

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM AGROECOLOGIA

BRUNO GIOVANE EMILIO BENAGLIA

SENSORES NO MONITORAMENTO DA TEMPERATURA E UMIDADE
INTERNA DE COLÔNIAS DE *Apis mellifera* AFRICANIZADAS
ALOJADAS EM CAIXAS DE MADEIRA E OU DE ISOPOR

Maringá
2017

BRUNO GIOVANE EMILIO BENAGLIA

SENSORES NO MONITORAMENTO DA TEMPERATURA E UMIDADE
INTERNA DE COLÔNIAS DE *Apis mellifera* AFRICANIZADAS
ALOJADAS EM CAIXAS DE MADEIRA E OU DE ISOPOR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Mestrado Profissional, do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agroecologia, na área de concentração: Apicultura.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Lucimar Pontara Peres

Maringá
2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

Benaglia, Bruno Giovane Emilio

B456s Sensores no monitoramento da temperatura e umidade interna de colônias de *Apis Melifera* africanizadas alojadas em caixa de madeira e ou isopor./ Bruno Giovane Smilio Benaglia. -- Maringá, 2017.
37 f. : il. color., figs. , tabs.

Orientadora: Prof.a. Dr.a. Lucimar Pontara Peres.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Agroecologia, 2017.

1. Apicultura. 2. Caixa de Isopor e madeira - Termorregulação. 3. Abelhas-Bem estar. 4. Produção sustentável. I. Benaglia, Bruno Giovane Emilio, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação Mestrado profissional em Agroecologia. IV. Título.

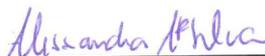
CDD 22. ED.638.1
JLM000760

BRUNO GIOVANE EMILIO BENAGLIA

**Sensores no monitoramento da temperatura e umidade
interna de colônias de Apis melifera africanizadas alojadas
em caixas de madeira e ou de isopor**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de mestre.

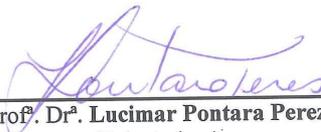
APROVADO em 30 de junho de 2017.



Prof.^a. Dr.^a. Alessandra Aparecida
Silva



Prof. Dr. Anderson Faustino da Silva



Prof.^a. Dr.^a. Lucimar Pontara Perez
(Orientadora)

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Luiz Carlos e Lindiadora
e minhas irmãs Angelina e Amanda por
ter apoiado e amado em todos os
momentos*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus meus pais pelo apoio, educação dedicação e paciência em todos os momentos da minha vida.

À orientadora Prof^ª Dr^ª Lucimar Pontara Peres, por ter feito possível a realização deste trabalho, pela orientação, ensinamentos, conselhos pessoais e na vida acadêmica.

Ao Roberto Alvarez, funcionário da Fazenda Experimental de Iguatemi, pelo auxílio, amizade, ensinamentos e pela paciência.

Ao Prof^º Dr^º Anderson Faustino Silva pela orientação e ensinamentos e João Marcus Velasques Farias pelo auxílio técnico nas coletas.

A professora Dr^ª Sheila Tavares Nascimento e Msc. Melina Cardoso pelo auxílio concedido na elaboração do trabalho e análises estatística.

A professora Dr^ª. Maria Josiane Sereia pelas orientações sugeridas.

A empresa Termotécnica, pelo apoio e parceria para o desenvolvimento dessa pesquisa e a liberação das caixas de isopor.

A professora Dr^ª. Alessandra Aparecida da Silva pela disposição em fazer parte da banca do mestrado.

Aos demais professores, funcionários e amigos do Programa de Mestrado Profissional em Agroecologia da UEM.

EPÍGRAFE

“Por isso vos digo: não andais ansiosos pela vossa vida... Observai as aves do céu: não semeiam, não colhem, nem ajuntam em celeiros; contudo, vosso pai celeste as sustenta.” – (Mateus 6: 25-26).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Fluxograma da linha de transmissão dos dados	27
Figura 2.	Colmeia Langstroth de isopor e ou de madeira	29
Figura 3.	Sensor instalado no quadro central do ninho	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análise entre as médias de dez dias das temperaturas (°C) e umidades relativas (%) internas e externas (ambiente), das caixas de isopor [®] e/ou madeira, coletadas em março de 2017	30
Tabela 2	Análise entre as médias de nove dias das temperaturas (°C) e umidades relativas (%) internas e externas (ambiente), das caixas de isopor [®] e/ou madeira, coletadas em abril de 2017	31
Tabela 3	Análise entre as médias dos períodos 1, 2, 3 e 4 de dez dias, em relação das temperaturas (°C) e umidades relativas (%) internas e externas (ambiente), das caixas de isopor [®] e/ou madeira, coletadas em março de 2017	33
Tabela 4	Análise entre as médias dos períodos 1, 2, 3 e 4 de nove dias, em relação das temperaturas (°C) e umidades relativas (%) internas e externas (ambiente), das caixas de isopor [®] e/ou madeira, coletadas em abril de 2017	34

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
SUMÁRIO	vii
1. RESUMO GERAL	01
2. INTRODUÇÃO GERAL	03
2.1 A importância da termorregulação colonial das abelhas.....	05
2.2 Isopor	11
2.3 Apicultura de Precisão	12
2.4 Desenvolvimento sistema de monitoramento	13
2.4.1 Detalhes técnicos	14
3. REFERÊNCIAS	14
4. CAPÍTULO 1	18
4.1 Sensores no monitoramento da temperatura e umidade interna de colônias de <i>Apis melifera</i> africanizadas alojadas em caixas de madeira e ou de isopor	18
RESUMO	19
ABSTRACT	19
INTRODUÇÃO.....	20
MATERIAIS E MÉTODOS	27
RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS	35

1 RESUMO GERAL

A apicultura é a criação racional de abelhas *Apis mellifera*, e, como em todo sistema de criação, as abelhas sofrem influências das variáveis ambientais como temperatura e umidade, podendo afetar o desenvolvimento da colônia e as características físico-químicas do mel, entretanto as operárias utilizam mecanismos fisiológicos e comportamentais para a homeostase. O objetivo deste trabalho foi de monitorar a temperatura e umidade interna do ninho de *Apis mellifera* africanizada e avaliar a eficiência da termorregulação de caixas de madeira e ou de isopor através de sensores. O experimento foi realizado no setor de apicultura da Fazenda Iguatemi (FEI), município de Maringá- PR, (23° 25' S e 52° 51' O a 550 metros de altitude), do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá. Os enxames foram alojados em três caixas de madeira e três caixas de isopor no padrão Langstroth, dispostos alternadamente em apiário de clareira em forma de U. Os sensores foram instalados no quadro central de cada colmeia, onde mediram a temperatura e a umidade da colônia de 5 em 5 minutos num total de dez dias do mês de março e nove dias do mês abril de 2017. O monitoramento em tempo real é necessário para se obter os resultados do equilíbrio homeostático dos enxames alojados em caixas com materiais diferenciados. As colmeias foram padronizadas com quantidade de quadros de favos de cria fechada, com cria aberta, alimento e cera alveolada, totalizando dez quadros, e, quando necessário, foram alimentadas com xarope de açúcar 1:1, uma vez por semana. Com o intuito de avaliar a temperatura e umidade em colônias de abelhas *Apis mellifera*, foi desenvolvida uma arquitetura com a colaboração da Universidade Estadual de Maringá (UEM) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), para implementar um sistema móvel, utilizando-se sensores de temperatura e umidade (DS18S20), em uma interface web e protótipo de sistema de monitoramento, para coletar imagens e áudio dentro de uma colmeia e analisar os dados coletados por meio de um computador pessoal. O sistema proposto denomina-se MyBee e é baseado em duas abordagens que usam um dispositivo de interface para cada colmeia, enviando dados para um centro computacional remoto. O sistema MyBee foi utilizado para capturar os valores a cada 5 min. por dez dias, em março de 2017, e nove dias em abril de 2017, para três caixas de madeira e três caixas de isopor. Foram quantificadas as médias de cada período, sendo 1: 12 h às 18 h; 2h 18min. às 00 h; 3 h às 06 h; 4 h06 min. às 12 h. A análise estatística foi realizada por meio da análise de variância (ANOVA), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, e o software utilizado foi o STATISTICA 8.0. Os resultados demonstraram que não houve diferença estatística entre as médias dos dias para a temperatura e umidade da caixa de madeira: 35,11°C

$\pm 0,14$; $70,26\% \pm 2,12$, e ou isopor: $35,32^{\circ}\text{C} \pm 0,13$; $71,35\% \pm 2,18$ no mês de março. No mês de abril, não houve diferença estatística entre as médias dos dias para a temperatura e umidade da caixa de madeira, de $34,98^{\circ}\text{C} \pm 0,13$; $69,24\% \pm 2,16$ e $35,03^{\circ}\text{C} \pm 0,16$; de $69,87\% \pm 1,37$ para as caixas de isopor. A temperatura do ambiente, durante os quatro períodos do dia, no mês de março, oscilou de $20,95^{\circ}\text{C} \pm 2,32$ a $22,57^{\circ}\text{C} \pm 2,22$. Os menores valores foram do período 3, das 18 h às 00 h, para todas as circunstâncias, fossem externas e ou internas, demonstrando-se, assim, o comportamento das abelhas a se ajustar de acordo com as demandas externas. Os resultados obtidos mostram que, mesmo com a temperatura externa mais baixa, as abelhas mantêm a homeostase do ninho, em torno de 35°C . A umidade também oscilou, porém, o ajuste da mesma não tem um padrão, como a da temperatura pelas abelhas, mas estas conseguem manter um equilíbrio a fim de ajustar a homeostase do ambiente interno das caixas. As colônias de *Apis mellifera* africanizadas, alojadas em caixas de isopor e ou de madeira, mantiveram o equilíbrio homeostático, não ocorrendo variação de temperatura e umidade nos meses de março e abril de 2017 e também entre os períodos do dia. O isopor é uma alternativa de matéria prima a ser utilizada na confecção de caixas de abelhas, porém pesquisas devem ser intensificadas, inclusive para avaliar a qualidade dos produtos oriundos destas caixas.

Palavras chave: homeostase, umidade relativa, temperatura, apicultura de precisão

2 INTRODUÇÃO

A apicultura é a criação racional de abelhas do gênero *Apis mellifera*, englobando os requisitos econômico, social e ambiental de sustentabilidade. No âmbito econômico, essa atividade gera renda por meio dos inúmeros produtos como mel, pólen, própolis, geleia real, cera e veneno. No contexto social, é uma atividade de baixo investimento inicial, fácil manejo e manutenção e que, em sua ampla maioria, é exercida pela agricultura familiar, em propriedades de menos de 20 ha (IBGE, 2006). A apicultura destaca-se como alternativa de ocupação, emprego e renda para o homem no campo e, na esfera ambiental, é a única atividade de criação animal que não causa impactos ambientais, pela importante atuação das abelhas como polinizadores naturais de espécies nativas e cultivadas, contribuindo para o equilíbrio do ecossistema e a manutenção da biodiversidade.

O Brasil é um país tropical, com vasta extensão territorial, flora abundante e recursos naturais, conjuntamente com a espécie de abelha africanizada que tem como características adaptabilidade a diferentes climas, resistência a doenças, alta produtividade, grande potencial para a atividade apícola (EMBRAPA, 2007).

Os organismos estão sujeitos à interferência do meio ambiente, no entanto buscam contornar as condições desfavoráveis. Os anfíbios se enterram embaixo do solo, as borboletas buscam locais ensolarados, contudo, em situações extremas, o ambiente assegura a seleção natural das espécies. O ápice da evolução é a capacidade de moldar ativamente o ambiente como, por exemplo, as abelhas, dessa forma, os genes se perpetuam numa unidade que se desenvolve em conjunto (TAUTZ, 2010).

