

---

Ciências Biológicas

---

**MORENO PEREIRA**

**Mapeamento do perfil térmico corpóreo  
durante atividade de voo do beija-flor  
(*Eupetomena macroura*)**



Rio Claro  
2017

**Moreno Pereira**

**Mapeamento do perfil térmico corpóreo durante atividade  
de voo do beija-flor (*Eupetomena macroura*)**

Orientador: Dr. Denis Otavio Vieira de Andrade

Co-orientador: Dr. Guilherme Gomes

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus de Rio Claro, para obtenção dos graus de Bacharel e Licenciado em Ciências Biológicas.

Rio Claro  
2017

574.1      Pereira, Moreno  
P436m      Mapeamento do perfil térmico corpóreo durante atividade de voo do  
              beija-flor (*Eupetomena macroura*) / Moreno Pereira. - Rio Claro, 2017  
              43 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots.

Trabalho de conclusão de curso (licenciatura e bacharelado - Ciências  
Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de  
Rio Claro

Orientador: Denis Otávio Vieira de Andrade

Coorientador: Guilherme Gomes

1. Fisiologia. 2. Termorregulação. 3. Termografia. 4. Janelas térmicas.  
5. Energética do voo. 6. Produção de calor metabólico. I. Título.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço muito a todos que contribuíram para não só a elaboração desse trabalho, mas pela minha completa formação, principalmente a minha mãe Rita e meu pai Sérgio que, sem dúvida, foram meu eixo principal sem o qual eu jamais conseguiria nada. Às minhas irmãs (Clara e Branca) em quem eu me inspiro e aprendo todos os dias. Ao Davi pelo companheirismo. A minha Tia Fátima e meu Tio Teco, peças fundamentais da minha família que sempre me apoiaram. Ao Bar do Moe, minha eterna república e as pessoas com quem morei pelas conversas, choros, risadas e porres. À festa na galáxia (Salsicha, Kitty e Aline) que são também família e com quem eu sempre tive meu apoio independente da hora e lugar. Ao mito CBI 2010, pessoas com quem compartilhei todos esses anos de experiência e aprendizado. Gulosa pelo conforto de um refúgio amigo, a Cabuxa e a Toco irmãs de coração que quero levar para o resto da vida junto com a Smurf nossa mãezona. Minhas raposinhas que em tão pouco tempo se tornaram tão essenciais. A Magui com quem eu sempre posso me alegrar, A Yas e Alice por me inspirarem todo diazinho a ser uma pessoa melhor, me ajudarem a me encontrar quando eu estou perdido. Ao Chassi que do seu jeitinho sempre está ali dando apoio. À Fica que me presenteou com uma das amizades mais sinceras e mais lindas, ao Leitão que virou um irmãozinho mais novo, ao Fino pelas conversas e insights que sempre me levam a refletir, à Tibú pelo colo amigo e parceria de todas as horas, ao Miguxo e ao Marcha pelas fofocas e parcerias, aos meus amigos de Serra e da infância Larissa, Gabrielle Branca Brunelli, Amanda, Camis, Marce, Thais que mesmo longe a amizade continua a mesma e me motivam sempre pela determinação e trajetória. Ao Ponce, que chegou de mansinho e conquistou um lugar no coração. Aos meus amigos do CsF principalmente Matheus, Priscila, Natale, Cacá e Bia com quem compartilhei alguns meses e que me fizeram crescer anos. A todos os amigos que não citei, mas que sabem quem são e que quero levar para sempre comigo. Quero agradecer também ao Gui que me ajudou muito e que teve uma paciência interminável (pois eu sei que dei muito trabalho). A todos os funcionários e funcionárias da UNESP e a todas as pessoas que de alguma forma sentiram e ainda sentem um incomodo, que não se encaixam nos moldes da educação e da academia que nos massacra durante anos em nome da produtividade, da elite intelectual e que mais fecha do que abre portas. Vocês foram parte fundamental do meu aprendizado, da minha luta e da minha vida. Seguimos em luta todo dia.

## RESUMO

Os beija flores são aves de pequeno porte, caracterizados normalmente pelo bico longo e fino, pelas cores iridescentes das penas e pela grande capacidade de voo. O voo dos beija flores, tem um alto gasto energético, o qual é sustentado por diversas especializações anatômicas e fisiológicas. Sua alta capacidade de voo implica em um altíssimo metabolismo de atividade o que por sua vez resulta em uma alta produção de calor metabólico que precisa ser dissipada para o ambiente. Essa dissipação é feita através de janelas térmicas, que são os principais locais de troca de calor do animal com o ambiente. Sendo assim, a termorregulação de beija-flores é um grande desafio já que ao mesmo tempo que tem de dissipar seu calor produzido pela alta energética do voo também tem que conservar calor quando estão parados para não ficarem letárgicos. Esse estudo procurou entender como e por onde funciona a dinâmica de troca de calor entre a ave e o ambiente por meio de imagens térmicas que refletem a temperatura superficial do corpo do animal. Por meio de termografias foram então analisadas quais as principais regiões do corpo dessas aves que são responsáveis pela regulação da temperatura. Os resultados mostraram que, principalmente, as regiões dos olhos são regiões não controladas pelo animal e de intensa dissipação de calor, provavelmente refletindo a temperatura corporal dessas aves. Enquanto isso as outras regiões como cabeça, tórax, bico e membros inferiores, principalmente as duas últimas, se mostraram regiões dinâmicas que alteram as temperaturas conforme a mudança da temperatura do ambiente tendo grande potencial para serem janelas térmicas. A região axilar parece ser um local de grande potencial de trocas de calor nessas espécies de aves, e merecem ser melhor analisadas. Além disso, espécies distintas e de tamanho distinto responderam de forma bastante similar no perfil e trocas térmicas em relação a variação do ambiente.

**Palavras-chave:** termorregulação, termografia, janelas térmicas, energética do voo, produção de calor metabólico, temperatura

## ABSTRACT

Hummingbirds are small sized birds characterized by their elongated beaks, iridescent feathers, and incredible flight capacity. Their flight is sustained by several anatomical and physiological specializations that have a high energetic cost. This entails a high energetic metabolism that significantly increases metabolic heat production and requires an effective mechanism to dissipate this excessive heat. Hummingbirds' thermal windows are responsible for controlling that, they are the main places of heat exchange between them and the surrounding environment. In this sense, the thermoregulation mechanism in hummingbirds proves to be a challenge, since they need an efficient structure able to dissipate the heat accumulated due to their high energy flight metabolism, but also conserve heat and avoid lethargy during the periods they are not at flight. The focus of this study is to understand how the dynamics of heat exchange between bird and environment happens, and its exactly location through the usage of thermal images which reflect superficial temperatures on the animal's body. Using those thermographs, we analyzed the bird's main body regions involved in temperature equilibrium. The results showed that the eyes region is not controlled by the animal, and it is responsible for an intense heat dissipation. It also likely reflects the body temperature of these birds. On a different note, other regions such as beak, head, chest and legs seems to be dynamic regions that undergo alterations according to environmental temperature, having great potential to be thermal windows. The axial area has a great potential of heat exchange in both species and it needs to be better analyzed. Moreover, different species of different sizes had the same thermal profile response in relation to changes in the environment.

**Keywords:** thermoregulation, thermographs, thermal windows, energy flight, metabolic heat production, temperature

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
Metabolismo, Energética e Termorregulação .....	8
As espécies.....	12
<i>Eupetomena macroura</i> .....	12
<i>Chlorostilbon lucidus</i> .....	13
<b>2.OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
<b>3.MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
Câmeras e termografias.....	15
Metodologia.....	12
<b>4.RESULTADOS.....</b>	<b>19</b>
<i>Eupetomena macroura</i> .....	20
Bico.....	21
Cabeça.....	22
Olhos.....	23
Corpo longitudinal.....	23
Membros inferiores.....	24
Tórax.....	25
<i>Chlorostilbon lucidus</i> .....	25
Bico.....	27
Cabeça.....	28
Olhos.....	29
Corpo longitudinal.....	29
Membros inferiores.....	30
Tórax.....	31
Excesso de calor em função da temperatura do ambiente.....	31
<b>5.DISSCUSSÃO.....</b>	<b>35</b>
<b>6.CONCLUSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>7.REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>

## 1.INTRODUÇÃO

Os beija-flores são aves de pequeno porte da família Trochilidae. A família conta com mais de 320 espécies e são caracterizadas normalmente pelo bico longo e fino e pelas cores iridescentes e metálicas das penas (HEALY; HURLY, 2006; SICK, 1997). São aves originárias dos Andes e que se espalharam pelas Américas. Esse grupo conta com poucos registros fósseis, porém recentes descobertas mostram a sua presença no velho mundo a 30-34 milhões de anos atrás. São aves geralmente associadas a lugares de clima quente e são bem adaptadas para lidar com grandes variações na temperatura ambiente (HEALY; HURLY, 2006) por causa de sua densa plumagem a qual oferece um dos melhores isolamentos térmicos entre as aves (HEALY; HURLY, 2006; POWERS *et al.*, 2015).

Todas as espécies de beija-flor são territorialistas e primariamente nectarívoras atuando como importantes agentes polinizadores. Contudo as espécies podem complementar sua dieta através de pequenos insetos (HEALY; HURLY, 2006; SICK, 1997; SUAREZ; GASS, 2002; WARRICK *et al.*, 2012) como é o caso do *Eupetomena macroura* que prolonga seus voos até o crepúsculo com esse objetivo (SICK, 1997). Além disso, os tamanhos dessas aves variam muito sendo que a maior *delas* (*Patagona gigas*) pode chegar até 22 cm e pesar até 21g (HEALY; HURLY, 2006).

A característica mais marcante das aves dessa família, no entanto, é sua alta capacidade de voo. Diferente de outras aves, a família Trochilidae tem a capacidade de realizar voos em todos os sentidos, incluindo voos para trás e voos estacionários (HEALY; HURLY, 2006; SICK, 1997). Para isso, os beija-flores tem um alto gasto energético, o qual é sustentado por diversas especializações anatômicas e fisiológicas (EDUARDO; BICUDO; CHAUI-BERLINCK, 1998; HEALY; HURLY, 2006; SUAREZ; GASS, 2002; WARRICK *et al.*, 2012). Uma das mais significativa é o fato de obterem articulações que conferem capacidade de rotacionar às asas em cerca de 180° de forma a realizar movimentos em forma de oito com as asas o que possibilita seu voo estacionário e seu deslocamento rápido. De fato, isso é possível graças ao úmero dessas aves que são bem mais curtos em comparação a outros pássaros (WARRICK, *et al.*, 2012).



Ao contrário de outras aves, em que as asas se articulam no ombro, cotovelo e punho as asas dos beija-flores se articulam apenas no ombro (HEALY; HURLY, 2006). Segundo Warrick *et al.* (2012), em beija-flores os músculos responsáveis pelo voo são os mais desenvolvidos. Nas aves os músculos responsáveis pela movimentação das asas são o peitoral e o supracoracoideo, sendo que em sua maioria ambos os músculos correspondem a 15% da massa corpórea e o último atinge apenas 1/5 do tamanho do músculo peitoral. No entanto em beija-flores seus músculos de voo correspondem de 25 a 30% da sua massa corpórea e o músculo supracoracoideo pode atingir até metade do tamanho do músculo peitoral. (SCHMIDT-NIELSEN, 1996; EDUARDO; BICUDO; CHAUI-BERLINCK, 1998; WARRICK *et al.*, 2012).

### **Metabolismo, Energética e Termorregulação.**

Para manter a alta capacidade de voo os beija-flores demandam um altíssimo metabolismo de atividade. O voo é altamente especializado e durante os voos estacionários os beija-flores apresentam um dos mais altos níveis de consumo de oxigênio por unidade de massa corpórea dentre os vertebrados endotérmicos, sendo que sua máxima performance se aproxima de um limite superior da locomoção aeróbica dos vertebrados (EDUARDO; BICUDO; CHAUI-BERLINCK, 1998; HEALY; HURLY, 2006; SUAREZ, 1992; WARRICK *et al.*, 2012). Para sustentar o voo estacionário seu metabolismo consome aproximadamente 40 mL de oxigênio por grama por hora. Já em repouso esse consumo cai para 3 mL de oxigênio por grama por hora (HEALY & HURLY, 2006).

Animais voadores já possuem mecanismos de dissipação de calor para evitar o superaquecimento devido à alta produção de calor (POWERS *et al.*, 2015). Contudo no caso dos beija-flores, o seu metabolismo basal já é altíssimo já que esse se dá de forma inversamente proporcional a massa corpórea do animal (SUAREZ, 1992) e portanto são aves de baixa inércia térmica que apresentam grande perda de calor (CHAI; CHANG; DUDLEY, 1998). Sendo assim, mecanismos termoregulatórios nesses animais são bem mais elaborados.

Adaptações morfológicas nessas aves como fígado mais metabolicamente ativo e com altas taxas enzimáticas de síntese de lipídios (HEALY; HURLY, 2006) pulmões com alta capacidade de difusão de oxigênio, corações grandes com grande potência muscular e grandes áreas de capitalização muscular ajudam a sustentar a demanda

energética dessas aves (SICK, 1997; SUAREZ; GASS, 2002; SCHMIDT-NIELSEN, 1996). Outra consequência do alto metabolismo é o frequente estado de torpor que essas aves entram nos períodos noturnos, de escassez de alimentos ou de temperaturas muito baixas. Manter as taxas metabólicas nessas condições resulta em uma alta produção de energia, portando ao invés de produzir mais energia os beija-flores passam por períodos diários de redução de temperatura corpórea, queda do consumo de oxigênio e conseqüentemente queda da taxa metabólica entrando em uma condição letárgica (EDUARDO; BICUDO; CHAUI-BERLINCK; SCHMIDT-NIELSEN, 1996; HEALY; HURLY, 2006). Mesmo assim, essas aves apresentam gastos metabólicos noturnos relativamente altos e como consequência tem de reservar energia para os períodos de pernoite. Constantemente parte da energia adquirida durante o dia é desviada para reservas noturnas (WOLF; HAINSWORTH, 1977).

