes para a manutenção da homeotermia de cutias em ambiente quente. Estes roedores utilizam regiões corporais especializadas na transferência de calor, sendo as orelhas e os membros pélvicos as mais importantes.

**Palavras-chave:** termorregulação, roedores histricognatos, termografia, semiárido

**Abstract:** This study aimed to determine the evaporative heat loss and heat exchanges by radiation and convection in red-rumped agoutis. Twenty not pregnant adult females were used, weighing  $2.793 \pm 0.09$  kg. The animals were subjected to eight sampling days. The data collection was performed five times over each sampling day (7h00, 9h00, 11h00, 14h00 and 16h00). The thermal environment was monitored for atmospheric temperature, wet bulb temperature, relative humidity, wind speed and black globe temperature. The body surface temperature, used to calculate non-evaporative heat exchange, was measured by infrared

thermography in different body regions (nose, eyes, pinna, body, fore and hindlimbs). Evaporative heat loss was determined by calorimetry. The surface temperature was higher in pinna ( $36.84 \pm 0.11$  ° C), followed by hindlimbs ( $36.55 \pm 0.11$  ° C). These regions were the main responsible for the heat loss by radiation, being  $10.13 \pm 1.17$  W m<sup>-2</sup> in the pinna and  $11.19 \pm 1.17$  W m<sup>-2</sup> in the hindlimbs, acting like biological thermal windows. The thermal exchanges by convection were more intense in the body and hindlimbs at all times of the sampling days. Evaporative heat loss was more intense ( $52.53 \pm 1.64$  W m<sup>-2</sup>) when the atmospheric temperature was higher ( $34.0 \pm 0.15$  ° C). Thus, we observe that both non-evaporative as evaporative mechanisms are important for the maintenance of homeothermy in red-rumped agouti in a hot environment. These rodents use specialized body regions in heat transfer, being the pinna and hindlimbs the most important.

**Keywords:** rodent, infrared thermography, thermal biology, semiarid

## INTRODUÇÃO

A cutia (*Dasyprocta leporina*) é um roedor histricognato sul-americano amplamente distribuído pelo território brasileiro. Embora componha a dieta humana em muitas regiões do país, sua caça não é considerada um risco potencial à conservação da espécie (EMMONS; REID, 2008). No entanto, a caça predatória, a perda progressiva de habitat e a fragmentação já levaram à extinção algumas populações locais (CID et al., 2014). Além disso, as mudanças climáticas afetam os ecossistemas em todo o mundo, aumentando seu estado de vulnerabilidade. Nas regiões tropicais e subtropicais, por exemplo, a elevação da temperatura e a redução da precipitação pluviométrica intensificaram e prolongaram os períodos de seca (PARRY et al., 2007; FIELD et al., 2014). Essas alterações globais evidenciam a necessidade de aprimoramento das estratégias de conservação da biodiversidade (BROOKE 2008; HANSEN et al., 2010). Nesse contexto, estudos considerando os efeitos das mudanças climáticas sobre as comunidades bióticas proporcionam valiosos modelos de como as espécies respondem às alterações no seu ambiente (McCARTY, 2002; CONROY et al., 2011).

Os roedores respondem às variações no ambiente térmico modulando a termogênese e ativando mecanismos evaporativos e não-evaporativos de transferência de calor. Os mecanismos não-evaporativos, como a convecção e a radiação, são energeticamente menos dispendiosos. O gradiente envolvido é gerado entre a temperatura da superfície corporal e a

temperatura do ar, no caso da convecção, ou a temperatura radiante média, no caso da radiação. A temperatura da superfície corporal é um importante indicador do estado fisiológico do animal, devendo ser mensurada de forma rápida e precisa (NÄÄS; GARCIA; CALDARA, 2014). A termografia infravermelha é um método não invasivo que tem sido utilizado na termometria animal para detectar alterações na temperatura da superfície corporal e no fluxo sanguíneo periférico em resposta às condições ambientais ou fisiológicas (McMANNUS et al., 2016). Esta tecnologia permite identificar regiões corporais envolvidas nas trocas térmicas, chamadas janelas térmicas biológicas (WEISSENBOCK et al., 2010).

Em relação aos mecanismos de resfriamento evaporativo, a grande capacidade de movimentar calor corporal, devido ao elevado calor específico da água, conflita com a necessidade de conservação hídrica. Roedores que habitam ambientes quentes e áridos, caracterizados por precipitação anual baixa e irregular associada à temperatura atmosférica elevada, enfrentam o risco da desidratação (BOZINOVIC; GALLARDO, 2006). Muitas espécies diminuem as despesas hídricas restringindo os períodos de atividade à noite, uma adaptação comportamental para evitar temperaturas elevadas (HAIM et al., 2006). Aquelas espécies diurnas devem selecionar e mover-se em torno de microclimas ou ajustar sua fisiologia ao ambiente térmico (BOZINOVIC et al., 2000).

Apesar de a termólise evaporativa ser um dos mais valiosos mecanismos de termorregulação para animais homeotérmicos (DA SILVA; MAIA, 2013), cada via deste mecanismo assume importância variável entre os roedores. A via cutânea normalmente tem pouca significância fisiológica porque as glândulas sudoríparas estão topograficamente restritas, como sobre os lábios e nos membros de algumas espécies (McNAB, 2002). No entanto, Tracy e Walsberg (2000) observaram que a via prevalente em ratos-cangurus foi a cutânea, enquanto a respiratória contribuiu com 44% da perda total de água por evaporação.

Considerando a ausência de informações sobre a biologia térmica da cutia e a existência de mecanismos físicos de transferência de calor que previnem a perda excessiva de água endógena, determinou-se a termólise evaporativa e aplicou-se a termografia infravermelha como ferramenta auxiliar na determinação das trocas térmicas por convecção e radiação em diferentes regiões corporais da cutia em um ambiente semiárido.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

## LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado no Centro de Multiplicação de Animais Silvestres – CEMAS (5°11' Sul e 37°20' Oeste, altitude de 16m) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, campus Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. A região encontra-se dentro do domínio biogeográfico da Caatinga, um bioma exclusivamente brasileiro. O clima é semiárido quente e seco (tipo BSh), segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (1928).

## ANIMAIS, INSTALAÇÕES E MANEJO

O modelo animal foi o roedor *Dasyprocta leporina*. Vinte fêmeas adultas não gestantes, pesando  $2,793 \pm 0,09$  kg, foram divididas aleatoriamente em quatro grupos, com cinco animais por grupo. Os grupos foram mantidos em um mesmo galpão, separados em boxes medindo  $4,0 \times 5,0 \times 3,5$  m (largura  $\times$  comprimento  $\times$  altura), totalmente cobertos por telhas de cerâmica, com piso em alvenaria e pequeno terrário. As laterais possuíam uma mureta (0,4 m de altura) e tela de arame liso. Não foi utilizado sistema de iluminação artificial; os animais dispunham de iluminação natural entre as 5h30min e 17h30min. O arraçoamento foi realizado uma vez ao dia em dois comedouros tipo bandeja por boxe. Água estava à disposição em um bebedouro tipo garrafa (2L) com bico em alumínio para cada boxe. Os bebedouros foram monitorados diariamente quanto ao nível da água.



Figura 1. Instalações para a criação de cutias (*Dasyprocta leporina*) do Centro de Multiplicação de Animais Silvestres da Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 2. Cutias (*Dasyprocta leporina*) pertencentes ao Centro de Multiplicação de Animais Silvestres da Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Fonte: Arquivo pessoal.

#### PROTOCOLO EXPERIMENTAL

Foram realizadas oito coletas semanais entre novembro de 2015 e janeiro de 2016. Os efeitos do ambiente térmico sobre a temperatura da superfície corporal, a transferência de calor por radiação, convecção e evaporação foram determinados em cinco horários ao longo do dia (7h00, 9h00, 11h00, 14h00 e 16h00). Em cada horário, quatro animais, sendo um animal de cada box, foram aleatoriamente capturados utilizando-se um puçá. A temperatura retal ( $T_R$ , °C) foi, então, aferida com um sensor de temperatura (Modelo PT-100 Classe A) conectado a um termômetro digital (Modelo SALVterm 200, Salvi Casagrande, São Paulo, Brasil). O sensor foi introduzido cerca de 5,0 cm na ampola retal e mantido até estabilização da temperatura. Em seguida, o animal foi transferido para uma gaiola para tomada das imagens térmicas e determinação da termólise evaporativa. Após serem submetidos ao protocolo experimental, os animais foram devolvidos aos seus respectivos boxes. Cada animal foi submetido a este protocolo uma única vez em cada dia de coleta de dados.

#### AMBIENTE TÉRMICO

O ambiente térmico foi monitorado quanto à temperatura atmosférica ( $T_A$ , °C), temperatura de bulbo úmido ( $T_W$ , °C), umidade relativa do ar ( $UR$ , %), velocidade do vento ( $V$ ,  $m\ s^{-1}$ ), temperatura de globo negro ( $T_G$ , °C).  $T_A$  e  $V$  foram medidas por um termomômetro de fio quente (Modelo TAFR-190, Instruterm, São Paulo, SP, Brasil).  $T_W$  e  $UR$

foram mensuradas através de um psicrômetro digital (Modelo ITHT-2600, Instrutemp, São Paulo, SP, Brasil).  $T_G$  foi aferida com um sensor de temperatura (Modelo tipo T, Salcas, São Paulo, Brasil) que foi conectado a um termômetro digital (Modelo ST-9215C, Hwa Tai Technology, Taipei, Taiwan) e introduzido no interior de um globo negro. Os equipamentos foram instalados dentro de um boxe do mesmo galpão em que se encontravam os animais.

A temperatura radiante média ( $T_{RM}$ , °C) do ambiente foi estimada utilizando-se a equação (DA SILVA; MAIA, 2013):

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

onde  $k$  é a condutividade térmica do ar à temperatura  $T_A$  ( $\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $d_G$  é o diâmetro da esfera,  $\varepsilon_G$  é a emissividade do globo negro,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5,67051 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ),  $Nu$  é o número adimensional de Nusselt. Para convecção natural e corpos esféricos,  $Nu$  é dado por (CHURCHILL, 2002):

$$Nu = 2 + \frac{0,589(GrPr)^{1/4}}{\left[1 + (0,469 / Pr)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

onde  $Gr$  e  $Pr$  são os números adimensionais de Grashof e Prandtl, respectivamente.

Para convecção forçada (INCROPERA et al., 2007):

$$Nu = 2 + \left(0,4 Re^{1/2} + 0,06 Re^{2/3}\right) Pr^{0,4} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{1/4}$$

onde  $Re$  é o número de Reynolds;  $\mu$  é a viscosidade dinâmica do ar ( $\text{g m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ), dada por  $\mu = \rho \nu$  para a temperatura do ar  $T_A$ ;  $\mu_s$  é o valor de  $\mu$  para a temperatura da superfície da esfera. A densidade do ar ( $\rho$ ,  $\text{g m}^{-3}$ ) foi estimada por:

$$\rho = [3483,358 P_A] T_A^{-1}$$

onde  $P_A$  é a pressão atmosférica (kPa) e  $T_A$  é a temperatura do ar (°C).

A viscosidade cinemática do ar ( $\nu$ ,  $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ ) foi dada pela equação:

$$\nu = 1,32743 \times 10^{-5} + 9,22286 \times 10^{-8} T_A$$

onde  $T_A$  é a temperatura do ar (°C).

A  $T_{RM}$  foi aplicada no cálculo da carga térmica radiante ( $CTR$ ,  $\text{W m}^{-2}$ ) de acordo com a equação proposta por Da Silva e Maia (2013):

$$CTR = \sigma T_{RM}^4$$

onde  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5,67051 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ).

## IMAGENS TÉRMICAS

A temperatura da superfície corporal ( $T_S$ , °C) foi registrada por uma câmera termográfica (Modelo Flir b60, FLIR® Systems Inc., Oregon, EUA; amplitude de temperatura de -20 a 120 °C, acurácia de  $\pm 2\%$ , sensibilidade térmica de 0,07°C) calibrada para uma emissividade de 0.98. Para a captura das imagens térmicas, a câmera foi posicionada na altura do animal, a uma distância de 30 cm. Na composição do perfil térmico foram consideradas as seguintes regiões: focinho, superfícies oculares, superfícies auriculares, corpo, membros torácicos e pélvicos. As imagens térmicas foram analisadas pelo software ThermaCAM Researcher Professional 2.10 (FLIR® Systems Inc., Oregon, EUA).

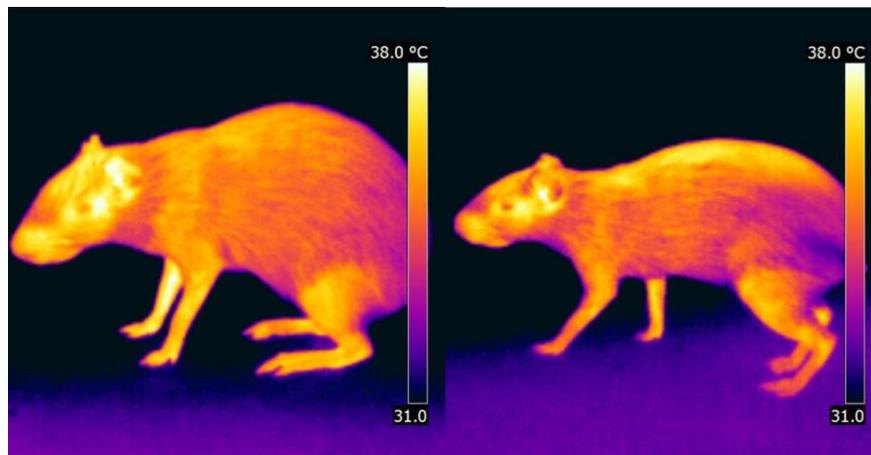


Figura 3. Termogramas de cutias (*Dasyprocta leporina*).

Fonte: Arquivo pessoal.

## TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO

As trocas térmicas por radiação ( $R$ ,  $W m^{-2}$ ) foram estimadas pela equação:

$$R = \varepsilon_S \sigma (T_{RM}^4 - T_S^4)$$

onde  $\varepsilon_S = 0,98$  é a emissividade para tecidos biológicos,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5,67051 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ ),  $T_S$  é a temperatura da superfície corporal para cada região considerada no perfil térmico (K).

## TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO

Uma cutia encontra-se em contato permanente com a atmosfera, um fluido gasoso. Junto à sua superfície, forma-se uma camada circundante desse fluido, através da qual ocorre troca térmica por condução. Esta camada é denominada camada limite e seu deslocamento caracteriza o mecanismo de transferência de energia térmica por convecção. O movimento da

camada limite pode resultar de diferenças de densidade criadas por um gradiente de temperatura na massa do fluido (convecção natural) ou por forças mecânicas externas como o vento (convecção forçada). As trocas de calor por convecção ( $C$ ,  $\text{W m}^{-2}$ ) foram determinadas segundo a Lei de Fourier, pela equação:

$$C = \rho c_p (T_S - T_A) r_H^{-1}$$

onde  $\rho$  é a densidade do ar à temperatura  $T_A$  ( $\text{g m}^{-3}$ ),  $c_p$  é o calor específico do ar ( $\text{J g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $T_S$  é a temperatura da superfície corporal ( $^\circ\text{C}$ ),  $T_A$  é a temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ ) e  $r_H$  é a resistência da camada limite à transferência de calor por convecção, a qual pode ser estimada pela equação:

$$r_H = \rho c_p d (kNu)^{-1}$$

onde  $d$  é a dimensão característica da superfície (m),  $k$  é a condutividade térmica do ar à temperatura  $T_A$  ( $\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) e  $Nu$  é o número de Nusselt.

A transferência de calor por convecção foi calculada para as diferentes regiões corporais, aplicando na equação a  $T_S$  de cada região, mensurada através da termografia infravermelha. A transferência total de calor por convecção foi, então, obtida pelo somatório do calculado para as regiões corporais. Para tanto, foi utilizado um modelo virtual da cutia formado por figuras geométricas simples (focinho = plano horizontal; olhos e orelhas = planos verticais; corpo = cilindro horizontal; membros torácicos = cilindros verticais; membros pélvicos = cilindros horizontais). A orientação das figuras geométricas refletiu a postura corporal adotada pelos roedores durante o procedimento experimental.

