

**ROSA DE FÁTIMA TAVARES**

**TERMORREGULAÇÃO DE COLMEIAS DE *Apis mellifera* EM  
AMBIENTES DE SOL E SOMBRA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Zootecnia

**Orientador:** Prof. Marcílio de Azevedo

**Co-orientadora:** Prof<sup>a</sup> Maria de Lourdes de Queiroz

Recife – PE

2012

Ficha catalográfica

T231t Tavares, Rosa de Fátima  
Termorregulação de colmeias de *Apis mellifera* em  
ambientes de sol e sombra no semiárido pernambucano /  
Rosa de Fátima Tavares – Recife, 2012.  
48 f. : Il.

Orientador: Marcílio de Azevedo  
Dissertação (Mestrado em Zootecnia) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento  
de Zootecnia, Recife, 2012.

Referências.

1. Abelha 2. Comportamento térmico 3. Criação 4. Perda  
de calor 5. Umidade I. Azevedo, Marcílio de, orientador  
II. Título

CDD 574.5222

**ROSA DE FÁTIMA TAVARES**

**TERMORREGULAÇÃO DE COLMÉIAS DE APIS MELLIFERA EM  
AMBIENTES DE SOL E SOMBRA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Orientador:



Prof. Dr. Marcílio de Azevedo  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Departamento de Zootecnia  
Presidente

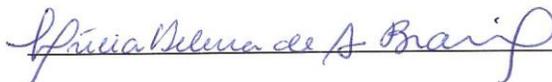
Examinadores:



Profª Dra. Adriana Evagelista Rodrigues  
Universidade Federal da Paraíba  
Centro de Ciências Agrárias  
Departamento de Zootecnia



Profª Dra. Fabiana Martins Costa Maia  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Coordenação de Zootecnia



Profª Dra. Lúcia Helena de Albuquerque Brasil  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Departamento de Zootecnia

RECIFE – PE  
FEVEREIRO - 2012

## **BIGRAFIA DO AUTOR**

Rosa de Fátima Tavares, filha de Rosa Maria Gomes Tavares e de José Luiz Tavares Filho, nasceu em 04 de fevereiro de 1983, Limoeiro – PE. No ano de 2005 ingressou no curso de Zootecnia na Universidade Federal de Pernambuco, onde, no período de 2006 até 2009 participou do Programa de Iniciação Científica (PIBIC – Bolsista) pela Universidade Federal de Pernambuco no Departamento de Energia Nuclear (DEN-UFPE). Em 2009, foi monitora voluntária da disciplina de Apicultura e Sericicultura, obtendo o título de Zootecnista neste mesmo ano. Em março de 2010, iniciou as atividades como aluna regular do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia na área de Produção de Não-Ruminantes. No período de agosto de 2010 até dezembro de 2010 participou do “Mestrado Sanduíche”, na Universidade Estadual de Maringá, através do Programa de Cooperação Acadêmica (PROCAD/CAPES). Em fevereiro de 2012, submeteu-se a defesa da dissertação para obtenção do título de “Mestre em Zootecnia”.

*À minha mãe,*

*Rosa Maria Gomes da Silva, que é a pessoa mais importante da minha vida, e que participou diretamente em todas as minhas conquistas e perdas. Muito obrigada, mãe querida, por mais esta etapa vencida em minha vida.*

*Ao meu marido,*

*Jairo, que, desde a graduação, sempre me incentivou e teve participação nos meus projetos, com toda sua paciência, companheirismo e amor. Muito obrigada, meu amor, por mais uma vitória.*

*Aos meus irmãos,*

*Ana Tavares e Tavares Neto*

*Pelo amor, carinho e compreensão.*

*À minha tia Guida Gomes,*

*Pelo carinho, pelo acolhimento e conselhos.*

***Dedico***

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade de realizar o curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e ao Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (PROCAD), pelas bolsas de estudo.

Ao Professor Marcílio de Azevedo, pela orientação, pela oportunidade e confiança.

À professora Maria de Lourdes de Queiroz, pelos ensinamentos grandiosos, conhecimento prático e pela amizade.

À professora Fabiana Martins Costa Maia, pelas consultas via internet e telefone, ensinamentos, pela paciência e amizade.

Ao professor Vagner de Alencar Arnaut de Todelo, pelos conhecimentos valiosos e acolhimento durante o tempo que passei em Maringá-PR e a sua esposa Djanety Araujo pelo carinho e amizade.

À professora Lúcia Helena de Albuquerque Brasil, pelas sugestões e pelo empréstimo dos equipamentos que foram muito úteis à realização da pesquisa. Agradeço, também, ao professor Marcelo de Andrade Ferreira, pelo incentivo e pelo empréstimo do material utilizado no experimento.

Ao Coordenador da Estação de Agricultura Irrigada de Ibimirim (EAI-Ibimirim), Marcos Lima.

À família da Leila e Edilson Santos, e seus filhos pelo acolhimento e ajuda na condução do experimento.

Aos apicultores, em especial, Mauritônio Barbosa Pereira (Tony) pela ajuda na aquisição dos equipamentos apícolas e conversas. E ao apicultor Cícero Antônio Filho (Iri) e família, pela concessão do local, ensinamentos práticos, pelo acolhimento e auxílio no desenvolvimento desta pesquisa em Ibimirim.

Aos amigos que fizeram parte desses momentos, sempre me ajudando e incentivando.

A Taysi Bianca Arantes Alves de Lima, Carlos Frederico da Costa, pela ajuda no experimento.

Ao amigo Gustavo Ramos, pela contribuição valiosa desde o início da implantação do apiário até coleta de dados, e pela paciência.

Aos amigos: Janete Gomes, Gleiciane Galvão, Carla Mônica de Brito, Edvaldo de Oliveira e Valdson Silva, pela amizade e companheirismo.

Aos amigos que conquistei em Maringá-Paraná: Pâmela Roberta de Souza, Amanda, William, Fabiano Kogawa, em especial, Jackelinny Ravanelli Martins e André Luiz Halak, por estarem sempre ao meu lado.

A todos os colegas, professores e funcionários do Departamento de Zootecnia, pelo convívio e aprendizagem.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Perda de calor por convecção com a diferença de temperaturas ( $t_S - t_A$ ) em abelhas no alvado de colmeias ao sol, sob sombrite e sombra natural, sendo $t_S$ (°C) a temperatura da superfície torácica e $t_A$ (°C) a temperatura do ar.....	35
ANEXO	
Figura 1. Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.....	44
Figura 2. Colmeias de abelhas africanizadas, <i>Apis mellifera</i> , ao sol.....	44
Figura 3. Colmeias de abelhas africanizadas, <i>Apis mellifera</i> , sob sombra de sombrite.....	45
Figura 4. Colmeias de abelhas africanizadas, <i>Apis mellifera</i> , sob sombra natural.....	45
Figura 5. Abrigo termométrico.....	46
Figura 6. Globo negro instalado a 0,8 metros do piso.....	46
Figura 7. Introdução do sensor do termohigrômetro no centro do ninho para coleta da temperatura e umidade interna.....	47
Figura 8. Contenção da abelha operária, parada no alvado.....	47
Figura 9. Gaiola utilizada para contenção e aferição da temperatura torácica das abelhas.....	48
Figura 10. Aferição da temperatura torácica, com termopar tipoT - 50 (Cobre/Constantan).....	48

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Determinação das características do ar à temperatura $t_A$ (°C) e $T_A$ (K).....	26
Tabela 2. Médias das variáveis climáticas durante o período experimental.....	30
Tabela 3. Coeficiente de Correlação de Pearson nas colônias entre as variáveis: temperatura interna ( $t_{int}$ , °C), umidade relativa interna ( $UR_{int}$ , %), temperatura torácica das abelhas ( $t_t$ , °C), temperatura do bulbo seco ( $T_s$ , °C), temperatura do globo negro ( $T_{gn}$ , °C), umidade relativa externa ( $UR_{ext}$ , °C), carga térmica radiante ( $CTR$ , $W.m^{-2}$ ) e velocidade dos ventos ( $V_v$ , m/s).....	31
Tabela 4. Valores médios da temperatura e umidade interna das caixas em ambientes ao sol e à sombra.....	32
Tabela 5. Médias com respectivos coeficientes de variação (CV) para temperatura torácica ( $t_t$ ), temperatura do ar ( $t_A$ ) e carga térmica radiante ( $CTR$ ).....	33

## LISTA DE SÍMBOLOS

$t_A$	temperatura do ar, °C
$T_A$	temperatura do ar, K
$\nu$	viscosidade cinemática do ar, m.s <sup>-1</sup>
$\rho$	densidade do ar, g.m <sup>-3</sup>
$k$	condutividade térmica do ar, W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>
$\lambda$	calor latente de vaporização da água, J.g <sup>-1</sup>
$c_p$	calor específico do ar J.kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
$CTR$	carga térmica radiante, W.m <sup>-2</sup>
$\sigma$	constante de Stefan-Boltzmann, W.m <sup>-2</sup> . K <sup>-1</sup>
$T_{rm}$	temperatura radiante média, K
$V_v$	velocidade do vento, m.s <sup>-1</sup>
$T_G$	temperatura do globo negro, K
$t_{gn}$	temperatura do globo negro
$T_s$	temperatura do bulbo seco, K
$C$	fluxo de calor por convecção, W.cm <sup>-2</sup>
$r_H$	resistência da camada limite à transferência de calor por convecção, s.m <sup>-1</sup>
$T_S$	temperatura da superfície corporal da abelha, K
$t_s$	temperatura da superfície torácica da abelha, °C
$d_A$	diâmetro médio corporal das abelhas, m
$D$	diâmetro do globo negro, m