Os insetos sociais se adaptam a diferentes regiões, desde que haja abundância de florada, no entanto o desenvolvimento e o comportamento das colônias são influenciados por fatores ambientais como temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar (ALMEIDA, 2008). Portanto, são de extrema importância as características individuais das operárias que devem ser conduzidas por fatores organizacionais em nível de colônia, pois devem responder a condições ambientais variáveis (WIESE, 2000).

As larvas das abelhas e pupas são estenotérmicas, ou seja, dependem das operárias para manter a temperatura em torno de 33°C a 36°C, faixa ótima para o desenvolvimento (WINSTON, 2003; JONES e OLDROYD, 2006; STABENTHEINER, 2010), e os processos biológicos podem ser modificados e/ou alterados por variações da temperatura, comprometendo o desenvolvimento das crias (JONES e OLDROYD, 2006).

Além de a temperatura de incubação das crias ser de extrema importância para o desenvolvimento da colônia, a concentração de umidade influencia a colônia de abelhas, afetando a mortalidade de adultos e crias, as atividades microbiana e parasitária, o crescimento, a concentração de néctar e a termorregulação (ELIS, 2008).

Segundo Human et al., (2006), as abelhas influenciam a umidade da colônia, mas existem restrições nos mecanismos de regulação, pois a umidade pode variar em diferentes locais ninho e depende de fatores abióticos como a disponibilidade de água. Elis (2008) demonstrou que os padrões mostram que existe um gradiente de pressão de vapor, desde a região central do ninho até a periferia de uma colmeia, sugerindo que as abelhas controlam ativamente a umidade.

Em resposta à variação de temperatura, as abelhas combinam mecanismos fisiológicos e comportamentais para a termorregulação do ninho. O mecanismo primário, ou seja, antes do estabelecimento da colônia, é a seleção do local de nidificação, melhorando, com isso, o conforto térmico (TAUTZ, 2010).

Os mecanismos secundários são as estratégias desenvolvidas após o estabelecimento da colônia. Em baixas temperaturas, a resposta comportamental é o agrupamento com a geração de calor metabólico e a vibração dos músculos torácicos de voo (KRONENBERG e HELLER, 1982; WINSTON, 2003). Em altas temperaturas, as abelhas promovem a ventilação através do batimento das asas, conseqüentemente, há renovação da corrente de ar quente, auxiliando a evaporação da umidade do néctar, transformando-o em mel (DYER e SEELEY, 1991; WINSTON, 2003).

As abelhas também espalham água ao redor dos alvéolos, ou regurgitam pequenas quantidades de água abaixo da probóscide, contribuindo para diminuir a temperatura do ninho pela evaporação da água e aumentando a umidade. Além disso, podem permanecer no alvado, evitando, assim, liberar o calor metabólico em altas temperaturas (SEELEY, 2006).

Os mecanismos tanto para o aquecimento quanto para o resfriamento do ninho consomem grande quantidade do mel da colônia, cerca de 2/3 de energia consumida no verão e 4/5 no inverno (TAUTZ, 2010). Caso os mecanismos de termorregulação sejam ineficientes, poderão comprometer o desenvolvimento da colônia e a produção ou haverá enxameação por abandono (BECKER et al., 2010).

Vista a importância de se monitorar as condições das colônias de abelhas, surge a apicultura de Precisão (PB), termo recentemente utilizado com estratégia de gestão apiária, baseada no monitoramento individual de colônias de abelhas para minimizar consumo

de recursos e maximizar a produtividade das abelhas (ZACEPINS, 2012). Os métodos mais utilizados para monitoramento em nível de colônia são: peso, temperatura, umidade, som e vibração (ZACEPINS e STALIDZANS, 2013). Por exemplo, com o monitoramento da temperatura, os apicultores e pesquisadores podem avaliar o estado das colônias, como o aumento do consumo de alimentos, o início de criação de crias, a morte da colônia e a enxameação (STALIDZANS e BERZONIS, 2013).

Uma alternativa promissora para se manter a homeostase das colônias, até então utilizada em países europeus, é a confecção de caixas padrão Langstroth de isopor, pois é um excelente isolante térmico, inodoro, não contamina o solo, a água é reciclável, portanto, pode ser utilizado para se confeccionar caixas de abelhas (ABRAPEX, 2016).

Dessa forma, um ambiente adequado é fundamental para o desenvolvimento da apicultura, visto que as variáveis ambientais, como temperatura e umidade, podem comprometer o desenvolvimento das colônias. Pesquisas na área de ambiência e desenvolvimento de novas tecnologias contribuirão para a atividade apícola, proporcionando bem-estar e, conseqüentemente, melhorando a produtividade e qualidade dos produtos.

2.1 A importância da termorregulação colonial das abelhas

Os insetos são grupos de animais com sucesso evolutivo, pois possuem o maior número de espécies e são encontrados em ampla extensão geográfica, por sua adaptabilidade a diversos ambientes. Calcula-se que 1/3 dos organismos vivos sejam insetos, e essa característica deve-se ao fato de estes serem o primeiro grupo a conquistar o ambiente terrestre (RUPERT et al., 2005).

As organizações sociais evoluíram de duas ordens dos insetos, os Isopteras (cupins) e Himenópteras (vespas, formigas e abelhas), havendo grande complexidade na organização social, destacando-se as abelhas com importante papel ecológico com a polinização (DE JONG, 2000).

Segundo Tautz (2010), as colônias de abelhas são têm alto grau de divisão de trabalho e cooperação, portanto, podem resolver, simultaneamente, vários problemas e solucionar os pontos críticos no desenvolvimento da colônia. Com isso, têm alta capacidade de resistir às imprevisibilidades do meio ambiente, com claras vantagens como a armazenagem de alimento, nutrição estável, defesa contra inimigos, espaços protetores e controle da temperatura do ninho com crias.

Os comportamentos dos enxames são influenciados por fatores ambientais como temperatura, umidade relativa do ar (ALMEIDA, 2008). Portanto, são de extrema importância as características individuais das operárias que devem ser conduzidas por fatores organizacionais em nível de colônia, pois devem responder a condições ambientais variáveis (WIESE, 2000).

A abelha é considerada um animal pecilotermo, com a sua temperatura corporal apresentada próxima à temperatura ambiente, mas, durante algumas atividades, podem sofrer oscilações na temperatura corporal (CARVALHO, 2009). Os insetos, individualmente, têm uma faixa de tolerância menor a grandes amplitudes térmicas por não possuírem enzimas estáveis em altas temperaturas, acima da faixa térmica normal (SEELEY, 2006).

A colônia das abelhas é considerada homeoterma, sendo que a homeostase do ninho é um dos principais desafios de insetos de organização social, e, na área de cria, as temperaturas são mantidas entre 33 a 36°C, faixa ótima para o desenvolvimento, pois os processos biológicos podem ser modificados e/ou alterados por variações da temperatura (WINSTON, 2003; JONES e OLDROYD, 2006). As larvas de abelhas são estenotérmicas, ou seja, não conseguem controlar a temperatura corporal por isso dependem da colônia para o seu desenvolvimento (STABENTHEINER, 2010).

Os ovos e larvas (células de cria abertas) podem tolerar temperaturas mais baixas por algum tempo, porém as pupas (crias fechadas) são muito sensíveis ao frio e, caso permaneçam muito tempo abaixo de 32 °C no ninho, há incidência de asas e pernas encolhidas, além de má formação do abdômen (HIMMER, 1932), e os adultos podem sofrer de insuficiência neural e comportamental (TAUTZ et al., 2003). A temperatura acima de 36 C pode resultar em desenvolvimento anormais de crias ou mesmo na morte (WINSTON, 2003).

De acordo com Elis (2008), colônias fortes conseguem manter a homeostase do ninho, pois enxames fracos têm dificuldades de conciliar a termorregulação do ninho com outras atividades da colônia e adaptar-se às variáveis ambientais. Jones et al. (2004) relatam que colônias geneticamente diversas tendem a ser mais estáveis, pois é mais rápido o limiar de resposta à variação, evitando, assim, grandes flutuações de temperatura.

Contudo a atividade homeostática enfrenta restrições, como a fisiologia individual da operária, a estrutura do ninho e suas limitações comportamentais nas atividades e, apesar disso, as abelhas combinam a estrutura do ninho e atividades das operárias para manter o controle do seu ambiente com a máxima homeostase do ninho (WINSTON, 2003).

As abelhas combinam os mecanismos fisiológicos e comportamentais para a termorregulação do ninho. O mecanismo primário, ou seja, antes do estabelecimento da colônia, é a seleção do local de nidificação. Com isso, as abelhas melhoram sua capacidade de controle do ambiente interno, como, por exemplo, a forma de construção dos favos, entrada da colmeia e fechamento de frestas com própolis, contribuindo, assim, para o isolamento térmico (TAUTZ, 2010).

Os mecanismos secundários são as estratégias desenvolvidas após o estabelecimento da colônia. As abelhas utilizam a vibração dos músculos de voo, porém em padrões mais fracos, comparados à atividade de voo, e, por meio da contração e relaxamento desses músculos, aquecem o ninho. As operárias possuem a capacidade de reconhecer a variação de temperatura pelas células termossensíveis, localizadas no ápice das antenas (Tautz, 2010). Segundo Kleinhenz et al. (2003), as abelhas fazem a vibração dos músculos de voo dentro da colmeia, para o aquecimento interno do ninho e, individualmente, das larvas e pupas em desenvolvimento.

O mecanismo de aquecimento funciona da seguinte maneira: as operárias emitem calor para os lados, porém é de baixa eficiência, no entanto o entrelaçamento dos pelos torácicos com a participação das abelhas não aquecedoras permite a isolamento térmica (TAUTZ, 2010). Esse comportamento de aquecimento é liberado por estímulos químicos e propriedades físicas da ninhada, pois as células operculadas são mais atraentes do que as abertas (KRONENBERG e HELLER, 1982); durante o aquecimento, as camadas são formadas por abelhas voltadas para o centro do grupo, e há revezamento entre as que estão em posição mais externa e as que estão mais ao centro (SEELEY, 2006). Segundo Winston (2003) e Tautz (2003), após 30 minutos as reservas fisiológicas de mel já estão esgotadas, por isso as abelhas intercalam ciclos de aquecimento e repouso, sendo abastecidas por abelhas que coletam e o repassam pela língua (probóscide).

A resposta comportamental para se promover o arrefecimento do ninho, em condições de altas temperaturas, é a de ventilação promovida pelo batimento das asas, em que as operárias ficam em uma posição estacionária para dirigir o ar quente para fora do ninho. A ventilação permite, ao ninho, renovação do ar e a corrente de ar, além de esfriar a colmeia, auxilia na evaporação da umidade do néctar, transformando-o em mel (DYER e SEELEY, 1991). Outra forma é o resfriamento evaporativo, em que as abelhas espalham água ao redor dos alvéolos, ou regurgitam pequenas quantidades de água abaixo da língua: proboscide contribuindo para diminuir a temperatura do ninho (SEELEY, 2006).

Isso acontece porque numa passagem de 1,0 g de água do seu estado líquido para

vapor são necessários aproximadamente 2.400 kJ de energia térmica, e esse comportamento também afeta a umidade e concentração de CO₂ do ar no interior da colmeia (WINSTON, 2003).

Além disso, as abelhas podem formar “barbas”, ou acúmulo de abelhas no alvado, fora da colônia, evitando liberar o calor metabólico, em altas temperaturas e/ou altas umidades relativas (SEELEY, 2006).

De acordo com Stabentheiner (2010), que avaliou a termorregulação social das abelhas, a contribuição dos indivíduos para a homeostase e a influência das variáveis ambientais afirma que a homeostase térmica de colônias de abelhas é obtida por combinação de processos reguladores ativos e efeitos passivos.

O parâmetro central dos processos ativos é a endotermia sob demanda de abelhas adultas (com idade superior a cerca de 2 dias), com reforço na termorregulação passiva das abelhas jovens (até 2 dias), larvas e pupas. O segundo fundamento da homeostase é o comportamento, isso inclui a atividade de migração da colônia (alterações da densidade de abelhas), resfriamento evaporativo com água e regulação do transporte interno de calor por convecção (ventilação).