Como em todos os animais endotérmicos, capazes de manter uma temperatura corpórea elevada pela produção interna de calor, essa alta produção de calor precisa ser dissipada para o ambiente ou mantida dependendo das condições ambientais (TATTERSALL; CADENA, 2010; SCHMIDT-NIELSEN, 1996). Como consequência da geração de calor interna de animais endotérmicos o mesmo tem de ser distribuído do local de produção para a periferia corpórea afim de facilitar rapidamente a troca de calor com o ambiente que é realizada através de condução, convecção e radiação (TATTERSALL; CADENA, 2010; SCHMIDT-NIELSEN, 1996). Nesse sentido, a dissipação de calor é feita através de janelas térmicas, que são os principais locais de troca de calor do animal com o ambiente.

Janelas térmicas são caracterizadas por intensa vascularização e, portanto, com grande fluxo sanguíneo, pouca ou nenhuma concentração de pelos ou penas, e pouco ou nenhum tipo de isolamento térmico (TATTERSALL; CADENA, 2010; WILLIAMS, 1990), sendo assim essas janelas são capazes de serem “abertas” dentro e acima da zona térmica neutra e “fechadas” para conservar calor em baixas temperaturas tendo uma regulação vaso motora muito eficiente (TATTERSALL; ANDRADE; ABE, 2009). Em mamíferos as principais janelas térmicas conhecidas e descritas em literatura são as orelhas, patas e nariz (KLIR; HEATH, 1994). Em aves o tamanho e forma do bico pode estar associado a processos termorregulatório e deve ter evoluído com esse objetivo térmico em algumas espécies (TATTERSALL; ARNAOUT; SYMONDS, 2017). Nos tucanos (*Ramphastos toco*) o bico foi identificado como umas das janelas

térmicas mais eficientes (TATTERSALL; ANDRADE; ABE, 2009). Em beija-flores recentes estudos com *Selasphorus calliope* tem mostrado que a região axial, dos pés e dos olhos são importantes locais de dissipação de calor (POWERS *et al.*, 2015)

As Janelas térmicas assumem grande destaque em beija-flores já que a densa concentração de penas distribuída pelo corpo dificulta muito a perda de calor, principalmente em ambientes secos. No caso dos beija-flores o maior desafio termoregulatório é não superaquecer em situações de extrema produção energética como voos estacionários e não perder calor em excesso em situações de menor demanda (EVANGELISTA *et al.*, 2010) mantendo assim a existência de uma zona térmica neutra a qual equilibra a produção com as taxas de perda de calor (EDUARDO; BICUDO; CHAUI-BERLINCK, 1998).

Além dos aspectos anatômicos já citados, essas aves contam ainda com um aparato comportamental e fisiológico para manter seu equilíbrio térmico. Isso explica a alta quantidade de voos realizados para forrageio e a quantidade tempo dedicada a assimilação de comida no dia, já que gastam aproximadamente 20% das horas do dia voando e se alimentando e 70% empoleirados ou em ninhos, esse último é gasto na digestão de alimentos e observação do território contra possíveis invasores (HIXON *et al.*, 1983; SUAREZ, 2002). É comum também os beija-flores postergarem o estoque de comida até o final da tarde para evitar o extra peso, e com isso mais gasto energético durante os voos, armazenando assim mais energia para as noites (WOLF; HAINSWORTH, 1977) assim como aumentar o tempo de forrageamento e consumo de comida em baixas temperaturas (EVANGELISTA *et al.*, 2010) já que esses pássaros super alimentados são capazes de manter melhor a temperatura corporal (EDUARDO; BICUDO; CHAUI-BERLINCK, 1998).

Sendo assim o tempo de forrageamento depende da quantidade de energia absorvida por esses animais (WOLF; HAINSWORTH, 1977). Outra característica comportamental regulatória é a própria territorialidade desses animais, que garantem voos de pequena distância para forrageamento além da diminuição da competição com outros pássaros. Desse modo os beija-flores garantem mecanismos regulatórios de sua bioquímica metabólica resultando em taxas maiores de ganho de energia e mais eficiência térmica (SUAREZ; GASS, 2002). Além disso estudos demonstram que os beija-flores usam diferentes tipos de forrageamento em diferentes tipos de

fragmentos otimizando assim a captura de alimentos e a obtenção de energia (BAUM; GRANT, 2000). Durante voos estacionários, esses pássaros tendem a deslocar os pés para fora das penas da cauda para evitar superaquecimento já que a falta de movimento durante esses voos reduz a perda de calor por convecção de outras partes do corpo, enquanto que em voos com movimentos os pés são retraídos para evitar a perda excessiva de calor (POWERS *et al.*, 2015)

Os tamanhos dos beija-flores também influenciam em seu metabolismo. Espécies maiores geralmente operam com maior inércia térmica que as espécies menores, além disso seu tamanho influencia também no bater de asas e na quantidade de massa de ar que movimentam durante o voo. Beija-flores grandes apresentam menores frequências de batida asa e também menor massa-específica de potência aerodinâmica, além de terem menos capacidade de realizar manobras de voo mais complexas (WARRICK *et al.*, 2012)

Com relação a fisiologia, esses animais possuem um aparato fisiológico ímpar para lidar com o alto custo metabólico e de produção de calor. Essas aves alternam as rotas de perda de calor para otimizar os voos rápidos. Em voos lentos estacionários essas aves dissipam mais calor por radiação e convecção enquanto que em voos mais ágeis a perda de calor se dá primariamente por convecção (POWERS *et al.*, 2015). A perda de calor por convecção é principalmente induzida pelo movimento das asas e pelo intenso fluxo de ar que movimentam (CHAI; CHANG; DUDLEY, 1998). Para a queima de energia durante os voos, os beija-flores usam tanto carboidrato como a gordura. Contudo, os usos desses substratos variam de acordo com o tipo e distância dos voos, sendo usado gordura como combustível em voos migratórios e oxidação de carboidratos em voos de curta distância como forrageamento. Isso demonstra uma coevolução do comportamento e do metabolismo para maximização da rede de ganho de energia (SUAREZ; GASS, 2002). Outro ponto a ser destacado é que essas aves armazenam energia cinética elástica durante a desaceleração da batida de asas (WELLS, 1993).

É interessante frisar também que apesar de animais eutérmicos manterem uma temperatura fixa no corpo, recentes estudos não obtiveram esse sucesso ao tentar estabelecer a zona térmica neutra em *Eupetomena macroura*. A mesma taxa de consumo de oxigênio foi observada e relacionada em mais de uma temperatura

corpórea nessa espécie. Isso poderia ser explicado pela inevitável perda de calor relacionado a baixa inércia térmica desses animais. Outra explicação é o fato de que esses animais vivem em ambientes relativamente estáveis com relação a temperatura o que explicaria a grande variação térmica quando expostos a uma variante grande de temperatura (EDUARDO; BICUDO; CHAUÍ-BERLINCK, 1998). Outro ponto importante é a capacidade térmica de cada espécie, o que explica o fato do beija-flor gigante (*Patagona gigas*) conseguir distribuição subtropicais, diferente das menores aves da família (YARBROUGH, 1971).

Todas essas características refletem na agilidade dos beija-flores e no fato de eles passarem grande parte do dia ativos. Sendo assim as trocas de calor no beija flor através da superfície corpórea são extremamente eficientes devido ao seu tamanho reduzido comparado com outras aves, podendo facilitar a dissipação ou dificultar dependendo da temperatura ambiente e atividade. Assim, o indivíduo deve tentar maximizar a eficiência dos sentidos de fluxo de calor permitindo a otimização da sua termorregulação.

### **As espécies**

Abaixo descrevemos características de duas espécies bastante comuns na região de estudo, vale ressaltar que durante esse projeto foram coletados dados da espécie *Eupetomena macroura*, no entanto tivemos uma grande visitação ao longo das coletas da espécie *Chlorostilbon lucidus*, espécie a qual não esperávamos visitas em grande quantidade. Dessa forma, já que havíamos coletado dados das duas espécies resolvemos analisar e descrever o perfil de ambas durante as variações de temperatura ambiental ao longo do intervalo de tempo do estudo<sup>1</sup>.

#### ***Eupetomena macroura***

Muito conhecido e de ampla distribuição no Brasil (ocorre em todas as regiões exceto em alguns locais da Amazônia) a espécie é popularmente conhecida como Beija-flor tesoura ou tesourão (SICK, 1997). A espécie contém cinco subespécies (SCHUCHMANN; KIRWAN, 2017) e é tida como uma das maiores e mais territorialistas dentre os Trochilidae. Além disso, suas características mais marcantes se dão pelas cores verde e azul brilhantes e, principalmente, pela cauda grande e profundamente bifurcada (SICK, 1997; SCHUCHMANN; KIRWAN, 2017) que

geralmente chega a ter dois terços do tamanho total da ave (SICK, 1997). Os machos são ligeiramente maiores que as fêmeas, contudo o tamanho da espécie varia entre 14,5 à 18 cm. Enquanto o peso dos machos fica entre 8 e 9,7g as fêmeas, que pesam no geral um pouco menos, ficam entre 6 e 7g (SICK, 1997; SCHUCHMANN; KIRWAN, 2017) . Sua ocorrência além do Brasil se estende para as Guianas, Bolívia e Paraguai (SICK, 1997).

### ***Chlorostilbon lucidus***

Uma espécie menor quando comparada ao tesoura, o *Chlorostilbon lucidus* é popularmente conhecido como besourinho-de-bico-vermelho (SICK, 1997). É comum encontrar na literatura, no entanto, essa ave com o nome de *Chlorostilbon aureoventris* já que a mudança para o nome atual foi feita em 2006 (PACHECO; WHITNEY, 2006). O nome popular vem do seu bico reto e vermelho com ponta preta e sua cauda pequena e levemente bifurcada, além disso as fêmeas apresentam uma linha curva branca atrás dos olhos (SICK, 1997; BÜNDGEN; KIRWAN; BOESMAN, 2017). Essa ave também tem ampla distribuição no Brasil ocupando áreas do Maranhão ao Rio Grande do Sul e Mato Grosso, além de países como Uruguai, Paraguai e Bolívia (SICK, 1997). O tamanho e peso da espécie varia entre os machos e as fêmeas. Os machos medem entre 9,5 e 10,5 cm e pesam de 3 a 3,8g enquanto as fêmeas apesar de menores com tamanhos entre 7,5 e 8,5 cm pesam mais, podendo ter entre 3 e 4,5g (BÜNDGEN; KIRWAN; BOESMAN, 2017). A espécie é bem caracterizada pela agilidade e apresenta cerca de 30 batimentos de asa por segundo em voo (SICK, 1997)

---

<sup>1</sup> – Resolvemos não alterar o título do TCC inserindo a segunda espécie, tendo em vista que o tempo de avaliação da alteração do título pela Seção de Graduação impediria ao aluno de entregar no prazo previsto.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo é mapear o perfil térmico e as trocas de calor em diferentes porções corpóreas do beija-flor-tesoura (*Eupetomena macroura*) durante sua atividade de deslocamento e voo estacionário em ambiente natural em diferentes estações do ano. O mapeamento inclui a identificação de janelas térmicas e regiões de grande dissipação de calor no corpo do animal. Além disso, devido à grande visitação do beija-flor besourinho-de-bico-vermelho (*Chlorostilbon lucidus*) durante a coleta de dados nós decidimos analisar o perfil térmico dessa espécie também. Vale ressaltar que a mudança de título iria impedir a entrega do trabalho na data limite, e achamos melhor manter as duas espécies nesse trabalho e assim divulgar o resultado em duas espécies de beija-flor de tamanhos bastante distintos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### **Câmera e termografias**

Para o estudo foi utilizada uma câmera infravermelha (Flir Systems – modelo SC640) para obtenção de imagens termográficas (frequência de captura de imagens: 30 quadros/s). As imagens capturadas pela câmera térmica foram analisadas por rotinas específicas do programa ThermaCam Researcher 2.9 (Flir Systems), e foi utilizada emissividade de 0.97.

A tecnologia de câmeras térmicas vem sendo muito utilizada nos estudos de temperatura corpórea, metabolismo e energética de animais e seres humanos. As câmeras térmicas são capazes de dar a temperatura superficial em tempo real mostrando assim a regulação térmica e a dinâmica de transferência de calor no corpo dos animais (TATTERSALL; CADENA, 2010). Além disso, o uso de câmeras térmicas é uma técnica segura e não invasiva que pode auxiliar muito nos estudos de adaptações térmicas de animais expressando seu balanço térmico devido a fisiologia, comportamento e processos físicos mesmo com barreiras de isolamento térmico como penas e pelos (TATTERSALL; CADENA, 2010).

#### **Metodologia**

Para o mapeamento do perfil térmico foram utilizados bebedouros artificiais para a atração das aves no seu ambiente natural. As aves objeto de estudo foram os beija-flores tesoura ou tesourão (*Eupetomena macroura*) e o besourinho-de-bico-vermelho (*Chlorostilbon lucidus*) que são de grande ocorrência na região de Rio Claro - SP. Foram registrados ao longo do experimento cerca de 65 indivíduos de *Eupetomena macroura* e cerca de 39 indivíduos de *Chlorostilbon lucidus*. Não houve nenhum contato ou manipulação dos indivíduos observados. Todas as visitas ocorridas foram registradas ao longo de dois anos, em intervalos contínuos de 12 horas (das 7:00 até as 19:00) ao longo dos meses, pelo menos dois dias de captura de dados a cada 15 dias. Além de analisar a variação da temperatura corporal na medida que a temperatura ambiental era alterada, nós também resolvemos agrupar os dados para análises em duas estações gerais, a estação fria caracterizada com temperaturas entre 10 e 21°C e a estação quente caracterizada com temperaturas acima de 21°C.