<i>Re</i>	número de <i>Reynolds</i> , adimensional
<i>Pr</i>	número de <i>Prandtl</i> , adimensional
<i>Gr</i>	número de <i>Grashof</i> , adimensional
<i>Nu</i>	número de Nusselt, adimensional
<i>G</i>	gravidade, $\text{m.s}^{-2}$

**SUMÁRIO**

BIOGRAFIA .....	iv
DEDICATÓRIA .....	v
AGRADECIMENTOS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS.....	x
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Termorregulação do Ninho.....	17
2.2 Temperatura da Superfície Torácica.....	19
2.3 Influência do Ambiente na Colônia.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5. CONCLUSÕES.....	37
6. REFERÊNCIAS .....	38

## TERMORREGULAÇÃO DE COLMEIAS DE *Apis mellifera* EM AMBIENTES DE SOL E SOMBRA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

**RESUMO-** O experimento foi conduzido no período de outubro a dezembro de 2011, na cidade de Ibimirim com o propósito de avaliar o efeito do sombreamento natural e artificial sobre a termorregulação individual e das colônias de *Apis mellifera* africanizadas. O delineamento foi inteiramente casualizado sendo três tratamentos (colmeias modelo Langstroth ao sol, sob sombrite e sob sombra natural) com cinco repetições. As variáveis estudadas foram: temperatura e umidade internas, temperatura torácica das abelhas operárias. A leitura da temperatura e umidade relativa no interior das colmeias foi obtida utilizando um termoigrômetro digital através de um orifício de 25 mm de diâmetro, por trás da caixa, apropriado para a introdução do sensor no centro do ninho na profundidade de 17 cm da colmeia. Para avaliação da temperatura torácica das abelhas, 80 operárias em cada tratamento, foram imobilizadas em uma gaiola de contenção para rainha, aferindo a temperatura com mini-termopar tipo T - 50 (Cobre/Constantan). As variáveis climáticas foram monitoradas sempre no mesmo horário das coletas das variáveis internas das colmeias e da temperatura torácica das abelhas, por intermédio de um abrigo termométrico instalado no centro do apiário. Foi realizada correlação de Pearson entre a temperatura torácica das abelhas e o ambiente interno e externo das colmeias. Análise de variância e teste de médias entre as variáveis medidas nos três tratamentos também foram realizadas por meio do programa R 2.14 (2011). Foi observada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na temperatura interna de colmeias de abelhas, a sombra natural ( $34,4 \pm 1,3^\circ\text{C}$ ) foi significativamente menor ( $p < 0,05$ ) que aquelas observadas nos outros dois ambientes, sol ( $34,8 \pm 1,3^\circ\text{C}$ ) e sombrite ( $34,7 \pm 1,2^\circ\text{C}$ ), as quais não diferiram entre si. Não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para a umidade relativa nos três tratamentos. A carga térmica radiante ( $\text{W.m}^{-2}$ ) apresentou maior ( $p < 0,05$ ) média,  $725 \pm 182$  ao sol, os outros dois tratamentos não apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre si, de  $587 \pm 57$  e  $563 \pm 53$  à sombra de sombrite e natural, respectivamente. Não houve diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre as temperaturas torácicas das abelhas. As correlações, de forma geral, mantiveram-se muito baixas. O sombreamento natural favoreceu a termorregulação interna das colônias de *Apis mellifera*, mas não influenciou a termorregulação individual das abelhas operárias.

**Palavras-chave:** abelha, comportamento térmico, cria, perda de calor, umidade.

**THERMOREGULATION OF THE HIVE OF HONEY BEES, *Apis mellifera*, IN ENVIRONMENTS OF SUN AND SHADOW IN THE SEMI-ARID OF PERNAMBUCO, BRAZIL**

**ABSTRACT** – The experiment was conducted from October to December 2011, in the city of Ibimirim in semi-arid of Pernambuco from Brazil with the purpose to evaluate the effect of natural and artificial shadow on individual thermoregulation and of the colonies of Africanized *Apis mellifera* in the warm period of the year. The delineation was completely randomized with three treatments (model Langstroth hives bees exposed directly the light in the sun, shadowing artificial and under natural shadow) with five repetition. The variables studied were internal temperature and humidity, thoracic temperature of the workers bees. The measuring of the temperature and relative humidity inside the hive was obtained using the sensors of a digital thermohygrometer through a hole 25 mm in diameter behind the box, suitable for the introduction of the sensor in the center of the nest 17 cm within of the hive. To measure the thoracic temperature of bees, 80 workers bees in each treatment were immobilized in a restraint cage for queen, checking the temperature with mini-thermocouple type T - 50 (Copper / Constantan). The climatic variables were monitored in the same time the measuring of the internal variables of the hives and the thoracic temperature of bees through a shelter thermometric installed in the center of the apiary. Pearson correlation was performed between the thoracic temperature of bees and the internal and external environment of the hives. Analysis of variance and mean test between the variables measured in the three treatments were also performed using the program R 2.14 (2011). Significant difference ( $p < 0.05$ ) in the internal temperature of hives of bees, the natural shadow ( $34.4 \pm 1.3$  ° C) was significantly lower ( $p < 0.05$ ) than those observed in the other two environments sun ( $34.8 \pm 1.3$  ° C) and shadowing ( $34.7 \pm 1.2$  ° C), which did not significant difference. There was no significant difference ( $p > 0.05$ ) for relative humidity in the three treatments. The radiant thermal load ( $W m^{-2}$ ) showed great than ( $p < 0.05$ ) average,  $725 \pm 182$  in the sun, the other two treatments did not differ significantly ( $p < 0.05$ ) among themselves, of  $587 \pm 57$  and  $563 \pm 53$  in the shadowing artificial and natural shadow, respectively. There were no significant differences ( $p > 0.05$ ) between the thoracic temperature of bees. The correlations in general, remained very low. The natural shadow favored the thermoregulation of the internal colonies of *Apis mellifera*, but did not influence the thermoregulation of individual worker bees.

**Keywords:** honey bee, brood, convection, heat loss, humidity, thermal behavior.

## 1. INTRODUÇÃO

A apicultura tem se mostrado uma excelente atividade agropecuária na região Nordeste, com destaque para o sertão que apresenta grande diversidade florística, característica esta que torna favorável a criação de abelhas africanizadas (*Apis mellifera*), satisfazendo aos três requisitos da sustentabilidade-econômica, ambiental e social-, atribuindo renda para o apicultor, possibilitando a utilização de mão de obra familiar e cooperando para a manutenção da flora nativa por meio da polinização e preservação do meio ambiente, além de ser favorecida por não utilizar produtos químicos.

A produção de mel no Brasil cresceu de forma contínua nos últimos anos, apresentando no ano de 2000 uma produção de 21.865 toneladas, em 2003 superou a marca de 30.000 toneladas, em 2010 obteve uma produção de 38.017, sofrendo uma queda de 2,5% em relação a 2009, ocorrência explicada pela dificuldade de comercialização devido ao inverno rigoroso no Estado do Rio Grande do Sul, considerado o maior produtor do país. No entanto, municípios do estado de Pernambuco, a exemplo de Araripina, esse passou a ser o primeiro colocado no ranking nacional, e Ibimirim aparece em décimo quinto, com produção média de 270 toneladas de mel em 2010 (IBGE, 2010).

O Brasil possui grande maioria do seu território, cerca de dois terços, situado na faixa tropical do planeta, onde predominam altas temperaturas do ar, consequência da elevada radiação solar incidente (Baccari Jr, 2001). A radiação solar é um dos principais estressores climáticos para os animais domésticos nos trópicos e, segundo Silva (2008), a proteção proporcionada pela sombra é uma barreira eficiente, pois reduz de 30% a 50% da carga térmica radiante sobre os animais.

No Semiárido Nordestino, especialmente durante o dia, a temperatura ambiente pode ser muito maior que a temperatura da superfície corporal da abelha, e a convecção e a radiação podem ser mecanismos de ganho e não de perda de calor (Carvalho, 2009).

O sol direto sobre as colmeias eleva a temperatura interna, afeta o desenvolvimento das crias e a produção dos enxames. Assim, as estruturas internas do ninho da colmeia, local onde as abelhas se alojam, podem proporcionar isolamento térmico da colônia como um todo (Heinrich, 1979) devido a cera utilizada na construção dos favos, o material utilizado na construção da colmeia, em geral madeira, são isolantes térmicos.

Uma das grandes vantagens e também desafios para os insetos com organização social, como as abelhas, é a homeostase ou manutenção da temperatura do ninho e de outras condições ambientais em níveis relativamente constantes a despeito das variáveis ambientais (Winston, 2003). Um dos mecanismos para controlar a temperatura interna reside na escolha pelo enxame do local de nidificação. Para facilitar o trabalho das abelhas, algumas alternativas para minimizar este problema têm sido utilizadas pelos apicultores, como o sombreamento natural, utilização de telhas de amianto, cobertura de palha e até mesmo estrutura com telhas cerâmicas, podendo ser uma forma de minimizar o estresse térmico sofrido pelas abelhas, em regiões tropicais como o Nordeste brasileiro (Lopes et al., 2007).