Eskov e Toboev (2009) avaliaram a atividade termorregulatória através de sensores de temperatura instalados em diferentes locais da colônia como ninho, periferia da colmeia e concluíram que ninhos ocupados por ninhada são menos dependentes de flutuações de temperatura externa. A temperatura na periferia do ninho é altamente variável, especialmente em zonas ocupadas com favos vazios e alimentos. Nas áreas de crias, a temperatura do ninho, em média, é de 34,1 a 36,0°C, no limite superior da área ocupada pela ninhada; de 34,5 a 35,8 °C, no seu limite inferior; e de 34,9 a 35,6 °C, no centro do ninho.

Os mecanismos tanto para o aquecimento quanto para o resfriamento do ninho consomem grande quantidade do mel da colônia, cerca de 2/3 de energia consumida no verão e 4/5 no inverno, sendo que, primordialmente, o mel serve como combustível para aquecimento e, depois, para suprir as funções vitais (TAUTZ, 2010). Caso os mecanismos de termorregulação sejam ineficientes, poderão comprometer o desenvolvimento da colônia e a produção ou haverá enxameação por abandono (BECKER et al., 2010).

De acordo com Altum (2012), em temperaturas abaixo de 6°C, as abelhas não são capazes de fazer mudanças corporais, como resultado, não podem manter um equilíbrio entre a temperatura dentro da colmeia e a temperatura corporal, e isso pode levar à morte em colônias fracas ou com escassez de reservas de alimento.

Em altas temperaturas, as operárias cessam as atividades com a necessidade do

resfriamento do ninho, pois há necessidade prioritária para a homeostase da colônia, o que pode comprometer a produtividade. Segundo Kleinhenz et al. (2003), a variação da temperatura no ninho influencia o desempenho comportamental dos adultos em diversas atividades como a capacidade de aprendizado, a memória e a divisão de trabalho.

Tautz et al. (2003), em experimento, avaliaram os efeitos comportamentais das abelhas após incubação artificial em incubadoras com temperaturas constantes de 32 °C, 34,5 °C e 36 °C. Após a emergência, as abelhas foram marcadas e introduzidas em colônias adotivas, alojadas em condições normais. As abelhas tratadas foram treinadas para visitação em um alimentador a 200m da colmeia, exibindo claras diferenç as no desempenho da danç a que indica áreas de fluxo de alimento, o que poderia estar correlacionado com a temperatura; as abelhas incubadas a 32° C completaram apenas 20% dos circuitos de danç a, quando comparadas com abelhas do grupo de temperatura mais alta. Além disso, a variação na duração da fase de movimentação foi maior em abelhas submetidas a 32° C, comparadas com aquelas em 36° C.

Outro parâmetro que afeta a colônia é a umidade do ninho, pois esta influencia a aptidão da colônia de abelhas, afetando a mortalidade de adultos e crias, as atividades microbiana e parasitária, a concentração de néctar e a termorregulação (ELIS, 2008). A demanda de coleta de água pelas campeiras está de acordo com a necessidade da colônia, diferentemente da demanda de néctar que é de acordo com as fontes no campo. Em altas temperaturas, a coleta de água auxilia no resfriamento evaporativo, contribuindo para a homeostase da colônia (HUMAN et al., 2006). As abelhas podem sentir flutuações na quantidade de vapor de água no ar (YOKONARI, 1978).

Human et al. (2006) monitoraram a umidade absoluta (UA), a umidade relativa (UR) e a temperatura através de sensores (HOBO H8) em intervalos de dois dias, em três dias consecutivos, nas áreas de reserva de mel e na área central do ninho em três colônias de abelhas *Apis mellifera scutellata* no padrão Langstroth na África do Sul. Uma colmeia sem abelhas foi utilizada como tratamento controle, durante o m s de julho de 2005, caracterizado por inverno com baixo  ndice pluviométrico e com presenç a de flora apícola. A temperatura da colmeia controle foi próxima   do ambiente, nas colmeias com abelhas a temperatura permaneceu constante em torno 35°C; a UA foi menor na área de reserva de alimento e teve ampla variação, nas áreas de crias, variou pouco; a UR era semelhante na área de cria e na área de reserva de alimento. A temperatura ambiente variou de 3,5 a 31°C, apesar disso, as abelhas mantiveram a homeostase. Conclui-se que as operárias influenciam diretamente a umidade, no entanto existem restrições no potencial de regulação, pois a umidade ótima pode

variar em diferentes locais do ninho e depende de fatores abióticos como a disponibilidade de água. A regulação acontece dentro de certos limites, pois a regulação da temperatura e gás respiratório na colmeia pode interferir na umidade, assim, sugere-se umidade relativa em torno de 40% na área de cria.

Sanchez et al. (2015) monitoraram, através de sensores, a temperatura na área central do ninho, na periferia do ninho e na área de reserva de mel, e a umidade na parte superior da colônia (câmara de ar embaixo da cobertura exterior), em dez colmeias de abelhas *Apis mellifera iberiensis* com rainhas irmãs em uma apiário experimental, localizado no Universidade de Córdoba, Espanha, em colmeias convencionais padrão Langstroth e com placas de fundos abertos, utilizadas para controle de varroa (*Acaro destructor*) em quatro períodos de cinco dias com diferentes condições climáticas, caracterizadas por temperaturas cada vez mais frias. Não houve diferença estatística entre as colônias convencionais ($34,20^{\circ}\text{C} \pm 3,51$) e as colônias de fundo aberto ($33,65^{\circ}\text{C} \pm 2,54$), exceto no período 4 ($30,56^{\circ}\text{C} \pm 2,03$) com clima mais ameno e quanto à umidade, observou-se grande variação em ambos os grupos de colmeias, com diferenças significativas em três dos quatro períodos estudados.

Para determinar se existe um padrão diário de umidade no ninho, Elis (2008) monitorou a temperatura e umidade através de sensor Hygrochron iButton (DS), no quadro central no ninho, e, na periferia da colmeia, com sensor HOBO H8 em três colônias de abelhas *Apis mellifera scutelata* em Pretoria, África do Sul (1 de setembro de 2006 a 31 de agosto de 2007). O conjunto de dados foi dividido em quatro estações para análise: primavera (setembro /out. / nov. 2006), verão (dezembro de 2006 / janeiro / fevereiro de 2007), outono (março / abril / maio de 2007) e inverno (junho / julho / agosto de 2007). O déficit de pressão de vapor (DPV) foi determinado para cada colmeia separadamente, calculando-se o Média \pm DP para cada hora do dia, realizado a cada estação para se avaliar a taxa de evaporação. Uma estação meteorológica foi confeccionada para se analisar os dados ambientais num raio de 6m da colônia; também foi realizada a avaliação do desenvolvimento do enxame (áreas de cria e alimento) através de fotografia, bem como o *dowload* dos dados, a cada 15 dias, sendo posteriormente analisados por meio do programa Adobe Photoshop.

Conclui-se que a umidade por hora não apresenta um padrão, mas permanece relativamente constante durante o dia (entre 50% e 60%) e alta no déficit de pressão de vapor, permitindo grande capacidade de evaporação na área de cria. Os padrões mostram que existe um gradiente de pressão de vapor da área central da ninhada para a periferia de uma colmeia, sugerindo que a colônia controla diretamente a umidade. As colônias fracas ou que estão próximas à enxameação exibem flutuações de temperatura e umidade próxima à do ambiente.

A radiação solar não está altamente correlacionada com o microclima da ninhada em uma colônia saudável e a quantidade de favos de crias não está relacionada diretamente à umidade do ninho.

2.2 Isopor

Avaliar a influência de fatores ambientais e do material utilizado para construção das caixas utilizadas pelas abelhas é fundamental para o melhor desempenho da colmeia e aumento da produção, considerando-se que estudos direcionados para a atividade apícola auxiliam na obtenção de produtos de maior qualidade, vindo a ser produzidos de forma que permitam conforto e bem-estar para esses animais.

Uma alternativa até então utilizada em países europeus é a confecção de caixas de abelhas padrão Langstroth de isopor. No Brasil é mais conhecida como ISOPOR®, marca registrada pela Knauf isopor Ltda. e designa os produtos de poliestireno expandido (EPS), comercializados por essa empresa, cujas principais características são leveza, baixo custo e capacidade de isolante térmico.

De acordo com ABRAPEX (2016), o isopor possui inúmeras vantagens, entre elas, baixa condutividade térmica - a estrutura de células fechadas, (97% do volume) que dificultam a passagem de calor, garantindo que o isopor seja excelente isolante térmico ($k: 0,030 \text{ W/ m}^\circ \text{ C}$); leveza - com densidade ($10\text{-}30 \text{ Kg / m}^3$); resistência mecânica - 7.000 Kg/ m^2 a 14.000 Kg/ m^2 ; baixa absorção de água - o isopor não é higroscópico, ou seja, mantém suas características térmicas e mecânicas mesmo sob ação da umidade; fácil manuseio e baixo custo comparado a colmeias de madeira; material que pode ser reciclado - além de contribuir para a diminuição de resíduos no meio ambiente, o EPS reciclado pode ser utilizado em diversas formas na construção civil, também como solado de sapato, gabinete de TV, vasos de plantas, entre outros; material inodoro - não contamina o solo, água e ar e nem libera substâncias no ambiente.

2.3 Apicultura de precisão (PB)

A apicultura de precisão (PB) é um termo recentemente utilizado com estratégia de gestão apiária, é baseada no monitoramento individual de colônias de abelhas para minimizar o consumo de recursos e maximizar a produtividade das abelhas e está baseada em três fases de implementação que são a coleta de dados, análises e aplicação (ZACEPINS, 2012), que permitem, ao apicultor, monitorar e avaliar as colmeias com o intuito de melhorar a

produtividade.

O objetivo da fase de coleta de dados é o desenvolvimento de ferramentas em tempo real e on-line, para o contínuo monitoramento de apiários, e que é dividido em três tipos de monitoramento: parâmetros do apiário (parâmetros meteorológicos e observação de vídeo); parâmetros em nível de colônia (temperatura, umidade, conteúdo de gás, som, vídeo, vibração de colmeia e peso); parâmetros individuais, relacionados à abelha (o número de abelhas na colmeia, área de entrada) (ZACEPINS e STALIDZANS, 2013).

Os métodos mais utilizados para o monitoramento em nível de colônia são peso, temperatura umidade, som e vibração. Recentemente, diversos trabalhos monitoraram a temperatura e umidade de colônias de abelhas (HUMAN et al., 2006; ELIS, 2008; STABENNTHEINER 2010; STALIDZANS e BERZONIS 2013;). Com base na temperatura, os apicultores e pesquisadores podem avaliar o estado das colônias como o aumento do consumo de alimentos, o início de criação de crias, a morte de abelhas na colônia e a enxameação (STALIDZANS e BERZONIS, 2013).

Stalidzans e Berzonis, (2013), em experimento, avaliaram a temperatura com sensor, no corpo superior da colmeia, e a temperatura ambiente com intervalo de 15 min. em 14 colônias de abelhas na Letônia, na região de Riga, durante 12 meses, em abelhas *Apis mellifera mellifera*. O resultado possibilitou estimar os períodos de desenvolvimento da colônia de abelhas: (1) criação de crias de inverno, (2) criação de crias de primavera, (3) criação de verão, (4) criação de ninhada de outono e (5) período de ninhada de outono. A determinação dos períodos anuais de desenvolvimento das colônias de abelhas pode ajudar na sincronização das atividades do apicultor. Ao se desenvolver software de análise de dados, é possível analisar dados no apiário, por meio do computador ou na internet (ZACEPINS et al., 2015). Somente após os algoritmos de análise e o reconhecimento automatizado serem desenvolvidos para a interpretação de dados, com intuito de informar o apicultor do estado da colônia (ZACEPINS, 2012).