A dimensão característica de cada figura geométrica, isto é, de cada região corporal, foi utilizada no cálculo de  $r_H$  e do  $Nu$ . Inicialmente, foram obtidos os números de Reynolds ( $Re$ ), Prandtl ( $Pr$ ) e Grashof ( $Gr$ ):

$$Re = U d \nu^{-1}$$

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

$$Gr = g d^3 (T_S - T_A) \nu^{-2} (T_A + 273,15)^{-1}$$

onde  $V$  corresponde à velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $k$  é a condutividade térmica ( $\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $g$  é a aceleração gravitacional ( $\text{m s}^{-2}$ ),  $d$  é dimensão característica da superfície (m),  $\nu$  é a viscosidade cinemática do ar ( $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ ). A aceleração gravitacional foi estimada pela equação:

$$g = 9,78013 + 8,18 \times 10^{-5} L_t + 1,168 \times 10^{-5} L_t^2 - 3,1 \times 10^{-6} z$$

onde  $L_t$  é a latitude (graus decimais) e  $z$  é a altitude.

A relação  $GrRe^{-2}$  foi utilizada para determinar se houve convecção natural ( $GrRe^{-2} \geq 3$ ), forçada ( $GrRe^{-2} \leq 0,08$ ) ou uma combinação de ambas ( $0,08 < GrRe^{-2} < 3$ ). Na convecção natural, os números de Nusselt para planos horizontais (INCROPERA et al., 2007) foram estimados pelas equações:

$$\text{para } 10^4 \leq GrPr \leq 10^7, Nu = 0,54(GrPr)^{1/4}$$

$$\text{para } GrPr > 10^7, Nu = 0,15(GrPr)^{1/3}$$

Para planos horizontais (CHURCHILL; CHU, 1975b):

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 (GrPr)^{1/6}}{\left[ 1 + (0,492 / Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

Para cilindros verticais, o  $Nu$  foi calculado pelas fórmulas:

$$\text{para } 10^4 < Gr < 10^9, Nu = 0,65 Gr^{1/4} Pr^{1/3}$$

$$\text{para } 10^9 < Gr < 10^{12}, Nu = 0,123 Gr^{1/3} Pr^{1/3}$$

Para cilindros horizontais (CHURCHILL; CHU, 1975a):

$$Nu = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 (GrPr)^{1/6}}{\left[ 1 + (0,559 / Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

Na determinação dos números de Nusselt para convecção forçada, consideramos a direção que o fluxo de ar que atinge o animal. No presente estudo, a direção do fluxo de ar foi padronizada como sendo paralela ao eixo longitudinal das cutias. No entanto, como os animais assumiam uma postura sentada no interior da gaiola, flexionando os membros pélvicos e mantendo os torácicos estendidos, o fluxo de ar foi perpendicular em relação ao eixo dos membros torácicos (diâmetro do cilindro vertical) e paralelo em relação ao eixo dos membros torácicos (comprimento do cilindro horizontal). Assim, o  $Nu$  para planos horizontais ou verticais foi obtido pela equação (INCROPERA et al., 2007):

$$Nu = 0,332 Re^{1/2} Pr^{1/3}$$

Para cilindros com fluxo de ar perpendicular ao eixo, isto é, para os membros torácicos (CHURCHILL; BERNSTEIN, 1977):

$$Nu = 0,3 + \frac{0,62 Re^{1/2} Pr^{1/3}}{\left[ 1 + (0,4/Pr)^{2/3} \right]^{1/4}} \left[ 1 + \left( \frac{Re}{282.000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}$$

Para cilindros com fluxo de ar paralelo ao eixo, isto é, para os membros pélvicos (INCROPERA et al., 2007):

$$Nu = 0,0296 Re^{4/5} Pr^{1/3}$$

Nos casos de convecção combinada, foram calculados os números de Nusselt para ambos os tipos de convecção, sendo obtido um valor ponderado:

$$Nu = \left( (Nu^N)^n + (Nu^F)^n \right)^{1/n}$$

onde  $Nu^N$  é número de Nusselt para convecção natural,  $Nu^F$  é o número de Nusselt para convecção forçada.  $n=3$  para o caso geral e  $n=3,5$  para planos horizontais.

## TERMÓLISE EVAPORATIVA

A perda de calor por evaporação ( $E$ ,  $W m^{-2}$ ) foi determinada pelo método calorimétrico. Inicialmente, cada animal contido em uma gaiola foi acomodado no interior do calorímetro. No duto de entrada de ar do calorímetro foi instalado um sistema de ventilação. Um analisador de gases automático (Modelo LI-7000, Li-Cor Biosciences, Lincoln, EUA) foi utilizado para determinar a pressão atmosférica ( $P_A$ , kPa) e a pressão parcial de vapor da atmosfera ( $P_p\{T_A\}$ , kPa). O analisador foi, então, conectado ao duto de saída de ar para determinação da pressão parcial de vapor do ar deixando o sistema ( $P_p\{T_C\}$ , kPa). A temperatura do ar no interior do calorímetro ( $T_C$ , °C) e a velocidade do ar através do sistema ( $u$ ,  $m s^{-1}$ ) foram mensuradas com a ponta de prova de um termo-anemômetro de fio quente (Modelo TAFR-190, Instruterm, São Paulo, SP, Brasil) inserida no duto de saída de ar.

$P_p\{T_A\}$  e  $P_p\{T_C\}$  foram utilizadas para calcular as umidades absolutas da atmosfera ( $\Psi_A$ ,  $g m^{-3}$ ) e do interior do calorímetro ( $\Psi_C$ ,  $g m^{-3}$ ), dadas pelas equações:

$$\Psi_A = \frac{10^3 M_W P_p\{T_A\}}{RT_A} = \frac{2166,87 P_p\{T_A\}}{T_A}$$

$$\Psi_C = \frac{10^3 M_W P_p\{T_C\}}{RT_C} = \frac{2166,87 P_p\{T_C\}}{T_C}$$

onde  $M_W$  é o peso molecular da água ( $18,0155 g mol^{-1}$ ) e  $R$  é a constante universal dos gases ( $8,3143 J mol^{-1} K^{-1}$ ). Como  $M_W$  e  $R$  são valores constantes, a equação pode ser simplificada.

A termólise evaporativa ( $E$ ,  $W m^{-2}$ ) foi então calculada pela equação:

$$E = \frac{\lambda f_C (\Psi_C - \Psi_A)}{A_S}$$

onde  $\lambda$  é o calor latente de vaporização da água ( $J g^{-1} °C$ );  $f_C$  é o fluxo de ar através do calorímetro ( $m^3 s^{-1}$ ), que é dado pela fórmula  $f_C = \pi r^2 u$  ( $r$  é o raio da saída de ar do calorímetro);  $A_S$  é a área da superfície corporal do animal.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

A Análise de Variância (ANOVA) para as variáveis meteorológicas, temperatura retal, temperatura da superfície corporal e trocas térmicas (radiação, convecção e evaporação) foi realizada pelo método dos quadrados mínimos (DA SILVA, 1993) utilizando o procedimento Modelo Lineares Gerais (GLM) do software Statistical Analysis System (SAS). A Análise de Regressão Polinomial da transferência de calor por radiação em função da temperatura radiante média foi realizada pelo software OriginPro 8. A Análise de Correlação entre temperatura da superfície das regiões corporais e perda de calor por evaporação, temperatura retal, temperatura do ar, temperatura radiante média e carga térmica radiante foi realizada utilizando o procedimento CORR (Proc CORR) do SAS. A ANOVA dos dados meteorológicos, temperatura retal e perda de calor por evaporação foi realizada de acordo com o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \mu + h_i + \varepsilon_{ij}$$

onde  $Y_{ij}$  é o  $j$ -ésimo dado meteorológico e de temperatura retal registrado na  $i$ -ésima hora;  $\mu$  é a média geral;  $h$  é o efeito fixo do horário de coleta;  $\varepsilon_{ij}$  é o efeito residual.

O modelo aplicado na ANOVA dos dados de temperatura da superfície corporal, transferência de calor por radiação e convecção foi:

$$Y_{ijk} = \mu + r_i + h_j + I_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

onde  $Y_{ij}$  é o  $k$ -ésimo dado de temperatura da superfície corporal, troca térmica por radiação e convecção registrado na  $i$ -ésima região corporal, no  $j$ -ésimo horário de coleta;  $\mu$  é a média geral;  $r$  é o efeito fixo da região corporal;  $h$  é o efeito fixo do horário de coleta;  $I$  é o efeito da interação entre a  $i$ -ésima região corporal e o  $j$ -ésimo horário de coleta;  $\varepsilon_{ij}$  é o efeito residual.

## RESULTADOS

O microclima no interior das instalações variou significativamente ( $P < 0,01$ ) entre os horários de coleta (Figura 4). Apesar da  $T_A$  ( $34,0 \pm 0,15$  °C) ter alcançado o pico às 11h00, o desafio térmico enfrentado pelos animais foi maior às 14h00. A  $T_{RM}$  ( $38,3 \pm 0,19$  °C) e, conseqüentemente, a  $CTR$  ( $533,67 \pm 1,29$  W m<sup>-2</sup>), atingiram os valores máximos registrados. O ambiente térmico neste horário influenciou significativamente ( $P < 0,01$ ) a  $T_R$  ( $38,62 \pm 0,03$  °C), como mostra a Tabela 1. Embora a  $T_A$  ( $30,58 \pm 0,12$  °C) tenha diminuído às 14h00, a  $T_{RM}$  continuou em ascensão, provavelmente, devido à radiação solar incidente sobre as instalações

e superfícies vizinhas. A  $T_{RM}$  ( $35,17 \pm 0,19$  °C) no interior dos boxes manteve-se elevada às 16h00, como resultado da emissão da energia radiante absorvida ao longo do dia, agora facilitada pelo gradiente de temperatura estabelecido com a atmosfera ( $30,58 \pm 0,12$  °C).

Não houve efeito significativo da interação entre horário de coleta e região corporal ( $P=0,5829$ ) sobre a  $T_S$ . No entanto, o horário de coleta afetou significativamente ( $P<0,01$ ) esta variável fisiológica (Tabela 1). A  $T_S$  ( $37,38 \pm 0,10$  °C) foi mais elevada às 11h00, quando foi registrada  $T_A$  de  $34,0 \pm 0,15$  °C,  $T_{RM}$  de  $35,87 \pm 0,16$  °C e  $CTR$  de  $517,22 \pm 0,10$  W m<sup>-2</sup>. Seria esperado, pela natureza do mecanismo envolvido na transferência de calor, que a elevada  $T_{RM}$  ( $38,3 \pm 0,19$  °C) e  $CTR$  ( $533,67 \pm 1,29$  W m<sup>-2</sup>) registradas às 14h00, resultassem em uma  $T_S$  de mesma magnitude. No entanto, a diminuição da  $T_A$  ( $31,68 \pm 0,06$  °C) aliada à elevada  $V$  ( $3,5 \pm 0,08$  m s<sup>-1</sup>) foram suficientes para reduzir a  $T_S$ .

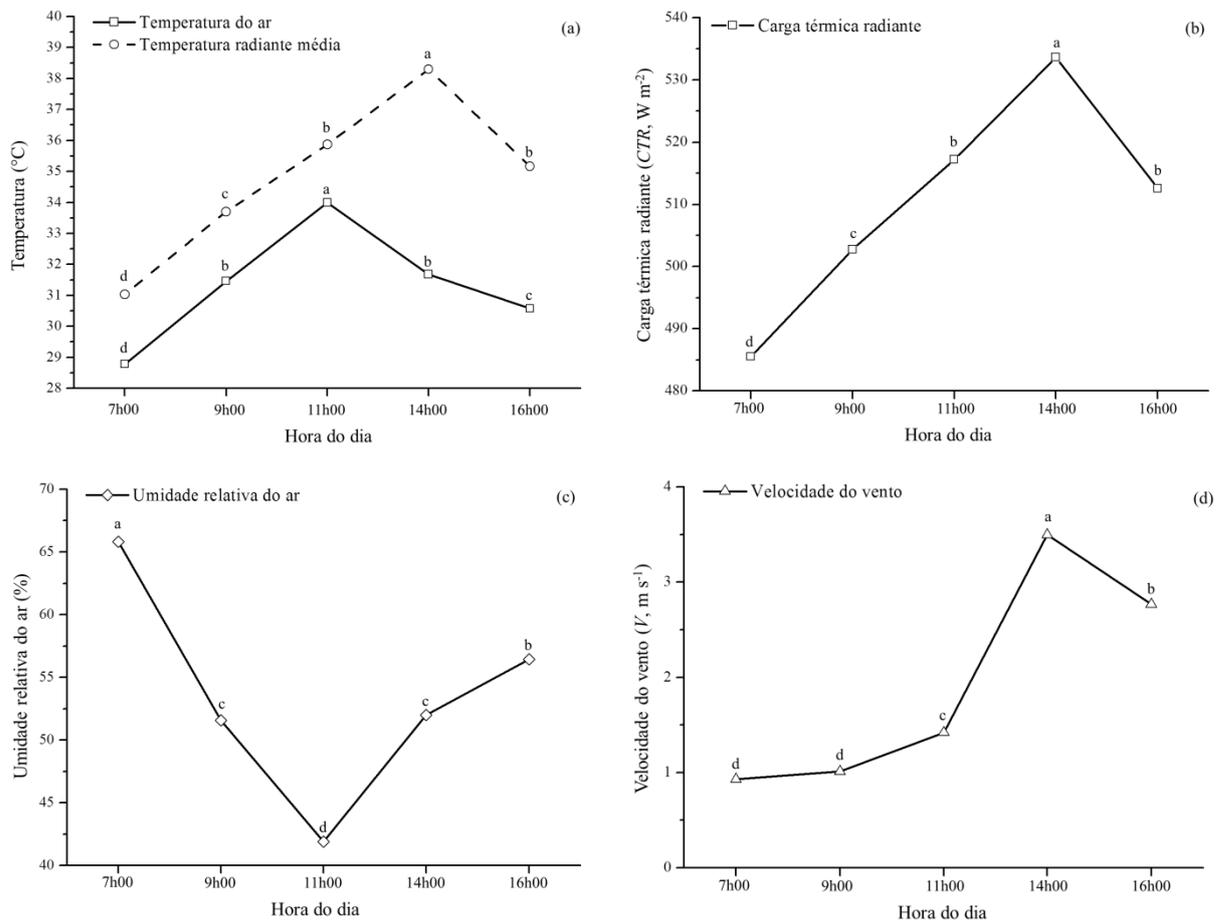


Figura 4. Média ( $\pm$  erro padrão) das variáveis meteorológicas nos diferentes horários do dia. Temperatura do ar ( $T_A$ , °C) e temperatura radiante média ( $T_{RM}$ , °C) (a), umidade relativa do ar (UR, %) (b), velocidade do vento ( $V$ , m s<sup>-1</sup>) (c) e carga térmica radiante ( $CTR$ , W m<sup>-2</sup>) (d). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P>0,05$ ).

A ANOVA comprovou haver diferenças significativas ( $P < 0,01$ ) entre as  $T_S$  das regiões corporais (Tabela 1). As orelhas apresentaram as maiores médias ( $36,84 \pm 0,11$  °C) em todos os horários de coleta, seguidas pelos membros pélvicos ( $36,55 \pm 0,11$  °C). Numa análise geral, considerando os valores médios de  $R$  (Tabela 2), estas superfícies estabeleceram um elevado gradiente térmico com a  $T_{RM}$  e este gradiente operou favorecendo a termólise. Dessa forma, as orelhas ( $13,10 \pm 1,17$  W m<sup>-2</sup>) e os membros pélvicos ( $11,19 \pm 1,17$  W m<sup>-2</sup>) funcionaram como radiadores térmicos ou janelas térmicas biológicas, representando os principais sítios de perda de calor por radiação. Este estudo é, para nosso conhecimento, o primeiro relato de janelas térmicas biológicas em cutias. Por outro lado, o focinho foi a região corporal com a menor  $T_S$  ( $34,40 \pm 0,11$  °C) registrada no estudo, em todos os horários de coleta. Em virtude do gradiente térmico envolvido nesta situação, o ganho de calor por radiação superou a termólise, resultando em  $R$  de  $-2,82 \pm 1,17$  W m<sup>-2</sup> (Tabela 2).