Neste contexto, avaliou-se o efeito do sombreamento natural e artificial sobre a termorregulação individual e de colônias de *Apis mellifera* africanizada no período quente do ano na região semiárida do Nordeste.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Termorregulação do Ninho

A termorregulação interna de colônias de *Apis mellifera* é realizada pelas operárias através da produção de calor endotérmico, mediante a aglomeração no centro do ninho, junto com o metabolismo das crias e dependendo da fase do ciclo evolutivo elas podem produzir mais ou menos calor (Levin & Collinson 1990).

O calor é gerado metabolicamente pelo tiritar dos músculos de voo (Esch, 1960; Harrison, 1987; Kleinhenz et al 2003), sem mover as asas (Esch et al, 1991). As abelhas, sob temperaturas baixas, agrupam-se dentro do ninho, reduzindo a condutividade térmica da cera alveolada transformando o favo em um isolante térmico (Southwick, 1985).

A temperatura da colônia também pode ser mantida por meio da perda de calor através da evaporação com as operárias coletando água, batendo suas asas na entrada da colmeia, formando, assim, um corredor de vento para resfriá-la internamente, compensando, assim, a oscilação da temperatura ambiental (Lensky, 1964; Kronenberg & Heller, 1982; Harison, 1987; Kuhnholz & Seeley 1997) .

Os insetos eussociais são caracterizados pela divisão de trabalho, por meio do politeísmo temporal, e o desenvolvimento comportamental das abelhas operárias pode ser acelerado ou retardado devido às condições ambientais, causando mudanças na estrutura etária das colônias e podendo causar também malformações graves nas abelhas adultas, se a temperatura interna do ninho não for mantida dentro da faixa ideal (Robinson, 2002; Johnson, 2003).

A *Apis mellifera* mantém a temperatura interna da colônia entre 30° e 36°C por meio do arrefecimento ou aquecimento (Esch & Goller, 1991; Heinrich, 1979).

Quando a temperatura interna não é mantida dentro dessa faixa, as consequências podem ser danos cerebrais e perdas em capacidade comportamental (Tautz et. al., 2003; Groh et al., 2004), podendo causar anormalidades no desenvolvimento e morte quando há excesso de apenas 1 a

2°C por qualquer período de tempo (Himmer, 1927; Tautz et al., 2003; Groh, et al., 2004).

O aumento da temperatura da colmeia faz com que as operárias se desloquem para regiões menos movimentadas do ninho, ou mesmo para fora da colmeia. Muitas vezes, formam um aglomerado abaixo da entrada da colmeia, especialmente quando elas não têm acesso temporário a uma fonte de água doce ou quando em condições de temperatura extremamente altas e alta umidade, sendo a evaporação menos eficaz. Isto reduz a produção de calor dentro do ninho e facilita sua ventilação (Seeley, 1985).

As abelhas, *Apis mellifera*, possuem um comportamento termorregulatório eficiente às variações climáticas, que propiciou a estes insetos alto grau de organização e adaptação a diversos tipos de ambientes, por meio da capacidade de dissipar o excesso de calor através da evaporação, radiação e convecção (Church, 1959). Segundo Heran (1952), as abelhas podem identificar diferenças de temperaturas tão pequenas quanto 0,25°C, provavelmente com os termorreceptores de suas antenas.

Dentro de uma colônia geralmente contém várias dezenas de subfamílias devido à poliandria da rainha, característica que beneficia as abelhas, já que o comportamento para manter a temperatura estável dentro do ninho é diferente entre as abelhas do gênero *Apis*. A *Apis mellifera* coloca o ar quente para fora batendo as asas, enquanto a *Apis cerana* ventila o ar de fora para dentro da colônia, sendo este um processo mais eficiente para diminuição da temperatura interna, porém, esta espécie é menos sensível ao calor começando mais tardiamente a termorregulação do ninho em relação a *Apis mellifera*. (Sakagami, 1996; Graham, et al., 2006).

Tautz, et al. (2003) avaliaram o desempenho comportamental de abelhas operárias adultas, testaram três temperaturas, 32°C, 34,5°C e 36°C, na incubação do desenvolvimento pupal, e observaram quando as pupas eram incubadas com a temperatura mais elevada: as abelhas adultas apresentavam melhor memória, desenvolvimento mais rápido da fisiologia, do comportamento e maior atividade na dança, o que resulta em forrageamento precoce. Porém, este forrageamento, por

sua vez, influencia o número de abelhas que estão presentes na colônia durante o dia: colônias com temperaturas mais altas no ninho terá redução no número de abelhas na colmeia porque as operárias se desenvolvem em forrageadoras mais cedo. Um número reduzido de operárias na colmeia, por sua vez, terá efeitos negativos sobre o tamanho e a temperatura do ninho, já que apenas um número limitado de larvas podem ser alimentadas e incubadas por cada abelha nutriz (Tautz et al, 2003; Groh et al, 2004; Becher et al., 2010).

Segundo Human et al. (2006), apesar de a termorregulação dentro das colônias ter sido um dos aspectos bem estudados, em contraste, pouco se sabe como a umidade interna da colmeia é regulada. Outro ponto é saber se a umidade é controlada independente da temperatura, pois os controles de temperatura normalmente acompanham mudanças respiratórias, emissão de CO<sub>2</sub>, a evaporação da água e néctar, quando presentes, dentro da colmeia (Willmer, 1986; Ohashi et al., 2008).

Para resfriar a colmeia, as operárias começam a abanar com as asas e as gotículas de água espalham-se sobre o ninho e são evaporadas. Este comportamento também afeta a umidade e concentração de CO<sub>2</sub> do ar no interior da colmeia (Lindauer, 1954; Lensky, 1964; Seeley, 1985; Human et al, 2006).

## **2.2 Temperatura da Superfície Torácica**

A termorregulação do tórax é essencial para as abelhas alcançarem as taxas de produção de energia provenientes dos músculos de voo, algumas abelhas, mariposas e outros insetos endotérmicos mantiveram a temperatura do tórax ente 46-48°C, muito próxima da temperatura letal do corpo. Isto ocorreu quando a temperatura do ar foi de 40-47°C. Em voo contínuo, numa temperatura do ar alta, não seria possível, sem que antes a abelha possuísse uma capacidade de dissipar o calor interno através de mecanismos comportamentais e fisiológicos de resfriamento (Chruch, 1959; Cooper et al, 1985).

A abelha (*Apis mellifera*) utiliza tanto a fisiologia como o comportamento para aquecer a região da área de ninho da colmeia. O calor produzido pelo tiritar dos músculos do tórax, e este em contato direto com a célula operculada (contendo pupas) ou a abelha entrando em alvéolos vazios, promove um aumento na temperatura do tórax e conseqüentemente o calor produzido é transferido por condução para os alvéolos, ocorrendo, assim, o aquecimento da cria (Kleinhenz et al., 2003).

Diversos autores (Harrison, 1987; Schmaranze, 1996) encontraram a temperatura da superfície do tórax das operárias superior às outras partes do corpo, e justificam este fato por possuírem nessa região os músculos do voo, responsáveis pelo aquecimento interno corporal.

Durante a dança, a temperatura do tórax das abelhas aumenta com o teor de açúcar das flores e diminui com a distância do forrageamento, e varia de acordo com hora do dia e estação do ano (Germ et al., 1997). De acordo com Schmaranzer & Stabentheiner (1987), a temperatura corporal e dança de forrageamento das abelhas podem ser moduladas pelo estado da colmeia, por exemplo, a quantidade de cria, as células vazias, o estoque de mel e pólen.

As abelhas, sendo insetos, voam batendo suas asas – o modo de locomoção animal com maior demanda energética – e os músculos de voo dos insetos estão entre os tecidos mais ativos metabolicamente. Uma abelha em voo gasta energia a uma taxa de 500W/kg (Seeley, 1985).

Em insetos relativamente grandes, como as abelhas, a taxa de perda de calor é baixa, de forma que, durante o voo contínuo, a temperatura do corpo do indivíduo sobe bem acima do ar circundante. O tamanho da abelha e sua taxa metabólica em voo, por exemplo, combinam para fazer a temperatura torácica de uma abelha permanecer tipicamente 10 a 15°C acima da temperatura ambiente, entre 15-25°C (Esch, 1960, Heinrich, 1979, Seeley, 1985).

### 2.3 Influência do Ambiente na Colônia

Por ser tão dependente dos recursos naturais, a apicultura sofre oscilação de produção, pois esses insetos possuem uma estreita relação com as plantas angiospermas, baseada na troca de recompensas, e, na maioria das vezes, a visita floral é motivada pela oferta de néctar, pólen, fragrâncias e outros recursos utilizados tanto pelas abelhas adultas como também pela prole (Morgado et al., 2002).

Segundo Costa et al. (2007), o armazenamento de alimento, mel e pólen, como a oviposição da rainha, que compõem os favos, estão sujeitos às variações sazonais.

Segundo Aguiar et al. (1995), a variação, na disponibilidade de recursos, gera um padrão sazonal, de intenso forrageamento pelas abelhas na estação chuvosa, seguido de queda significativa na seca que, na tentativa de sobrevivência neste período de escassez, induzem à redução de postura da rainha e eliminam parte dos zangões, buscando um equilíbrio na colmeia. .