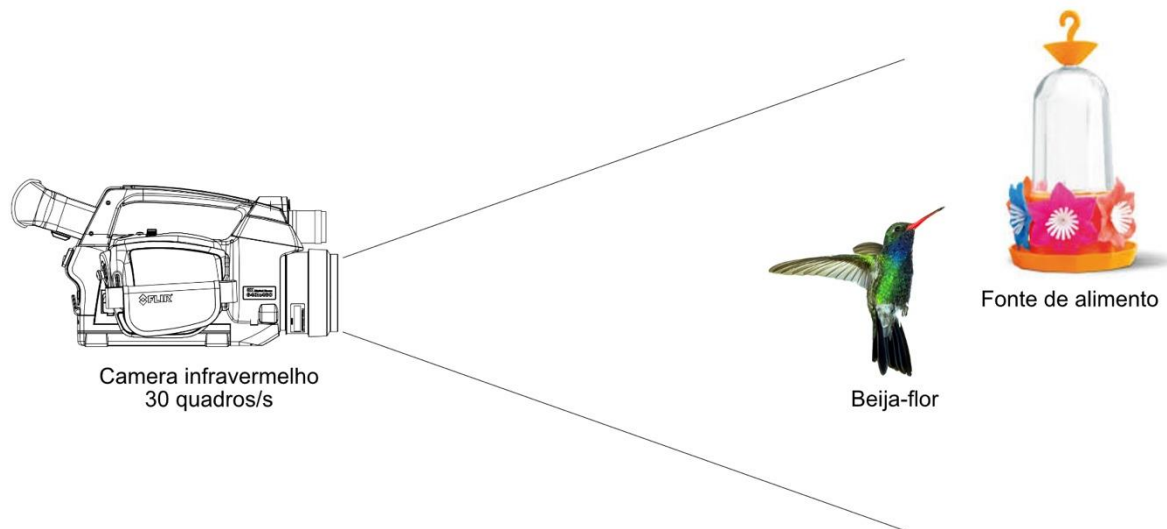
Não foi realizada a captura de imagens em dias de chuva, devido a variação da emissividade ao infravermelho. Registros diários ofereceram imagens do mesmo indivíduo devido a característica territorialista das espécies. Assim, o bebedouro foi retirado durante algumas semanas e foram obtidas outras imagens ao longo do tempo. Alguns testes pilotos permitiram a captura de diversas visitas em pouco espaço de tempo, o que diminui a tempo amostral devido a quantidade de vídeos.

As imagens termográficas foram obtidas durante a visita destas aves aos bebedouros artificiais. A câmera obteve dados ao longo de todo o dia e foi posicionada da forma descrita na Figura 1. Foram definidas algumas partes específicas do corpo do beija-flor afim de analisar diferentes estruturas do corpo separadamente e, assim, facilitar a identificação e a contribuição de cada uma dessas partes no perfil térmico da ave. Sendo assim, as partes selecionadas foram nomeadas como: bico, cabeça, olho, corpo longitudinal, tórax e membros inferiores (Figura 2). Cada porção ofereceu mais de 20 pontos de temperatura, os quais foram analisados na forma de temperatura média, temperatura máxima e mínima.

Além de partes do animal, também foram analisadas nas imagens as temperaturas do ambiente e de uma fita isolante colocada junto ao bebedouro artificial para nível de comparação. Além disso dados de temperatura e umidade também foram obtidos por meio de um registrador de dados (Extech RHT10) posicionado próximo ao bebedouro (frequência de registro: a cada 1 minuto).

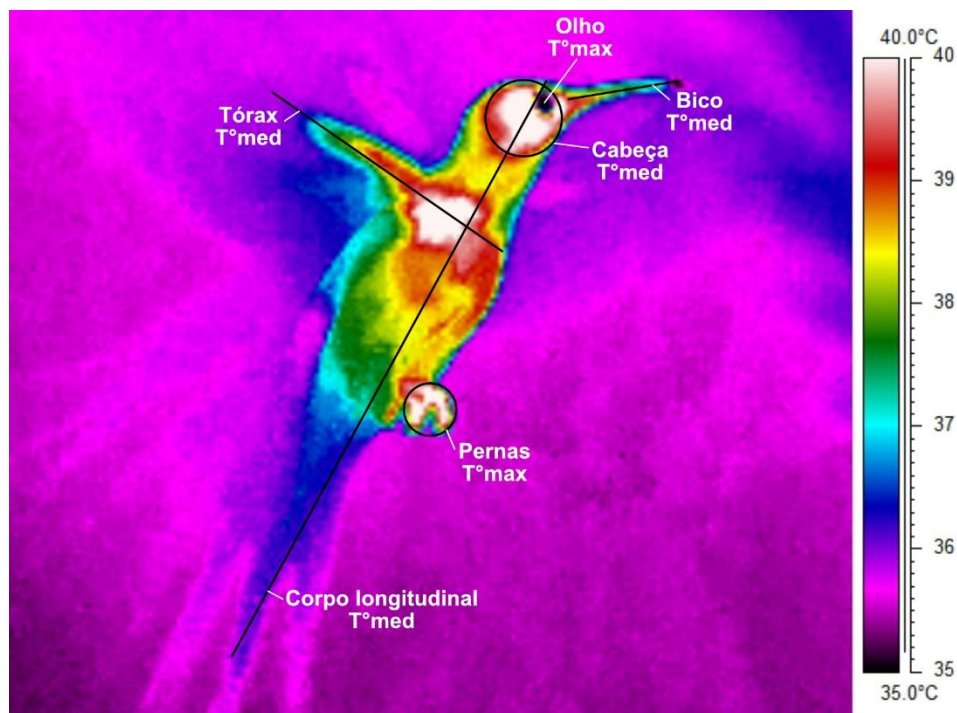
Os resultados foram demonstrados por meio de gráficos e análises estatísticas (ANOVA – multifatorial) necessárias para diferenciar as diferentes temperaturas das porções corpóreas nos diferentes períodos do ano.

Figura 1 - Esquema da captura da termografia.



Fonte: Acervo pessoal do autor

Figura 2 - Esquema das secções do corpo escolhidas e de como foram analisadas.



Fonte: Acervo pessoal do autor

A Figura 2 mostra as rotinas utilizando o programa Thermacam 2.9 (Flir Systems) de obtenção das temperaturas superficiais corpóreas das diferentes porções corpóreas analisadas (seis porções em observação). Abaixo estão

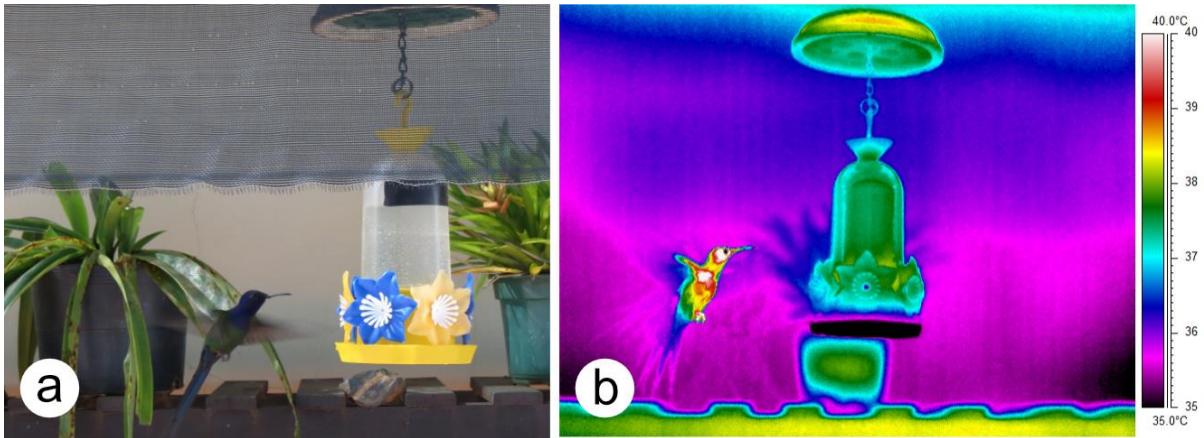
descritas qual temperatura (máxima ou média) foi utilizada e como elas foram obtidas nas diferentes porções corpóreas (6 porções), sendo que a mesma rotina foi realizada para as duas espécies em estudo.

1. **Bico:** foram consideradas a temperatura média dessa secção capturada por uma linha que transpassava toda essa porção do corpo.
2. **Cabeça:** foram consideradas as temperaturas médias da secção obtidas através de um círculo das imagens.
3. **Olhos:** foi plotado um ponto específico em cima do órgão e registrada a temperatura daquele ponto.
4. **Corpo Longitudinal:** foram retiradas através de uma linha reta cruzando da cabeça até as penas da cauda do beija-flor.
5. **Membros inferiores:** foram capturadas de forma semelhante à da cabeça através de um círculo na região. Contudo, a região dos membros inferiores não é uma área regular como a cabeça e quase sempre a região capturada continha pontos do ambiente atrás do indivíduo com temperaturas bem mais baixas. Sendo assim, para resolver esse problema, nessa região foram consideradas apenas as temperaturas máximas do apêndice afim de obter apenas as temperaturas do animal.
6. **Tórax:** foram capturadas através de uma linha reta que cruzava a extremidade da asa até a extremidade do peito do animal no seu perfil lateral, passando pela porção axial.

#### 4.RESULTADOS

Nós obtivemos imagens termográficas e digitais ao mesmo tempo para possibilitar identificação as espécies e indivíduos durante as visitas como pode ser observado na Figura 3.

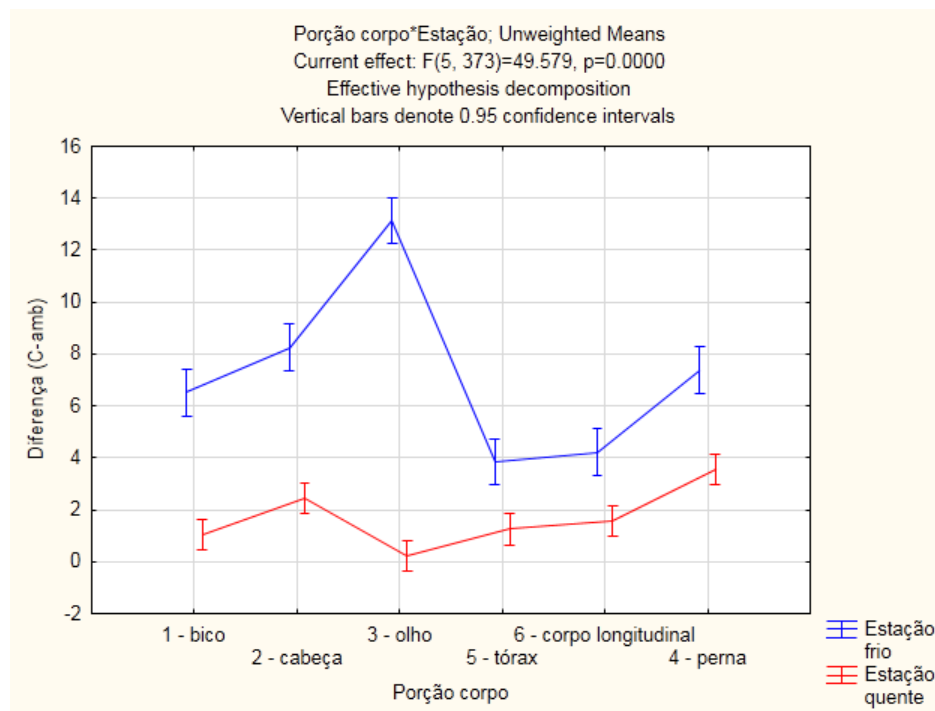
Figura 3 - Imagem do local de obtenção dos dados.



(a) Imagem digital; (b) Imagem termográfica com escala de temperatura ao lado direito. Fonte: Acervo pessoal do autor.