Tabela 1. Temperatura retal ( $T_R$ , °C) e temperatura de superfície corporal ( $T_S$ , °C) de cutias (*Dasyprocta leporina*).

Efeito	$T_R$	$T_S$		
		Média±EP	Mínimo	Máximo
Hora do dia				
07h00	$37,88 \pm 0,03^d$	$34,19 \pm 0,10^c$	29,30	37,10
09h00	$38,08 \pm 0,03^c$	$35,93 \pm 0,09^b$	30,30	39,20
11h00	$38,63 \pm 0,03^a$	$37,84 \pm 0,10^a$	31,90	40,30
14h00	$38,36 \pm 0,03^b$	$36,10 \pm 0,10^b$	32,50	39,00
16h00	$38,69 \pm 0,03^a$	$35,76 \pm 0,10^b$	31,90	38,70
Região corporal				
Focinho	-	$34,40 \pm 0,10^e$	29,30	38,20
Olhos	-	$36,18 \pm 0,10^{bc}$	32,90	39,00
Orelhas	-	$36,84 \pm 0,10^a$	31,50	40,30
Corpo	-	$35,16 \pm 0,10^d$	30,10	38,90
Membros torácicos	-	$36,09 \pm 0,10^c$	32,20	39,50
Membros pélvicos	-	$36,55 \pm 0,10^{ab}$	30,90	39,60

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P > 0,05$ ). EP = erro padrão da média.

Tabela 2. Transferência de calor por radiação ( $R$ ,  $W m^{-2}$ ) em cutias (*Dasyprocta leporina*) considerando as diferentes regiões corporais.

Região corporal	$R$		
	Média±EP	Mínimo	Máximo
Focinho	-2,82±1,17 <sup>d</sup>	-59,47	42,48
Olhos	8,71±1,17 <sup>ab</sup>	-41,88	47,10
Orelhas	13,10±1,17 <sup>a</sup>	-42,54	53,77
Corpo	2,11±1,17 <sup>c</sup>	-50,41	43,13
Membros torácicos	8,22±1,17 <sup>b</sup>	-44,52	49,76
Membros pélvicos	11,19±1,17 <sup>ab</sup>	-41,88	53,10

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P>0,05$ ). EP = erro padrão da média.

O efeito do horário do dia ( $P<0,01$ ) sobre  $R$  é apresentado na Figura 5.  $R$  foi maior ( $20,02±0,93 W m^{-2}$ ) às 7h00, quando foi gerado um gradiente de  $3,2 °C$  entre  $T_S$  ( $34,2±0,09 °C$ ) e  $T_{RM}$  ( $31,0±0,13 °C$ ). Por outro lado, o ambiente térmico no interior das instalações às 14h00 foi caracterizado por elevada  $T_{RM}$  ( $38,3±0,19 °C$ ) e, conseqüentemente, elevada  $CTR$  ( $533,66±1,29 W m^{-2}$ ), resultando no aumento da  $T_S$  ( $36,1±0,09 °C$ ). Neste horário,  $R$  foi negativa ( $-14,92±1,40 W m^{-2}$ ), indicando que os animais estavam ganhando calor por radiação. Esta condição foi desencadeada pelo gradiente de  $-2,2 °C$  estabelecido entre  $T_S$  e  $T_{RM}$ . A variação de  $R$  em função da  $T_{RM}$  ( $P<0,01$ ) é revelada na Figura 6. A elevação da  $T_{RM}$  no interior das instalações faz com que o mecanismo de transferência de calor por radiação torne-se uma via de ganho de calor.

A interação entre regiões corporais e hora do dia sobre  $C$  ( $P<0,01$ ) é apresentada na Tabela 3. A  $C$  nas regiões do focinho, olhos, orelhas e membros torácicos não variaram entre os horários de coleta. O corpo e os membros pélvicos apresentaram os maiores valores médios entre as regiões corporais em cada horário. A  $C$  do corpo ( $9,60±0,59 W m^{-2}$ ) e dos membros pélvicos ( $7,39±0,60 W m^{-2}$ ) foram menores às 11h00, com  $T_A$  de  $34,0±0,15 °C$ . Por outro lado, a elevada  $V$  ( $3,50±0,08$  e  $2,77±0,08 m s^{-1}$ , respectivamente) associada à diminuição da  $T_A$  ( $31,68±0,07$  e  $30,58±0,12 °C$ , respectivamente) no interior das instalações às 14h00 e 16h00 (Figura 4a e 1c) resultaram na elevação de  $C$ . Apesar da grande diferença entre as dimensões características das regiões, a termólise nos membros pélvicos ( $18,05±0,63 W m^{-2}$ ) não diferiu estatisticamente do corpo ( $19,82±0,63 W m^{-2}$ ) às 16h00. Neste horário, a elevada

$T_S$  dos membros pélvicos ( $36,73 \pm 0,25$  °C), em relação ao corpo ( $34,63 \pm 0,25$  °C), gerou um gradiente térmico de  $6,15$  °C com a  $T_A$  ( $30,58 \pm 0,12$  °C), o que favoreceu a convecção.

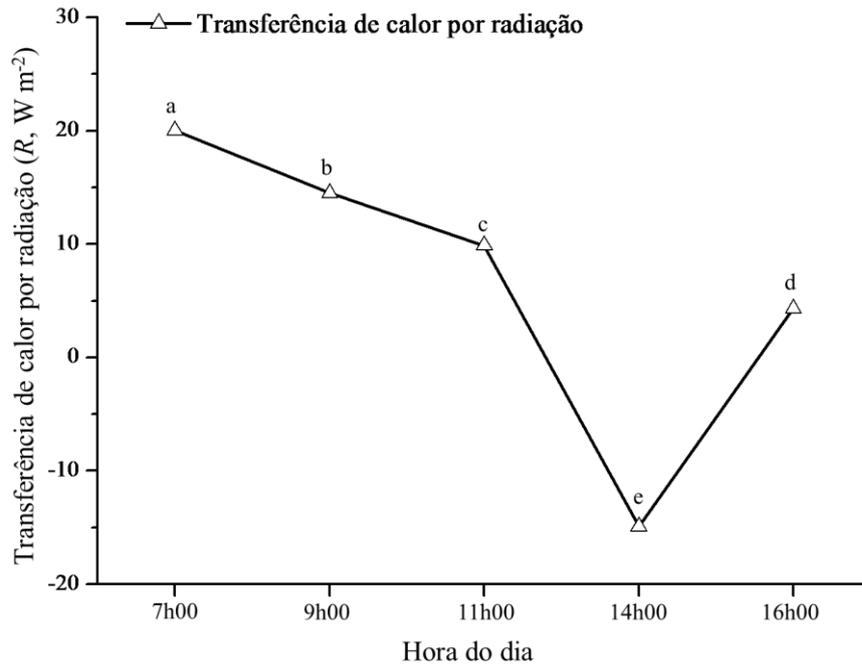


Figura 5. Transferência de calor por radiação ( $R$ ,  $W m^{-2}$ ) em cutias (*Dasyprocta leporina*) em diferentes horários do dia. Médias diferem entre si ao nível de significância de 1%.

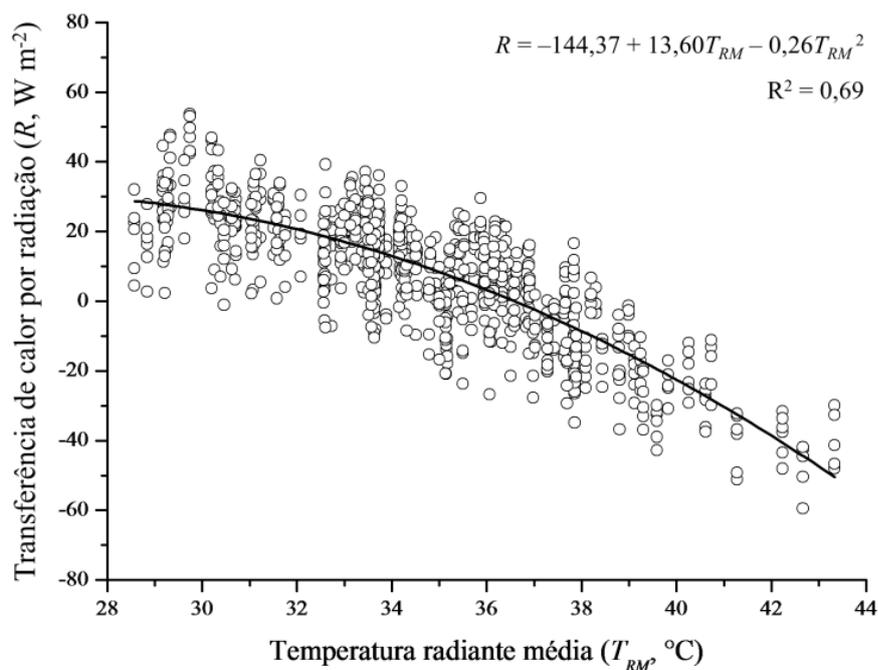


Figura 6. Transferência de calor por radiação ( $R$ ,  $W m^{-2}$ ) nas diferentes regiões corporais de cutias (*Dasyprocta leporina*) em função da temperatura radiante média ( $T_{RM}$ ,  $W m^{-2}$ ).

Tabela 3. Efeito da interação entre regiões corporais e hora do dia sobre a transferência de calor por convecção ( $C$ ,  $W m^{-2}$ ) em cutias (*Dasyprocta leporina*).

Hora	Regiões corporais					
	Focinho	Olho	Orelha	Corpo	Membros torácicos	Membros pélvicos
7h00	1,30±0,58 <sup>dA</sup>	1,96±0,57 <sup>cA</sup>	3,40±0,57 <sup>cA</sup>	13,77±0,57 <sup>aB</sup>	2,88±0,57 <sup>cA</sup>	10,45±0,57 <sup>bB</sup>
9h00	1,10±0,56 <sup>cA</sup>	1,58±0,56 <sup>cA</sup>	2,81±0,56 <sup>cA</sup>	11,65±0,56 <sup>aBC</sup>	2,47±0,57 <sup>cA</sup>	8,68±0,56 <sup>bB</sup>
11h00	0,88±0,59 <sup>cA</sup>	1,17±0,59 <sup>cA</sup>	2,49±0,59 <sup>cA</sup>	9,60±0,59 <sup>aC</sup>	2,20±0,60 <sup>cA</sup>	7,39±0,60 <sup>bC</sup>
14h00	2,08±0,60 <sup>cA</sup>	2,67±0,60 <sup>cA</sup>	4,59±0,60 <sup>cA</sup>	20,26±0,60 <sup>aA</sup>	4,80±0,60 <sup>cA</sup>	16,69±0,60 <sup>bA</sup>
16h00	2,25±0,63 <sup>bA</sup>	2,87±0,63 <sup>bA</sup>	5,10±0,63 <sup>bA</sup>	19,82±0,63 <sup>aA</sup>	5,03±0,63 <sup>bA</sup>	18,05±0,63 <sup>aA</sup>

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na mesma linha ou por letras maiúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P>0,05$ ).

$E$  sofreu efeito significativo ( $P<0,01$ ) da hora do dia (Figura 7).  $E$  ( $19,86\pm 1,67 W m^{-2}$ ) foi mais baixa às 7h00, com  $T_A$  de  $28,8\pm 0,07 ^\circ C$  e  $T_{RM}$  de  $31,04\pm 0,13 ^\circ C$ . Neste horário, o mecanismo de transferência térmica por radiação ( $20,02\pm 1,06 W m^{-2}$ ) foi suficiente para mover o calor corporal excedente (Figura 5). Às 11h00, a elevação da  $T_{RM}$  ( $35,88\pm 0,16 ^\circ C$ ) causou queda da  $R$  ( $9,86\pm 1,05 W m^{-2}$ ). Simultaneamente, houve aumento da  $T_A$  ( $34,00\pm 0,15 ^\circ C$ ) com diminuição da  $UR$  ( $41,90\pm 0,66 \%$ ), favorecendo o resfriamento evaporativo. O ambiente térmico e a  $T_R$  ( $38,63\pm 0,03 ^\circ C$ ) demandaram o aumento de  $E$  ( $52,53\pm 1,64 W m^{-2}$ ).

A combinação entre elevada  $V$  ( $3,50\pm 0,08 m s^{-1}$ ) e queda da  $T_A$  ( $31,68\pm 0,07 ^\circ C$ ) às 14h00, intensificou  $C$  ( $6,92\pm 0,59 W m^{-2}$ ) e diminuiu a dependência de  $E$  ( $29,78\pm 1,70 W m^{-2}$ ). No entanto,  $E$  permaneceu moderadamente elevada porque a quantidade de calor movimentada por convecção é pequena em relação àquela movimentada pela evaporação, não sendo suficiente para perder o calor excedente proveniente de  $R$  ( $-14,92\pm 1,10 W m^{-2}$ ), que nesse horário agiu como mecanismo de ganho de calor.

$E$  e  $T_R$  apresentaram fraca correlação com a  $T_S$  das regiões corporais. A  $T_S$  dos membros pélvicos foi a que apresentou o maior coeficiente de correlação (0,43) com  $T_R$ . Além disso, estabeleceu uma correlação moderada (0,50) com  $T_{RM}$  e  $CTR$ . A  $T_A$  foi a única variável a correlacionar-se fortemente com  $T_S$ , especialmente com a temperatura da superfície corporal (0,90). O fato dos animais estarem imersos na massa fluídica que corresponde à atmosfera, faz com que a  $T_A$  influencie a temperatura superficial dos corpos.

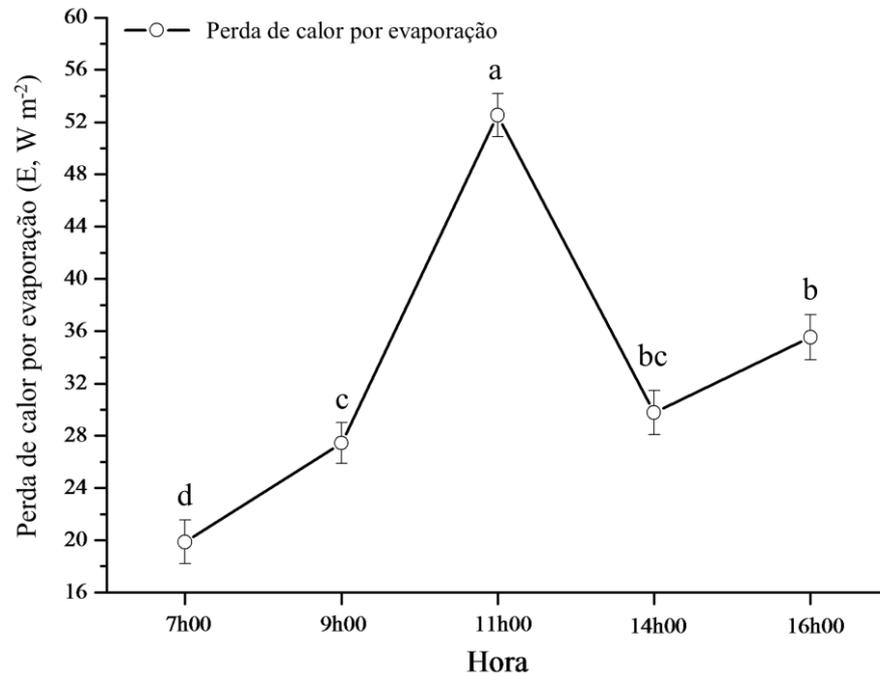


Figura 7. Perda de calor por evaporação em cutias (*Dasyprocta leporina*). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P > 0,05$ ).