A luz é responsável pela periodicidade de voo, e o vento atua na modificação da temperatura. No entanto, ventos muito fortes e com velocidades muito altas impedem o voo, e o inseto permanece abrigado (Lara, 1992).

O aumento da temperatura interna do ninho pode levar ao abandono, migração, que consiste da saída de uma família de abelhas de sua colmeia para fixar-se em outro local, fato esse que deve ser evitado, pois é grande a possibilidade de perda das abelhas e enorme o trabalho para a coleta dos enxames (Itagiba, 1997).

Para estas abelhas estarem adaptadas a ambientes diversos, muitas vezes hostis, elas são detentoras de mecanismos termorregulatórios eficazes às grandes variações climáticas durante todo o ano, tendo a capacidade de dissipar o excesso de calor através da evaporação, radiação e convecção (Church, 1959). Segundo Silva (2008) a proteção proporcionada pela sombra é uma barreira contra a radiação térmica e não contra o calor propriamente dito, e considerando os altos índices de radiação solar nas zonas intertropicais, tal proteção é essencial.

A algarobeira, *Prosopis juliflora*, é uma planta xerófila, arbórea, de copa frondosa e arredondada, e que apresenta de três a oito metros de altura e até um metro de diâmetro. Planta exótica, trazida sementes do Peru e introduzida em 1942 para o sertão de Pernambuco, teve grande êxito na sua adaptação devido à baixa exigência em água e em fertilidade do solo. Desta introdução sobreviveram quatro árvores, que são a base de todas as algarobeiras hoje existentes (Azevedo,1982). A algarobeira permanece o ano todo com suas folhas, proporcionando conforto aos apicultores na hora do manejo e evita o gasto excessivo de energia e tempo das abelhas, no processo de resfriamento do ninho, por isso é indicada a instalação de apiários em locais sombreados, de preferência onde existam espécies arbóreas que forneçam sombreamento adequado, no período de estiagem e quando isto não for possível, devem ser buscadas alternativas de cobertura que possam propiciar o conforto térmico necessário ao desenvolvimento e produção das colônias (Lopes et al., 2011).

O efeito benéfico do sombreamento nas condições de Teresina-PI foi estudado por Souza & Araújo (1994), quando ficou evidente a condição mais favorável ao desenvolvimento dos enxames proporcionado pelo sombreamento natural.

A presença de água é essencial para a manutenção das colônias, principalmente em regiões de clima quente, como no semiárido, uma vez que a água é usada para auxiliar na termorregulação. A coleta de água é feita pelas abelhas campeiras, que ao retornar para a colmeia, fazem a distribuição da mesma entre as abelhas mais novas, chamadas de receptoras, que também se encarregam de distribuir a água na parede dos alvéolos, com a finalidade de auxiliar na termorregulação da colmeia (Kuhnholz & Seeley, 1997). Segundo Lindauer (1954), as altas temperaturas do ar são neutralizadas pela ingestão de água e abano das asas para resfriamento evaporativo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Ibimirim, Pernambuco, na Estação de Agricultura Irrigada de Ibimirim (EAll), pertencente à Universidade Federal Rural de Pernambuco, no período de 03 de outubro a 30 de dezembro de 2011. O município situa-se na microrregião do Sertão do Moxotó Pernambucano, a 414m de altitude, com coordenadas geográficas 08°31'2" de latitude Sul do paralelo equador, e 37°42'30" longitude Oeste do meridiano de Greenwich. Apresenta como vegetação predominante a caatinga e temperatura média de 26°C. A precipitação anual média é de 480 mm (Secretaria da Agricultura e Reforma Agrária, 2007). Segundo a classificação de Köeppen, o clima no município de Ibimirim é do tipo Bsh (clima semiárido quente com inverno seco).

Na EAll, Campus da UFRPE, em Ibimirim, há uma Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, montada desde 2008, em convênio com o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), localizada a 900 metros do centro do apiário (Figura 1, anexo).

O apiário foi instalado no mês de julho de 2011 para desenvolvimento deste experimento, sendo introduzidas colônias provenientes do município de Petrolândia-PE, localizado a uma latitude 08°58'45" Sul e a uma longitude 38°13'10" Oeste, com clima semelhante ao de Ibimirim-PE. Após três meses da implantação, tempo para uniformização e adaptação das colônias, iniciou-se a coleta de dados.

Para montagem dos tratamentos, foram utilizadas 15 colônias de *Apis mellifera* nidificadas em caixas de madeira de caraibeira (*Tabebuia caraiba*) modelo Langstroth com população adulta e área de cria semelhante, considerando cada colmeia uma unidade experimental, dividida em três ambientes: T1-colmeias ao sol (Figura 2, anexo), T2-colmeias sob cobertura de sombrite (Figura 3, anexo), T3-colmeias sob sombra natural (Figura 4, anexo). Nesse último Tratamento, a sombra foi proporcionada por Algarobeiras (*Prosopis juliflora*). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três Tratamentos e cinco repetições. Foi aberta uma clareira de 300m<sup>2</sup> (10 metros de largura x 30 metros de

comprimento) para cada situação, com exceção da sombra natural, neste caso retirou-se as plantas herbáceas do local para facilitar a inserção e manejo das colônias.

No tratamento 2 foi feita uma armação com estacas de madeira, com cobertura de uma água de sombrite com 80% de retenção dos raios solares. A estrutura foi disposta no sentido leste/oeste. A dimensão da área coberta foi de 3 metros de largura por 20 metros de comprimento, com o pé direito de 2,0 metros. Os suportes utilizados para as colmeias em todos os Tratamentos consistiram em suporte de madeira, assegurando às colmeias uma altura aproximada de 0,5 m do solo, com espaçamento entre caixas de 1,5m. Os três Tratamentos foram distanciados em 50 metros uns dos outros. As colmeias tiveram ao longo do período experimental o manejo usual de apiários comerciais com revisão de colmeias a cada 15 dias.

As variáveis climáticas foram monitoradas sempre no mesmo horário das coletas das variáveis internas das colmeias, por intermédio de um abrigo termométrico (Figura 5, anexo), instalado no centro do apiário, contendo em seu interior: termômetro de máxima e mínima, termogrômetro digital e psicrômetro que permitiram avaliar as temperaturas extremas e umidade relativa do ar. A velocidade dos ventos foi medida com anemômetro digital portátil. Três globotermômetros foram instalados a 0,8 metros do piso nos três tratamentos, permitindo a obtenção da temperatura de globo negro (Figura 6, anexo). A leitura da temperatura e umidade relativa no interior das colmeias deu-se com uso de um termohigrômetro digital (precisão de 0,1°C na temperatura e 1% na umidade relativa), através de um orifício de 25 mm de diâmetro, apropriado para a introdução do sensor no centro do ninho, na profundidade de 17 cm da colmeia e leitura após três minutos (Figura 7, anexo). Essas medidas foram realizadas seis vezes, semanalmente, no intervalo de 15 dias, durante o período experimental.

Durante o período experimental foram coletadas 240 abelhas paradas no alvado das colmeias dos três tratamentos, para medição da temperatura torácica, sendo 80 abelhas observadas em cada tratamento. A contenção das operárias, (Figura 8, anexo), foi feita com uma gaiola de contenção para marcação de rainha,

de maneira rápida para não alterar a temperatura, porém, com cuidado para que não houvesse danos às mesmas (Figura 9, anexo). Aferindo a temperatura com um mini-termopar tipo T - 50 (Cobre/Constantan) na parte do tórax (região dorsal) das abelhas (Figura 10, anexo).

Ao mesmo tempo, foram feitas as medições das variáveis climáticas: temperatura do bulbo úmido, temperatura do bulbo seco, temperatura do globo negro e velocidade dos ventos.

A  $T_{rm}$  foi estimada, utilizando a equação proposta por Silva (2000). Utilizando-se as temperaturas e a velocidade do vento calculou-se a temperatura radiante média ( $T_{rm}$ ) e a carga térmica radiante (CTR), conforme eq. (1) e (2), respectivamente.

Para o cálculo da CTR utilizou-se a fórmula citada por Esmay (1969):

$$CTR = \sigma \times (T_{rm})^4 \quad (1)$$

Em que:

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann =  $5,67 \times 10^{-8} \text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

$$T_{rm} = 100 \times \left[ 2,51 \times \sqrt{V_v} \times (T_{gn} - T_{bs}) + \left( \frac{T_{gn}}{100} \right)^4 \right]^{1/4}, \text{ em K} \quad (2)$$

Em que:

$V_v$  = velocidade dos ventos

$T_{gn}$  = temperatura do globo negro (K)

$T_{bs}$  = temperatura do bulbo seco (K)

O fluxo de calor por convecção ( $C$ ,  $\text{W.cm}^{-2}$ ) entre a superfície corpórea da abelha e o ambiente ao redor foi determinado pela eq. (3), proposta por Silva (2008).

$$C = \frac{\rho c_p}{r_H} (T_S - T_A) \quad (3)$$

Onde:

$C$  = fluxo de calor por convecção ( $W.cm^{-2}$ )

$\rho$  = densidade do ar ( $kg.m^{-3}$ )

$c_p$  = calor específico do ar ( $J/kgK$ )

$r_H$  = resistência da camada limite à transferência de calor por convecção

$T_S$  = temperatura da superfície torácica da abelha (K)

$T_A$  = temperatura do ar (K)

As características físicas do ar foram estimadas por meio de modelos em correspondência com cada temperatura do ar, conforme descrito na Tabela 01 abaixo, a partir de informações de Silva (2008).