### *Eupetomena macroura*

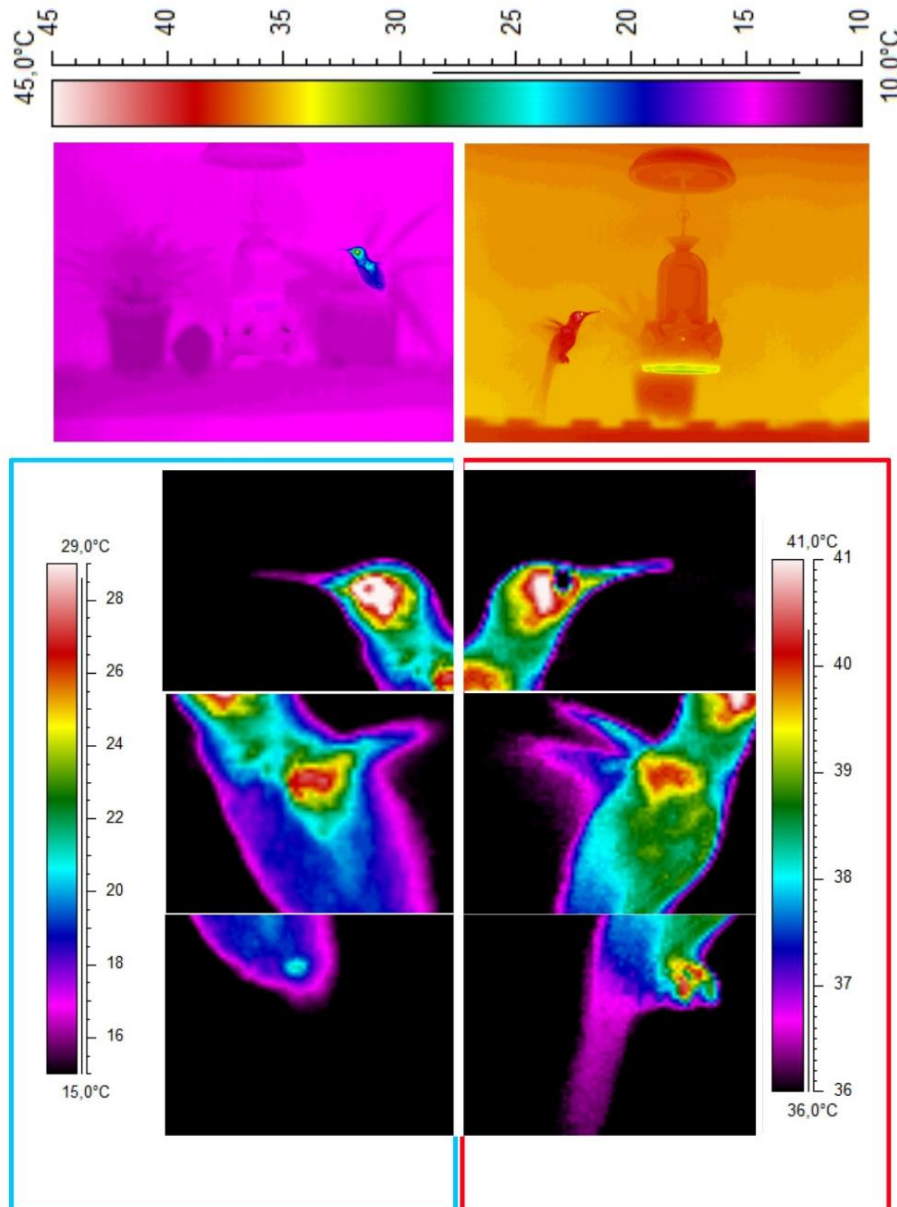
A análise estatística dos dados da espécie *Eupetomena macroura* mostraram como os diferentes apêndices responderam as variações de temperatura (Figura 4). Na estação mais fria, foi observado diferenças significativas entre o  $\Delta T$  ( $T_s - T_a$ ) dos olhos em relação a todas outras regiões corpóreas, o olho apresentou a maior  $\Delta T$  (excesso de calor) no inverno. O  $\Delta T$  do bico, cabeça e membro inferior não são significativamente diferentes entre si, porém diferem além do olho do tórax e corpo longitudinal. Já na estação quente podemos destacar o  $\Delta T$  do membro inferior, que difere das outras porções corpóreas, apresentando o maior  $\Delta T$ . Além disso, o  $\Delta T$  de todas porções corpóreas foram diferentes quando se compara a estação fria e quente.



**Figura 4:** Excesso de calor  $\Delta T$  ( $T_s - T_a$ ) das diferentes porções corpóreas em *E. macroura* nas estações fria e quente. Média e intervalo de confiança ( $p < 0.05$  – teste de Tukey).

A Figura 5 mostra como se deu a distribuição do calor nos apêndices dentro das temperaturas quentes e frias. Regiões de grande dissipação de calor (hiperradiante) estão presentes na estação fria e quente de formas semelhante, porém, dentre as porções corpóreas observadas os membros inferiores respondem de forma distinta, sendo praticamente invisíveis (hipo radiantes) no frio e se tornam hiper radiantes na estação quente. Além disso, os olhos se apresentam hipo radiantes

em relação as porções adjacentes na estação quente em relação ao frio, quando são hiper radiantes.

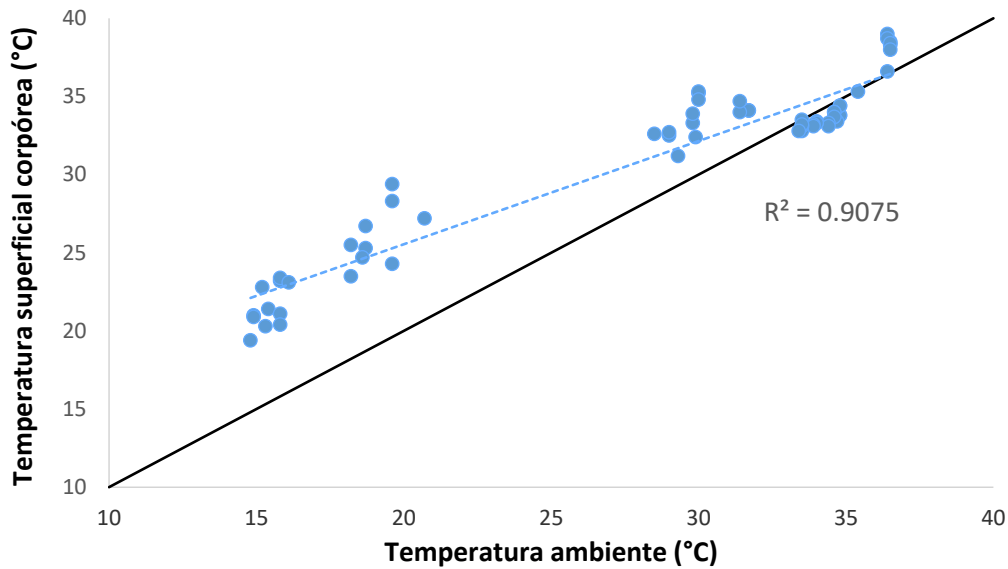


**Figura 5:** Imagem térmica da distribuição de calor pelos apêndices dentro de temperaturas quentes e frias. Fonte: acervo pessoal do autor.

## Apêndices

### Bico

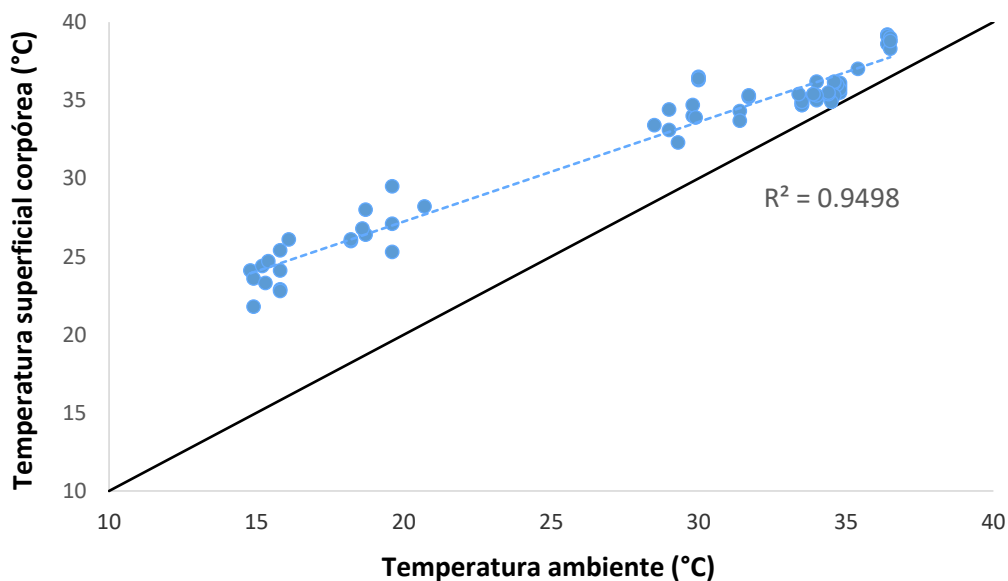
Na correlação de Pearson, os dados do bico se mostram correlacionados com a temperatura ambiente mostrando que a temperatura do apêndice varia na mesma proporção que a temperatura ambiental (Correlação de Pearson:  $r=0.953$ ;  $p<0.05$ ) (Figura 6).



**Figura 6:** Relação da temperatura ambiente com a temperatura média do Bico (Média de  $n = 63$ ) correlação positiva ( $r=0.953$ ;  $p<0.05$ ). Linha azul tracejada é a regressão obtida na correlação entre  $T_s$  e  $T_a$ . A linha preta contínua representa a isoterma entre  $T_s$  e  $T_a$ .

### Cabeça

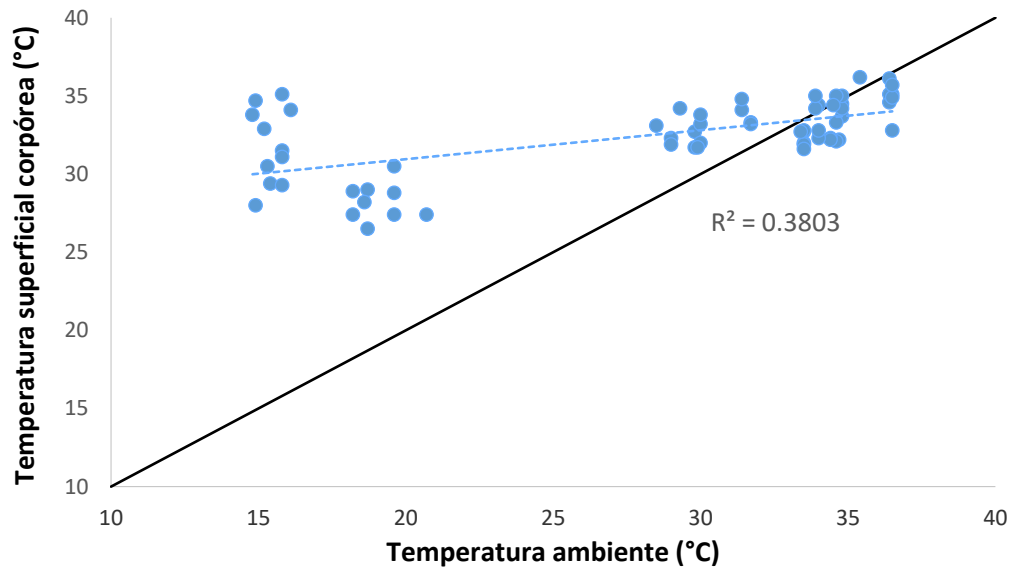
Para o apêndice da cabeça as temperaturas também se mostraram correlacionadas com as temperaturas ambientais, variando na mesma proporção (Correlação de Pearson:  $r=0.975$ ;  $p<0.05$ ) (Figura 7).



**Figura 7:** Relação da temperatura ambiente com a temperatura média da Cabeça (média de  $n = 63$ ) correlação positiva ( $r=0.975$ ;  $p<0.05$ ). Linha azul tracejada é a regressão obtida na correlação entre  $T_s$  e  $T_a$ . A linha preta contínua representa a isoterma entre  $T_s$  e  $T_a$ .

### Olhos

Nessa espécie, os olhos também apresentaram correlação com a temperatura ambiente. Contudo, quando comparado com os outros apêndices essa porção obteve uma baixa relação com a temperatura ambiental quanto a manutenção de temperatura. (Correlação de Pearson:  $r=0.617$ ;  $p<0.05$ ) (Figura 8).

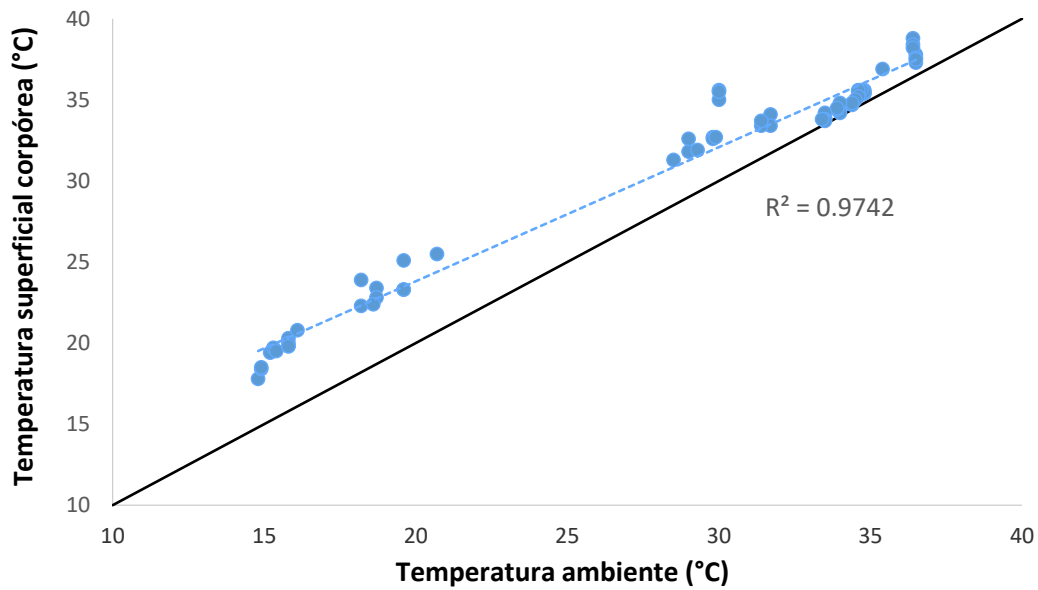


**Figura 8:** Relação da temperatura ambiente com a temperatura dos Olhos (Média  $n = 63$ ) correlação positiva ( $r=0.617$ ;  $p<0.05$ ). Linha azul tracejada é a regressão obtida na correlação entre  $T_s$  e  $T_a$ . A linha preta contínua representa a isoterma entre  $T_s$  e  $T_a$ .