Tabela 4. Coeficientes de correlação para a temperatura da superfície das diferentes regiões corporais de cutias (*Dasyprocta leporina*) e perda de calor por evaporação ( $E$ ,  $W m^{-2}$ ), temperatura retal ( $T_R$ ,  $^{\circ}C$ ), temperatura do ar ( $T_A$ ,  $^{\circ}C$ ), temperatura radiante média ( $T_{RM}$ ,  $^{\circ}C$ ) e carga térmica radiante ( $CTR$ ,  $W m^{-2}$ ).

Variáveis	Regiões corporais					
	Focinho	Olho	Orelha	Corpo	Membros torácicos	Membros pélvicos
$E$	0,36	0,36	0,40	0,37	0,44	0,40
$T_R$	0,37	0,35	0,40	0,34	0,42	0,43
$T_A$	0,85	0,86	0,79	0,90	0,81	0,79
$T_{RM}$	0,49	0,45	0,44	0,46	0,48	0,50
$CTR$	0,48	0,44	0,43	0,46	0,48	0,50

$P < 0,001$  para todos os coeficientes de correlação de Pearson apresentados.

## DISCUSSÃO

As orelhas e os membros pélvicos (tarsos, metatarsos e falanges) das cutias mostraram ser importantes sítios de termólise por radiação, funcionando como janelas térmicas biológicas. As janelas térmicas são regiões corporais, sob controle vasomotor, que podem ser “abertas” quando o animal encontra-se dentro ou acima da sua zona de termoneutralidade e “fechadas” para conservar calor metabólico a temperaturas ambientais mais baixas (TATTERSALL; ANDRADE; ABE, 2009). Assim, quando o animal está em estresse pelo calor, a temperatura superficial tende a aproximar-se da temperatura corporal central devido à vasodilatação, a fim de facilitar a termólise. Da mesma forma, a temperatura superficial irá aproximar-se da temperatura ambiental por meio da vasoconstrição, para reduzir a perda de calor (TATTERSALL; CADENA, 2010).

Janelas térmicas já foram relatadas em várias espécies de mamíferos, entre elas: focas (MAUCK et al., 2003; ERDSACK et al., 2012), ratos-toupeira (ŠUMBERA et al., 2007), lontras (KUHN; MEYER, 2009), leões-marinhos (NIENABER et al., 2010), elefantes africanos (WEISSENBOCK et al., 2010), camelos (ABDOUN et al., 2012), lêmures (MORITZ; DOMINY, 2012). No entanto, a maioria dos trabalhos especula sobre a importância efetiva das janelas térmicas para a manutenção da homeotermia, pois não quantificam as trocas térmicas entre a superfície corporal e o ambiente.

Apesar da contribuição expressiva das orelhas para a termólise por radiação, a quantidade de calor trocada com o ambiente pelo mecanismo convectivo foi insignificante. Por outro lado, a baixa densidade de pelos, a epiderme pigmentada e sua dimensão característica, tornam os membros pélvicos regiões importantes tanto na transferência de calor por radiação como por convecção em cutias. A perda de calor por convecção foi mais intensa naqueles horários em que a combinação de baixa temperatura do ar e elevada velocidade do vento proporcionaram uma renovação contínua da camada limite. Tal observação revela a importância das características estruturais dos recintos para a termorregulação desses roedores. As laterais em arame liso permitem uma circulação natural de ar dentro das instalações, favorecendo a perda de calor por convecção.

O corpo apresentou  $T_s$  superior apenas em relação ao focinho. Como os pelos nos mamíferos evoluíram para auxiliar a homeotermia, eles adicionam uma resistência à transferência de calor a partir da epiderme vascularizada, de modo que a  $T_s$  é inferior à temperatura da epiderme (DA SILVA; MAIA, 2013). Além disso, a capa de cobertura do terço posterior do corpo desses roedores é composta por pelos longos e hispídeos que são eriçados durante comportamentos de defesa, sugerindo ao predador ou agressor tratar-se de um animal maior. O aumento na espessura da cobertura de pelos nessa região eleva a

resistência à transferência de calor, fazendo com que a  $T_S$  difira do restante do corpo e aproxime-se da  $T_A$ , como visualizado nas imagens térmicas. Apesar da baixa  $T_S$  em relação a outras regiões corporais, o corpo apresentou uma elevada  $C$  por ser a região com a maior dimensão característica.

Os olhos, por sua vez, mantêm uma  $T_S$  elevada e constante por serem órgãos especializados e altamente vascularizados. Além disso, a ausência de isolamento térmico faz com que não sejam considerados janelas térmicas. A natureza constante da  $T_S$  desta região permite que seja utilizada como indicador do estado fisiológico e/ou metabólico sob condições controladas (NIENABER et al., 2010). Em animais de vida livre ou naqueles criados em recintos abertos, essa variável fisiológica deve ser usada com cautela e acompanhada do monitoramento do ambiente térmico.

O focinho apresentou a mais baixa  $T_S$  entre as regiões analisadas. Possivelmente, o resfriamento do sistema venoso que irriga a cavidade nasal pela evaporação da umidade presente na mucosa tenha efeito direto sobre a  $T_S$  (ver CAPUTA, 2004). Essa região foi a única a apresentar balanço térmico por radiação negativo, indicando ganho de calor. No entanto, esse ganho de calor por radiação não é fisiologicamente relevante por ser facilmente sobrepujado pelo resfriamento evaporativo e convecção respiratória. A baixa  $T_S$  e sua pequena dimensão tornam insignificante a participação do focinho nas trocas térmicas por convecção.

A  $T_R$  apresentou aumento progressivo ao longo dos horários de coleta em virtude da variação no ambiente térmico dentro das instalações, sofrendo apenas uma queda de  $0,27\text{ }^\circ\text{C}$  às 14h00. A elevação desta variável fisiológica sugere que, possivelmente, as cutias estoquem calor corporal durante o dia para, então, dissipá-lo com maior facilidade em horários mais frios. A pequena diminuição observada às 14h00 pode estar relacionada à elevada velocidade do vento, que intensificou as trocas térmicas por convecção. Esta hipótese é sustentada pelo fato da  $T_S$  ter sofrido um decréscimo de  $1,74\text{ }^\circ\text{C}$  nesse mesmo horário.

Pesquisas envolvendo mecanismos evaporativos para a manutenção da homeotermia em roedores normalmente empregam a método gravimétrico, quantificando a perda de água por evaporação em um dado intervalo de tempo. O método calorimétrico é útil na compreensão da termorregulação animal por expressar a quantidade de calor movimentado por unidade de área corporal. Sua aplicação em pequenos mamíferos é interessante porque a elevada relação área/volume nesses animais torna a superfície corporal a principal porta de transferência de calor. Nós observamos que a  $E$  foi o mecanismo de termólise mais importante no momento de maior desafio térmico, quando a radiação e a convecção foram dificultadas ou inibidas. Esse resultado assemelha-se àqueles onde a perda de água por evaporação aumentou

com elevação da  $T_A$ , como em *Chinchilla lanigera* (CORTÉS; ROSENMAN; BOZINOVIC, 2000a), *Chinchilla brevicaudata* (CORTÉS; TIRADO; ROSENMAN, 2003), *Ctenomys fulvus* (CORTÉS; ROSENMAN; BOZINOVIC, 2000b) e *Lagidium viscacia* (TIRADO; CORTÉS; BOZINOVIC, 2008).

Como este roedor é desprovido de glândulas sudoríparas (QUEIROZ, dados não publicados), a perda de água envolvida na termorregulação ocorre apenas através da evaporação respiratória e perspiração insensível. Este último mecanismo corresponde à perda passiva de água pelo tegumento e não apresenta significância para a manutenção da homeotermia (DA SILVA; MAIA, 2013). Os resultados pouco expressivos para a quantidade de calor movido por evaporação em cutias sugerem que mecanismos não-evaporativos ou comportamentais tenham uma importância maior para a manutenção da homeotermia. Cortés et al. (2003) explicam que a baixa perda de água por evaporação observado em muitos roedores de habitats áridos pode ser aparentemente desfavorável em altas temperaturas, mas esta adaptação é valiosa para manter a água corporal e prevenir a desidratação.

## CONCLUSÃO

Cutias utilizam o resfriamento evaporativo em momentos de maior desafio térmico. Esses roedores dispõem de regiões corporais especializadas em movimentar calor endógeno por radiação, chamadas janelas térmicas. As principais janelas térmicas são as orelhas e os membros pélvicos.

## TERMORREGULAÇÃO EM PREÁS (*Galea spixii* WAGLER, 1831)

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi determinar a transferência de calor por mecanismos evaporativos e não- evaporativos em preás, machos e fêmeas, em ambiente quente. Foram utilizados 28 espécimes, sendo 18 fêmeas e 10 machos. Cada animal foi submetido a três dias de amostragem, com coletas de dados realizadas em intervalos de uma hora, das 6h00 às 13h00. O ambiente térmico foi monitorado quanto à temperatura atmosférica, temperatura de bulbo úmido, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura de globo negro. A termografia infravermelha foi utilizada na aferição da temperatura de superfície em diferentes regiões corporais. Esta variável fisiológica foi, então, aplicada na determinação das trocas térmicas por radiação e convecção. A transferência de calor por radiação foi mais elevada na região periocular ( $45,23 \pm 0,81 \text{ W m}^{-2}$ ), seguida dos olhos ( $41,41 \pm 0,81 \text{ W m}^{-2}$ ), orelhas ( $31,56 \pm 0,80 \text{ W m}^{-2}$ ) e vibrissas ( $27,03 \pm 0,80 \text{ W m}^{-2}$ ). As temperaturas das regiões periorculares mostraram ser valorosas preditoras da temperatura retal, exibindo coeficiente de correlação de 0,61. A transferência de calor por convecção foi insignificante ( $0,54 \pm 0,56 \text{ W m}^{-2}$ ) para a manutenção da homeotermia. A termólise evaporativa constitui o principal mecanismo de transferência de calor, respondendo por  $123,71 \pm 0,71 \text{ W m}^{-2}$  em fêmeas e  $116,85 \pm 0,74 \text{ W m}^{-2}$ . A temperatura retal das fêmeas foi  $37,58 \pm 0,02 \text{ }^\circ\text{C}$  e dos machos  $37,47 \pm 0,02 \text{ }^\circ\text{C}$ . Esse é o primeiro relato de janelas térmicas descritas em *Galea spixii* e da importância do resfriamento evaporativo para a manutenção da homeotermia na espécie.

**Palavras-chave:** biologia térmica, transferência de calor, termografia, semiárido

**Abstract:** The aim of this study was to determine the evaporative and non-evaporative heat exchanges in Spix's yellow-toothed cavy, male and female, in a hot environment. Twenty-eight specimens, 18 females and 10 males, were used. Each animal was subjected to three sampling days, with data collection conducted at hourly intervals, from 6h00 to 13h00. The thermal environment was monitored for atmospheric temperature, wet bulb temperature, relative humidity, wind speed and black globe temperature. Infrared thermography was used in surface temperature measurement in different body regions. This physiological variable was then applied in the determination of heat exchange by radiation and convection. Heat transfer by radiation was higher in the periocular region ( $45.23 \pm 0.81 \text{ W m}^{-2}$ ), followed by

eyes ( $41.41 \pm 0.81 \text{ W m}^{-2}$ ), pinna ( $31.56 \pm 0.80 \text{ W m}^{-2}$ ) and vibrissae ( $27.03 \pm 0.80 \text{ W m}^{-2}$ ). The periocular surface temperature proved to be a valuable predictor of rectal temperature, showing a correlation coefficient of 0.61. Heat transfer by convection was insignificant ( $0.54 \pm 0.56 \text{ W m}^{-2}$ ) for maintaining homeothermy. Evaporative cooling was the major heat transfer mechanism, accounting for  $123.71 \pm 0.71 \text{ W m}^{-2}$  in females and  $116.85 \pm 0.74 \text{ W m}^{-2}$  in males. The rectal temperature of females was  $37.58 \pm 0.02 \text{ }^\circ\text{C}$  and males  $37.47 \pm 0.02 \text{ }^\circ\text{C}$ . This is the first report on thermal windows and evaporative heat loss in *Galea spixii*.

**Keywords:** thermal biology, heat transfer, thermal imaging, semiarid

## INTRODUÇÃO

A Caatinga estende-se por uma área de aproximadamente  $844.453 \text{ km}^2$ , o equivalente a 11% do território brasileiro. As áreas protegidas somam apenas 7,5% e pouco mais de 1% são áreas de proteção integral. O desmatamento é uma realidade em 46% deste bioma e continua avançando assustadoramente (MMA, 2016). A extração ilegal de madeira pela indústria carvoeira é um dos principais responsáveis pelo desmatamento. Soma-se, ainda, a pecuária extensiva e a transformação de áreas naturais em cultivadas. A principal forma de utilização da fauna silvestre é a caça predatória. Essa prática tem uma importância socioeconômica porque muitas espécies compõem a dieta do sertanejo, sendo uma importante fonte de proteína para a população carente que depende dos recursos naturais. Por outro lado, há uma demanda crescente por carne e subprodutos exóticos que acaba por estimular a caça, a criação domiciliar e a comercialização não regulamentadas de animais.

Conhecida por preá do Seridó ou da Caatinga, a espécie *Galea spixii* ocorre em grande parte do território brasileiro, sendo abundante nos biomas Amazônia, Pantanal, Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga (WOODS; KILPATRICK, 2005; PAGLIA et al., 2012). Na região Nordeste do país, figura entre os mamíferos silvestres utilizados na alimentação humana (MELO et al., 2014). Sua criação em cativeiro mostra-se uma alternativa viável à exploração das populações de vida livre, promovendo proteção à espécie em seus habitats naturais e atendendo a demanda por proteína animal. Esse tipo de atividade possibilita a utilização de áreas onde a pecuária tradicional é impraticável, a inserção de novos produtos e subprodutos com potencial mercadológico, e uma maior distribuição de renda (BRESSAN et al., 2002; MENDONÇA et al., 2006; LOPES et al., 2004; CAVALCANTE et al., 2005).

O sucesso da criação em cativeiro de preás, qualquer que seja sua finalidade, depende do conhecimento prévio sobre sua biologia térmica. O planejamento das instalações com a máxima observância aos aspectos biometeorológicos permitirá a expressão do potencial produtivo e reprodutivo da espécie. Novas tecnologias têm possibilitado avanços no conhecimento sobre a biologia térmica de endotérmicos. A termografia infravermelha, por exemplo, permite a compreensão dos mecanismos vasomotores periféricos envolvidos nas respostas às condições ambientais ou fisiológicas, a dinâmica de transferência de calor entre os animais e seus ambientes térmicos complexos, a termogênese, e a importância do resfriamento evaporativo para função respiratória (TATTERSALL; CADENA, 2010; TATTERSALL, 2016). É um método remoto, preciso e não invasivo que registra a radiação infravermelha emitida por uma superfície (SPEAKMAN; WARD, 1998; McCAFFERTY, 2007; TATTERSALL; CADENA, 2010). O presente estudo objetivou compreender a dinâmica térmica em preás criados em cativeiro em um ambiente semiárido através da aplicação da termografia infravermelha.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **LOCAL DE ESTUDO**

O estudo foi realizado no Centro de Multiplicação de Animais Silvestres – CEMAS (5°11' Sul e 37°20' Oeste, altitude de 16m) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA, campus Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. A região encontra-se dentro do domínio biogeográfico da Caatinga, um bioma exclusivamente brasileiro. O clima é semiárido quente e seco (tipo BSh), segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (1928).

### **ANIMAIS, INSTALAÇÕES E MANEJO**

O modelo animal foi o *Galea spixii*. Foram utilizados 28 espécimes, sendo 18 fêmeas e 10 machos. As fêmeas ocuparam três boxes, com seis animais por grupo, enquanto os machos foram separados em dois boxes, com cinco animais por grupo. Todos os boxes mediam 4,0 × 5,0 × 3,5 m (largura × comprimento × altura), parcialmente cobertos por telhas de fibrocimento, com piso em areia. As laterais possuíam uma mureta (0,4 m de altura) e tela de arame liso. Não foi utilizado sistema de iluminação artificial; os animais dispunham de iluminação natural entre as 5h30min e 17h30min. Os recintos possuíam, ainda, abrigos simulando tocas. O arraçoamento foi realizado uma vez ao dia em comedouro tipo bandeja.