Tabela 01- Determinação das características do ar à temperatura  $t_A$  ( $^{\circ}C$ ) e  $T_A$  (K)

Característica do ar	Equação
Viscosidade cinemática	$\nu = 1,3291 \times 10^{-5} + 9 \times 10^{-8} \times t_A$ ( $m^2.s^{-1}$ )
Densidade	$\rho = \left[ \left( 352,8100 e^{-\frac{zg}{287T_A}} \right) T_A^{-1} \right]$ ( $kg.m^{-3}$ )
Condutividade térmica	$k = \rho c_p [1,888 \times 10^{-5} + 1,324 \times 10^{-7} t_A]$ ( $W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$ )
Calor latente	$\lambda = 2500,7879 - 2,3737 t_A$ ( $J.g^{-1}$ )

Fonte: Silva (2008)

A resistência da camada limite à transferência de calor por convecção foi calculada pela eq. (4).

$$r_H = \frac{\rho c_p d_A}{k N_u} \quad (4)$$

Onde:

$r_H$  = resistência de camada limite à transferência de calor por convecção (s/m)

$\rho$  = densidade do ar ( $kg.m^{-3}$ )

$c_p$  = calor específico do ar ( $J/kgK$ )

$d_A$  = diâmetro médio corporal das abelhas (m)

$k$  = condutividade do ar ( $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

$Nu$  = número de Nusselt, adimensional

A equação do número de Nusselt para convecção livre, forçada ou mista, dependerá do número de *Reynolds* ( $Re$ ), *Prandtl* ( $Pr$ ) e o de *Grashof* ( $Gr$ ) são adimensionais dado por:

$$Re = \frac{V_v d}{\nu} \quad (5)$$

Em que:

$V_v$  = velocidade do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ )

$d$  = diâmetro do globo negro (m)

$\nu$  = viscosidade cinemática do ar ( $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ )

$$Pr = \rho c_p \nu k^{-1} \quad (6)$$

Em que:

$\rho$  = densidade do ar ( $\text{kg.m}^{-3}$ )

$\nu$  = viscosidade cinemática do ar ( $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ )

$c_p$  = calor específico do ar ( $\text{J/kgK}$ )

$k$  = condutividade do ar ( $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

$$Gr = g d_G^3 \nu^{-2} T_A^{-1} (T_G - T_A) \quad (7)$$

Em que:

$g$  = gravidade ( $\text{m.s}^{-2}$ )

$d$  = diâmetro do globo negro (m)

$\nu$  = viscosidade cinemática do ar ( $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ )

$T_G$  = temperatura do globo negro (K)

$T_A$  = temperatura do ar (K)

A relação  $GrRe^{-2}$  foi usada para especificar se a convecção era livre ( $GrRe^{-2} > 3$ ), forçada ( $GrRe^{-2} \leq 0,08$ ) ou mista ( $0,08 < GrRe^{-2} \leq 3$ ).

O número de Nusselt foi determinado pela eq. (8), ao considerarmos a representação do corpo da abelha como um cilindro horizontal com 0,012 m de comprimento e 0,0043 m de diâmetro. No caso da convecção forçada para cilindros horizontais o valor de  $Nu$  foi calculado, conforme o valor de  $Re$ :

Se  $1 \leq Re < 40$  então,  $Nu = 0,75 Re^{0,4} Pr^{0,37}$

Se  $40 \leq Re < 1000$  então,  $Nu = 0,51 Re^{0,5} Pr^{0,37}$

Se  $1000 \leq Re < 2 \times 10^5$  então,  $Nu = 0,26 Re^{0,6} Pr^{0,37}$

Se  $Re \geq 2 \times 10^5$  então,  $Nu = 0,076 Re^{0,7} Pr^{0,37}$

Para convecção livre foi utilizada a seguinte equação:

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

E no caso de convecção mista, o  $Nu$  foi calculado para ambos os tipos de convecção e escolhido o maior valor, conforme Silva (2008).

Foi realizada correlação de Pearson entre a temperatura torácica das abelhas e o ambiente interno e externo das colmeias. Análise de variância e teste de médias entre as variáveis medidas nos três tratamentos também foram realizadas por meio do programa R 2.14 (2011).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios das variáveis climáticas e dos índices de conforto térmico durante o período experimental, observados nos dias e horários das coletas da temperatura e umidade internas das colônias e das temperaturas torácicas das abelhas operárias *Apis mellifera*, encontram-se na Tabela 2.

Durante o período experimental foi observada a precipitação pluvial média em milímetros de 9,8 (outubro), 4,8 (novembro) e 1,4 (dezembro) (INMET, 2011) e as temperaturas mínimas e máximas nos períodos das coletas foram 26,2°C e 40,4°C, respectivamente (Tabela 2). A temperatura máxima foi maior que a temperatura crítica superior para termorregulação interna das colmeias. Segundo Tautz (2007), a temperatura média na área de cria abrange de 33 a 36°C. Porém, a colmeia onde as abelhas habitam (madeira de caraibeira) é um isolante térmico que proporciona uma temperatura mais amena em seu interior.

Tabela 2. Médias das variáveis climáticas durante o período experimental.

Variável		Sol	Sombrite	Sombra Natural
		Média	Média	Média
<b>t</b>	6-7h	23,8	24,0	23,7
	12-13h	36,8	35,8	35,6
	17-18h	31,2	31,1	31,2
<b>t max</b>	6-7h	26,2	26,5	26,4
	12-13h	40,4	38,9	38,1
	17-18h	34,3	34,3	34,4
<b>t min</b>	6-7h	21,2	21,5	21,3
	12-13h	32,23	31,3	31,2
	17-18h	27,5	27,4	27,6
<b>tgn</b>	6-7h	26,0	24,7	23,7
	12-13h	48,3	40,3	40,0
	17-18h	32,0	32,0	30,9
<b>UR</b>	6-7h	68	67	67
	12-13h	32	35	35
	17-18h	41	41	40
<b>Vv</b>	6-7h	0,54	0,42	0,35
	12-13h	0,96	1,19	0,48
	17-18h	1,00	0,87	0,50
<b>CTR</b>	6-7h	476,9	452,8	445,5
	12-13h	760,9	614,7	579,8
	17-18h	498,4	499,8	479,4

t = Temperatura do ar (°C), tmax = Temperatura máxima (°C), tmin = Temperatura mínima (°C), tgn = Temperatura do Globo Negro (°C), UR = Umidade Relativa do Ar (%), Vv = Velocidade do vento (m/s), CTR = Carga Térmica Radiante (W/m<sup>2</sup>).

A Tabela 3 apresenta a correlação entre a temperatura torácica das abelhas e o ambiente interno e externo das colmeias. Observa-se (Tabela 3) que a temperatura interna se correlacionou significativamente com todas as variáveis climáticas externas, mas não houve correlação significativa com a umidade relativa no interior das colmeias. O maior valor de correlação foi obtido entre a temperatura externa e temperatura interna (0,3264), demonstrando que as duas características estão associadas positivamente (Tabela 3). Quando a temperatura do ambiente se eleva, o resfriamento do ninho passa a ter importância crescente, particularmente quando existe cria. Temperaturas acima de 36°C, por qualquer período de tempo, são prejudiciais à cria, podendo causar anormalidades no desenvolvimento e morte (Himmer, 1927; Tautz et al. 2003; Groh, et al., 2004).

Tabela 3. Coeficiente de Correlação de Pearson nas colônias entre as variáveis: temperatura interna ( $t_{int}$ , °C), umidade relativa interna ( $UR_{int}$ , %), temperatura torácica das abelhas ( $t_s$ , °C), temperatura do ar ( $T_A$ , °C), temperatura do globo negro ( $T_{gn}$ , °C), umidade relativa externa ( $UR_{ext}$ , °C), carga térmica radiante (CTR,  $W.m^{-2}$ ) e velocidade dos ventos ( $V_v$ , m/s).

Variáveis	$UR_{int}$	$t_s$	$UR_{ext}$	$t_s$	CTR	$V_v$	$T_{gn}$
$t_{int}$	0,058ns	0,327**	-0,279**	0,0656ns	0,220**	0,122**	0,273**
$UR_{int}$	-	-0,050ns	0,102*	-0,024ns	-0,140**	0,021ns	-0,094*
$T_s$		-	-0,904**	0,023ns	0,732**	0,013ns	0,914**
$UR_{ext}$			-	-0,017ns	-0,606**	0,013ns	0,914**
$t_t$				-	0,250**	0,063ns	0,169**
CTR					-	0,139**	0,931**
$V_v$						-	0,077ns

\* significativo a 5% de probabilidade.

\*\* significativo a 1% de probabilidade

A carga térmica radiante se correlacionou positivamente com a temperatura interna, mas o valor de correlação foi baixo (0,2195).