### Corpo Longitudinal

O corpo longitudinal foi um dos apêndices com o maior índice de correlação com a temperatura ambiental (Correlação de Pearson:  $r=0.987$ ;  $p<0.05$ ) (Figura 9)

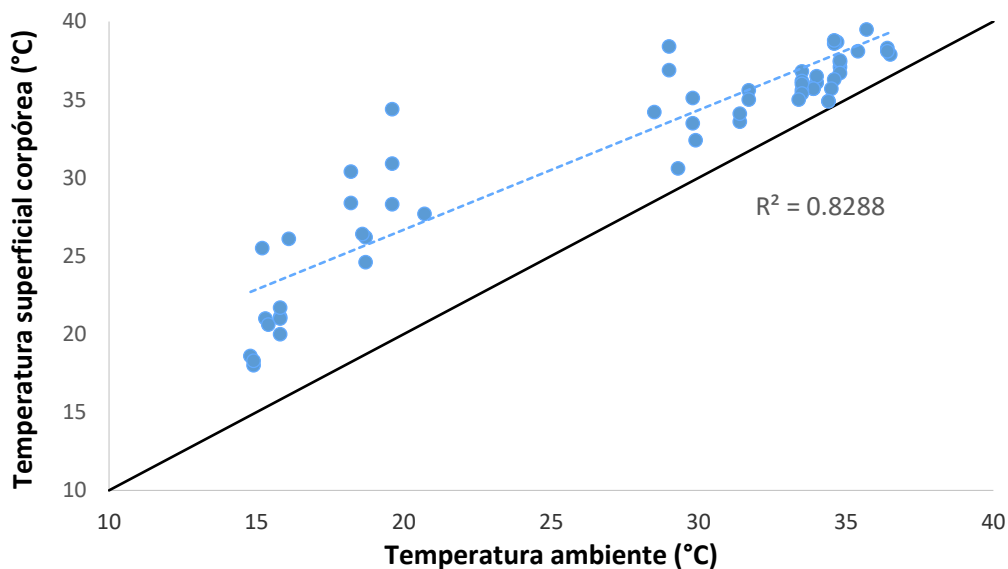




**Figura 9:** Relação da temperatura ambiente com a temperatura média do Corpo Longitudinal (Média de  $n = 63$ ) correlação positiva ( $r=0.987$ ;  $p<0.05$ ). Linha azul tracejada é a regressão obtida na correlação entre  $T_s$  e  $T_a$ . A linha preta contínua representa a isoterma entre  $T_s$  e  $T_a$ .

### Membros inferiores

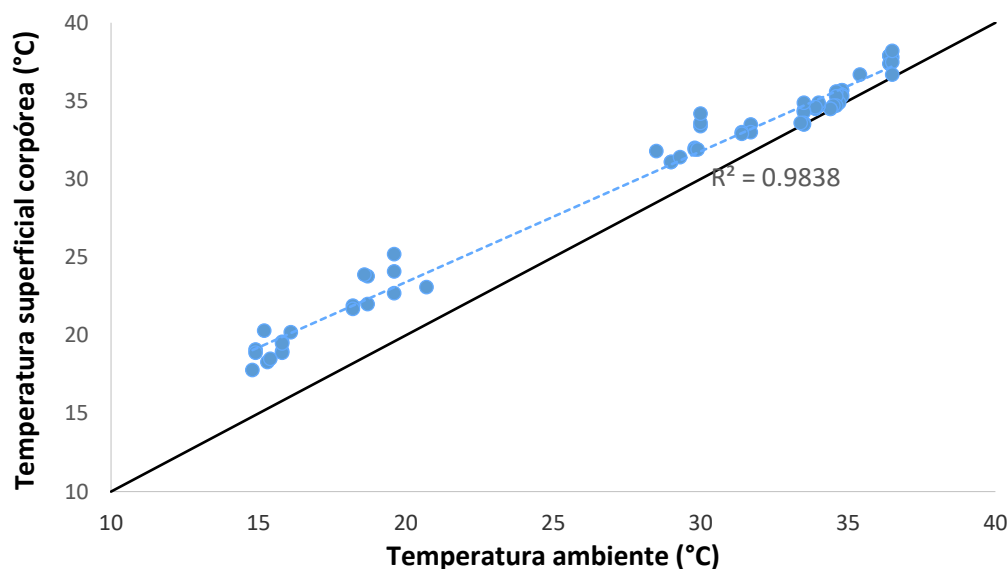
Os membros inferiores também mostraram alto grau de correlação com a temperatura ambiental (Correlação de Pearson:  $r=0.910$ ;  $p<0.05$ ) (Figura 10).



**Figura 10:** Relação da temperatura ambiente com a temperatura máxima dos membros inferiores (Média de  $n = 64$ ) correlação positiva ( $r=0.910$ ;  $p<0.05$ ). Linha azul tracejada é a regressão obtida na correlação entre  $T_s$  e  $T_a$ . A linha preta contínua representa a isoterma entre  $T_s$  e  $T_a$ .

### Tórax

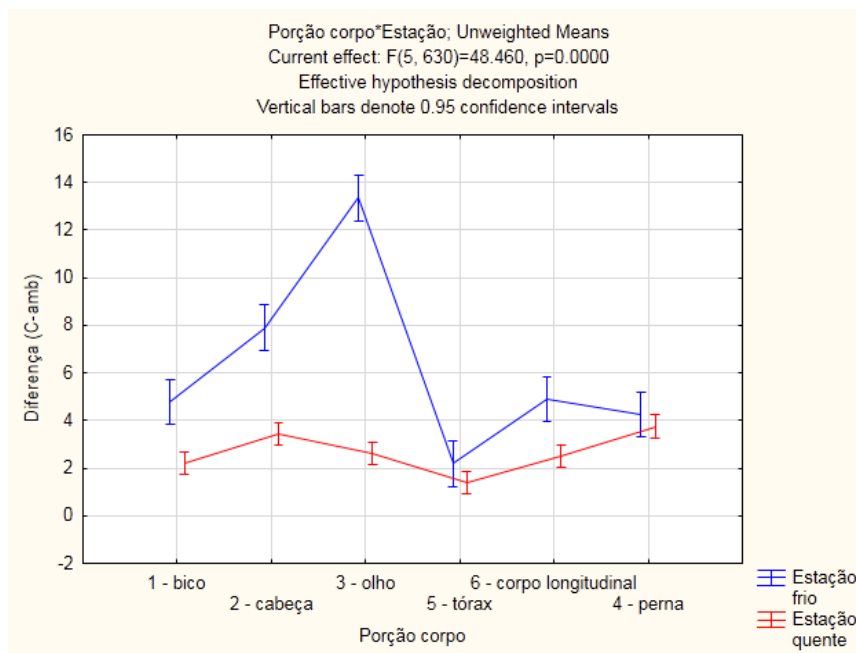
O tórax assim como os outros apêndices também se mostrou correlacionado, sendo assim houveram variações na temperatura desse apêndice proporcionais as temperaturas ambientais (Correlação de Pearson:  $r=0.992$ ;  $p<0.05$ ) (Figura 11).



**Figura 11:** Relação da temperatura ambiente com a temperatura média do Tórax (média de  $n = 63$ ) correlação positiva ( $r=0.992$ ;  $p<0.05$ )

### *Chlorostilbon lucidus*

O gráfico estatístico obtido com os dados de *Chlorostilbon lucidus* mostra como a média da temperatura superficial nas diferentes porções do corpo responderam as variações de temperatura entre as estações quente e fria (Figura 12). Assim como observado em *E. macroura*, a  $\Delta T$  do olho é a maior no inverno e significativamente diferente de todas regiões corpóreas. Já o  $\Delta T$  do tórax e do membro inferior não apresentou diferença significativa entre as estações.

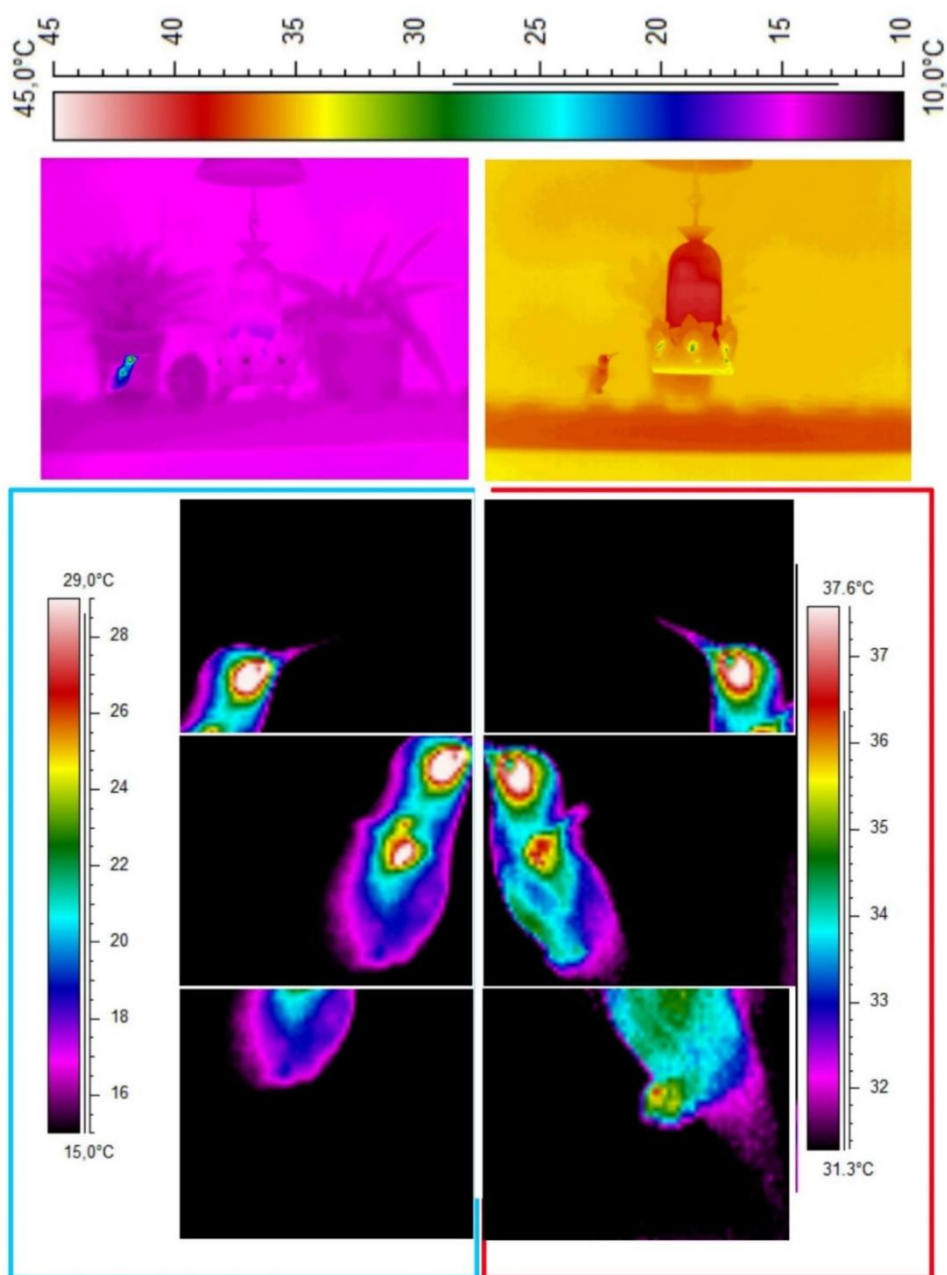


**Figura 12:** Excesso de calor  $\Delta T$  ( $T_s - T_a$ ) das diferentes porções corpóreas de *C. lucidus* nas estações fria e quente. Média e intervalo de confiança ( $p < 0.05$  – teste de Tukey).

Quando se compara a diferença entre  $T_b - T_a$  das diferentes estações (quente e frio) na mesma porção corpórea, com exceção do tórax e dos membros inferiores que responderam da mesma forma nas estações não sendo significativas ( $p > 0,05$ ), todas as outras porções (bico, cabeça, olho e corpo longitudinal) obtiveram diferenças significativas entre as estações ( $p < 0,05$ ). Em temperaturas frias ( $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  à  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) as regiões da cabeça, olhos, bico e corpo longitudinal apontam grande diferença entre a temperatura do corpo e do ambiente.

Na figura 12, também é possível observar que na estação quente as diferenças entre  $T_b - T_a$  das porções corpóreas são praticamente idênticas, sendo que o membro inferior e a cabeça apresentaram maior dissipação de calor. Já, na estação fria, pode-se observar uma grande diferença entre as porções corpóreas da região anterior do corpo que apresenta uma  $T_b - T_a$  muito maiores que tórax e membro inferior.

Essa variação descrita entre as estações pode ser facilmente observada na Figura 13, onde as regiões de maior dissipação (hiperadiantes) ficam muito mais evidentes no frio. Os membros inferiores ficam praticamente invisíveis no frio e bastante visíveis no calor, diferentes de outras porções analisadas que são sempre hiper radiantes.