Um exemplo de aplicação de um sistema automático, controlado remotamente para refrigeração ou aquecimento de colmeias individuais, dependendo da temperatura interna e medidas de umidade, foi desenvolvido (ALTUM, 2012). Em estudo os autores desenvolveram um sistema para controlar a temperatura e umidade com sistema termoelétrico, alimentado com energia solar, desenvolvido para garantir o melhor padrão de vida dentro das colmeias para as abelhas (21°C a 35°C). Toda a energia necessária para o sistema foi obtida a partir da radiação solar, armazenada em acumuladores de gel. Os dados de umidade e temperatura foram recebidos constantemente com redes de sensores sem fio e analisados através de um software, além disso o

apicultor foi informado por meio de uma mensagem automática, enviada ao seu celular para permitir-lhe tomar medidas de emergência em caso de qualquer situação adversa, relacionada com a temperatura ou umidade. Os resultados demonstraram redução na mortalidade das abelhas e aumento na produtividade de mel. Com o estudo, pôde-se evidenciar a importância da homeostase e a sustentabilidade na apicultura, melhorando-se o bem-estar das abelhas e a produtividade.

2.4 Desenvolvimento de um sistema de monitoramento

Com o intuito de se avaliar a temperatura e umidade em colônias de abelhas *Apis mellifera*, foi desenvolvida uma arquitetura com a colaboração da Universidade Estadual de Maringá (UEM) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), objetivando implementar um sistema móvel, utilizando-se sensores de temperatura e umidade (DS18S20), anteriormente aplicados em pesquisas (ZACEPINS et al., 2015) para desenvolver uma interface web e protótipo de sistema de monitoramento.

Os sistemas móveis são aplicações em que o acesso ao serviço é feito através de terminais móveis (LAWRENCE et al., 2006). Esses sistemas são facilmente operáveis, a partir de qualquer local, e normalmente usam conexões sem fio para executar suas operações (PERNICE, 2006). Os aparelhos eletrônicos estão conectados, através de uma rede, para acessar e enviar dados solicitados pelo usuário.

O sistema proposto denomina-se MyBee e é baseado em duas abordagens descritas por KVIESES E ZACEPINS (2016) que usam um dispositivo de interface para cada colmeia e envia dados para um centro computacional remoto. O myBee é dividido em dois subsistemas: o sistema estacionário e o sistema móvel (RODRIGUEZ, 2017). O primeiro consiste em coletar e armazenar os dados. A infraestrutura oferece flexibilidade e simplicidade no acesso às camadas (KVIESIS e ZACEPINS, 2015), com características importantes e distintivas da infraestrutura que permitem ao sistema a ser utilizado, ampla gama de cenários não limitados ao ramo da Apicultura Precisão. Além disso, possibilita que o usuário configure ou modifique operações, protocolos, armazenamento e componentes físicos (RODRIGUEZ, 2017).

O sistema móvel consiste num software para monitorar os dados coletados; os sensores, localizados no centro das colmeias, monitoram as condições, coletando informações que são enviadas através de uma rede sem fio para um servidor. Usando esse sistema, apicultores podem monitorar, através de uma interface web em um computador ou dispositivo

móvel, as condições das colônias de abelhas. O sistema estacionário foi implementado como um servidor, dessa forma, impede que haja redundância de dados e garante que estes sejam armazenados, independentemente da falha do equipamento (RODRIGUEZ, 2017).

2.4.1 Detalhes técnicos

O MyBee tem uma funcionalidade básica com classes abstratas especializadas que compõem a arquitetura de software. Essa funcionalidade permite que o MyBee use dispositivos de baixo custo e um gerenciador de sistema de banco de dados; monitore a temperatura e umidade das colmeias; organize dispositivos de monitoramento em uma rede de malha; forneça relatórios e estatísticas. (RODRIGUEZ, 2017).

Quanto ao hardware, atualmente o sistema estacionário suporta um sensor de framboesa, DHT22, e os microcontroladores GPIO7 e GPIO18. Isso indica que o referido sistema usa hardware, que é capaz de desativar o sensor DHT22 por certo tempo; coletar a temperatura e umidade da colmeia; armazenar dados; e transmitir / receber dados, sendo o armazenamento e gerenciamento do banco de dados realizados através do sistema estacionário (KVIESIS e ZACEPINS, 2015).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. F. **Fatores que interferem no comportamento enxameatório de abelhas africanizadas**. 2008. 120 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2008.

ALTUM, A. A. Remote Control of the Temperature-Humidity and Climate in the Beehives with Solar-Powered Thermoelectric System. **Journal of Control Engineering and Applied Informatics**, v.14, no.1, p. 93-99, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO. **Características**. Disponível em: <<http://www.abrapex.com.br>>. Acesso em: 12 maio 2016.

BECKER, M.A; HILDENBRANDT. H; HEMELRIJK, C.K; MORITZ, F. R. A. Brood temperature, task division and colony survival in honeybees: a model. **Ecological Modelling**, v. 221, p. 769–776, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.11.016>>. Acesso 01/02/2017.

CARVALHO, M. D. F de. **Temperatura da superfície corpórea e perda de calor por convecção em abelhas (*Apis mellifera*) em uma região semi-árida**. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal Área de concentração Produção Animal) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.- Mossoró, 2009.

DE JONG, D. O valor da abelha na produção mundial de alimentos. In: **Congresso Brasileiro de Apicultura**, n., 2000. **Anais...** Florianópolis: [s.n.], 2000.

DYER, Fred C.; SEELEY, Thomas D. Nesting behavior and the evolution of worker tempo in four honey bee species. **Ecology**, v. 72, n. 1, p. 156-170, 1991.

ELLIS, B. M. Homeostasis: **Humidity and water relations in honeybees colonies** (*Apis mellifera*). 2008. 126 f. Dissertation (Master's) - Faculty of Natural and agricultural Sciences, University of Pretoria, Pretoria, 2008.

ESKOV, E. K.; TOBOEV, V. A. Exogenous and Endogenous Fluctuations of Thermoregulatory Activity in the Honeybee. **Biology Bulletin**, v. 36, n. 2, p. 205-211, 2009.

EMBRAPA. Criação de abelhas: apicultura / Embrapa Informação Tecnológica; **Embrapa Meio Norte- Informação Tecnológica**, 2007.113p.

HIMMER, A. Die Temperaturverha Itnisse bei den sozialen **Hymenopteren**. **Biol Rev**, n.7, p. 224-253, 1932.

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

IBGE. **Censo agropecuário de 2006**. Rio de Janeiro, 2006.

JONES, C. J.; MYERSCOUGH, M. R.; GRAHAM, S.; OLDROYD, B. P. Honey Bee Nest Thermoregulation: Diversity Promotes Stability. **Science**, v. 305, n. 5682, p. 402-404, 2004, Disponível em: <<http://doi:10.1126/science.1096340>>. Acesso em: 5 maio 2017.

JONES, J. C; OLDROYD, B. P. Nest thermoregulation in social insects. **Advances in insect Physiology**, v. 33, p. 153-191, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065280606330032>>. Acesso em: 02/05/2017.

KLEINHENZ, M ; BUJOK. B; FUCHS, S;TAUTS, J. Hot bees in empty broodnest cells: heating from within. **Journal of Experimental Biology**, v. 206, n. 23, p. 4217-4231, 2003. Disponível em: <http://jeb.biologists.org/content/jexbio/206/23/4217.full.pdf>. Acesso em: 02/5/2016.

KRONENBERG, F.; HELLER, H. C. Colonial thermoregulation in honey bees (*Apis mellifera*). **J. Comp. Physiol. B**, v. 148, p. 65-76, 1982.

KVIESIS, A.; ZACEPINS, A. System architectures for real-time bee colony temperature monitoring. **Procedia Computer Science**, v. 43, p. 86-94, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.12.012>> Acesso em: 2 jun. 2016.

KVIESIS, A; ZACEPINS, A. Application of neural networks for honey bee colony state identi_cation. In ICC' 2016, **Proceedings of the 17th International Carpathian Control Conference**, p. 413-417, Maio 2016.

LAWRENCE, B.P; KROGSTIE, J. Mobile Information Systems: IFIP TC 8 **Working Conference on Mobile Information Systems** (MOBIS) 15-17 September 2004, Oslo, Norway. IFIP Advances in Information and Communication Technology.Springer US, 2006.

PERNICI, B. **Mobile Information Systems: Infrastructure and Design for Adaptivity and Flexibility**. Springer-Verlag New York, Incorporation., Secaucus, NJ, USA, 2006.

RODRIGUEZ, L. G. A. **Mobile Systems for Precision Beekeeping**. 2017. Dissertação (Mestrado Informática)-Universidade Estadual de Maringá, 2017.

RUPPERT, E.; BARNES, R. **Zoologia dos invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva**. São Paulo: Roca, 2005.

SANCHEZ, V.; GIL, S.; FLORES, J. M. et al. Implementation of an electronic system to monitor the thermoregulatory capacity of honeybee colonies in hives with open-screened bottom boards. **Elsevier, Computers and Electronics in Agriculture**, v. 119, p. 209–216, 2015.

SEELEY, T. D. **Ecologia da abelha: um estudo de adaptação na vida social**. Porto Alegre: Paixão, 2006. 256p.

STABENTHEINER, A.; KOVAC, H.; BRODSCHNEIDER, R. Honeybee Colony Thermoregulation : Regulatory Mechanisms and Contribution of Individuals in Dependence on Age, Location and Thermal Stress. **Journal Plos One**, v. 5, no. 9. 1, p. e 8967, 2010. Disponível em: [: <http://dx.doi.org/101371/journal.pone.0008967>](http://dx.doi.org/101371/journal.pone.0008967). Acesso em: 02/02/2017.

STALIDZANS, E.; BERZONIS, A. Temperature changes above the upper hive body reveal the annual development periods of honey bee colonies. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 90, p .1-6, 2013.

TAUTZ, J. **O fenômeno das abelhas**, 1 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

TAUTZ, J.MAIER, S.GROH, C.ROSSLER, W.BROCKANN, A. Behavioral performance in adult honey bees is influenced by the temperature experienced during their pupal development. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n. 12, p. 7343- 7347, 2003. Disponível em:<<http://doi: 10.1073/pnas.1232346100>>. Acesso em: 21 maio 2016.

WIESE, H. **Apicultura: Novos Tempos**. 1 ed. Guaíba: Agropecuária, 2000.

WINSTON, M. L. **A biologia da abelha**. Porto Alegre: Magister, 2003.

YOKONARY, F. Hygroreceptor mechanism in the antenna of the cockroach *Periplaneta*. **Journal of Comparative Physiology**, v. 124, p. 53-60, 1978.

ZACEPINS, A . Application of bee hive temperature measurements for recognition of bee colony state. In: Proceedings of the 5th International Scientific Conference “Applied Information and Communication Technologies” (AICT 2012) (pp. 216e221). Jelgava, Latvia. 2012. Acesso em: <http://tf.llu.lv/conference/proceedings2013/Papers/022_Zacepins_A.pdf>. Acesso em: 10/10/2016

ZACEPINS, A ; STALIDZANS, E. Information processing for remote recognition of the state of bee colonies and apiaries in precision beekeeping (apiculture). In: **Biosystems and Information Technology**. v.2, n.1, p. 6-10, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1159/bit.130502>>. Acesso em 20/07/2016.

ZACEPINS, A.; BRSBARDIS, V.; METALOVIS, J.; STALIDZANS, E. Challenges in the development of precision beekeeping. **Biosystems Engineering**, no. 130, p. 60 - 71, 2015.
Disponível: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.12.001>> Acesso em 02/06/2016.

CAPITULO I

Sensores no monitoramento da temperatura e umidade interna de colônias de *Apis mellifera* africanizadas alojadas em caixas de madeira e ou de isopor

Sensores no monitoramento da temperatura e umidade interna de colônias de *Apis mellifera* africanizadas alojadas em caixas de madeira e ou de isopor

Sensors in the monitoring of temperature and internal humidity of colonies of africanized *Apis mellifera* housed in wooden boxes and or styrofoam

BENAGLIA, B.G.E.¹; PONTARA, L. P.¹; SILVA, A. F.²; NASCIMENTO, S. T.³; CARDOSO, M.⁴; FARIAS, J.M.V.¹.