A umidade relativa no interior das colônias apresentou valores muito baixos de correlação com a carga térmica radiante, temperatura do globo negro e umidade externa, apesar da significância estatística (Tabela 3). Segundo Human et al. (2006), o comportamento das operárias para resfriar a colônia, como o abanar das asas, as gotículas de água que são levadas para o interior se espalham sobre o ninho e são evaporadas, afeta a concentração de umidade do interior da colmeia. Mas a análise de correlação não mostrou associação significativa entre a umidade interna com a temperatura externa

Não houve correlação significativa entre as temperaturas interna e externa com a temperatura torácica das abelhas. Dentre todas as características internas e externas avaliadas, a temperatura torácica das abelhas se correlacionou positivamente apenas com a carga térmica radiante e a temperatura do globo negro, sendo que o valor de correlação com a carga térmica radiante (0,2500) foi maior do que com a  $t_{gn}$  (0,1687), sugerindo que a CTR é o melhor indicador da termorregulação nesses insetos que a temperatura do globo negro (Tabela 3).

Como esses dois parâmetros são muito influenciados pela radiação solar direta, esses resultados demonstram a importância do sombreamento no apiário.

Os resultados das médias da temperatura e umidade relativa internas das colônias, da temperatura e umidade do ar encontram-se na Tabela 4. Foi observada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na temperatura interna de colmeias de abelhas, *Apis mellifera*, alocada nos três ambientes. A temperatura no tratamento sombra natural

foi significativamente menor ( $p < 0,05$ ) que aquelas observadas nos outros dois ambientes, as quais não diferiram entre si. Assim como Souza & Araújo (1994), estudando o efeito do sombreamento na variação térmica da colônia, mostrou o benefício da cobertura natural para as colônias.

Tabela 4. Valores médios da temperatura e umidade interna das caixas em ambientes ao sol e à sombra.

Tratamentos	Temperatura (°C)	CV (%)	Umidade (°C)	CV (%)
Sol	34,8±1,3 a	3,7	57±11 a	19
Sombrite	34,7±1,2 a	3,5	58±12 a	21
Sombra natural	34,4±1,3 b	3,8	57±10 a	18

Médias seguidas pelas mesmas letras, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Estes resultados são o reflexo da menor carga térmica radiante constatada sob sombra natural em relação aos outros dois ambientes, sugerindo, portanto, que o sombreamento natural é melhor que o artificial (sombrite). Este resultado difere de Salles et al. (2003) que, trabalhando com diferentes tipos de cobertura e cores das caixas, não observaram diferenças na temperatura interna da colmeia. Toledo & Nogueira-Couto (1999), estudando a termorregulação interna de colônias de abelhas africanizadas, em comparação à híbridos de caucasianas, italianas e cárnicas, constataram que não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para temperatura interna instantânea nas colônias (Tabela 4). Vale ressaltar que a temperatura interna nos três tratamentos foi inferior àquela considerada como crítica superior para região de cria, 36°C, de acordo com Winston (2003).

Não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para a umidade relativa interna nos três tratamentos (Tabela 4). Ohashi et al. (2008) estudando colmeias com e sem abelhas, os resultados apontam que as colmeias vazias tem um microclima parecido com as condições ambientais, enquanto as colmeias com abelhas tem um microclima estável, com baixas flutuações da umidade relativa.

Os resultados das médias da temperatura torácica, temperatura do ambiente e a carga térmica radiante do ambiente, encontram-se na Tabela 5. A temperatura ambiente ao sol não diferiu ( $p > 0,05$ ) daquelas observadas nos tratamentos com sombra. Baccari Jr (2001) cita que a temperatura do ar ao sol e à sombra é praticamente a mesma. Por outro lado, foi observada menor ( $p < 0,05$ ) temperatura ambiente no tratamento com sombrite que na sombra natural (Tabela 5). A carga

térmica radiante apresentou maior ( $p < 0,05$ ) média,  $725 \text{ W.m}^{-2}$ , no tratamento ao sol, como era de se esperar, em virtude da maior radiação solar direta sobre o globotermômetro, diferente dos outros tratamentos que apresentavam um bloqueio da passagem dos raios solares, com médias que não apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre si, de  $587$  e  $563 \text{ W.m}^{-2}$  à sombra de sombrite e natural, respectivamente.

Tabela 5. Médias com respectivos coeficientes de variação (CV) para temperatura torácica ( $t_s$ ), temperatura do ar ( $t_A$ ) e Carga Térmica Radiante (CTR) nos três ambientes.

Fator	Variáveis					
	$t_s$ (°C)	CV (%)	$t_A$ (°C)	CV (%)	CTR ( $\text{W.m}^{-2}$ )	CV (%)
Sol	$35,6 \pm 1,8a$	5,1	$35,6 \pm 1,8a$	b 5,1	$725 \pm 182$	a 25
Sombrite	$35,9 \pm 1,0a$	2,8	$35,1 \pm 1,4$	b 4,0	$587 \pm 57$	b 10
Sombra Natural	$35,8 \pm 0,9a$	2,5	$35,7 \pm 1,1a$	3,1	$563 \pm 53$	b 09

Médias seguidas pelas mesmas letras, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Segundo Silva (2008), a proteção proporcionada pela sombra é uma barreira contra a radiação térmica e não contra o calor propriamente dito, e considerando os altos índices de radiação solar nas zonas intertropicais, tal proteção é essencial. As diferenças encontradas nas variáveis climáticas externas dos três tratamentos não foram suficientes para influenciar a temperatura torácica das abelhas, não se observando, portanto, diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) nesse parâmetro fisiológico dos insetos. Isso denota a capacidade da abelha manter sua temperatura torácica, apesar da variação na temperatura ambiente e carga térmica radiante (Tabela 5).

A termorregulação do tórax é essencial para as abelhas alcançarem as taxas de produção de energia proveniente dos músculos de vôo. A temperatura torácica das operárias paradas no alvado das caixas mostra-se correlacionadas com a temperatura ambiente, exceto nas abelhas da sombra natural (Tabela 3). Concordando com Carvalho (2009) quando diz que a abelha é considerada um animal heterotérmico com a sua temperatura corporal se apresentando próxima a do ambiente, mas também durante algumas atividades elas são capazes de regular a temperatura corporal acima ou abaixo da temperatura ambiental. Em voo contínuo numa temperatura do ar alta não seria possível sem antes a abelha possuírem uma capacidade de dissipar o calor interno através de mecanismos

comportamentais e fisiológicos de resfriamento (Church, 1959; Cooper et al, 1985).

Em voo contínuo numa temperatura do ar alta não seria possível sem antes a abelha possuísem uma capacidade de dissipar o calor interno através de mecanismos comportamentais e fisiológicos de resfriamento (Church, 1959; Cooper et al, 1985). Segundo Esch (1976) e Heinrich (1979) a abelha precisa de temperatura mínima de aproximadamente 27°C para voar. Com temperaturas abaixo deste valor os músculos de vôo não conseguem gerar a frequência mínima de batimento de asas e produzir força de arrancada necessária para se lançarem em voo (Seeley, 1985). Apresentando no início da manhã, mesmo sendo uma região semiárida, temperatura inferior a 27°C (Tabela 2), precisando primeiro aquecer os músculos de voo.

Na Figura 1, mostra que para cada 1°C de diferença de temperatura ( $t_s - t_A$ ) as abelhas ao sol perdem calor numa taxa de 225,52W.m<sup>-2</sup>, bem próximo ao valor das abelhas sob sombra de sombrite (230,20 W.m<sup>-2</sup>). Enquanto as abelhas sob cobertura natural perdem calor numa taxa de 107,50 W.m<sup>-2</sup>.

Quando aumenta o gradiente de temperatura a perda de calor por convecção também cresce. Roberts & Harrison (1999) encontraram uma produção de calor metabólico em abelhas que diminuiu de 48,75 para 13 W.m<sup>-2</sup> quando gradiente temperatura diminuiu de 9,5 para 1°C.

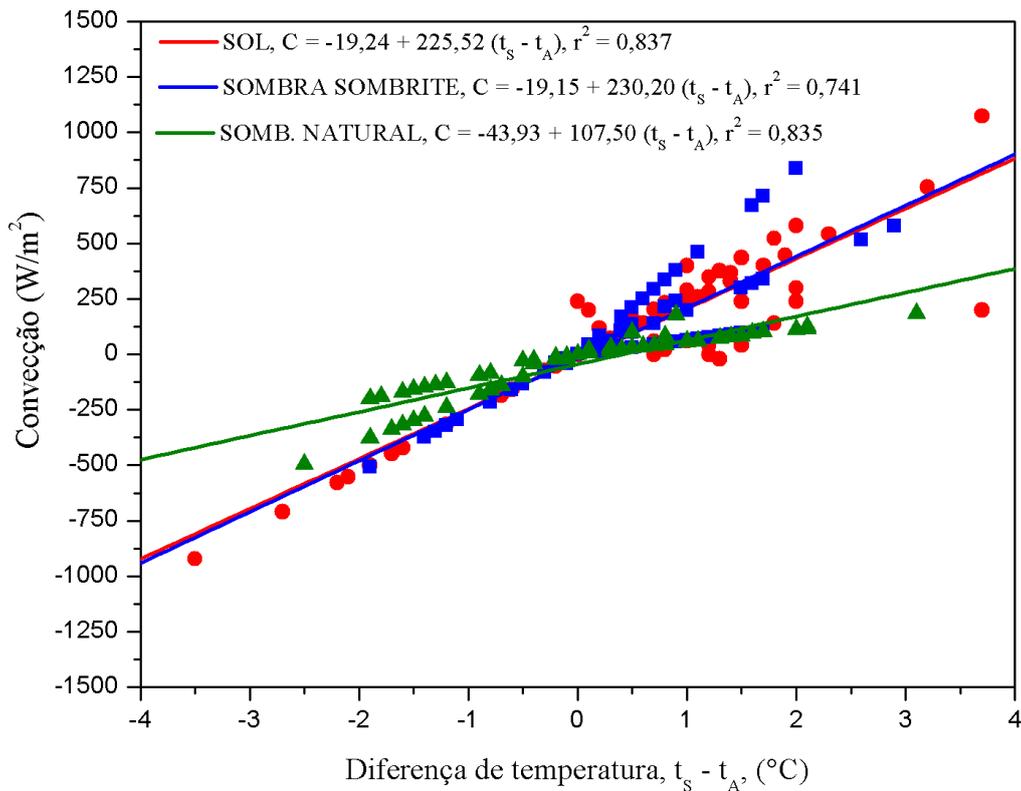


Figura 1. Perda de calor por convecção com a diferença de temperaturas ( $t_s - t_A$ ) em abelhas no alvado de colmeias ao sol, sob sombrite e sombra natural, sendo  $t_s$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) a temperatura da superfície torácica e  $t_A$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) a temperatura do ar.