Água estava à disposição em um bebedouro tipo garrafa (2L) com bico em alumínio para cada boxe. Os bebedouros foram monitorados diariamente quanto ao nível de água.



Figura 8. Instalações para a criação de preás (*Galea spixii*, W.) do Centro de Multiplicação de Animais Silvestres da Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 9. Preá (*Galea spixii*, W.) pertencente ao Centro de Multiplicação de Animais Silvestres da Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Fonte: Arquivo pessoal.

## PROTOCOLO EXPERIMENTAL

Cada grupo experimental, separadamente, foi submetido a três dias de amostragem, entre junho e julho de 2015. Os efeitos do ambiente térmico sobre a temperatura da superfície corporal, a transferência de calor por radiação, convecção e evaporação foram determinados em oito horários ao longo do dia (6h00, 7h00, 8h00, 9h00, 10h00, 11h00, 12h00 e 13h00). Em cada dia de amostragem, 30 min antes do início da coleta de dados, cada grupo era capturado e mantido em uma gaiola de dimensões  $0,5 \times 0,5 \times 0,4$  m (comprimento  $\times$  largura  $\times$  altura), com água e alimento à vontade, até o término das coletas. Este procedimento teve como objetivo reduzir os efeitos da contenção física sobre as respostas fisiológicas dos roedores. Iniciada as coletas, após o período de descanso, cada animal era retirado da gaiola para a aferição da temperatura retal ( $T_R$ , °C) com um termômetro clínico devidamente lubrificado. Em seguida, foram tomadas as imagens térmicas e determinada a termólise evaporativa.

## AMBIENTE TÉRMICO

O ambiente térmico foi monitorado quanto à temperatura atmosférica ( $T_A$ , °C), temperatura de bulbo úmido ( $T_W$ , °C), umidade relativa do ar ( $UR$ , %), velocidade do vento ( $V$ ,  $m\ s^{-1}$ ), temperatura de globo negro ( $T_G$ , °C).  $T_A$  e  $V$  foram medidas por um termomômetro de fio quente (Modelo TAFR-190, Instruterm, São Paulo, SP, Brasil).  $T_W$  e  $UR$  foram mensuradas através de um psicrômetro digital (Modelo ITHT-2600, Instrutemp, São Paulo, SP, Brasil).  $T_G$  foi aferida com um sensor de temperatura (Modelo tipo T, Salcas, São Paulo, Brasil) que foi conectado a um termômetro digital (Modelo ST-9215C, Hwa Tai Technology, Taipei, Taiwan) e introduzido no interior de um globo negro.

A temperatura radiante média ( $T_{RM}$ , °C) do ambiente foi estimada utilizando-se a equação (DA SILVA; MAIA, 2013):

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

onde  $k$  é a condutividade térmica do ar à temperatura  $T_A$  ( $W\ m^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ ),  $d_G$  é o diâmetro da esfera,  $\varepsilon_G$  é a emissividade do globo negro,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5,67051 \times 10^{-8}\ W\ m^{-2}\ K^{-4}$ ),  $Nu$  é o número adimensional de Nusselt. Para convecção natural e corpos esféricos,  $Nu$  é dado por (CHURCHILL, 2002):

$$Nu = 2 + \frac{0,589(GrPr)^{1/4}}{\left[ 1 + (0,469 / Pr)^{9/16} \right]^{4/9}}$$

onde  $Gr$  e  $Pr$  são os números adimensionais de Grashof e Prandtl, respectivamente.

Para convecção forçada (INCROPERA et al., 2007):

$$Nu = 2 + \left(0,4 Re^{1/2} + 0,06 Re^{2/3}\right) Pr^{0,4} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{1/4}$$

onde  $Re$  é o número de Reynolds;  $\mu$  é a viscosidade dinâmica do ar ( $\text{g m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ), dada por  $\mu = \rho \nu$  para a temperatura do ar  $T_A$ ;  $\mu_s$  é o valor de  $\mu$  para a temperatura da superfície da esfera. A densidade do ar ( $\rho$ ,  $\text{g m}^{-3}$ ) foi estimada por:

$$\rho = \frac{3483,358 P_A}{T_A}$$

onde  $P_A$  é a pressão atmosférica (kPa) e  $T_A$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A viscosidade cinemática do ar ( $\nu$ ,  $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) foi dada pela equação:

$$\nu = 1,32743 \times 10^{-5} + 9,22286 \times 10^{-8} T_A$$

onde  $T_A$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A  $T_{RM}$  foi aplicada no cálculo da carga térmica radiante ( $CTR$ ,  $\text{W m}^{-2}$ ) de acordo com a equação proposta por Da Silva e Maia (2013):

$$CTR = \sigma T_{RM}^4$$

onde  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5,67051 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ).

A  $T_{RM}$  corresponde à temperatura média de todas as superfícies reais e virtuais que compõem o meio ambiente. A  $CTR$  representa a quantidade de energia radiante presente em um determinado sistema onde há transferência de calor entre um corpo, animado ou inanimado, e seu ambiente (DA SILVA; MAIA, 2013).

## IMAGENS TÉRMICAS

A temperatura da superfície corporal ( $T_S$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) foi registrada por uma câmera termográfica (Modelo Flir b60, FLIR® Systems Inc., Oregon, EUA; amplitude de temperatura de  $-20$  a  $120$   $^{\circ}\text{C}$ , acurácia de  $\pm 2\%$ , sensibilidade térmica de  $0,07^{\circ}\text{C}$ ) calibrada para uma emissividade de 0.98. Para a captura das imagens térmicas, a câmera foi posicionada na altura do animal, a uma distância de 10 a 15 cm. Na composição do perfil térmico foram consideradas as seguintes regiões: focinho, vibrissas, superfícies oculares, superfícies perioculares, superfícies auriculares, cabeça (incluindo as regiões anteriores), corpo, membros torácicos e pélvicos. As imagens térmicas foram analisadas pelo software ThermaCAM Researcher Professional 2.10 (FLIR® Systems Inc., Oregon, EUA).

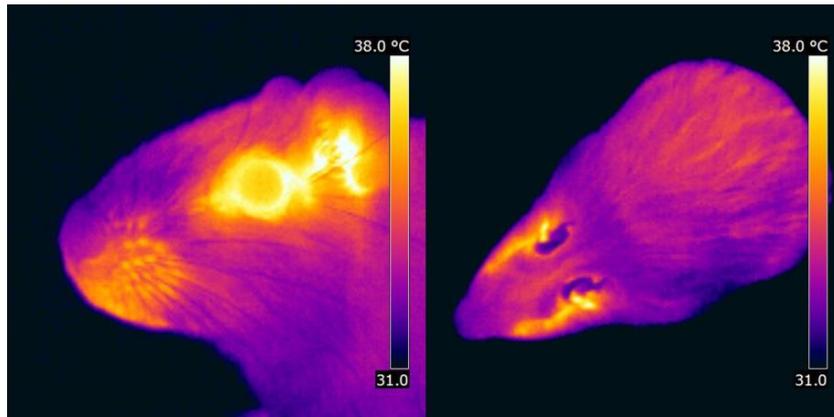


Figura 10. Termogramas de preás (*Galea spixii*).

Fonte: Arquivo pessoal.

### TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RADIAÇÃO

As trocas térmicas por radiação ( $R$ ,  $W m^{-2}$ ) foram estimadas pela equação:

$$R = \varepsilon_S \sigma (T_{RM}^4 - T_S^4)$$

onde  $\varepsilon_S = 0,98$  é a emissividade para tecidos biológicos,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5,67051 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ ),  $T_S$  é a temperatura da superfície corporal ( $^{\circ}C$ ).

### TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO

Um preá encontra-se em contato permanente com a atmosfera, um fluido gasoso. Junto à sua superfície, forma-se uma camada circundante desse fluido, através da qual ocorre troca térmica por condução. Esta camada é denominada camada limite e seu deslocamento caracteriza o mecanismo de transferência de energia térmica por convecção. O movimento da camada limite pode resultar de diferenças de densidade criadas por um gradiente de temperatura na massa do fluido (convecção natural) ou por forças mecânicas externas como o vento natural (convecção forçada). As trocas de calor por convecção ( $C$ ,  $W m^{-2}$ ) foram determinadas segundo a Lei de Fourier, pela equação:

$$C = \rho c_p (T_S - T_A) r_H^{-1}$$

onde  $\rho$  é a densidade do ar à temperatura  $T_A$  ( $g m^{-3}$ ),  $c_p$  é o calor específico do ar ( $J g^{-1} ^{\circ}C^{-1}$ ),  $T_S$  é a temperatura da superfície corporal ( $^{\circ}C$ ),  $T_A$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ) e  $r_H$  é a resistência da camada limite à transferência de calor por convecção, estimada pela equação:

$$r_H = \rho c_p d (kNu)^{-1}$$

onde  $d$  é a dimensão característica da superfície (m),  $k$  é a condutividade térmica do ar à temperatura  $T_A$  ( $W m^{-2} ^{\circ}C^{-1}$ ) e  $Nu$  é o número de Nusselt.

A transferência de calor por convecção foi calculada para as diferentes regiões corporais, aplicando na equação a  $T_S$  de cada região (focinho, vibrissas, superfícies oculares, superfícies perioculares, superfícies auriculares, cabeça, corpo, membros torácicos e pélvicos), mensurada por termografia infravermelha. A transferência total de calor por convecção foi, então, obtida pelo somatório do calculado para as regiões corporais.

Para tanto, foi utilizado um modelo virtual do preá formado por figuras geométricas simples (focinho = plano horizontal; vibrissas, olhos e orelhas = planos verticais; cabeça = esfera; corpo = cilindro horizontal; membros torácicos e pélvicos = cilindros horizontais). A dimensão característica de cada figura geométrica (isto é, de cada região corporal) foi utilizada no cálculo de  $r_H$  e do  $Nu$ . Inicialmente, foram obtidos os números de Reynolds ( $Re$ ), Prandtl ( $Pr$ ) e Grashof ( $Gr$ ):

$$Re = Udv^{-1}$$

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

$$Gr = gd^3(T_S - T_A)\nu^{-2}(T_A + 273,15)^{-1}$$

onde  $V$  corresponde à velocidade do vento ( $m\ s^{-1}$ ),  $k$  é a condutividade térmica ( $W\ m^{-2}\ ^\circ C^{-1}$ ),  $g$  é a aceleração gravitacional ( $m\ s^{-2}$ ),  $d$  é dimensão característica da superfície ( $m$ ),  $\nu$  é a viscosidade cinemática do ar ( $m^2\ s^{-1}$ ). A aceleração gravitacional foi estimada pela equação:

$$g = 9,78013 + 8,18 \times 10^{-5} L_t + 1,168 \times 10^{-5} L_t^2 - 3,1 \times 10^{-6} z$$

onde  $L_t$  é a latitude (graus decimais) e  $z$  é a altitude.

A relação  $GrRe^{-2}$  foi utilizada para determinar se houve convecção natural ( $GrRe^{-2} \geq 3$ ), forçada ( $GrRe^{-2} \leq 0,08$ ) ou uma combinação de ambas ( $0,08 < GrRe^{-2} < 3$ ). Na convecção natural,  $Nu$  para planos horizontais (INCROPERA et al., 2007) foi estimado pelas equações:

$$\text{para } 10^4 \leq GrPr \leq 10^7, \quad Nu = 0,54(GrPr)^{1/4}$$

$$\text{para } GrPr > 10^7, \quad Nu = 0,15(GrPr)^{1/3}$$

Para planos horizontais (CHURCHILL; CHU, 1975b):

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 (GrPr)^{1/6}}{\left[ 1 + (0,492 / Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

Para cilindros horizontais (CHURCHILL; CHU, 1975a):

$$Nu = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 (GrPr)^{1/6}}{\left[ 1 + (0,559 / Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

Na determinação de  $Nu$  para convecção forçada, consideramos a direção que o fluxo de ar que atinge o animal. No presente estudo, a direção do fluxo de ar foi padronizada como sendo paralela ao eixo longitudinal dos preás. Como os animais assumiam uma postura deitada sobre os membros no momento de tomada das imagens térmicas, flexionando os membros torácicos e pélvicos, o fluxo de ar foi paralelo em relação ao eixo (comprimento do cilindro horizontal) dos membros. Assim, o  $Nu$  para planos horizontais foi obtido pela equação (INCROPERA et al., 2007):

$$Nu = 0,332 Re^{1/2} Pr^{1/3}$$

Para cilindros com fluxo de ar paralelo ao eixo (INCROPERA et al., 2007):

$$Nu = 0,0296 Re^{4/5} Pr^{1/3}$$

Nos casos de convecção combinada, foram calculados os números de Nusselt para ambos os tipos de convecção, sendo obtido um valor ponderado:

$$Nu = \left( (Nu^N)^n + (Nu^F)^n \right)^{1/n}$$

onde  $Nu^N$  é número de Nusselt para convecção natural,  $Nu^F$  é o número de Nusselt para convecção forçada.  $n=3$  para o caso geral e  $n=3,5$  para planos horizontais.

## TERMÓLISE EVAPORATIVA

A perda de calor por evaporação ( $E$ ,  $W m^{-2}$ ) foi determinada pelo método calorimétrico. Inicialmente, cada animal era acomodado no interior de um calorímetro com capacidade volumétrica de 2L. Um analisador de gases automático (Modelo LI-7000, Li-Cor Biosciences, Lincoln, EUA) foi utilizado para determinar a pressão atmosférica ( $P_A$ , kPa) e a pressão parcial de vapor da atmosfera ( $P_p\{T_A\}$ , kPa). O analisador foi, então, conectado ao duto de saída de ar para determinação da pressão parcial de vapor do ar deixando o sistema ( $P_p\{T_C\}$ , kPa). A força de sucção do analisador foi suficiente para proporcionar circulação de ar no interior do calorímetro, não sendo necessária fonte de ventilação. A temperatura do ar no interior do calorímetro ( $T_C$ , °C) foi aferida por um sensor de temperatura (Modelo tipo T, Salcas, São Paulo, Brasil) que foi conectado a um termômetro digital (Modelo ST-9215C, Hwa Tai Technology, Taipei, Taiwan) e introduzido no interior do calorímetro.

$P_p\{T_A\}$  e  $P_p\{T_C\}$  foram utilizadas para calcular as umidades absolutas da atmosfera ( $\Psi_A$ ,  $g m^{-3}$ ) e do interior do calorímetro ( $\Psi_C$ ,  $g m^{-3}$ ), dadas pelas equações:

$$\Psi_A = \frac{10^3 M_w P_p\{T_A\}}{R T_A} = \frac{2166,87 P_p\{T_A\}}{T_A}$$

$$\Psi_C = \frac{10^3 M_W P_p \{T_C\}}{RT_C} = \frac{2166,87 P_p \{T_C\}}{T_C}$$

onde  $M_W$  é o peso molecular da água (18,0155 g mol<sup>-1</sup>) e  $R$  é a constante universal dos gases (8,3143 J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>). Como  $M_W$  e  $R$  são valores constantes, a equação pode ser simplificada para a forma apresentada à direita.

A termólise evaporativa ( $E$ , W m<sup>-2</sup>) foi então calculada pela equação:

$$E = \frac{\lambda f_C (\Psi_C - \Psi_A)}{A_S}$$

onde  $\lambda$  é o calor latente de vaporização da água (J g<sup>-1</sup> °C);  $f_C$  é o fluxo de ar através do calorímetro (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>);  $A_S$  é a área da superfície corporal do animal.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise de variância (ANOVA) para as variáveis meteorológicas, temperatura retal, temperatura da superfície corporal e trocas térmicas (radiação, convecção e evaporação) foi realizada pelo método dos quadrados mínimos (DA SILVA, 1993) utilizando o procedimento Modelo Lineares Gerais (GLM) do software Statistical Analysis System (SAS). As Análises de Regressão Não Lineares foram realizadas pelo software OriginPro 8. A Análise de Correlação entre temperatura da superfície das regiões corporais e perda de calor por evaporação, temperatura retal, temperatura do ar, temperatura radiante média e carga térmica radiante foi realizada utilizando o procedimento CORR (Proc CORR) do SAS. A ANOVA dos dados meteorológicos,  $T_R$  e  $E$  foi realizada de acordo com o seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + s_i + h_j + \varepsilon_{ijk}$$

onde  $Y_{ijk}$  é o  $k$ -ésimo dado meteorológico e de temperatura retal registrado na  $j$ -ésima hora para o  $i$ -ésimo sexo;  $\mu$  é a média geral;  $s$  é o efeito fixo do sexo;  $h$  é o efeito fixo do horário de coleta;  $\varepsilon_{ij}$  é o efeito residual e inclui as demais fontes de variação.