¹Universidade Estadual de Maringá (UEM) - Mestrado em Agroecologia (Maringá, Paraná, Brasil. brunobenaglia86@hotmail.com; lucimarbee1@yahoo.com.br; ²Universidade Estadual de Maringá (UEM) - Mestrado em Informática, andersonfaustino@gmail.com; discente do Departamento de Informática (UEM), j.marcos.faria@gmail.com; ³Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV) da Universidade de Brasília (UnB), sheila.tn@gmail.com; ⁴Universidade Kroton - Engenharia, Londrina, Paraná, Br. melina_cardoso@msn.com.

RESUMO: As abelhas *Apis mellifera* africanizadas são homeostáticas em relação as condições ambientais. O experimento foi realizado no setor de apicultura do DZO da UEM- PR. Os enxames foram alojados em três caixas de madeira e três de isopor e os sensores instalados no quadro central de cada colmeia, com monitoramento de 5 em 5 minutos em 10 dias em março e 9 dias em abril de 2017. Foram quantificadas as medias de cada período sendo: 1: 12 h às 18h; período 2: 18h às 00 h; período 3: 00h às 06 h; período 4: 06h às 12 h. O objetivo foi o de monitorar a temperatura e umidade interna das colônias alojadas em caixas de madeira e ou de isopor através de sensores. A análise estatística foi a análise de variância (ANOVA) e as medias pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância através do STATISTICA 8.0. Não houve diferença significativa entre as medias dos dias para a temperatura e umidade no mês de março da caixa de madeira (35,11°C ± 0,14; 70,26% ± 2,12) e ou isopor (35,32 °C ± 0,13; 71,35% ± 2,18) e também no mês de abril para madeira (34,98°C ± 0,13; 69,24% ± 2,16) e isopor (35,03°C ± 0,16; 69,87% ± 1,37). Nos quatro períodos houve diferença estatística na temperatura e umidade em relação ao ambiente, e entre as caixas nos respectivos períodos não foi obtido diferença significativa. As abelhas ajustaram a homeostase do ninho com adaptação para ambos os materiais.

Palavras-chave: Apicultura, Caixas de isopor, Caixas de madeira, Bem-estar

ABSTRACT: Africanized *Apis mellifera* bees are homeostatic in relation to environmental conditions. The experiment was carried out in the beekeeping sector of the DZO of UEM-PR. The swarms were housed in three wooden boxes and three styrofoam boxes and the sensors installed in the central frame of each hive, with monitoring every 5 minutes in 10 days in March and 9 days in April 2017. The averages of each period being: 1: 12 to 18 a.m.; 2: 18 a.m. to 00 p.m. 3: 00h to 06h and 4: 06 to 12h. The objective was to monitor the temperature and internal humidity of the colonies housed in wooden boxes and or styrofoam through sensors. The statistical analysis was the analysis of variance (ANOVA) and the means by the Tukey test, at the level of 5% of significance through STATISTICA 8.0. There was no significant difference between the days averages for temperature and humidity in the wooden box (35.11°C ± 0.14, 70.26 ± 2.12) in march and either styroporous (35.32°C ± 0 ± 0), 13; 71.35% ± 2.18) and also in the month of april for wood (34.98°C ± 0.13, 69.24 ± 2.16) and

styroporous ($35.03^{\circ}\text{C} \pm 0.16$; $87\% \pm 1.37$). In the four periods there was a statistical difference in temperature and humidity in relation to the environment, and no significant difference was found between the boxes in the respective periods. Bees adjusted the nest homeostasis with adaptation for both materials.

Keywords: beekeeping, styrofoam boxes, wooden boxes, well being

INTRODUÇÃO

A apicultura é a criação racional de abelhas do gênero *Apis mellifera*, englobando os requisitos de sustentabilidade, tanto econômico, social e ambiental. No âmbito econômico gera renda através dos inúmeros produtos: mel, pólen, própolis, geleia real, cera e veneno. No contexto social é uma atividade de baixo investimento inicial, fácil manejo e manutenção que em sua ampla maioria é exercida pela agricultura familiar, em propriedades de menos de 20 há (IBGE, 2006); destaca-se como alternativa de ocupação, emprego e renda para o homem no campo. Na esfera ambiental é a única atividade de criação animal que não causa impactos ambientais, devido a importante atuação das abelhas como polinizadores naturais de espécies nativas e cultivadas, contribuindo para o equilíbrio do ecossistema e a manutenção da biodiversidade.

O Brasil é um país tropical, com vasta extensão territorial, flora abundante e recursos naturais; conjuntamente com a espécie de abelha africanizada que tem como características: adaptabilidade a diferentes climas, resistente a doenças, alta produtividade, tem um grande potencial para a atividade apícola. (EMBRAPA, 2007).

As organizações sociais evoluíram de duas Ordens dos insetos, os Isopteras (Cupins) e Himenóptera (que incluem vespas, formigas e abelhas), havendo uma grande complexidade na organização social, (DE JONG, 2000).

Os insetos sociais se adaptam a diferentes regiões, desde que tenha abundância de florada, no entanto o desenvolvimento e o comportamento das colônias são influenciados por fatores ambientais como temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar, (ALMEIDA, 2008). Portanto é de extrema importância as características individuais das operárias que devem ser conduzidos por fatores organizacionais a nível de colônia, em resposta a condições ambientais variáveis, (WIESE, 2000).

A atividade homeostática enfrenta restrições como: fisiologia individual da operária, a estrutura do ninho e suas limitações comportamentais nas atividades; apesar disso as abelhas combinam a estrutura do ninho e atividades das operárias para manter o controle do seu ambiente com a máxima homeostase do ninho, (WINSTON, 2003).

Em resposta a variação de temperatura as abelhas combinam mecanismos fisiológicos e comportamentais para a termorregulação do ninho. O mecanismo primário, ou seja, antes do estabelecimento da colônia é a seleção do local de nidificação, com isso melhorando o conforto térmico, (TAUTZ, 2010).

Os mecanismos secundários são as estratégias desenvolvidas após o estabelecimento da colônia. Em baixas temperaturas a resposta comportamental é o agrupamento com a geração de calor metabólico e a vibração dos músculos torácicos de voo (KRONENBERG e HELLER, 1982; WINSTON, 2003). Em altas temperaturas promove a ventilação pelo batimento das asas, conseqüentemente há uma renovação da corrente de ar quente e auxiliando a evaporação da umidade do néctar, transformando-o em mel. (DYER e SEELEY, 1991; WINSTON, 2003).

As abelhas também espalham água ao redor dos alvéolos, ou regurgitam pequenas quantidades de água abaixo da língua: (probóscide) contribuindo para diminuir a temperatura do ninho pela evaporação da água e aumentando a umidade. Além disso, podem permanecer no alvado evitando assim liberar o calor metabólico, em altas temperaturas, (SEELEY, 2006).

Outro parâmetro que afeta a colônia é à umidade do ninho, pois influencia a aptidão da colônia de abelhas afetando a mortalidade de adultos e crias, a atividade microbiana e parasitária, concentração de néctar e termorregulação (ELIS, 2008), a demanda de coleta de água pelas campeiras esta de acordo com a necessidade da colônia, diferentemente da demanda de néctar que é de acordo com as fontes no campo, em altas temperaturas a coleta de água, auxilia no resfriamento evaporativo contribuindo para a homeostase da colônia. (HUMAN et al., 2006). As abelhas podem sentir flutuações na quantidade de vapor de água no ar, (YOKONARI, 1978).

Human et al., (2006) monitorou a umidade absoluta (UA), a umidade relativa (UR) e a temperatura através de sensores (HOBO H8) em intervalos de 2 dias em 3 dias consecutivos nas áreas de reserva de mel e na área central do ninho em 3 colônias de abelhas *Apis mellifera scutellata* no padrão Langstroth na África do Sul; sendo que uma colmeia sem abelhas foi utilizada como tratamento controle, durante o mês de julho de 2005 caracterizado por inverno com baixo índice pluviométrico e com presença de flora apícola. A temperatura da colmeia controle foi próximo a do ambiente, nas colmeias com abelhas a temperatura permaneceu constante em torno (35°C), UA foi menor na área de reserva de alimento e teve uma ampla variação, nas áreas de crias variou pouco; a UR: era semelhante na área de cria e na área de reserva de alimento. A temperatura ambiente variou de (3,5 a 31°C) apesar disso as

abelhas mantiveram a homeostase. Conclui se que as operarias influencia diretamente a umidade, no entanto existem restrições no potencial de regulação, pois a umidade ótima pode variar em diferentes locais do ninho e dependem de fatores abióticos como disponibilidade de água. A regulação acontece dentro de certos limites, pois regulação da temperatura e gás respiratórios na colmeia pode interferir na umidade, sugeriu se umidade relativa em torno de 40% na área de cria.

Sanchez et al., (2015) monitorou através de sensores a temperatura na área central do ninho, na periferia do ninho e na área de reserva de mel e a umidade na parte superior da colônia (câmara de ar embaixo da cobertura exterior), em dez colmeias de abelhas *Apis mellifera iberiensis* com rainhas irmãs em uma apiário experimental localizada no Universidade de Córdoba, Espanha em colmeias convencionais padrão Langstroth e com placas de fundos abertos utilizadas para controle de varroa (*Acaro destructor*) em quatro períodos de cinco dias com diferentes condições climáticas caracterizadas por temperaturas cada vez mais frias. Não houve diferença estatística entre as colônias convencionais ($34,20^{\circ}\text{C} \pm 3,51$) e as colônias de fundo aberto, ($33,65^{\circ}\text{C} \pm 2,54$); exceto no período 4 ($30,56^{\circ}\text{C} \pm 2,03$) com clima mais ameno, quanto à umidade, observou-se uma grande variação em ambos grupos de colmeias, com diferenças significativas em três dos quatro períodos estudados.

Para determinar se existe um padrão diário de umidade no ninho Elis, (2008) monitorou a temperatura e umidade através de sensor: ((Hygrochron iButton (DS) no quadro central no ninho e na periferia da colmeia com sensor: (HOBO H8) em 3 colônias de abelhas *Apis mellifera scutellata* em Pretoria África do Sul (1 de setembro de 2006 a 31 de agosto de 2007). O conjunto de dados foi dividido em quatro estações para análise: primavera (setembro /Out / Nov 2006), verão (dezembro de 2006 / janeiro / fevereiro de 2007), outono (março / abril / maio de 2007) e Inverno (junho / julho / agosto de 2007) e o déficit de pressão de vapor (DPV) foi determinado para cada colmeia separadamente, calculando o (Média \pm DP) para cada hora do dia , sendo realizado a cada estação para avaliar a taxa de evaporação. Uma estação meteorológica foi confeccionada para avaliar os dados ambientais num raio de 6 m da colônia; também foi realizada a avaliação do desenvolvimento do enxame (áreas de cria e alimento) através de fotografia, bem como o dowload dos dados a cada 15 dias, sendo posteriormente analisadas através do programa Adobe Photoshop.

Concluiu se que a umidade por hora não apresenta um padrão, mas permanece relativamente constante durante o dia (entre 50 e 60%) e alta o déficit de pressão de vapor permitindo uma grande capacidade de evaporação na área de cria, os padrões mostram que existe um gradiente de pressão de vapor da área central da ninhada para a periferia de uma

colmeia sugerindo que a colônia controla diretamente a umidade. As colônias fracas ou que estão próximas a enxameação exibem flutuações de temperatura e umidade próxima a do ambiente. A radiação solar não está altamente correlacionada com o microclima da ninhada em uma colônia saudável e a quantidade de favos de crias não está relacionada diretamente à umidade do ninho.