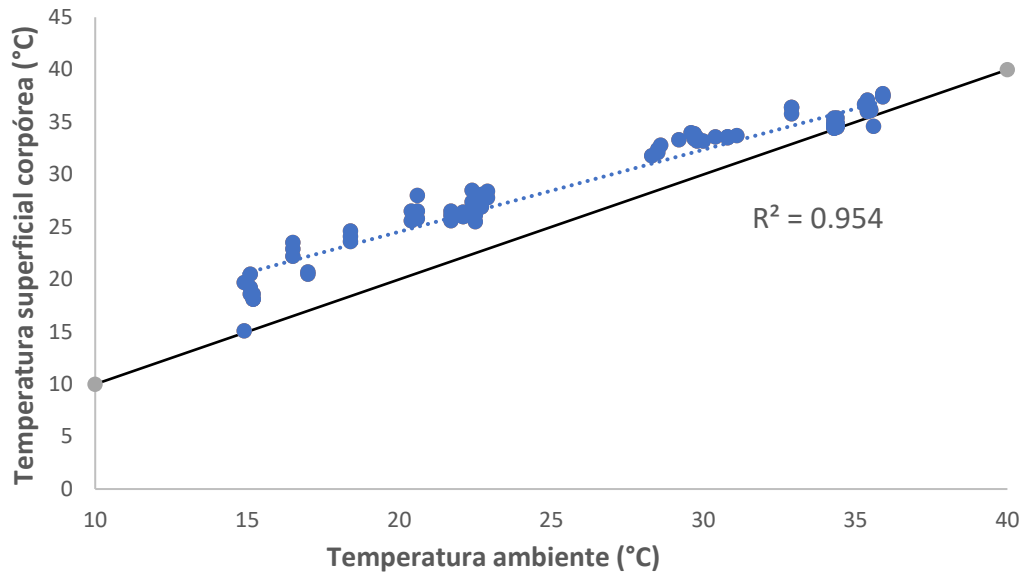


**Figura 13:** Imagem térmica da distribuição de calor pelos apêndices dentro de temperaturas quentes e frias. Fonte: acervo pessoal do autor

## Apêndices

### Bico

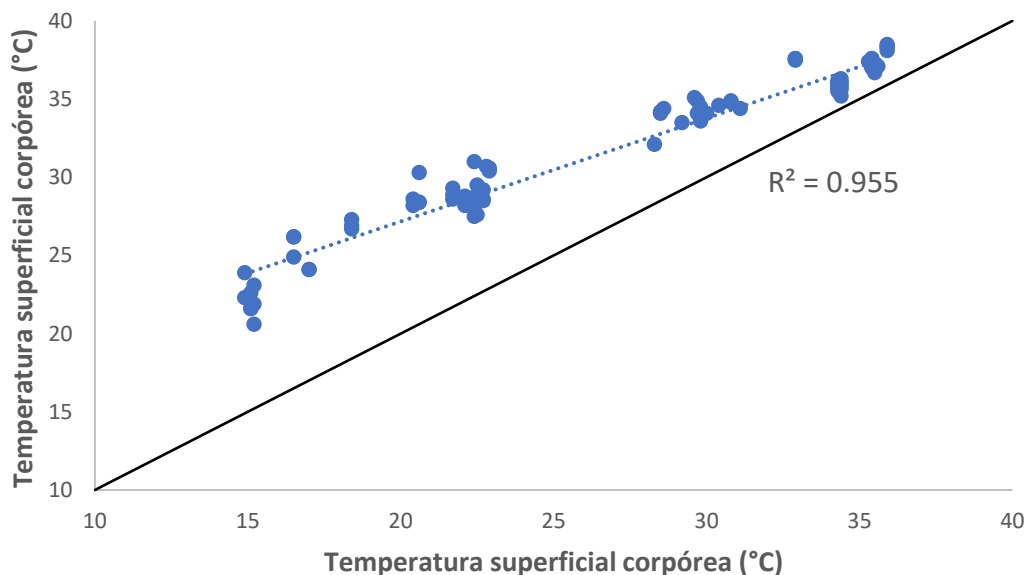
Essa porção mostrou ter uma alta correlação com o a temperatura ambiente (correlação de Pearson:  $r=0.977$ ;  $p<0.05$ ) mostrando que a temperatura desse apêndice aumenta na mesma proporção do ambiente (Figura 14)



**Figura 14:** Relação da temperatura ambiente com a temperatura média do Bico (média de  $n=107$ ) correlação positiva ( $r=0.977$ ;  $p<0.05$ ). Linha azul tracejada é a regressão obtida na correlação entre  $T_s$  e  $T_a$ . A linha preta contínua representa a isoterma entre  $T_s$  e  $T_a$ .

### Cabeça

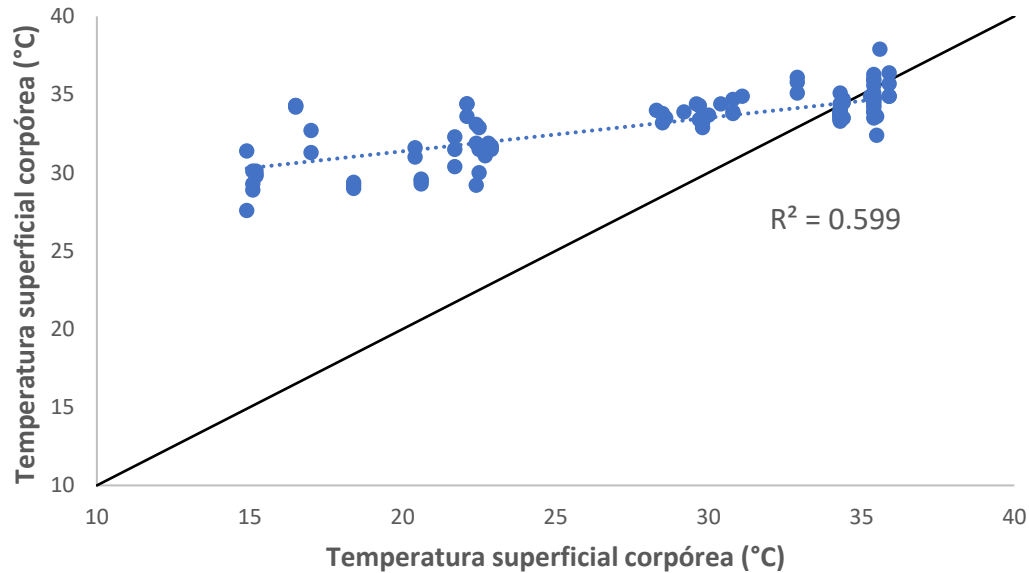
Os dados de temperatura média da cabeça também se mostraram com alta correlação com a temperatura ambiente (Correlação de Pearson:  $r=0.977$ ;  $p<0.05$ ) (Figura 15).



**Figura 15:** Relação da temperatura ambiente com a temperatura média da Cabeça (média de  $n=106$ ) correlação positiva ( $r=0.977$ ;  $p<0.05$ ). Linha azul tracejada é a regressão obtida na correlação entre  $T_s$  e  $T_a$ . A linha preta contínua representa a isoterma entre  $T_s$  e  $T_a$ .

### Olhos

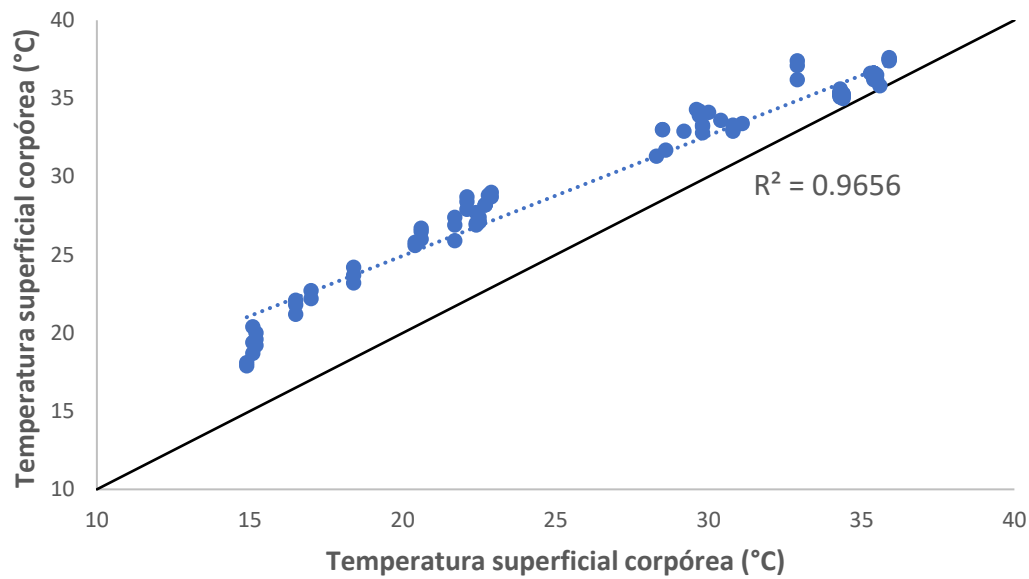
Nos dados obtidos para a espécie *Chlorostilbon lucidus* os olhos obtiveram correlação com o ambiente, porém menor quando comparadas com os outros apêndices (Correlação de Pearson:  $r=0,774$ ;  $p<0.05$ ). (Figura 16).



**Figura 16:** Relação da temperatura ambiente com a temperatura dos Olhos (média de  $n=106$ ) correlação positiva ( $r=0.774$ ;  $p<0.05$ ). Linha azul tracejada é a regressão obtida na correlação entre  $T_s$  e  $T_a$ . A linha preta contínua representa a isoterma entre  $T_s$  e  $T_a$ .

### Corpo Longitudinal

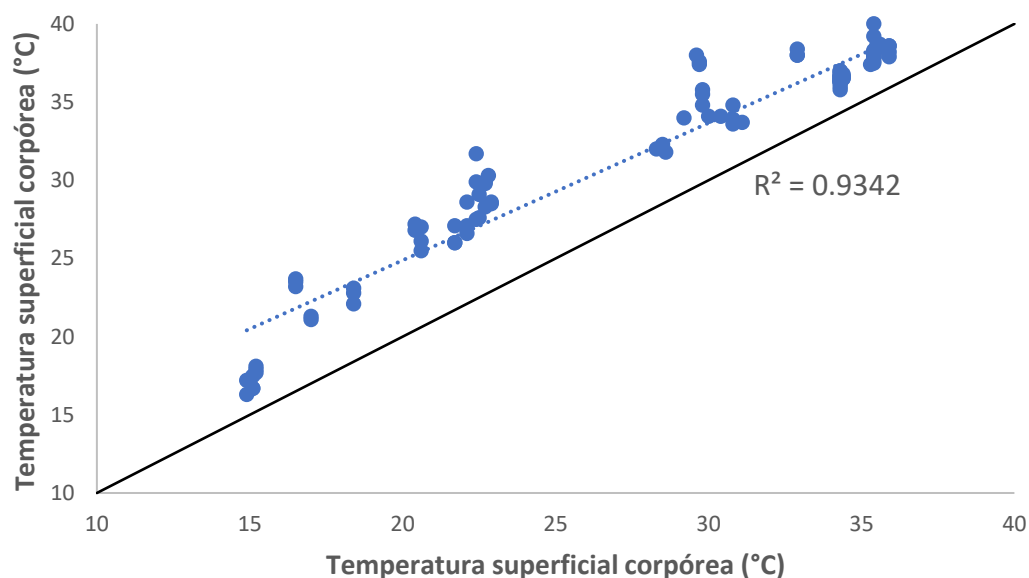
Essa região do corpo também se mostrou correlacionada com o ajuste da temperatura corporal (Correlação de Pearson:  $r=0.983$ ;  $p<0.05$ ). (Figura 17)



**Figura 17:** Relação da temperatura ambiente com a temperatura do Corpo longitudinal (média de  $n=106$ ) correlação positiva ( $r=0.983$ ;  $p<0.05$ ). Linha azul tracejada é a regressão obtida na correlação entre  $T_s$  e  $T_a$ . A linha preta contínua representa a isoterma entre  $T_s$  e  $T_a$ .

### Membros inferiores

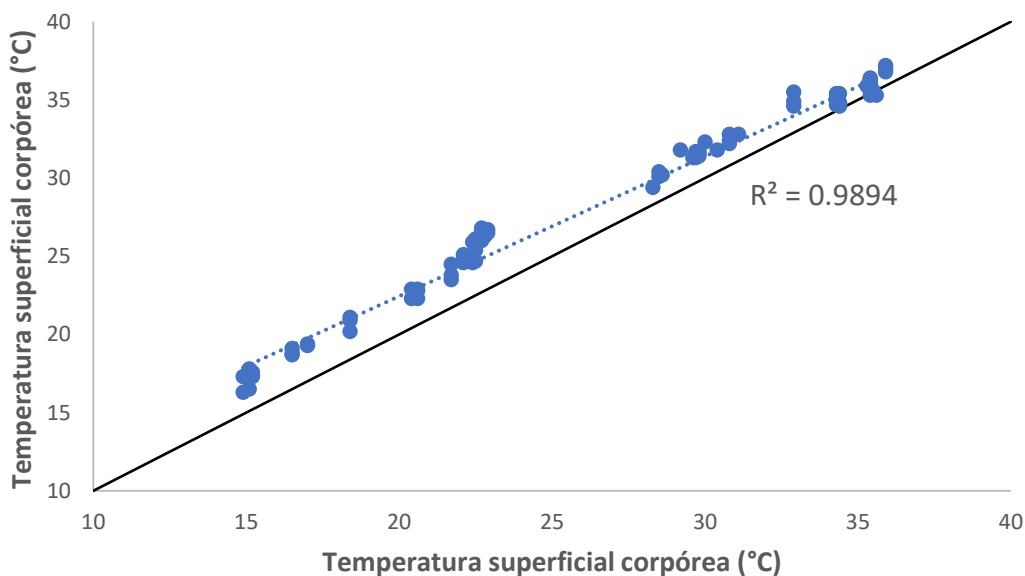
Os membros inferiores mostram uma correlação alta também quando comparadas as temperaturas do animal e ambiental (Correlação de Pearson:  $r=0.967$ ;  $p<0.05$ ) se mostrando uma porção que varia proporcionalmente com o ambiente (Figura 18).



**Figura 18:** Relação da temperatura ambiente com a temperatura máxima dos membros inferiores (média de  $n=106$ ) correlação positiva ( $r=0.967$ ;  $p<0.05$ ). Linha azul tracejada é a regressão obtida na correlação entre  $T_s$  e  $T_a$ . A linha preta contínua representa a isoterma entre  $T_s$  e  $T_a$ .