O modelo aplicado na ANOVA dos dados de temperatura da superfície corporal, transferência de calor por radiação e convecção foi:

$$Y_{ijkl} = \mu + s_i + r_j + h_k + I_{jk} + \varepsilon_{ijkl}$$

onde  $Y_{ijkl}$  é o  $l$ -ésimo dado de temperatura da superfície corporal, troca térmica por radiação e convecção registrado no  $i$ -ésimo sexo, na  $j$ -ésima região corporal, no  $k$ -ésimo horário de coleta;  $\mu$  é a média geral;  $s$  é o efeito fixo do sexo;  $r$  é o efeito fixo da região corporal;  $h$  é o efeito fixo do horário de coleta;  $I$  é o efeito da interação entre a  $i$ -ésima região corporal e o  $j$ -ésimo horário de coleta;  $\varepsilon_{ij}$  é o efeito residual e inclui as demais fontes de variação.

## RESULTADOS

O ambiente térmico sofreu efeito significativo ( $P < 0,05$ ) da hora do dia (Figura 11). A  $T_A$  aumentou progressivamente das 6h00 ( $24,54 \pm 0,06$  °C) às 13h00 ( $32,63 \pm 0,05$  °C). A  $T_{RM}$  ( $36,81 \pm 0,12$  °C) e, conseqüentemente, a  $CTR$  ( $523,75 \pm 0,79$  W m<sup>-2</sup>), atingiram o pico às 12h00. A  $UR$  ( $43,71 \pm 0,30$  %) apresentou uma relação inversa a  $T_A$ , com mínimo registrado às 13h00. A máxima  $V$  ( $1,82 \pm 0,03$  m s<sup>-1</sup>) ocorreu às 9h00.

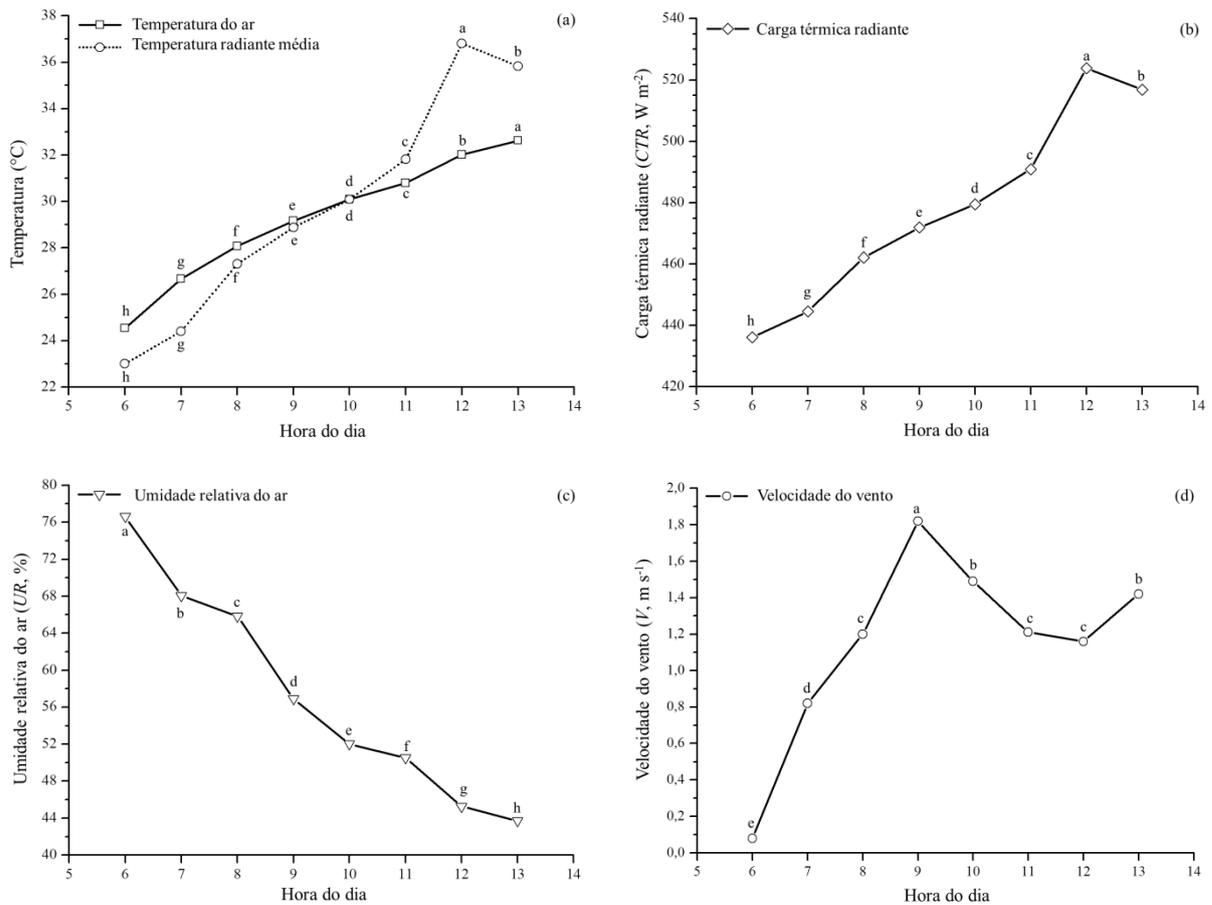


Figura 11. Média ( $\pm$  erro padrão) das variáveis meteorológicas nos diferentes horários do dia. Temperatura do ar ( $T_A$ , °C) e temperatura radiante média ( $T_{RM}$ , °C) (a), carga térmica radiante (b), umidade relativa do ar ( $UR$ , %) (c) e velocidade do vento ( $V$ , m s<sup>-1</sup>) (d). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P > 0,05$ ).

A  $T_S$  variou significativamente ( $P < 0,01$ ) em função da  $T_A$  (Figuras 12 e 13). As superfícies periorbitais ( $37,20 \pm 0,08$  °C) apresentaram a maior  $T_S$  (Tabela 5), seguidas dos olhos ( $36,60 \pm 0,08$  °C), orelhas ( $34,99 \pm 0,08$  °C) e vibrissas ( $27,03 \pm 0,80$  °C). Como a  $T_S$  da cabeça (Figura 13) reflete a temperatura de todas as superfícies que a compõe (focinho,

vibrissas, perioculares, oculares e auriculares), esta variável foi superior à do corpo e membros (Figura 12). Devido à elevada  $T_S$ , as superfícies perioculares ( $45,23 \pm 0,81 \text{ W m}^{-2}$ ) e oculares ( $41,41 \pm 0,81 \text{ W m}^{-2}$ ) exibiram alta  $R$  (Tabela 5).

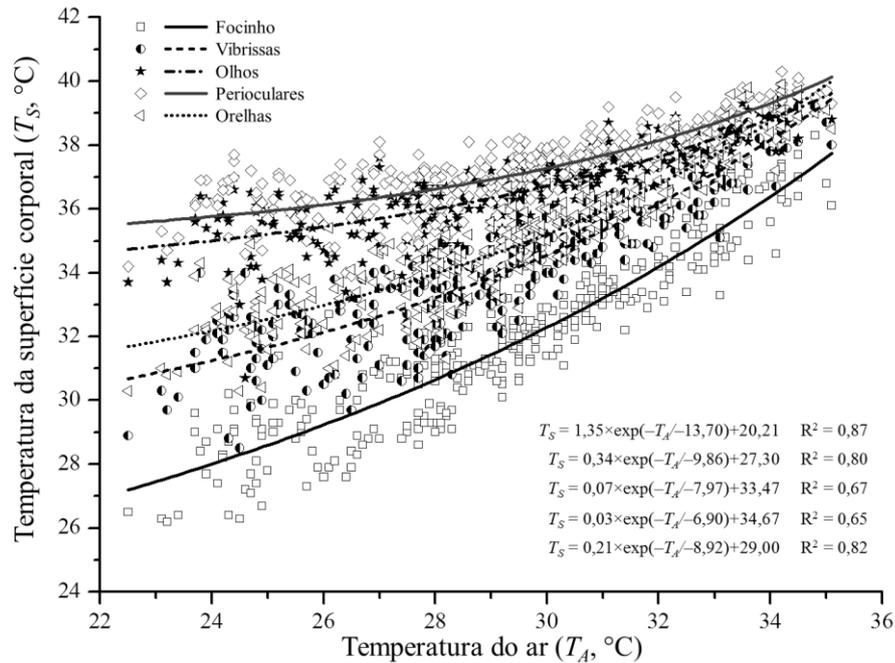


Figura 12. Temperatura de superfície ( $T_S$ , °C) das regiões do focinho, vibrissas, orelhas, olhos e perioculares de preás (*Galea spixii*) em função da temperatura do ar ( $T_A$ , °C).

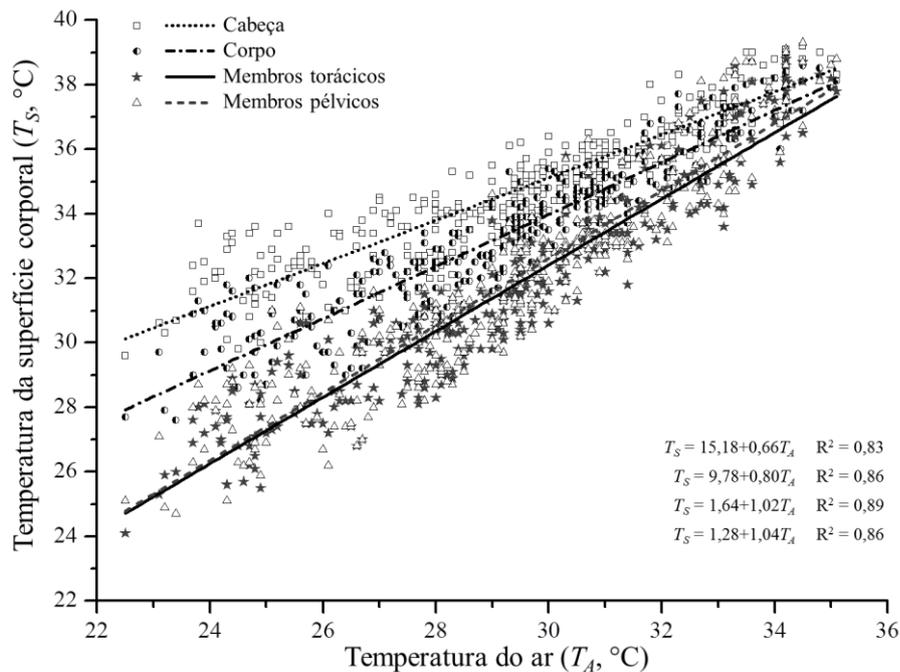


Figura 13. Temperatura de superfície ( $T_S$ , °C) das regiões da cabeça, corpo, membros torácicos e pélvicos de preás (*Galea spixii*) em função da temperatura do ar ( $T_A$ , °C).

Tabela 5. Temperatura da superfície corporal ( $T_S$ , °C) e transferência de calor por radiação ( $R$ ,  $W m^{-2}$ ) em preás (*Galea spixii*) nas diferentes regiões corporais.

Região corporal	$T_S$			$R$		
	Média±EP	Min.	Max.	Média±EP	Min.	Max.
Focinho	31,89±0,08 <sup>f</sup>	26,2	38,3	12,33±0,80 <sup>f</sup>	-51,21	51,62
Vibrissas	34,29±0,08 <sup>d</sup>	28,5	39,5	27,03±0,80 <sup>d</sup>	-38,66	65,38
Olhos	36,60±0,08 <sup>b</sup>	30,7	39,9	41,41±0,81 <sup>b</sup>	-28,58	85,15
Perioculars	37,20±0,08 <sup>a</sup>	31,5	40,3	45,23±0,81 <sup>a</sup>	-25,36	91,12
Orelhas	34,99±0,08 <sup>c</sup>	30,3	39,9	31,56±0,80 <sup>c</sup>	-36,45	71,36
Cabeça	34,61±0,08 <sup>d</sup>	29,6	39,2	29,20±0,80 <sup>cd</sup>	-38,66	67,37
Corpo	33,35±0,08 <sup>e</sup>	27,6	39,0	21,76±0,81 <sup>e</sup>	-41,88	57,26
Membros torácicos	31,66±0,08 <sup>f</sup>	24,1	38,8	11,49±0,80 <sup>f</sup>	-49,74	48,38
Membros pélvicos	31,86±0,08 <sup>f</sup>	24,7	39,3	12,58±0,80 <sup>f</sup>	-45,17	47,84

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P>0,05$ ). EP = erro padrão da média; Min. = valor mínimo; Max. = valor máximo.

$R$  variou significativamente ( $P<0,01$ ) em função da  $T_{RM}$  (Figura 14).  $R$  diminuiu progressivamente entre 6h00 ( $51,69\pm 1,26 W m^{-2}$ ) e 12h00 ( $-2,87\pm 0,69 W m^{-2}$ ). O elevado gradiente térmico gerado entre a  $T_S$  ( $31,26\pm 0,07 °C$ ) e a  $T_{RM}$  ( $23,00\pm 0,22 °C$ ) às 6h00 resultou no maior valor médio de  $R$  registrado durante o estudo. A  $T_{RM}$  manteve-se abaixo da  $T_A$ , e esta foi inferior à  $T_S$ , entre 6h00 e 10h00. Nesse período do dia,  $R$  funcionou como um importante mecanismo de termólise. A partir das 11h00, a  $T_{RM}$  superou a  $T_A$  e, conseqüentemente, a perda de calor por radiação foi inibida.

$C$  foi insignificante para a termorregulação de preás, nas condições do estudo, sendo de apenas  $0,53\pm 0,56 W m^{-2}$ . Possivelmente, a camada limite não foi renovada a uma taxa suficiente para promover a perda de calor pelo mecanismo convectivo devido à baixa velocidade do vento. A máxima  $V$  registrada foi  $1,82\pm 0,03 m s^{-1}$ .

Houve efeito significativo da interação entre sexo e termólise evaporativa em preás ( $P<0,01$ ).  $E$  elevou-se na medida em que o desafio térmico aumentou, chegando a  $149,69\pm 2,86 W m^{-2}$  em fêmeas e  $137,69\pm 2,17 W m^{-2}$  em machos às 13h00, revelando que o resfriamento evaporativo é o principal mecanismo de termólise em situações de estresse pelo calor. As diferenças entre os sexos foram observadas inicialmente às 9h00 (Figura 16), sendo registrada  $124,87\pm 1,87 W m^{-2}$  em fêmeas e  $114,26\pm 2,13 W m^{-2}$  em machos. A partir deste

horário, as fêmeas exibiram  $E$  superior aos machos, com exceção às 12h00. Possivelmente, o pico da  $T_{RM}$  tenha intensificado a termólise evaporativa nos machos.