Os mecanismos tanto para o aquecimento quanto para o resfriamento do ninho consomem uma grande quantidade do mel da colônia, cerca de 2/3 de energia consumida no verão e 4/5 no inverno (TAUTZ, 2010), caso os mecanismos de termorregulação sejam ineficientes poderá comprometer o desenvolvimento da colônia e a produção ou haverá enxameação por abandono. (BECKER et al., 2010).

Segundo Tautz (2010), as colônias de abelhas são consideradas “supeorganismos”; a colônia tem um alto grau de divisão de trabalho e cooperação, portanto podem resolver simultaneamente vários problemas e solucionar os pontos críticos no desenvolvimento da colônia. Com isso tem alta capacidade de resistir, as imprevisibilidades do meio ambiente, com claras vantagens entre elas: armazenagem de alimento (nutrição estável), defesa contra inimigos (espaços protetores) e controlar a temperatura do ninho com crias.

Os insetos individualmente têm uma faixa de tolerância menor a grandes amplitudes térmicas por não possuírem enzimas estáveis a altas temperaturas, acima da faixa térmica normal (SEELEY, 2006). A abelha é considerada um animal pecilotermo com a sua temperatura corporal apresentada próxima à temperatura ambiente, mas durante algumas atividades podem sofrer oscilações na temperatura corporal (CARVALHO, 2009).

As larvas abelhas e pupas são estenotérmicas, ou seja, não conseguem controlar a temperatura corporal por isso dependem da colônia, que é homeoterma para o seu desenvolvimento, principalmente das operárias para manter a temperatura em torno de 33°C a 36°C, faixa ótima para o desenvolvimento (WINSTON, 2003; JONES e OLDROYD, 2006; STABENTHEINER, 2010); pois os processos biológicos podem ser modificados e/ou alterados por variações da temperatura comprometendo o desenvolvimento das crias, (JONES e OLDROYD, 2006).

Jones et al., (2004) relata que colônias geneticamente diversas tendem a ser mais estáveis, pois mais rápido o limiar de resposta a variação, evitando assim grandes flutuações de temperatura. De acordo com Elis (2008) colônias fortes conseguem manter a homeostase do ninho, pois enxames fracos têm dificuldades de conciliar a termorregulação do ninho com outras atividades da colônia e adaptar-se às variáveis ambientais.

Os ovos e larvas (células de cria abertas) podem tolerar temperaturas mais baixas por algum tempo, porém as pupas (crias fechadas) são muito sensíveis ao frio caso permanecerem muito tempo abaixo de 32°C no ninho há uma incidência de asas e pernas encolhidas, além de má formação do abdômen (HIMMER, 1932), e os adultos podem sofrer de insuficiência neural e comportamental (TAUTZ et al., 2003). Com a temperatura acima de 36°C podem resultar em desenvolvimento anormais de crias ou mesmo a morte (WINSTON, 2003).

Segundo Kleinhenz et al., (2003) a variação da temperatura no ninho influencia o desempenho comportamental dos adultos em diversas atividades, como a capacidade de aprendizado, a memória e a divisão de trabalho. De acordo com Tautz et al., (2003), em experimento que avaliou os efeitos comportamentais das abelhas após incubação artificialmente em incubadoras com temperatura constantes de 32°C, 34,5°C e 36°C. Após a emergência foram marcadas e introduzidas em colônias adotivas alojadas em condições normais. As abelhas tratadas tornaram-se forrageiras e foram treinadas para visitação em um alimentador a 200 m da colmeia, exibindo claras diferenças no desempenho da dança que poderia estar correlacionado com a temperatura; as abelhas incubadas a 32°C completaram apenas 20% dos circuitos de dança quando comparados com abelhas do grupo de temperatura mais alta. Além disso, a variação na duração da fase de movimentação foi maior em abelhas submetidas a 32°C comparadas a 36°C.

De acordo com Altum (2012), afirma que em temperaturas abaixo de 6 ° C, as abelhas não são capazes de fazer mudanças corporais, como resultado não podem manter um equilíbrio entre temperatura dentro da colmeia e temperatura corporal, podendo levar a morte, em colônias fracas ou com escassez de reservas de alimento. Em altas temperaturas as operárias cessam as atividades com a necessidade do resfriamento do ninho, pois há uma necessidade prioritária para a homeostase da colônia.

Avaliar a influência de fatores ambientais e do material utilizado para construção das caixas utilizadas pelas abelhas é fundamental para o melhor desempenho da colmeia e aumento da produção, considerando que, estudos direcionados para a atividade apícola auxiliam na obtenção de produtos de maior qualidade, e serem produzidos de forma que permitam conforto e bem-estar para esses animais.

Uma alternativa promissora para manter a homeostase das colônias, até então utilizados em países europeus é a confecção de caixas padrão Langstroth de isopor, pois é um excelente isolante térmico, inodoro, não contamina o solo, a água, reciclável, portanto pode ser utilizado para confeccionar caixas de abelhas (ABRAPEX, 2016).

De acordo com (ABRAPEX, 2016) o isopor possui inúmeras vantagens entre elas: baixa condutividade térmica: a estrutura de células fechadas, (97% do volume) que dificultam a passagem de calor, garantindo o isopor um excelente isolante térmico ($k: 0,030 \text{ W/ m}^\circ \text{ C}$); leveza: com densidade ($10\text{-}30 \text{ Kg / m}^3$); resistência mecânica : 7000 Kg/ m^2 a 14000 Kg/ m^2 ; baixa absorção de água: o isopor não é higroscópico, ou seja mantém suas características térmicas e mecânicas mesmo sob ação da umidade; fácil manuseio e de baixo custo comparado a colmeias de madeira; material que pode ser reciclado: além de contribuir para diminuição de resíduos no meio ambiente , o EPS reciclado pode ser utilizado em diversas formas na construção civil, solado de sapato, gabinete de TV, vasos de plantas entre outros; um material inodoro, não contamina o solo, água e ar e nem libera substancias no ambiente

No Brasil é mais conhecida como ISOPOR®, marca registrada pela Knauf Isopor Ltda e designa os produtos de poliestireno expandido (EPS) comercializado por essa empresa. As principais características são: leveza, baixo custo e capacidade isolante térmico.

Os sistemas móveis são aplicações onde o acesso ao serviço é feito através de terminais móveis (LAWRENCE et al., 2006) e podem ser utilizados para avaliar o comportamento das colônias alojadas em caixas com diferentes materiais. Esses sistemas são facilmente operáveis a partir de qualquer local e normalmente usam conexões sem fio para executar suas operações (PERNICE, 2006) e os aparelhos eletrônicos estão conectados, através de uma rede, para acessar e enviar dados solicitados pelo usuário.

Altum (2012) desenvolveu um sistema para monitorar a temperatura e umidade com sistema termoeletrico alimentado com energia solar desenvolvido para garantir o melhor padrão de vida dentro das colmeias para as abelhas (21°C a 35°C); sendo que toda a energia necessária para o sistema foi obtida a partir da radiação solar armazenada em acumuladores de gel. Os dados de umidade e temperatura foram recebidos constantemente com redes de sensores sem fio e analisados de modo a determinar se eles estão dentro dos intervalos de valores ótimos através de um software, além disso, o apicultor foi informado através de uma mensagem automática enviada ao seu celular para permitir-lhe tomar medidas de emergência em caso de qualquer situação adversa relacionada com a temperatura ou umidade. Os resultados demonstraram uma redução na mortalidade das abelhas e um aumento na produtividade de mel. Com o estudo podemos evidenciar a importância da homeostase e a sustentabilidade na apicultura melhorando o bem-estar e a produtividade.

A tecnologia da Apicultura de Precisão é um termo recentemente utilizado com estratégia de gestão apiária baseada no monitoramento individual de colônias de abelhas para

minimizar consumo de recursos e maximizar a produtividade das abelhas e está baseado em três fases de implementação: coleta de dados, análise e aplicação que permite ao apicultor monitorar e avaliar as colmeias com o intuito de melhorar a produtividade, (ZACEPINS, 2012). Por exemplo, com o monitoramento da temperatura os apicultores e pesquisadores podem avaliar o estado das colônias como o aumento do consumo de alimentos, o início de criação de crias, morte da colônia e enxameação (STALIDZANS e BERZONIS, 2013).

O objetivo da fase de coleta de dados é o desenvolvimento de ferramentas em tempo real e on-line para o contínuo monitoramento de apiários e divididos em três tipos de monitoramento: parâmetros do apiário (parâmetros meteorológicos e observação de vídeo); parâmetros a nível de colônia (temperatura, umidade, conteúdo de gás, som, vídeo, vibração de colmeia e peso); parâmetros individuais relacionados à abelha (o número de abelhas na colmeia, área de entrada). (ZACEPINS e STALIDZANS, 2013).

Os métodos mais utilizados para monitoramento em nível de colônia são: peso, temperatura, umidade, som e vibração em que recentemente diversos trabalhos monitoraram a temperatura e umidade de colônias de abelhas (HUMAN et al., 2006; ELIS, 2008; STABENNTHEINER 2010; STALIDZANS e BERZONIS 2013).

De acordo com Stalidzans e Berzonis (2013), em experimento onde avaliaram a temperatura com sensores, no corpo superior da colmeia e a temperatura ambiente com intervalo de 15 min em 14 colônias de abelhas na Letônia, na região de Riga, durante 12 meses em *Apis mellifera mellifera* o resultado possibilitou estimar os períodos de desenvolvimento da colônia de abelhas: (1) criação de crias de inverno, (2) criação de crias de primavera, (3) criação de verão, (4) criação de ninhada de outono e (5) período de ninhada de outono. A determinação dos períodos anuais de desenvolvimento das colônias de abelhas pode ajudar na sincronização das atividades do apicultor.

Somente após os algoritmos de análise e reconhecimento automatizados ser desenvolvido para a interpretação de dados, que pode então ser usado para informar o picultor do estado da colônia (ZACEPINS, 2012). Ao desenvolver o software de análise de dados é possível avaliar no apiário, computador ou na internet. Quando os sistemas sem fio são usados, o consumo de energia pode ser bastante reduzido se os dados forem analisados perto do sensor porque menos dados devem ser enviados ao longo do canal de comunicação (ZACEPINS et al., 2015).

O objetivo desta pesquisa foi o de monitorar a temperatura e umidade interna da colônia de *Apis mellifera* africanizada comparadas com as do meio ambiente local a fim de

avaliar a eficiência da termorregulação das colônias alojadas em caixas de madeira e ou de isopor através de sensores.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no setor de apicultura da Fazenda Iguatemi (FEI), município de Maringá- PR, (23° 25' S e 52° 51' O a 550 metros de altitude) do Departamento de Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá. Os dados foram coletados em março e abril de 2017, onde foram utilizadas 3 caixas de isopor e 4 caixas de madeira com cobertura de fibrocimento (Figura 1) no padrão Langstroth, dispostos alternadamente em uma área chamada de apiário de clareira Imagem de satélite do apiário em forma de U, diretamente ao intemperismo do clima, reduzindo os efeitos das variáveis ambientais no experimento. Ao redor do local existe uma plantação de eucalipto.



Figura 1: Colmeia Langstroth de isopor e ou de madeira (BENAGLIA, 2017)

As colmeias foram padronizadas com quantidade de quadros de favos de cria fechada (pupa) com cria aberta: (ovos e larvas), alimento e cera alveolada, totalizando 10 quadros, os enxames quando necessário foram alimentados com xarope de açúcar 1:1 (EMBRAPA, 2007) uma vez por semana.

Com o intuito de avaliar a temperatura e umidade em colônias de abelhas *Apis mellifera* foi desenvolvido uma arquitetura com colaboração da Universidade Estadual de Maringá (UEM) e pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) para implementar um sistema móvel utilizando sensores de temperatura e umidade (DS18S20), anteriormente aplicados em pesquisas (ZACEPINS et al., 2015) para visualizar em uma interface web e protótipo de sistema de monitoramento.