Carvalho (2009), em condições semelhantes, encontrou uma perda de calor por convecção que aumentou de 0 a  $7,5 \text{ Wcm}^{-2}$  quando o gradiente de temperatura aumentou de 0 a  $10^{\circ}\text{C}$ , considerando que as abelhas estavam em condição de calma (pouco vento), dentro da caixa ou no alvado, mas, quando o vento foi  $1,0 \text{ m.s}^{-1}$  a perda de calor por convecção aumentou de 0 a  $27,5 \text{ Wcm}^{-2}$ .

No alvado a abelha está exposta às variedades climáticas e ao aquecimento dos músculos do tórax para o preparo do voo, sendo, dessa forma, a perda de calor por convecção também um mecanismo utilizado para se evitar o superaquecimento corporal.

A convecção nos três ambientes em função do gradiente de temperatura ( $t_s - t_A$ ) apresentou equações lineares (Figura 1). E a perda de calor por convecção das abelhas do tratamento sombra natural foi menor que aquelas observadas nos outros dois ambientes. Carvalho (2009) trabalhando em lugar com clima semelhante,

também encontrou valores negativos para convecção, ocorrendo ganho de calor quando a temperatura das abelhas estava mais baixa do que a temperatura do ambiente. Segundo este mesmo autor a convecção pode se tornar uma forma de ganho de calor para abelhas manejadas na região semiárida.

## 5. CONCLUSÕES

O sombreamento natural favoreceu a termorregulação interna das colônias de *Apis mellifera*, mas não influenciou a termorregulação individual das abelhas operárias na região semiárida do estado de Pernambuco.

## 6. REFERÊNCIAS

AGUIAR, C. M. L.; MARTINS, C. F.; MOURA, A. C. de A. Recursos florais utilizados por abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em área de caatinga (São João do Cariri, Paraíba). **Revista Brasileira de Biologia**, João Pessoa, v. 10, n. 2, p. 101 – 117, 1995.

ALENCAR, L. C. ***Efeito do sombreamento no desenvolvimento, na produtividade e na qualidade do mel de abelhas africanizadas (Apis mellifera L.) em região semiárida.*** 2005. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal), Universidade Federal do Piauí, Teresina.

AZEVEDO, C. F. Algarobeira na alimentação animal e humana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGAROBA, 1982, Natal. **Anais...** Natal: EMPARN, 1982. p. 283-299.

BACCARI JUNIOR, F. **Manejo ambiental da vaca leiteira em climas quentes.** Londrina: UEL, 2001. 142p.

BECHER, M. A. et al. Brood temperature, task division and colony survival in honeybees: a model. **Ecological Modelling**, v. 221, p. 769–776, 2010.

CARVALHO, M. D. F. **Temperatura da Superfície Corpórea e Perda de Calor por Convecção em Abelhas (*Apis Mellifera*) em uma Região Semi-Árida.** 2009. 47 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró.

CHURCH, N. S. Heat Loss and The body temperatures of flying insects. II. Heat conduction within the body and its loss by radiation and convection. **The Journal of Experimental Biology**, v. 26, p. 186-212, 1959.

COOPER, P. D.; SCHAFFER, W. M.; BUCHMANN, S. L. Temperature regulation of honeybees (*Apis mellifera*) foraging in the Sonoran Desert. **The Journal of Experimental Biology**, v. 114, p. 1-15. 1985.

COSTA, F. M. et al. Desenvolvimento de colônias de abelhas *Apis mellifera* africanizadas na região de Maringá, estado do Paraná. **Acta Scientiarum, Maringá**, v. 29, p. 101-108, 2007.

ESCH, H. Über die Körpertemperaturen und den Wärmehaushalt von *Apis mellifica*. **Zeitschrift für Vergleichende Physiologic**, v. 43, p. 305–335, 1960.

ESCH, H. Body temperature and flight performance of honey bees in a servo-mechanically controlled wind tunnel. **Journal of Comparative Physiology**, v. 56, p. 408-411, 1976.

ESCH, H.; GOLLER, F. Neural control of fibrillar muscles in bees during shivering and flight. **The Journal of Experimental Biology**, v. 159, p. 419–43, 1991.

ESMAY, M. L. **Principales of animal environment**. Westport: AVI, 1969.

GONÇALVES, L. S.; KERR, W. E. Noções sobre genética e melhoramento em abelhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 1. 1970, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CBA, 1970. p. 8-36.

GRAHAM, S., et al. Modelling the role of intracolony genetic diversity on regulation of brood temperature in honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies. **Insectes Sociaux**, v. 53, n. 2, p. 226–232, 2006.

GROH, C.; TAUTZ, J.; RÖSSLER, W. Synaptic organization in the adult honey bee brain is influenced by brood-temperature control during pupal development. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 101, p. 4268–4273, 2004.

HARRISON, J.M. Roles of individual honeybee workers and drones in colonial thermogenesis. **Journal of Experimental Biology**, v. 129, p. 53–61, 1987.

HEINRICH, B. Thermoregulation of African and European honeybees during foraging, attack, and hive exits and returns. **Journal of Experimental Biology**, v. 80, p. 217–229, 1979.

HERAN, H. Untersuchungen über den temperatursinn der honigbiene (*Apis mellifica*) unter besonderer Berücksichtigung der Wahrnehmung strahlender Wärme. **Zeitschrift für Vergleichende Physiologic**, v. 34, p. 179-206, 1952

HIMMER, A. Ein Beitrag zur Kenntnis des Wärmehaushalts im Nestbau sozialer Hautflügler. **Zeitschrift für Vergleichende Physiologic**, v. 5, p. 375-389, 1927.

HUMAN, H.; Nicolson, S. W.; Dietemann, V. Do honeybees, *Apis mellifera scutellata*, regulate humidity in their nest? **Naturwissenschaften**, n. 93, p. 97-401, 2006.

IBGE. **Pesquisa da produção da pecuária municipal**. 2010. Disponível em:  
<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2011/defaulttabzip.shtm>>.  
Acesso em: 15 dez. 2011.

Instituto nacional de meteorologia. Disponível em: <[www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)>. Acesso em: 31 dez. 2011.

ITAGIBA, M. G. O. R. **Noções básicas sobre criação de abelhas**. São Paulo: Nobel, 1997. 110 p.

JAY, S. C. The development of honeybees in their cells. **Journal Apicultural Research**, v. 2, p. 117-134, 1963.

JOHNSON, B. R. Organization of work in the honeybee: a compromise between division of labour and behavioural flexibility. **Proceedings Royal Society B: Biological Sciences**, v. 270, p. 147–152, 2003.

KLEINHENZ, M. et al. Hot bees in empty broodnest cells: heating from within. **The Journal of Experimental Biology**, v. 206, p. 4217-4231, 2003.

KRONENBERG, F.; HELLER, H. C. Colonial thermoregulation in honeybees (*Apis mellifera*). **Journal of Comparative Physiology B: Biochemical Systematic and Environmental Physiology**, v. 148, p. 65-76, 1982.

KÜHNHOLZ, S.; SEELEY, T. D. The control of water collection in honey bee colonies. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 41, p. 407–422, 1997.

LARA, F. M. **Princípios de Entomologia**. São Paulo: Ícone, 1992. 331 p.

LENSKY, Y. Behaviour of a honeybee colony at extreme temperatures. **Journal of Insect Physiology**, v. 10, p. 1-12, 1964.

LEVIN, C. G.; COLLISON, C. H. Broodnest temperature differences and their possible effect on drone brood production and distribution in honeybee colonies. **Journal of Apicultural Research**, v. 29, p. 35-45, 1990.

LINDAUER, M. Temperaturregulierung und Wasserhaushalt im Bienenstaat. **Journal Comparative Physiology A**, v. 36, p. 391–432, 1954.

LOPES, M. T. R. et al. Alternativas de sombreamento para apiários. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 299-305, 2011.

MITCHENER, A. V. The effect of color hive covers upon the temperature within the hive. **Journal Economic Entomology**, v. 33, n. 4, p. 649-650, 1940.

MORGADO, L. N. et al. Fauna de abelhas (Hymenoptera:Apoidea) nas flores de girassol *Helianthus annuus* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 6, p. 1167-1177, 2002.

NOGUEIRA-COUTO, R. H.; COUTO, L. A. **Apicultura: manejo e produtos**. 3. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 193 p.