## Tórax

O tórax se mostrou uma região com alta relação com a temperatura ambiental (Correlação de Pearson:  $r=0.995$ ;  $p<0.05$ ) (Figura 19).

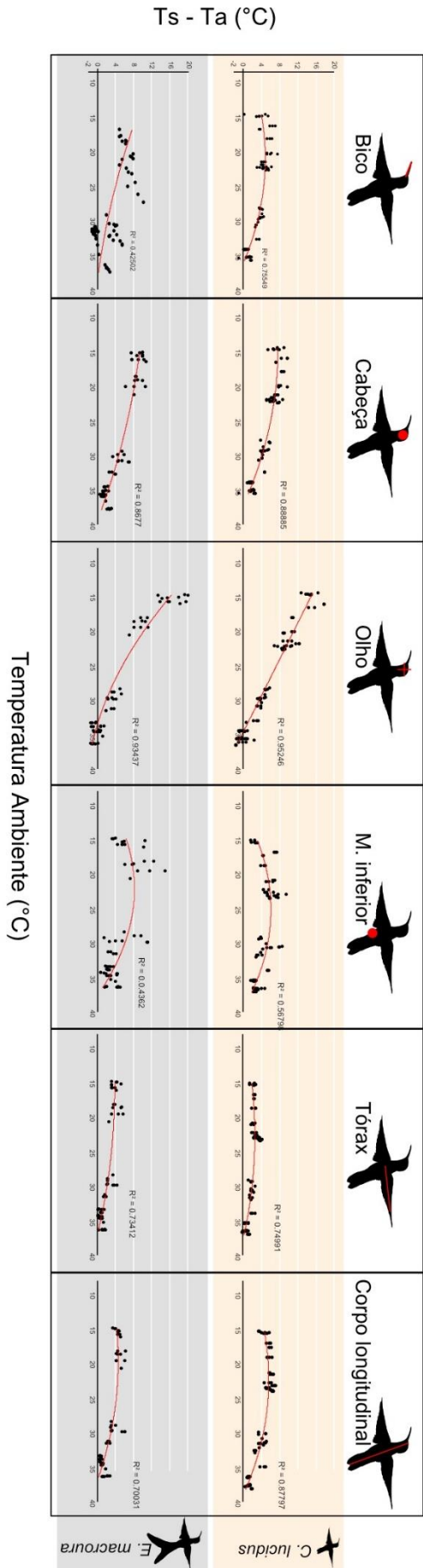


**Figura 19:** Relação da temperatura ambiente com a temperatura média do Tórax (média de  $n=106$ ) correlação positiva ( $r=0.995$ ;  $p<0.05$ ). Linha azul tracejada é a regressão obtida na correlação entre  $T_s$  e  $T_a$ . A linha preta contínua representa a isoterma entre  $T_s$  e  $T_a$ .

## Excesso de calor em função da temperatura do ambiente

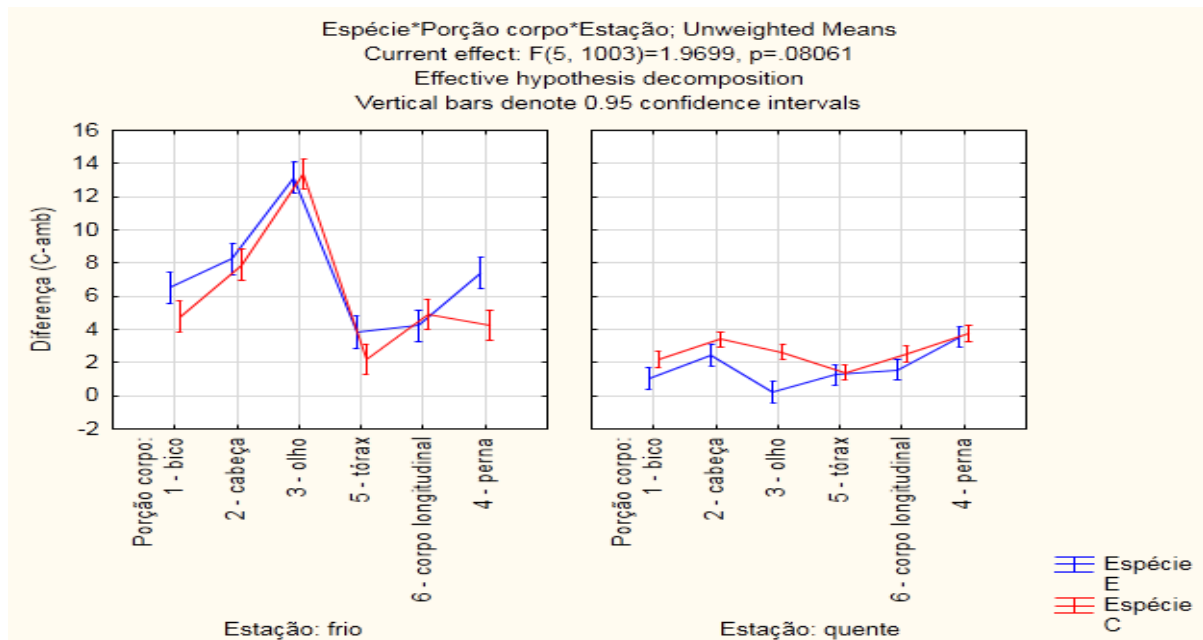
Na Figura 20 pode se observar a variação no  $\Delta T$  ( $T_s - T_a$ ) em diferentes porções corpóreas em função da temperatura ambiente ( $T_a$ ). Linhas vermelhas representam a relação entre  $\Delta T$  ( $T_s - T_a$ ) versus  $T_a$  e os pontos pretos representam os valores individuais obtidos ao longo do experimento. Podemos observar que o  $\Delta T$  das diferentes regiões corpóreas das duas espécies respondem de forma semelhante em função da  $T_a$ . Algumas porções praticamente não diferem da  $T_a$ , já outras como bico, cabeça e membro inferior parecem alterar o  $\Delta T$  na medida que altera o  $T_a$ . Já o  $\Delta T$  do olho é inversamente proporcional a  $T_a$ .





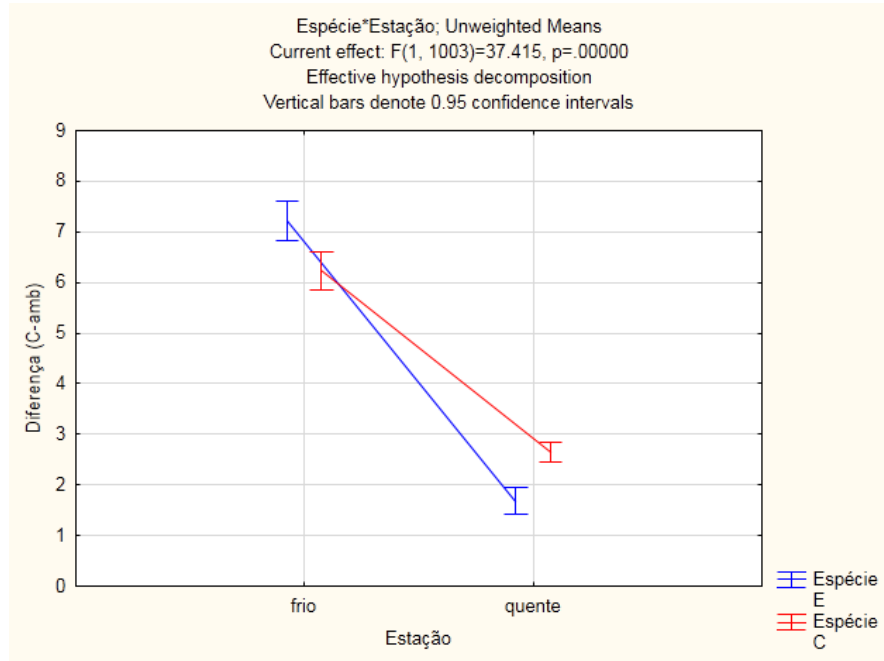
**Figura 20:** Excesso de calor  $\Delta T$  ( $T_s - T_a$ ) das diferentes porções corpóreas das duas espécies analisadas em relação e em função da temperatura do ambiente.

Quando comparados os resultados dos apêndices entre as espécies durante as duas estações houveram, de forma geral, duas grandes divergências nos dados. Na estação fria a diferença significativa nos dados se deu nos membros inferiores. Já na estação quente o apêndice que marcou uma diferença significativa foi o olho. (Figura 21)



**Figura 21:** Resposta dos apêndices de cada espécie nas estações fria e quente respectivamente. *E. macroura* média do bico n=63, média da cabeça n=63, média do olho n=63, média do tórax n=63, média do corpo longitudinal n=63, média do membro inferior n=64. *C. lucidus* média do bico n=107, média da cabeça n=106, média do olho n=106, média do tórax n=106, média do corpo longitudinal n=106, média do membro inferior n=106 e as barras indicam intervalo de confiança ( $p < 0.05$  – teste de Tukey)

Também foi comparada a resposta da temperatura das espécies com o aumento e diminuição da temperatura ambiente como pode ser observado na Figura 22. Observou-se diferença significativa entre as espécies, *E. macroura* apresentou um maior excesso de calor ( $T_s - T_a$ ) em relação ao *C. lucidus* durante o período frio e inverteu durante o período quente (Figura 22), sendo que a temperatura do olho foi a que mais divergiu na estação quente (Figura 21).



**Figura 22:** Resposta da temperatura superficial de cada espécie nas estações fria e quente respectivamente *E.macroura* ( média de  $n = 442$ ) (*C. lucidus* média de  $n = 743$ )

## 5.DISSCUSSÃO

Durante o vôo, os beija-flores atingem as maiores taxas metabólicas aeróbicas observada entre todos os vertebrados (SUAREZ *et al.*, 1990), o que torna interessante o estudo das trocas de calor durante sua atividade e a descrição de perfil térmico desses organismos. As análises dos diferentes apêndices nas duas espécies observadas mostraram características independentes dessas regiões corpóreas e a variação do ambiente.

Os olhos, nesse sentido, mostraram baixa dependência da temperatura ambiente (apresentaram os menores valores de correlação obtidos), sendo uma região de constante dissipação de calor e que tende a refletir a temperatura corpórea do animal o que condiz com a literatura (TATTERSALL, 2016; VOGEL *et al.*, 2016; BARROSO *et al.*, 2016; CHURCH; COOK; SCHAEFER, 2009; MCCAFFERTY, 2007). Diversas são as regiões ADC (Área de Dissipação de Calor) nos animais as quais não possuem grande capacidade de controle das trocas de calor com meio. Os olhos apresentaram as maiores  $T_s$  durante o inverno, mostrando não terem controle na perda de calor para ambiente externo. Esses dados foram condizentes com os encontrados em tucanos (*Ramphastos toco*) em que as temperaturas se mantiveram praticamente constantes nos olhos indicando o fluxo sanguíneo contínuo nessas áreas sem isolamento térmico (ausência de penas), independente da temperatura ambiental (TATTERSALL; ANDRADE; ABE, 2009).

Além disso, o olho foi a única região distinta entre as espécies durante o período mais quente e talvez possa estar refletindo o metabolismo dos indivíduos. Para ter certeza dessa diferença seriam necessárias análises mais aprofundadas entre as espécies e obtenção de mais dados para poder relacionar  $T_s$  do olho com  $T_b$ . No entanto, o metabolismo está inversamente relacionado com massa corpórea (SUAREZ, 1992), e seria de se esperar que *C. lucidus* teria maior metabolismo específico que *E. macroura*, o que poderia ser refletido em uma temperatura corpórea ligeiramente maior devido ao maior metabolismo e também as trocas de calor serem mais efetivas por sua menor inércia térmica, tendo em vista que a massa de *C. lucidus* é aproximadamente 25% da massa de *E. macroura* (SUAREZ *et al.*, 1990).

Quando analisamos a correlação da temperatura superficial dos apêndices com a temperatura do ambiente, todos os apêndices possuem correlação positiva com a temperatura ambiente. Os olhos, região axilar e pés, que já haviam sido identificados como importantes ADC na espécie *Selasphorus calliope* (POWERS *et al.*, 2015),

também se mostraram regiões importantes para a espécie *Eupetomena macroura* e *Chlorostilbon lucidus* no presente trabalho.

As outras regiões corpóreas estudadas apresentaram um perfil de  $T_s$  variando entre porção não vascularizada e possível janela térmica com controle vascular. Dentre essas regiões o membro inferior, bico e a cabeça parecem atuar com certo controle vascular e possível potencial de janela térmica. O membro inferior de ambas as espécies parece apresentar um controle vascular ao longo da variação da temperatura ambiente, na medida que a  $T_a$  aumenta podemos observar um aumento do  $\Delta T$  ( $T_s - T_a$ ) no intervalo intermediário das variações de  $T_a$  observado. Assim as espécies de beija-flor parecem utilizar os membros inferiores para controlar as trocas de calor com ambiente durante o voo.

Em relação a  $T_s$  do bico, pudemos constatar que ambas espécies também apresentam um certo distanciamento da isoterma, mostrando haver uma alteração de vasodilatação e vasoconstrição na medida que  $T_a$  altera. O efeito observado não é tão evidente como observado em outras espécies de aves, como no Tucano, onde o bico pode ser claramente utilizado como janela térmica (TATTERSALL; ANDRADE; ABE, 2009). Diferente do bico do tucano os bicos das espécies de beija-flor aqui observados possuem um bico muito mais fino e com relação superfície volume muito maior e menos vascularizado que o observado no tucano, dessa forma, não sendo de grande potencial termorregulatório. Porém estudos em ambiente controlado, com indivíduos identificados e variando a temperatura externa poderiam vir a ressaltar o maior potencial do bico, e de outras regiões corpóreas, na termorregulação dessas aves, o que não foi realizado nesse trabalho. A coleta e manutenção dessa espécie é complexa e não era objetivo do trabalho realizar nada invasivo.