O sistema proposto denomina-se MyBee é baseado em duas abordagens descritas por (KVIESES e ZACEPINS, 2015): usando um dispositivo de interface para cada colmeia; e enviando dados para um centro computacional remoto. O myBee é dividido em dois subsistemas: o sistema estacionário e o sistema Móvel.

O Sistema Estacionário consiste em coletar e armazenar os dados como objetivo principal de fornecer desenvolvido uma arquitetura de três camadas dividida por um componente de middleware. A infraestrutura, oferece flexibilidade e simplicidade no acesso às camadas. (KVIESIS e ZACEPINS, 2015). Assim o componente middleware possuem características importantes e distintivas da infraestrutura porque permite a sistema a ser utilizado em uma ampla gama de cenários não limitados ao ramo Apicultura Precisão PB. Além disso permite que o usuário configure ou modifique o operações, protocolos, armazenamento e componentes físicos. Com isso pode se avaliar as condições das colônias de abelhas.

O Sistema Móvel consiste num software para monitorar os dados coletados; os sensores localizados no centro das colmeias monitoram as condições coletando informações, que são enviadas através de uma rede sem fio para um servidor usando o sistema móvel apicultores podem monitorar, através de uma interface web em um computador ou dispositivo móvel as condições das colônias de abelhas (RODRIGUEZ, 2017).

A Figura 2 ilustra a disposição do apiário, sendo que a linha de ponta vermelha representa a transmissão de dados. Isso significa que cada um coletou as informações e são enviadas para cada nó, através da Radnet, para fins de backup. O sistema estacionário foi implementado como um servidor. Desta forma impede que haja redundância de dados garante que os dados serão armazenados independentemente da falha do equipamento (RODRIGUEZ, 2017)

O MyBee tem uma funcionalidade básica com classes abstratas especializadas que compõem a arquitetura de software e permite que se use dispositivos de baixo custo e um gerenciador de sistema de banco de dados; monitorar a temperatura e umidade das colmeias; organizar dispositivos de monitoramento em uma rede de malha; fornece relatórios e estatística, permitindo ao usuário avaliar o desenvolvimento das colmeias (RODRIGUEZ, 2017).

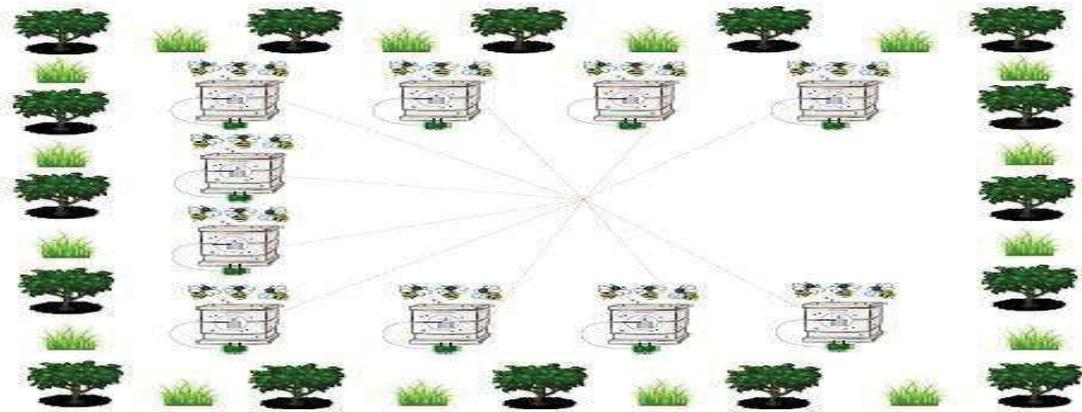


Figura 2: Fluxograma da linha de transmissão dos dados (Fonte: RODRIGUEZ, 2017)

O Hardware: o sistema estacionário suporta um sensor de framboesa, DHT22 e os micro controladores GPIO7 e GPIO18. Isso indica que o referido sistema usa hardware de baixo custo, que é capaz de: desativar o sensor DHT22 por um certo tempo; coletar a temperatura e umidade da colmeia; armazenamento de dados; e transmitir / receber dados. (KVIESIS e ZACEPINS, 2015).

O Banco de dados: o sistema estacionário suporta o sistema de gerenciamento de banco de dados, MySQL onde os dados são armazenados em um banco de dados.

Os sensores foram instalados no quadro central de cada colmeia (Figura 3), no dia 23 de fevereiro de 2017 a 31 abril de 2017, onde mediram a temperatura e a umidade relativa de 5 em 5 minutos (placa Raspberry Pi); cujos componentes são: case de acrílico para a placa, cartão de memória com capacidade 32 G, adaptador Wireless – USB, fonte de 5 V alimentada por 110 V, extensão de fio, cabo de alta voltagem e recipiente de plástico da colônia, sendo ligado por fio a uma placa, com transmissor via Wi Fi a rede elétrica. Os dados foram acessados através do Linux, onde utilizou se as coletas referentes a 10 dias do mês de março de 2017 e 9 dias do mês de abril de 2017 e após esta etapa foram quantificadas as medias de cada período sendo; 1: 12 h às 18h; 2: 18h às 00 h; 3: 00h às 06 h e 4: 06h às 12 h).

A análise estatística foi realizada a análise de variância (ANOVA) e as medias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância e o software utilizado foi o STATISTICA 8.0 (Statsoft Oklahoma, 2015).



Figura 3: Sensor instalado no quadro central do ninho (BENAGLIA, 2017)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados coletados no mês de março de 2017 demonstram que não houve diferença estatística (Tabela 1) da temperatura nas colmeias de isopor: ($35,32^{\circ}\text{C} \pm 0,13$) e madeira: ($35,11^{\circ}\text{C} \pm 0,14$) e umidade nas colmeias de isopor: ($71,35\% \pm 2,18$) e madeira: ($70,26\% \pm 2,12$).

TABELA 1 - Análise entre as médias de dez dias das temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) e umidades relativas (%) internas e externas (ambiente), das caixas de isopor[®] e/ou madeira, coletadas em março de 2017

	TEMPERATURA	UMIDADE
Ambiente	$22,65 \pm 2,61$ a	$81,45\% \pm 9,99$ a
Isopor	$35,32 \pm 0,13$ b	$71,35\% \pm 2,18$ b
Madeira	$35,11 \pm 0,14$ b	$70,26\% \pm 2,12$ b

Medias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$)

Os resultados estão de acordo com as referências de Winston (2003); Seeley (2006); Jones e Oldroyd (2007) que relataram que as abelhas mantêm a temperatura do ninho entre 33°C a 36°C ; e que colônias populosas conseguem manter a homeostase do ninho, pois enxames fracos tem dificuldades de conciliar a termorregulação do ninho com outras atividades da colônia e adaptar-se às variáveis ambientais (ELIS, 2008).

Os resultados demonstram que não houve diferença estatística (Tabela 2) de temperatura nas colmeias de isopor: ($35,03^{\circ}\text{C} \pm 0,16$) e madeira: ($34,98^{\circ}\text{C} \pm 0,13$) e umidade nas colmeias de isopor: ($69,87\% \pm 1,37$) e madeira: ($69,24\% \pm 2,16$) também para o mês de abril de 2017.

Jones et al., (2004) relata que colônias geneticamente diversas tendem a ser mais estáveis, pois mais rápido é o limiar de resposta à variação, evitando assim grandes flutuações de

temperatura o que corrobora com os dados desta pesquisa que foi desenvolvida com *Apis mellifera* africanizadas.

TABELA 2 - Análise entre as médias de nove dias das temperaturas (°C) e umidades relativas (%) internas e externas (ambiente), das caixas de isopor[®] e/ou madeira, coletadas em abril de 2017

	TEMPERATURA °C	UMIDADE %
Ambiente	21,75 ± 2,58 a	78,48 ± 12,35 a
Isopor	35,03 ± 0,16 b	69,87 ± 1,37 b
Madeira	34,98 ± 0,13 b	69,24 ± 2,16 b

Medias seguida da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)

Os resultados foram semelhantes ao estudo realizado por Sanchez et al., (2015), onde avaliaram temperatura e umidade com diferentes sensores, na Espanha, em quatro períodos de cinco dias com diferentes condições climáticas caracterizadas por temperaturas cada vez mais frias: (1) um período inicial de 4 a 9 de setembro de 2014, em que altas temperaturas e falta de chuva; (2) um segundo período de 16 a 21 de setembro 2014 marcado por um período chuvoso com temperaturas amenas; (3) um terceiro período de 24 a 29 de novembro de 2014, correspondente a condições de chuva e clima relativamente frio; (4) e um quarto período de 4 até 9 de fevereiro de 2015 em que baixas temperaturas e falta de chuva, com valores de temperatura, apesar da variação temperatura ambiente os enxames conseguiram manter temperatura constantes na área de cria (1:35.15°C ± 1.68; 2:36.0°C ± 2.32; 3:34.74°C ± 1.15; 4:30.54°C ± 4.83), exceto no período 4 com clima relativamente frio a colônia, provavelmente pela ausência ou diminuição das crias, correlacionando a adaptação das colônias ao inverno.

Eskov e Toboev, (2009) em estudo relataram temperatura áreas de crias a temperatura do ninho em média, de 34,1°C a 36,0°C no limite superior da área ocupada pela ninhada, de 34°C a 35,8°C no seu limite inferior e de 34,9°C a 35,6 °C no centro do ninho. Os resultados foram semelhantes a esse estudo evidenciando que na área central do ninho ocorre uma menor variação de temperatura.

Podemos observar que ambos materiais utilizados para a confecção das caixas Langstroth foram eficientes no controle da homeostase, mantendo o equilíbrio interno, e de colmeias de isopor com valores de (35,32°C ± 0,13) e madeira: (35,11°C ± 0,14) para o mês de março de 2017 e de colmeias de isopor: (35,03°C ± 0,16) e madeira: (34,98°C ± 0,13) para abril de 2017.

Em relação à umidade relativa nas áreas de crias Elis (2008), relatou que a umidade do ninho em colônias saudáveis é relativamente constante ao longo do dia e encontrou umidade entre 50% a 60%; porem monitorou a umidade por um longo período (entre de 1 de setembro

de 2006 a 31 de agosto de 2007), tendo como resultado das análises uma maior variação de umidade devido ao fato de incluir as oscilações das várias estações de um ano. Nesse estudo com caixas de isopor e ou madeira obtivemos valores maiores de umidade relativa do ambiente nos mês de março de 2017 ($81,45\% \pm 9,99$) (Tabela 1) e abril de 2017 ($78,48\% \pm 12,35$) (Tabela 2), pois de acordo com Human et al., (2006), o autor afirma que as colônias de abelhas controlam ativamente a umidade, porem até certo ponto, pois as variáveis ambientais podem interferir na umidade; um parâmetro de ninho pode, portanto, ser regulado em níveis subótimos devido à regulação de outro parâmetro, uma condição denominada *trade-off* (KLEINEIDAM e ROCES, 2000).

A influência da umidade ambiental com valores altos no controle da homeostase dos enxames pode ser observada nos resultados destes dois meses de monitoramento com os resultados mais altos dos identificados pelos autores Elis (2008) cujos valores foram a média de quatro estações sendo de 50 a 60%.

A umidade nas colmeias de isopor: ($71,35\% \pm 2,18$) e madeira: ($70,26\% \pm 2,12$) para o mês de março de 2017 e a umidade nas colmeias de isopor: ($69,87\% \pm 1,37$) e madeira: ($69,24\% \pm 2,16$) também para o mês de abril de 2017 foram superiores aos obtidos por Elis (2008), e ficaram dez pontos percentuais mais baixos que os valores da umidade do ambiente, confirmando o fato das abelhas manterem os parâmetros de equilíbrio ajustados e que para esta regulação as interferências externas desgastam o enxame com a sobrecarga de atividade adicional para se manterem na homeostase.