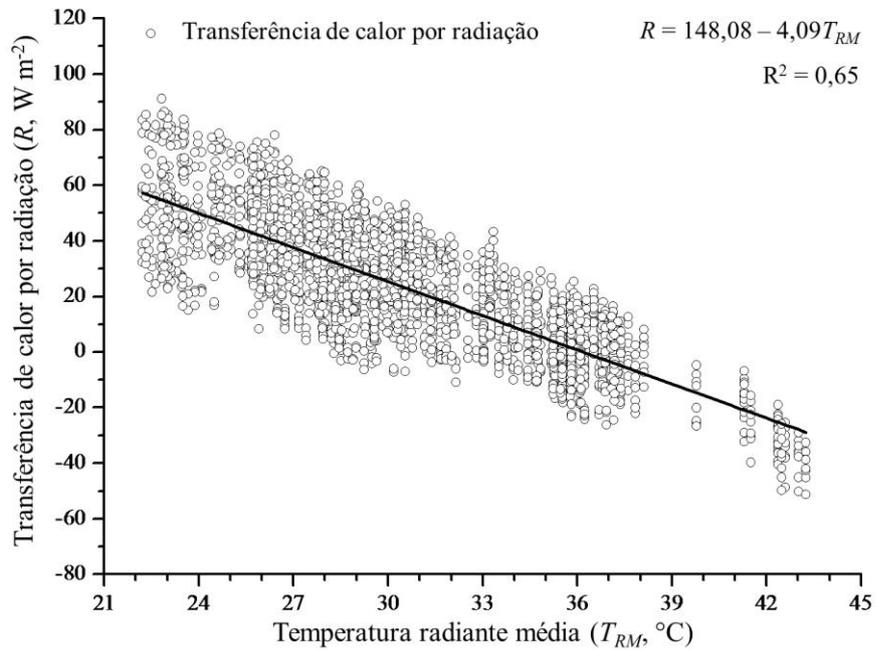


Figura 14. Transferência de calor por radiação ( $R$ ,  $W m^{-2}$ ) nas diferentes regiões corporais de preás (*Galea spixii*) em função da temperatura radiante média ( $T_{RM}$ ,  $W m^{-2}$ ).

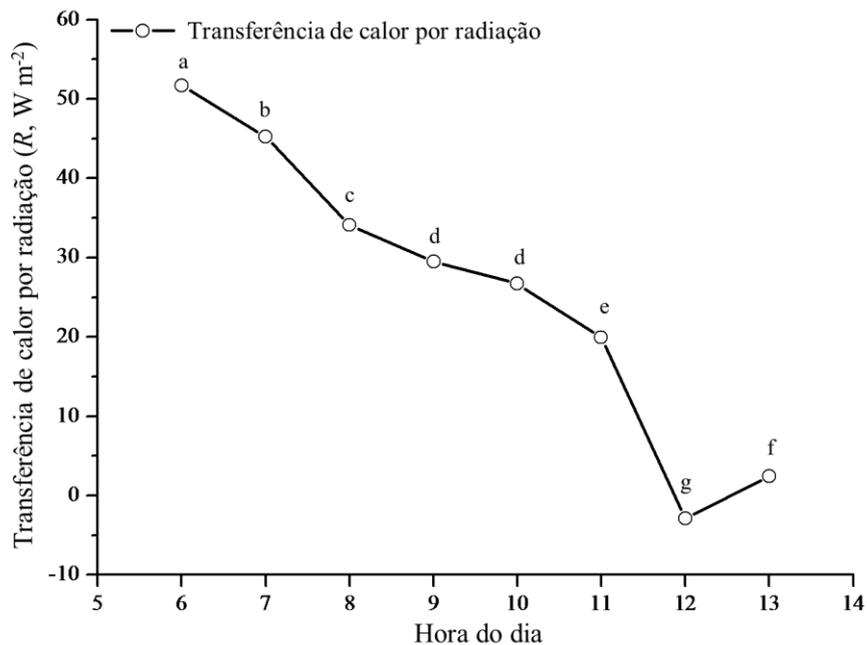


Figura 15. Perda de calor por radiação ( $R$ ,  $W m^{-2}$ ) em preás (*Galea spixii*). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P > 0,05$ ).

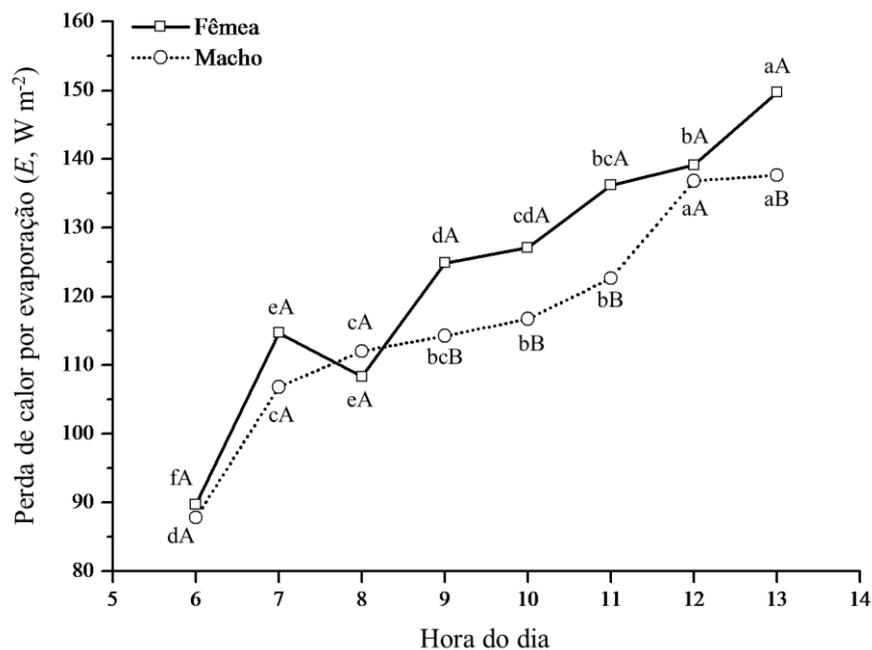


Figura 16. Perda de calor por evaporação ( $E$ ,  $W m^{-2}$ ) em machos e fêmeas de *Galea spixii*. Letras minúsculas representam comparações de médias ao longo do dia. Letras maiúsculas representam comparações de médias entre os sexos, em cada horário do dia. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P > 0,05$ ).

A interação entre o sexo e a  $T_R$  foi observada apenas às 11h00 ( $P < 0,01$ ), com a  $T_R$  de fêmeas ( $37,32 \pm 0,06$  °C) e machos ( $37,72 \pm 0,07$  °C) diferindo entre si. A elevada  $T_R$  no primeiro horário de coleta, em machos ( $37,62 \pm 0,06$  °C) e fêmeas ( $37,67 \pm 0,06$  °C), quando a  $T_A$  ( $24,54 \pm 0,06$  °C) e a  $T_{RM}$  ( $23,00 \pm 0,22$  °C) no interior das instalações encontravam-se baixas, deve-se ao esforço físico realizado pelos animais durante a captura. O período de repouso de 30 min entre a contenção física e o início das coletas de dados não foi suficiente para permitir o retorno à normotermia. Às 7h00, a  $T_R$  baixou significativamente, em machos ( $36,69 \pm 0,07$  °C) e fêmeas ( $37,02 \pm 0,06$  °C), sugerindo que um período de repouso de uma hora reduziria os efeitos da contenção física sobre dados de termometria em preás.

A  $E$  apresentou fraca correlação com a  $T_S$  das regiões corporais. As temperaturas das superfícies perioculares (0,61) e oculares (0,58) apresentaram correlação positiva moderada com  $T_R$ . A  $T_S$  das regiões corporais exibiram forte correlação positiva com a  $T_{RM}$  e, conseqüentemente, com a  $CTR$ . Os membros torácicos (0,85) e pélvicos (0,84) foram aquelas com maiores coeficientes. As regiões das vibrissas, perioculares, oculares e auriculares estabeleceram forte correlação positiva com a  $T_A$ . As demais regiões apresentaram uma correlação positiva muito forte com esta variável meteorológica.

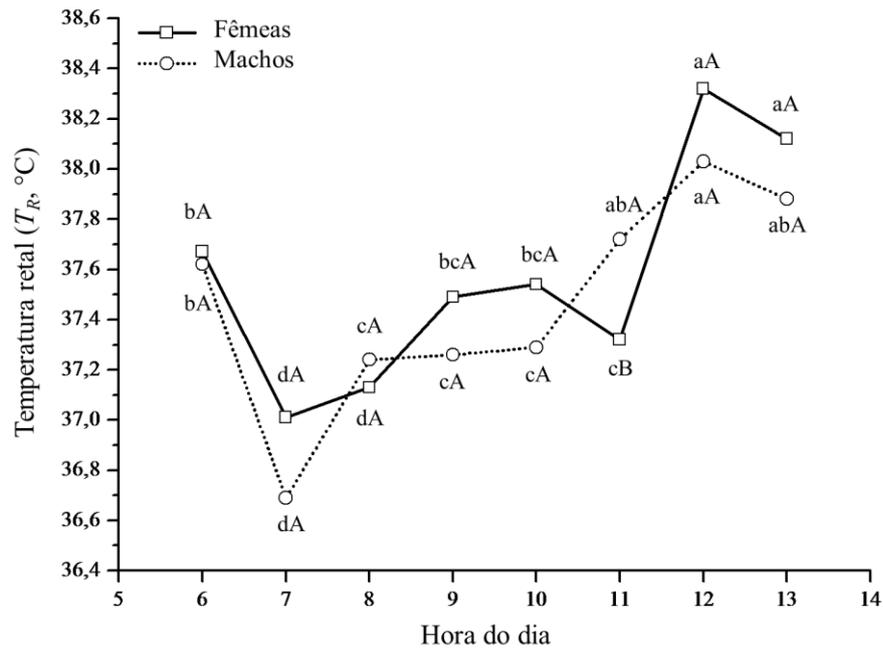


Figura 17. Temperatura retal ( $T_R$ , °C) de machos e fêmeas de *Galea spixii*. Letras minúsculas representam comparações de médias ao longo do dia. Letras maiúsculas representam comparações de médias entre os sexos, em cada horário do dia. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey-Kramer ( $P > 0,05$ ).

Tabela 6. Coeficientes de correlação para a temperatura da superfície das diferentes regiões corporais de preás (*Galea spixii*) e perda de calor por evaporação ( $E$ ,  $W m^{-2}$ ), temperatura retal ( $T_R$ , °C), temperatura do ar ( $T_A$ , °C), temperatura radiante média ( $T_{RM}$ , °C) e carga térmica radiante ( $CTR$ ,  $W m^{-2}$ ).

Regiões corporais	Variáveis				
	$E$	$T_R$	$T_A$	$T_{RM}$	$CTR$
Focinho	0,17	0,51	0,92	0,83	0,83
Vibrissas	0,17	0,55	0,88	0,81	0,81
Perioculars	0,17	0,61	0,79	0,72	0,72
Olhos	0,15	0,58	0,81	0,76	0,76
Orelhas	0,19	0,52	0,90	0,79	0,79
Cabeça	0,18	0,52	0,91	0,81	0,81
Corpo	0,18	0,50	0,93	0,81	0,81
Membros torácicos	0,18	0,46	0,94	0,85	0,85
Membros pélvicos	0,18	0,49	0,93	0,84	0,84

$P < 0,01$  para todos os coeficientes de correlação de Pearson apresentados.

## DISCUSSÃO

As principais janelas térmicas biológicas em preás (*Galea spixii*) foram as regiões perioculares, auriculares e as vibrissas. As superfícies perioculares foram aquelas com maior participação nas trocas térmicas por radiação. A elevada temperatura nestas regiões está associada à diminuição da resistência à transferência do calor proveniente da epiderme, devido à ausência de pelos nas bordas e comissuras palpebrais, aliada a um pelame curto revestindo a região. A moderada correlação positiva (0,61) estabelecida com a temperatura retal torna a temperatura periocular um importante preditor da temperatura corporal. Assim, a termografia infravermelha pode ser utilizada na avaliação da condição térmica de preás, evitando a manipulação e seus efeitos sobre a homeostase dos animais.

Apesar da significativa participação nas trocas térmicas por radiação nos preás, as superfícies oculares não são consideradas janelas térmicas devido à completa ausência de isolamento térmico (NIENABER et al., 2010). A temperatura permanece constante e elevada por se tratar de órgãos sensoriais altamente vascularizados, podendo ser utilizada como indicador da temperatura corporal (JOHNSON et al., 2011). Em preás, a temperatura dos olhos apresentou correlação positiva moderada (0,58) com a temperatura retal.

As vibrissas também são órgãos que compõem o sistema sensorial de várias espécies animais. Por ser um roedor de hábitos terrestre e fossorial, as vibrissas dos preás desempenham um importante papel na localização de alimento, contato interespecífico e locomoção. Diferentemente dos olhos, essas áreas são cobertas por pelos que lhes confere isolamento térmico. O mecanismo vasomotor permite que o animal exerça algum controle sobre a temperatura da região, mantendo a sensibilidade tátil em condições ambientais diversas. Em pinípedes e cetáceos, animais nos quais esses órgãos são essenciais na localização e captura de alimento, a termografia infravermelha revelou aquecimento seletivo das vibrissas. O aumento da temperatura torna essas regiões sítios de termólise, agravando o problema da conservação de calor enfrentado por mamíferos aquáticos, pois a condutividade térmica da água é superior à do ar (MAUCK et al., 2000; ERDSACK et al., 2014).

A função primordial das orelhas nos mamíferos é aumentar a acuidade auditiva. Sua função termorreguladora é secundária, porém, não menos importante para muitas espécies. Esses apêndices possuem uma alta relação área/volume e extensa rede vascular, facilitando a transferência de calor por mecanismos não-evaporativos. O controle vasomotor e sua importância para a homeotermia são espécie-específicas. A natureza membranosa, a baixa densidade de pelos e a rica vascularização subcutânea tornam as orelhas dos preás importantes

sítios de termólise por radiação. Os termogramas revelaram que a temperatura de superfície foi mais elevada nas áreas próximas aos meatos acústicos externos, diminuindo em direção às extremidades das orelhas externas. O papel das orelhas na termorregulação já foi investigada em coelhos (MOHLER; HEATH, 1988; TAYLOR; DICARLO; BISHOP, 1992) e elefantes africanos (PHILLIPS; HEATH, 1992; WEISSENBOECK et al., 2010). Mohler e Heath (1988) observaram que, a temperaturas atmosféricas de 15 e 25 °C, a temperatura de superfície das orelhas de coelhos foi de 23 e 36,2 °C, respectivamente. A quantidade total de calor trocada por esta região foi de 2,8 e 4,4 W, respectivamente. Phillips e Heat (1992) estimaram perdas de calor de 10,67 e 76,2 W nas orelhas de elefantes africanos, a temperaturas atmosféricas de 14 e 32 °C, representando 0,65 e 4,64% da taxa metabólica basal, respectivamente.

O ambiente térmico no interior das instalações, especialmente a temperatura radiante média, afetou significativamente a transferência de calor por radiação em preás. A termólise por radiação assume grande importância na termorregulação animal quando a temperatura do ar encontra-se mais baixa que a corporal e a temperatura radiante média mantém-se abaixo da temperatura do ar. Entretanto, em regiões de baixa latitude a temperatura do ar encontra-se frequentemente próxima da corporal ou a excede. Além disso, a temperatura radiante média do ambiente tende a ser muito mais elevada que a atmosférica. Conseqüentemente, a termólise por radiação é dificultada ou suprimida (SILVA et al., 2002).

Na medida em que a termólise por radiação foi inibida pela ascensão da temperatura radiante média, a temperatura retal elevou-se e os preás tornaram-se dependentes dos mecanismos evaporativos para manterem a homeotermia. O resfriamento evaporativo é o único capaz de movimentar calor corporal contra um gradiente de temperatura, pois são regidos por um gradiente de pressão parcial de vapor (WALSBERG, 2000). Na evaporação respiratória, esse gradiente é gerado entre a pressão parcial de vapor do ar inspirado e a pressão parcial de vapor no trato respiratório. É um mecanismo energeticamente dispendioso que pode resultar em déficit hídrico.

O efeito da contenção física observado em preás é característico de pequenos roedores. Além do esforço físico empregado quando o animal resiste à manipulação, estímulos estressores que geram medo desencadeiam uma hipertermia psicogênica de duração variável (EBERLI et al., 2011; CAREAU et al., 2012). Este aumento da temperatura corporal central pode ser acompanhado por uma vasoconstrição periférica, como mecanismo de proteção durante a resposta de “luta ou fuga” (VIANNA; CARRIVE, 2005). Assim, deve-se proporcionar um período de descanso para animais submetidos à contenção física para que estímulos estressores não interfiram em suas respostas fisiológicas. Na obtenção de dados de

termometria, utilizando a temperatura retal como medida da temperatura corporal central em preás, sugere-se um período de descanso de uma hora.