A  $T_s$  da cabeça apresentou possível potencial de janela térmica em ambas espécies, porém a forma que obtivemos a  $T_s$  pode estar viciada por dados da temperatura dos olhos conjuntamente com regiões de isolamento térmico devido a presença de penas ao redor dos olhos, dessa forma é uma região corpórea com características mais próximas dos olhos, ou seja, sem controle vascular e assim região de grande dissipação de calor ADC.

A  $T_s$  obtida através das linhas no tórax e corpo longitudinal podem ser descritas como regiões não vascularizadas e cobertas praticamente na totalidade por penas e assim apresentando um isolamento térmico, no entanto, a porção axial deveria ser analisada de forma mais profunda pois é uma região com baixo isolamento térmico e

que durante o voo recebe grande quantidade de correntes de ar devido ao movimento das asas. Essa região axilar é altamente vascularizada e se apresenta como um local estratégico de ADC na medida que os beija-flores batem as asas (POWERS *et al.*, 2015). Essa região, portanto, pode estar intimamente associada a processos de termorregulação dessas aves. Dados em *Selasphorus calliope* mostraram que em voos mais velozes e com maiores movimentos de ar as temperaturas na região axial eram menores bem como a área de perda de calor (POWERS *et al.*, 2015). Essa região poderia ser melhor avaliada e ser observada com coleta de dados separados do tórax e corpo longitudinal avaliados nesse trabalho.

Quando se avalia as diferentes regiões corpóreas dentro da mesma espécie nas diferentes estações, pudemos constatar que em *C. lucidus* as secções do corpo longitudinal e do membro inferior mantiveram uma faixa de temperatura muito semelhante na estação fria. Já a região da cabeça obteve alta temperatura em relação a maioria dos apêndices nessa mesma estação tendo uma representação mais significativa que o bico por exemplo que também apresentou uma temperatura alta em relação ao ambiente.

Durante a estação quente, os membros inferiores, cabeça e olhos não mostraram diferenças significativas entre si ao mesmo tempo que apresentaram as temperaturas mais altas dentre todos os apêndices. Já o tórax não obteve diferença significativa nessa estação em relação ao corpo longitudinal e ao bico apresentando temperaturas muito próximas. Sendo assim, na estação quente o animal utiliza as regiões dos membros inferiores, cabeça e olho para dissipar o calor produzido, ao mesmo tempo que em temperaturas baixas os membros inferiores, o tórax e o bico reduzem a temperatura e, portanto, a circulação periférica desses locais afim de evitar a perda excessiva de calor. O tórax e os membros inferiores foram os únicos apêndices que não diferiram entre as estações. Provavelmente pelo pequeno tamanho, a espécie *C. lucidus* troca calor muito rápido com o ambiente e, sendo assim, a região axilar do tórax perde muito calor pela intensa movimentação de ar durante a movimentação das asas. Pela baixa inércia térmica (rápida troca de calor) que essa espécie apresenta ela precisa reduzir o tamanho ou número de janelas térmicas no corpo para reduzir a perda e a troca de calor, que é produzida, com o ambiente. Porém a compreensão das trocas de calor é algo bastante complexo pois envolvem além da massa, metabolismo da espécie e gradiente entre temperatura ambiente e corpórea, características como isolamento térmico na superfície, cor da

superfície, rede vascular na periferia, morfologia corporal, comportamento da espécie, e outros parâmetros agem nas diferentes trocas de calor: radiação, convecção e condução (SCHMIDT-NIELSEN, 1996; TATTERSALL; CADENA, 2010). Além dessas características regiões de maior permeabilidade também agem diretamente na no controle da temperatura corpórea, assim a análise das trocas de calor nunca é simples e um perfil térmico da espécie avaliando seus apêndices é fundamental para começar a conhecer e entender a termorregulação das espécies.

Na espécie *E. macroura* o bico, cabeça e membro inferior apresentaram temperaturas altas e muito próximas na estação fria não havendo diferença significativa entre eles. Já o corpo longitudinal não apresentou diferença com relação ao tórax e obtiveram temperaturas bem inferiores em relação aos outros apêndices, provando serem regiões mais isoladas do ambiente. O olho é a região mais significativa na perda de calor durante a estação fria seguida por cabeça, bico, membros inferiores, corpo longitudinal e tórax. Na estação quente, os membros inferiores demonstraram ser uma região importante e de intensa dissipação de calor, sendo assim o animal aumenta a circulação periférica principalmente nesse apêndice.

É importante destacar que o bico na espécie *E. macroura* teve um desempenho melhor que na espécie *C. lucidus*, esse dado pode ser justificado pelo fato do bico na espécie tesoura ser maior e talvez mais vascularizado e, portanto, de maior inercia térmica.

Além disso, na estação quente a temperatura corporal das aves foi mais próxima da temperatura ambiental, sendo assim todo o calor produzido era distribuído periféricamente por meio da vasodilatação afim de ser realizada a dissipação desse calor. No entanto, na estação fria algumas regiões corpóreas apresentaram temperatura bem acima da temperatura do ambiente, mostrando que algumas regiões não têm controle da  $T_s$  e outras que possuem isolantes (penas) permitem reduzir as trocas. Assim, em baixas temperaturas essas aves conservam o calor para manter o equilíbrio térmico e controlar a temperatura corpórea dentro de limites aceitáveis.

Apesar da dinâmica do controle térmico parecido, a espécie *E. macroura* tendeu a manter a temperatura geral mais baixa na estação quente e mais alta na estação fria, ao contrário da espécie *C. lucidus* que dissipou mais calor na estação quente e manteve mais calor na fria. Isso deve estar relacionado a diferença de massa (superfície/volume é maior em *C. lucidus*), assim *C. lucidus* troca mais fácil calor além de ter um metabolismo específico muito maior que *E. macroura*. Dessa forma, na

estação fria teria que tentar reter calor pela alta taxa de troca e na estação quente tenderia a dissipar mais calor pela alta taxa de produção e entrada de calor do ambiente externo, o que foi observado em nossos dados.

Na espécie *E. macroura* durante a estação fria os apêndices do bico, do membro inferior e da cabeça mostraram-se porções importante na conservação de calor. Em baixas temperaturas o animal joga calor para esses apêndices afim de conservar e manter a temperatura ideal para sobrevivência. O tórax e o corpo longitudinal, por outro, lado são locais em que o animal vasocontra para evitar a perda desse calor.

Outro ponto a ser colocado é que em temperaturas altas ambas as espécies jogaram calor para os membros inferiores como forma de termo regular, aumentando assim a perda de calor para o ambiente, evitando o superaquecimento (CHAI; CHANG; DUDLEY, 1998; POWERS *et al.*, 2015).



## 6. CONCLUSÃO

Os dados em geral foram condizentes com o que já vinha sendo relatado em literatura em outras espécies de beija-flor. As áreas de dissipação de calor também se mostraram dinâmicas de acordo com a temperatura do ambiente. Em altas temperaturas foi possível observar um aumento no tamanho dessas regiões acompanhado do aumento da temperatura, mostrando o aumento da circulação das regiões periféricas e da regulação cutânea nessas áreas.

O tamanho das espécies, que é um fator importante na taxa metabólica do animal e na inércia térmica, parece influenciar na eficiência e dissipação das janelas térmicas já que alguns apêndices se mostraram mais significativos quando comparados entre as espécies.

As regiões do bico e das pernas parecem ter grande potencial de janela térmica, além da porção axilar que deve trocar muito calor durante a atividade do voo e merece ser melhor explorada. Já os olhos é um local de grande dissipação de calor, altamente vascularizado e sem controle de trocas de calor.

Em termos de correlação dos apêndices com a temperatura ambiente, os olhos foram os únicos que demonstraram independência em relação a temperatura ambiental. Durante a variante de temperatura, os olhos se mantiveram em uma temperatura muito próxima entre as estações mostrando que essa região é diretamente relacionada com a temperatura corpórea do animal.

Por fim estudos concentrados em beija-flores sobre sua termorregulação podem trazer grandes avanços ao se compreender como animais tão pequenos tem uma eficiência térmica tão grande.

## REFERÊNCIAS

BARROSO, F. M.; CARRETERO, M. A.; SILVA, F.; SANNOLO, M. Assessing the reliability of thermography to infer internal temperatures of lizards. *J. Ther. Biol.* 62, 90-96, 2016

BAUM, K. A.; GRANT, W. E. Hummingbird foraging behavior in different patch types: Simulation of alternative strategies. *Ecological Modelling*, v. 137, n. 2–3, p. 201–209, 2000.

BÜNDGEN, R., KIRWAN, G.M. & BOESMAN, P. (2017). Glittering-bellied Emerald (*Chlorostilbon lucidus*). In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & de Juana, E. (eds.). **Handbook of the Birds of the World Alive**. Lynx Edicions, Barcelona. disponível em: <<http://www.hbw.com/node/55438>>. Acesso em 01 de set. 2017.

CHAI, P.; CHANG, A. C.; DUDLEY, R. Flight thermogenesis and energy conservation in hovering hummingbirds. *Journal of Experimental Biology*, v. 201, n. 7, p. 963–968, 1998.

CHURCH, J. S.; COOK, N. J.; SCHAEFER, A. L. Recent Applications of Infrared Thermography for Animal Welfare and Veterinary Research: Everything from Chicks to Elephants. *InfraMation*, 10, 2009.

COLLINS, B. G.; CARY, G.; PAYNE, S. Metabolism, thermoregulation and evaporative water loss in two species of Australian nectar-feeding birds (family Meliphagidae). *Comparative Biochemistry and Physiology -- Part A: Physiology*, v. 67, n. 4, p. 629–635, 1980.

EDUARDO, J.; BICUDO, P. W.; CHAUI-BERLINCK, J. G. Locomotion and thermogenesis in hummingbirds. *Comparative Biochemistry and Physiology - B Biochemistry and Molecular Biology*, v. 120, n. 1, p. 27–33, 1998.

EVANGELISTA, D. *et al.* Hovering energetics and thermal balance in Anna's

hummingbirds (*Calypte anna*). **Physiological and biochemical zoology**, v. 83, n. 3, p. 406–413, 2010.

HEALY, S. HURLY, A. Quick guide Hummingbirds. **Current Biology**, v. 16, n. 11, p. R392–R393, 2006.

MCCAFFERTY, D. J. The value of infrared thermography for research on mammals: previous applications and future directions. **Mamm. Rev.** 37, 207–223, 2007.

PACHECO, J. F.; WHITNEY, B. M. Mandatory changes to the scientific names of three Neotropical birds. **Bulletin of The British Ornithologists' Club**, v. 126, n. 1946, p. 242–244, 2006.

POWERS, D. R. *et al.* Heat dissipation during hovering and forward flight in hummingbirds. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 2, p. 150598, 2015.

SCHUCHMANN, K.L. & KIRWAN, G.M. (2017). Swallow-tailed Hummingbird (*Eupetomena macroura*). In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & de Juana, E. (eds.). **Handbook of the Birds of the World Alive**. Lynx Edicions, Barcelona. Disponível em: <<http://www.hbw.com/node/55395>>. Acesso em 01 de set. 2017.

SCHMIDT-NIELSEN, K. **Fisiologia animal – adaptação e meio ambiente**. 5ª ed. São Paulo, 1996.

SICK, H. **Ornitologia Brasileira**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997

SUAREZ, R. K. Hummingbird flight: Sustaining the highest mass-specific metabolic rates among vertebrates. **Experientia**, v. 48, n. 6, p. 565–570, 1992.

SUAREZ, R. K.; GASS, C. L. Hummingbird foraging and the relation between bioenergetics and behaviour. **Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology**, v. 133, n. 2, p. 335–343, 2002.

SUAREZ, R. K. et al. Fuel selection in rufous hummingbirds: ecological implications of metabolic biochemistry. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 87, 9207–10 (1990).

TATTERSALL, G. J.; ARNAOUT, B.; SYMONDS, M. R. E. The evolution of the avian bill as a thermoregulatory organ. **Biological Reviews**, v. 92, n. 3, p. 1630–1656, 2017.

TATTERSALL, G. J.; CADENA, V. Insights into animal temperature adaptations revealed through thermal imaging. **The Imaging Science Journal**, v. 58, n. 5, p. 261–268, 2010.

TATTERSALL G. J.; Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. **Comp. Biochem. Physiol. -Part A Mol. Integr. Physiol.** 202, 78–98, 2016.

VOGEL, B *et al.* Touch-free measurement of body temperature using close-up thermography of the ocular surface. **MethodsX**. 3, 407-416, 2016

WARRICK, D. *et al.* Hummingbird flight. **Current Biology**, v. 22, n. 12, p. R472–R477, 2012.

WELLS, D. J. Muscle performance in hovering hummingbirds. **Journal of Experimental Biology**, v. 178, p. 39–57, 1993.

WILLIAMS, T. M. Heat transfer in elephants: thermal partitioning based on skin temperature profiles. **Journal of Zoology**, v. 222, n. 2, p. 235–245, 1990.

WOLF, L. L.; HAINSWORTH, F. R. Temporal patterning of feeding by hummingbirds. **Animal Behaviour**, v. 25, n. PART 4, p. 976–989, 1977.

YARBROUGH, C. G. The influence of distribution and ecology on the thermoregulation of small birds. **Comparative Biochemistry and Physiology -- Part A: Physiology**, v. 39, n. 2, p. 235–266, 1971.