De acordo com Human et al., (2006) relataram valores menores de umidade na área de cria em torno de 40%, sugerimos que as concentrações menores podem ter sido registrados devido ao experimento ter sido realizado na África do Sul utilizando raças adaptadas ao clima tropical as *Apis mellifera scutelata*, em estação de inverno seco, caracterizando menores concentrações de umidade relativa, outra diferença foi que monitoramento da umidade foi realizado por um curto período (3 dias), havendo a necessidade de um período maior para evidenciar os padrões de umidade a longo do ano.

Sanchez et al., (2015) obtiveram valores de umidade com uma grande variação ($1:53,19\% \pm 19,92$; $2:73,31\% \pm 17,47$; $3:87,24\% \pm 10,67$; $4:63,54\% \pm 16,50$), porem os sensores foram colocados na parte superior da colmeia, provavelmente interferindo no monitoramento da umidade.

De acordo com a Tabela 3 do mês de março de 2017 e a Tabela 4 do mês de abril de 2017 Períodos: 1: 12 h às 18h; período 2: 18h às 00 h; período 3: 00h às 06 h; período 4: 06h

às 12 h. monitorados na área de cria. Entretanto houve diferença estatísticas no mês de março e de abril quando comparados em relação a temperatura e a umidade ambiente, que apesar de apresentarem valores altos, principalmente pelas características da época/estação, as variações nas colônias mantiveram a homeostase do ninho que é uma condição que pode variar (ELIS, 2008).

TABELA 3 - Análise entre as médias dos períodos 1, 2, 3 e 4 de dez dias, em relação das temperaturas (°C) e umidades relativas (%) internas e externas (ambiente), das caixas de isopor[®] e/ou madeira, coletadas em março de 2017

	Ambiente		Isopor		Madeira	
	Temperatura	Umidade	Temperatura	Umidade	Temperatura	Umidade
1	22,57±2,22 b	82,19± 9,59 b	35,38±0,12 a	70,84± 1,91 a	35,18± 0,13 a	69,63± 2,23 a
2	24,67±2,65 c	77,92± 13,07 a	35,38±0,10 a	72,47± 2,41 a	35,13± 0,16 a	70,77± 1,88 a
3	20,95±2,32 a	84,7 ± 5,89 c	35,23±0,10 a	70,34± 1,70 a	35,04± 0,10 a	69,82± 2,26 a
4	22,44±2,10 b	80,98± 10,42 b	35,26±0,10 a	71,77± 2,08 a	35,07± 0,12 a	70,81± 1,90 a

Medias seguida da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Períodos: 1: 12 h às 18h; período 2: 18h às 00 h; período 3: 00h às 06 h; período 4: 06h às 12 h.

Podemos observar que a temperatura ambiente durante os quatro períodos do dia, no mês de março oscilou de 20,95°C ± 2,32 a 22,57°C ± 2,22 e a temperatura obtida nas caixas de isopor foram de 35,23°C ± 0,10 a 35,38°C ± 0,12 e de 35,04°C ± 0,10 a 35,18°C ± 0,13 para as caixas de madeira. Os menores valores foram do período 3 (00h às 06 h) para todas as circunstâncias, sejam externas e ou internas, demonstrando assim o comportamento das abelhas a se ajustarem de acordo coma as demandas externas. Os resultados obtidos nos mostram que mesmo a temperatura externa ter sido mais baixa as abelhas mantem a homeostase do ninho em torno de 35°C citados por vários autores.

A umidade também oscilou, porém, o ajuste da mesma não tem um padrão como a da temperatura pelas abelhas, mas conseguem manter um equilíbrio a fim de ajustar a homeostase do ambiente interno das caixas.

Os resultados da Tabela 4 nos mostram que mesmo com diferenças significativas entre a temperatura e ou umidade nas condições ambientais nos diferentes períodos, o mesmo não manteve este padrão na parte interna das caixas, com seus respectivos enxames, ou seja, as abelhas mantiveram os valores biológicos preservados e assim mantiveram a homeostase do ambiente interno de ambos materiais utilizados para a confecção das caixas no padrão Langstroth.

TABELA 4 - Análise entre as médias dos períodos 1, 2, 3 e 4 de nove dias, em relação das temperaturas (°C) e umidades relativas (%) internas e externas (ambiente), das caixas de isopor[®] e/ou madeira, coletadas em abril de 2017

	Ambiente		Isopor		Madeira	
	Temperatura	Umidade	Temperatura	Umidade	Temperatura	Umidade
1	22,25 ± 1,07 b	79,68 ± 13,07b	35,05 ± 015 a	70,01 ± 1,37a	34,96 ± 014 a	69,73 ± 2,01a
2	19,83 ± 1,41a	81,97 ± 7,91b	34,92 ± 0,11a	69,67 ± 1,47a	34,88 ± 0,12a	68,96 ± 2,35a
3	19,41 ± 1,92 a	82,05 ± 7,42 b	34,99 ± 0,14 a	69,64 ± 1,37a	34,97 ± 0,12a	68,91 ± 2,28a
4	24,98 ± 1,29 b	69,70 ± 14,76a	35,16 ± 0,15 a	69,82 ± 1,36a	35,08 ± 0,11a	69,52 ± 1,75a

Medias seguida da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). Períodos: 1: 12 h às 18h; período 2: 18h às 00 h; período 3: 00h às 06 h; período 4: 06h às 12 h.

CONCLUSÃO

As colônias de *Apis mellifera* africanizadas alojadas em caixas de isopor e ou de madeira mantiveram o equilíbrio homeostático não ocorrendo variação de temperatura e umidade nos meses março e abril de 2017 e também entre os períodos do dia.

O isopor é uma alternativa de matéria prima a ser utilizada na confecção de caixas de abelhas, porém pesquisas devem ser intensificadas inclusive para avaliar a qualidade dos produtos oriundos destas caixas e em relação ao manejo intenso e a resistência das mesmas.

REFERENCIAS

ALMEIDA, G.F. **Fatores que interferem no comportamento enxameatório de abelhas africanizadas**. 2008. 120 f. Tese (Doutorado em Ciências) –Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2008.

ALTUM, A.A. Remote Control of the Temperature-Humidity and Climate in the Beehives with Solar- Powered Thermoelectric System. **Journal of Control Engineering and Applied Informatics**, v.14, no.1, p. 93-99, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO. **Características**. Disponível em: <<http://www.abrapex.com.br>>. Acesso em: 12 maio 2016.

CARVALHO, M.D. F de. **Temperatura da superfície corpórea e perda de calor por convecção em abelhas (*Apis mellifera*) em uma região semi-árida**. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal Área de concentração Produção Animal) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.- Mossoró, 2009.

DE JONG, D. O valor da abelha na produção mundial de alimentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, n., 2000. **Anais...** Florianópolis: [s.n.], 2000.

DYER, F. C.; SEELEY, Thomas D. Nesting behavior and the evolution of worker tempo in four honey bee species. **Ecology**, v. 72, no. 1, p. 156-170, 1991.

ELLIS, B.M. **Homeostasis: Humidity and water relations in honeybees colonies (*Apis mellifera*)**. 2008. 126 f. Dissertation (Master's) - Faculty of Natural and agricultural Sciences, University of Pretoria, Pretoria, 2008.

EMBRAPA. **Criação de abelhas**: apicultura, 2007.

ESKOV, E. K.; TOBOEV, V. A. Exogenous and Endogenous Fluctuations of Thermoregulatory Activity in the Honeybee. **Biology Bulletin**, v. 36, no. 2, p. 205–211, 2009.

HIMMER, A. Die Temperaturverhältnisse bei den sozialen **Hymenopteren**. **Biol Rev**, n.7, p. 224-253, 1932.

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

IBGE. **Censo agropecuário de 2006**. Rio de Janeiro, 2006.

JONES, C. J.; MYERSCOUGH, M. R.; GRAHAM, S.; OLDROYD, B. P. Honey Bee Nest Thermoregulation: Diversity Promotes Stability. **Science**, v. 305, no. 5682, p. 402-404, 2004, Disponível em: <<http://doi:10.1126/science.1096340>>. Acesso em: 5 maio 2017.

JONES, J. C.; OLDROYD, B. P. Nest thermoregulation in social insects. **Advances in Insect Physiology**, v. 33, p. 153-191, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065280606330032>>. Acesso em: 2 maio 2017.

KIVIESIS, A.; ZACEPINS, A. System architectures for real-time bee colony temperature monitoring. **Procedia Computer Science**, v. 43, p. 86-94, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.12.012>>. 1 fev. 2017.

KLEINHENZ, M.; BUJOK, B.; FUCHS, S.; TAUTS, J. Hot bees in empty broodnest cells: heating from within. **Journal of Experimental Biology**, Aligarh, v. 206, no. 23, p. 4217-4231, 2003. Disponível em: <<http://jeb.biologists.org/content/jexbio/206/23/4217.full.pdf>>. Acesso em: 2 maio 2016.

KRONENBERG, F., HELLER, H. C. Colonial thermoregulation in honey bees (*Apis mellifera*). **J. Comp. Physiol.** v. 148, p. 65–76; 1982.

LAWRENCE, B.P.; KROGSTIE, J. Mobile Information Systems: IFIP TC 8 Working Conference on Mobile Information Systems (MOBIS) 15-17 September 2004, Oslo, Norway. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**. Springer US, 2006.

PERNICI, B. Mobile Information Systems: Infrastructure and Design for Adaptivity and Flexibility. **Springer-Verlag New York, Incorporation.**, Secaucus, NJ, USA, 2006.

RODRIGUEZ, L. G. A. **Mobile Systems for Precision Beekeeping**. 2017. Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017.

SANCHEZ, V.; GIL, S.; FLORES, J. M. et al. Implementation of an electronic system to monitor the thermoregulatory capacity of honeybee colonies in hives with open-screened bottom boards. **Elsevier, Computers and Electronics in Agriculture**, v. 119, p. 209–216, 2015.

SEELEY, T. D. **Ecologia da abelha: um estudo de adaptação na vida social**. Porto Alegre: Paixão, 2006.

STABENTHEINER, A.; KOVAC, H.; BRODSCHNEIDER, R. Honeybee Colony Thermoregulation : Regulatory Mechanisms and Contribution of Individuals in Dependence on Age, Location and Thermal Stress. **Journal Plos One**, v. 5, no. 9, p. e 8967, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0008967>> Acesso em: 2 fev. 2017.

STALIDZANS, E ; BERZONIS, A. Temperature changes above the upper hive body reveal the annual development periods of honey bee colonies. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 90, p. 1-6. 2013.

TAUTZ, J. **O fenômeno das abelhas**, 1 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

TAUTZ, J. MAIER, S. GROH, C. ROSSLER, W. BROCKANN, A. Behavioral performance in adult honey bees is influenced by the temperature experienced during their pupal development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 100, n. 12, p. 7343- 7347, 2003. Disponível em: <<http://doi: 10.1073/pnas.1232346100>>. Acesso em: 21 maio 2016.

WIESE, H. **Apicultura: novos tempos**. 1. ed. Guaíba: Agropecuária, 2000.

WINSTON, M. L. **A biologia da abelha**. Porto Alegre: Magister, 2003.

YOKONARY, F. Hygroreceptor mechanism in the antenna of the cockroach *Periplaneta*. **Journal of Comparative Physiology**, v. 124, p. 53-60, 1978.

ZACEPINS, A . Application of bee hive temperature measurements for recognition of bee colony state. In: *Proceedings of the 5th International Scientific Conference Applied Information and Communication Technologies*” (AICT 2012) (pp. 216e221). Jelgava, Latvia. 2012. Acesso em: Acesso em: 10 dez. 2016.

ZACEPINS, A.; STALIDZANS, E. Information processing for remote recognition of the state of bee colonies and apiaries in precision beekeeping (apiculture). **Biosystems and Information Technology**, v. 2, no. 1, p. 6-10. 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.11592/bit.130502>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

ZACEPINS, A.; BRSBARDIS, V.; METALOVIS, J.; STALIDZANS, E. Challenges in the development of precision beekeeping. **Biosystems Engineering**, no. 130, p. 60 - 71, 2015.