## **CONCLUSÃO**

Preás utilizam as regiões perioculares, orelhas e vibrissas como janelas térmicas, que favorecem a termólise por radiação em ambientes quente. A transferência de calor por convecção é insignificante nesta espécie. O resfriamento evaporativo torna-se o principal mecanismo de termólise quando a perda de calor por radiação é inibida pelo ambiente térmico no interior das instalações.

### **3 CONCLUSÃO GERAL**

Tanto mecanismos não-evaporativos quanto evaporativos são importantes para a manutenção da homeotermia de cutias e preás em ambiente semiárido. A termografia infravermelha mostrou ser uma importante ferramenta para avaliar o status térmico desses roedores, os quais utilizam regiões corporais especializadas na transferência de calor, correspondendo às janelas térmicas.

#### 4 REFERÊNCIAS

ABDOUN, K. A.; SAMARA, E. M.; OKAB, A. B.; AL-HAIDARY, A. A. Regional and circadian variations of sweating rate and body surface temperature in camels (*Camelus dromedarius*). **Animal Science Journal**, v. 83, p. 556-561, 2012.

BONVICINO, C. R.; OLIVEIRA, J. A.; D'ANDREA, P. S. **Guia dos roedores do Brasil, com chaves para gêneros baseadas em caracteres externos**. Rio de Janeiro: Centro Pan-Americano de Febre Aftosa - OPAS/OMS, 2008. 120p.

BOZINOVIC, F.; LAGOS, J. A.; VÁSQUES, R. A.; KENAGY, G. J. Time and energy use under thermoregulatory constraints in a diurnal rodent. **Journal of Thermal Biology**, v. 25, p. 251-256, 2000.

BOZINOVIC, F.; GALLARDO, P. The water economy of South American desert rodents: from integrative to molecular physiological ecology. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 142, p. 163-172, 2006.

BRESSAN, M. C.; MIGUEL, G. Z.; FARIA, P. B.; VIEIRA, J. O.; ODA, S. H. I. Rendimento de carcaça e de cortes comerciais de capivaras (*Hydrochaeris hydrochaeris* L.1766). **Ciência Agrotecnológica**, Edição especial, p. 1588-1593, 2002.

BROOKE, C. Conservation and adaptation to climate change. **Conservation Biology**, v. 22, n. 6, p. 1471-1476, 2008.

CAPUTA, M. Selective brain cooling: a multiple regulatory mechanism. **Journal of Thermal Biology**, v. 29, p. 691-702, 2004.

CAREAU, V.; RÉALE, D.; GARANT, D.; SPEAKMAN, J. R.; HUMPHRIES, M. M. Stress-induced rise in body temperature is repeatable in free-ranging Eastern chipmunks (*Tamias striatus*). **Journal of Comparative Physiology B**, v. 182, p. 403-414, 2012.

CAVALCANTE, R. R.; ALMEIDA, M. M.; MOURA, S. G.; MARTINS JÚNIOR, L. M.; CONDE JÚNIOR, A. M.; CARVALHO, M. A. M.; LOPES, J. B. Peso pós-parto, frequência e prevalência do tipo de parto de cutias (*Dasyprocta sp.*) criadas em cativeiro. **Ciência Animal Brasileira**, v. 6, n. 2, p. 67-70, 2005.

CHURCHILL, S. W. Free convection around immersed bodies. In: HEWITT, G. F. (Ed). **Heat Exchange Design Handbook, Section 2.5.7**. New York: Begell House, 2002.

CHURCHILL, S. W.; BERNSTEIN, M. Correlating equation for forced convection from gases and liquids to a circular cylinder in crossflow. **Journal of Heat Transfer**, v. 94, p. 300-305, 1977.

CHURCHILL, S. W.; CHU, H. H. S. Correlating equations for laminar and turbulent free convection from a horizontal cylinder. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 18, p. 1049-1055, 1975a.

CHURCHILL, S. W.; CHU, H. H. S. Correlating equations for laminar and turbulent free convection from a vertical plate. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 18, p.1323-1330, 1975b.

CID, B.; FIGUEIRA, L.; MELLO, A. F. T. E.; PIRES, A. S.; FERNANDEZ, F. A. S. Short-term success in the reintroduction of the red-humped agouti *Dasyprocta leporina*, an important seed disperser, in a Brazilian Atlantic Forest reserve. **Tropical Conservation Science**, v. 7, n. 4, p. 796-810, 2014.

CONROY, M. J.; RUNGE, M. C.; NICHOLS, J. D.; STODOLA, K. W.; COOPER, R. J. Conservation in the face of climate change: The roles of alternative models, monitoring, and adaptation in confronting and reducing uncertainty. **Biological Conservation**, v. 144, p. 1204-1213, 2011.

CORTÉS, A.; ROSENMANN, M.; BOZINOVIC, F. Relación costo-beneficio en la termorregulación de *Chinchilla lanígera*. **Revista Chilena de Historia Natural**, v. 73, p. 351-357, 2000a.

CORTÉS, A.; ROSENMANN, M.; BOZINOVIC, F. Water economy in rodent: evaporative water loss and metabolic water production. **Revista Chilena de Historia Natural**, v. 73, p. 311-321, 2000b.

CORTÉS, A.; TIRADO, C.; ROSENMANN, M. Energy metabolism and thermoregulation in *Chinchilla brevicaudata*. **Journal of Thermal Biology**, v. 28, p. 489-495, 2003.

DA SILVA, R. G. **Manual de procedimentos em análise por quadrados mínimos**. Jaboticabal: Funep, 1993. 171p.

DA SILVA, R. G.; GUILHERMINO, M. M.; MORAIS, D. A. E. F. Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, p. 5-11, 2010.

DA SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. **Principles of animal biometeorology**. v. 2. New York: Springer, 2013. 261p.

EBERLI, P.; GEBHARDT-HEINRICH, S. G.; STEIGER, A. The influence of handling and exposure to a ferret on body temperature and running wheel activity of golden hamsters (*Mesocricetus auratus*). **Applied Animal Behaviour Science**, v. 131, p. 131-137, 2011.

EISENBERG, J. F.; REDFORD K. H. **Mammals of the Neotropics, The Central Neotropics: Ecuador, Peru, Bolivia, Brazil**. Chicago: University Chicago Press, 1999. 624p.

EMMONS, L.; REID, F. *Dasyprocta leporina*. 2008. The IUCN Red List of Threatened Species: e.T6284A12596441. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T6284A12596441.en>. Acessado em: 6 de abril de 2016.

ERDSACK, N.; DEHNHARDT, G.; HANKE, W. Thermoregulation of the vibrissal system in harbor seals (*Phoca vitulina*) and Cape fur seals (*Arctocephalus pusillus pusillus*). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 452, p. 111-118, 2014.

ERDSACK, N.; HANKE, F. D.; DEHNHARDT, G.; HANKE, W. Control and amount of heat dissipation through thermal windows in harbor seals (*Phoca vitulina*). **Journal of Thermal Biology**, v. 37, p. 537-544, 2012.

FIELD, C. B.; BARROS, V. R.; DOKKEN, D. J.; MACH, K. J.; MASTRANDREA, M. D.; BILIR, T. E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K. L.; ESTRADA, Y. O.; GENOVA, R. C.; GIRMA, B.; KISSEL, E. S.; LEVY, A. N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P. R.; WHITE, L. L. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Nova York: Cambridge University Press, 2014. 1132 pp.

HAIM, A.; ALMA, A.; NEUMAN, A. Body mass is a thermoregulatory adaptation of diurnal rodents to the desert environment. **Journal of Thermal Biology**, v. 31, p. 168-171, 2006.

HANSEN, L.; HOFFMAN, J.; DREWS, C.; MIELBRECHT, E. Designing climate-smart conservation: guidance and case studies. **Conservation Biology**, v. 24, n. 1, p. 63-69, 2010.

INCROPERA, S.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentals of heat and mass transfer**. New York: J. Wiley, 2007.

ITIS – INTEGRATED TAXONOMIC INFORMATION SYSTEM. Disponível em: <http://www.itis.gov/>. Acessado em: 17 de março de 2016.

JOHNSON, S. R.; RAO, S.; HUSSEY, S. B.; MORLEY, P. S.; TRAUB-DARGATZ, J. L. Thermographic eye temperature as an index to body temperature in ponies. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 31, p. 63-66, 2011.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928. Wall-map 150cmx200cm.

KUHN, R. A.; MEYER, W. Infrared thermography of the body surface in the Eurasian otter *Lutra lutra* and the giant otter *Pteronura brasiliensis*. **Aquatic Biology**, v. 6, p. 143-152, 2009.

LOPES, J. B.; CAVALCANTE, R. R.; ALMEIDA, M. M.; CARVALHO, M. A. M.; MOURA, S. G.; DANTAS FILHO, L. A.; CONCEIÇÃO, W. L. F. Desempenho de cutias (*Dasyprocta prymnolopha*) criadas em cativeiro do nascimento até o desmame em Teresina, Piauí. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, 2004.

MAUCK, B.; BILGMANN, K.; JONES, D. D.; EYSEL, U.; DEHNHARDT, G. Thermal windows on the trunk of hauled-out seals: hot spots for thermoregulatory evaporation? **The Journal of Experimental Biology**, v. 206, p. 1727-1738, 2003.

MAUCK, B.; EYSEL, U.; DEHNHARDT, G. Selective heating of vibrissal follicles in seals (*Phoca vitulina*) and dolphins (*Sotalia fluviatilis guianensis*). **Journal of Experimental Biology**, v. 203, n. 14, p. 2125-2131, 2000.

McCAFFERTY, G. J. The value of infrared thermography for research on mammals: Previous applications and future directions. **Mammal Review**, v. 37, p. 207-223, 2007.

McCARTY, J. P. Ecological consequences of recent climate change. **Conservation Biology**, v. 15, n. 2, p. 320-331, 2002.

McMANUS, C.; TANURE, C. B.; PERIPOLLI, V.; SEIXAS, L.; FISCHER, V.; GABBI, A. M.; MENEGASSI, S. R. O.; STUMPF, M. T.; KOLLING, G. J.; DIAS, E.; COSTA JR., J. B. G. Infrared thermography in animal production: An overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 123, p. 10-16, 2016.

McNAB, B. K. The physiological ecology of vertebrates: a view from energetic. Ithaca, New York: Cornell University Press, 2002. 576p.

MELO, R. S.; DA SILVA, O. C.; SOUTO, A.; ALVES, R. R. N.; SCHIEL, N. The role of mammals in local communities living in conservation areas in the Northeast of Brazil: an ethnozoological approach. **Tropical Conservation Science**, v. 7, n. 3, p. 423-439, 2014.

MENDONÇA, I. L.; ALMEIDA, M. M.; CONDE JÚNIOR, A. M.; CAVALCANTE, A. R.; MOURA, S. G.; CARVALHO, M. A. M. Análise coproparasitológica de cutias (*Dasyprocta sp.*) criadas em cativeiro. **Ciência Animal Brasileira**, v. 7, n. 3, p. 285-288, 2006.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Caatinga. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>. Acessado em: 07 de maio de 2016.

MOHLER, F. S.; HEATH, J. E. Comparison of IR thermography and thermocouple measurement of heat loss from rabbit *pinna*. **American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 254, n. 2, p. 389-395, 1988.

MORITZ, G. L.; DOMINY, N. J. Thermal imaging of Aye-Ayes (*Daubentonia madagascariensis*) reveals a dynamic vascular supply during haptic sensation. **International Journal of Primatology**, v. 33, p. 588-597, 2012.

NÄÄS, I. A.; GARCIA, R. G.; CALDARA, F. R. Infrared thermal image for assessing animal health and welfare. **Journal of Animal Behavior and Biometeorology**, v. 2, n. 3, p. 66-72, 2014.

NIENABER, J.; THOMTON, J.; HORNING, M.; POLASEK, L.; MELLISH, J-A. Surface temperature patterns in seals and sealions: A validation of temporal and spatial consistency. **Journal of Thermal Biology**, v. 35, p. 435-440, 2010.

PAGLIA, A. P.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B.; HERRMANN, G.; AGUIAR, L. M. S.; CHIARELLO, A. G.; LEITE, Y. L. R.; COSTA, L. P.; SICILIANO, S.; KIERULFF, M. C. M.; MENDES, S. L.; TAVARES, V. DA C.; MITTERMEIER, R. A.; PATTON J. L. **Lista Anotada dos Mamíferos do Brasil**. 2 ed. Arlington: Conservation International, 2012. 76p.

PARRY, M. L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOF, J. P.; VAN DER LINDEN, P. J.; HANSON, C. E. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 982pp.

PHILLIPS, P. K.; HEATH, J. E. Dependency of surface temperature regulation on body size in terrestrial mammals. **Journal of Thermal Biology**, v. 20, n. 3, p. 281-289, 1995.

PHILLIPS, P. K.; HEATH, J. E. Heat exchange by the pinna of the African elephant (*Loxodonta africana*). **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 101, n. 4, p. 693-699, 1992.

REIS, N. R.; SHIBATTA, O. A.; PERACCHI, A. L.; PEDRO, W. A.; LIMA, I. P. Sobre os Mamíferos do Brasil. In: REIS, N. R.; PERACCHI, A. L.; PEDRO, W. A.; LIMA, I. P. (Eds.). **Mamíferos do Brasil**. Londrina: Nelio R. dos Reis, 2011. p. 23-29.

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.

SPEAKMAN, J. R.; WARD, S. Infrared thermography: principles and applications. **Zoology**, v. 101, p. 224-232, 1998.

ŠUMBERA, R.; ZELOVÁ, J.; KUNC, P.; KNÍŽKOVÁ, I.; BURDA, H. Patterns of surface temperatures in two mole-rats (Bathyergidae) with different social systems as revealed by IR-thermography. **Physiology & Behavior**, v. 92, p. 526-532, 2007.

TATTERSALL, G. J. Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. **Comparative Biochemistry and Physiology, Part A**, doi: 10.1016/j.cbpa.2016.02.022, 2016

TATTERSALL, G. J.; ANDRADE, D. V.; ABE, A. S. Heat exchange from the toucan bill reveals a controllable vascular thermal radiator. **Science**, v. 325, p. 468-470, 2009.

TATTERSALL, G. J.; CADENA, V. Insights into animal temperature adaptations revealed through thermal imaging. **The Imaging Science Journal**, v. 58, p. 262-268, 2010.

TAYLOR, W. F.; DICARLO, S. E.; BISHOP, V. S. Neurogenic vasodilator control of rabbit ear blood flow. **American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 262, n. 5, p. 766-770, 1992.

TIRADO, C.; CORTÉS, A.; BOZINOVIC, F. Water balance in two South American Phyllotis desert rodents, *P. xanthopygus rupestris* and *P. darwini darwini*. **Journal of Arid Environments**, v. 72, p. 664-670, 2008.

TRACY, R.; WALSBURG, G. Prevalence of cutaneous evaporation in merriam's kangaroo rat and its adaptive variation at the subspecific level. **The Journal of Experimental Biology**, v. 203, p. 773-781, 2000.

VIANNA, D. M. L.; CARRIVE, P. Changes in cutaneous and body temperature during and after conditioned fear to context in the rat. **European Journal of Neuroscience**, v. 21, p. 2505-2512, 2005.

WALSBURG, G. E. Small Mammals in Hot Deserts: Some Generalizations Revisited. **Bioscience**, v. 50, n. 2, p. 109-120, 2000.

WEISSENBOCK, N. M.; WEISS, C. M.; SCHWAMMER, H. M.; KRATOCHVIL, H. Thermal windows on the body surface of African elephants (*Loxodonta africana*) studied by infrared thermography. **Journal of Thermal Biology**, v. 35, p. 182-188, 2010.

WILSON, D. E.; REEDER, D. M. **Mammal Species of the world: A taxonomic and geographic reference**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2005.

WOODS, C. A.; KILPATRICK, C. W. Hystricognathi. In **Mammal Species of the World – A Taxonomic and Geographic Reference**. 3 ed. D. E. Wilson, D. M. Reeder (Eds). Washington D.C.: Smithsonian Institution Press, 2005. pp. 1538-1600.