OHASHI, M.; IKENO, H.; KIMURA, T. Control of hive environment by honeybee (*Apis mellifera*) in Japan. **Proceedings of Measuring Behavior**, p. 243, 2008.

**Originlab Corporation**, Northampton – MA, USA, OriginPro, version 8.0, 2007.

OKHUMAN, H.; NICOLSON, S. W.; DIETEMANN, V. Do honeybees, *Apis mellifera* scutellata, regulate humidity in their nest? **Naturwissenschaften**, v. 93, p. 397–401, 2006.

R- Statistics Department of the University of Auckland, version 2.14. New Zealand, 2011.

ROBINSON, G. E. Genomics and integrative analyses of division of labor in honeybee colonies. **The American Naturalist**, v. 160, p. 160–172, 2002.

ROBERTS, S. P.; HARRISON, J. F. Mechanisms of thermal stability during flight in the honeybee *Apis mellifera*. **The Journal of Experimental Biology**, v. 202, p. 1523–1533, 1999.

ROOT, E. R. **ABC Y XYZ DE LA APICULTURA**. 5. Ed. Buenos Aires: Editorial Hemisferio Sur, 1999.

SAKAGAMI, S. Preliminary report on the specific difference of behaviour and other ecological characters between European and Japanese honeybees. **Acta Hymenopterologica**, v. 1, p. 171-198, 1960.

SALLES, A. S. et al. Avaliação da cor da caixa, tipo e altura de cobertura e da temperatura sobre a produção de mel em abelhas *Apis mellifera*. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 83-87, 2003.

SEELEY, T. D. **Honeybee ecology**: a study of adaptation in social life. Princeton: Princeton University Press, 1985. 201 p.

SILVA, G. R. **Biofísica ambiental**: os animais e seu ambiente. São Paulo: FUNEP, 2008. 393 p.

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

SOUTHWICK, E. E. Thermal conductivity of wax comb and its effects on heat balance colonial honeybee (*Apis mellifera* L.). **Experimentia**, v. 41, n. 11, p. 1486-1487, 1985.

SOUZA, D. C.; ARAÚJO, A. A. F. Efeito do sombreamento na variação térmica de colméias de *Apis mellifera* L. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 10., 1994, Pousada do Rio Quente, GO. **Anais...** Pousada do Rio Quente: CBA, 1994. p. 356-346.

SCHMARANZER, A.; STABENTHEINER, S. Thermographic determination of body temperatures in honey bees and hornets: calibration and applications, **Thermology**, v. 2, p. 563-572, 1987.

TAUTZ, J. et al. Behavioral performance in adult honey bees is influenced by the temperature experienced during their pupal development. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 100, p. 7343-7347, 2003.

TEIXEIRA, L. V. & CAMPOS, F. N. M. Início da atividade de vôo em abelhas sem ferrão (Hymenoptera, Apidae): influência do tamanho da abelha e da temperatura ambiente. **Revista Brasileira Zootecias**. v. 7, n. 2, p. 195-202, 2005.

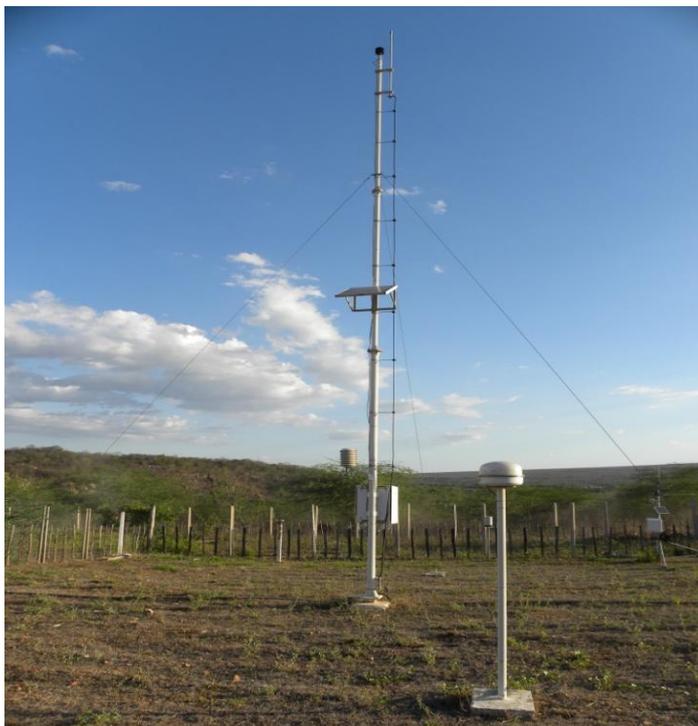
TOLEDO, V. A. A.; NOGUEIRA-COUTO, R.H. Thermoregulation in Colonies of Africanized and Hybrids With Caucasian, Italian and Carniolan *Apis mellifera* Honey bees. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.42, n.4, p.425-431, 1999.

WILLMER, P. G. Microclimate and the environmental physiology of insects. **Journal of Insect Physiology**, v. 16, p. 1–57, 1986.

WINSTON, M. L. **A Biologia da Abelha**. Porto Alegre: Magister, 2003. 276 p.

YANG, M. et al. Thermoregulation in mixed-species colonies of honeybees (*Apis cerana* and *Apis mellifera*). **Journal of Insect Physiology**. v. 56, p. 706–709, 2010.

## ANEXO



**Figura 1.** Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de meteorologia – INMET.



**Figura 2.** Colmeias de abelhas africanizadas, *Apis mellifera*, ao sol.



**Figura 3.** Colmeias de abelhas africanizadas, *Apis mellifera*, sob de sombrite.



**Figura 4.** Colmeias de abelhas africanizadas, *Apis mellifera*, sob sombra natural.



**Figura 5.** Abrigo termométrico.



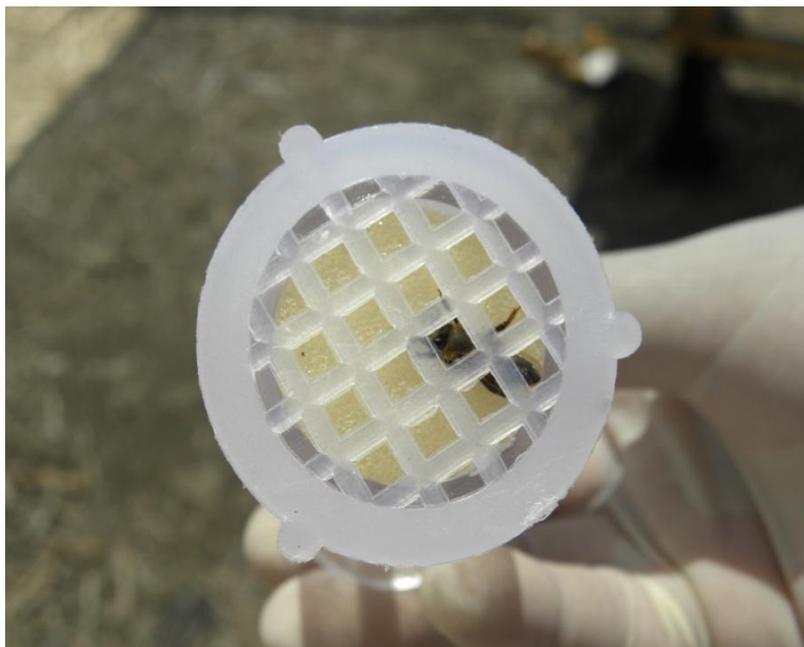
**Figura 6.** Globo negro instalado a 0,8 metros do piso.



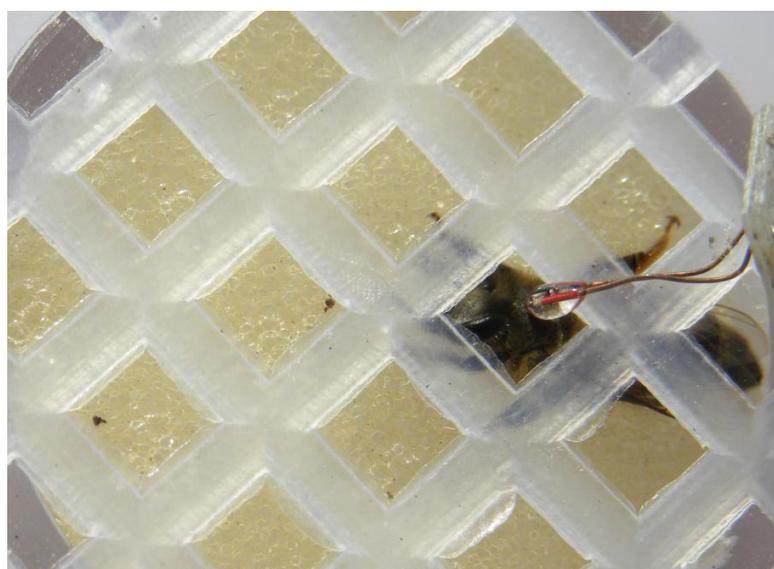
**Figura 7.** Introdução do sensor do termohigrômetro no centro do ninho para coleta da temperatura e umidade interna.



**Figura 8.** Contenção da abelha operária, parada no alvado.



**Figura 9.** Gaiola utilizada para contenção e aferição da temperatura torácica das abelhas.



**Figura 10.** Aferição da temperatura torácica, com termopar tipo T - 50 (Cobre/Constantan).