

# Bee-byte: aplicação de IoT e inteligência artificial para monitoramento e análise de dados de colmeias de abelhas melíferas

Prof. Diógenes Souza Freitas<sup>1</sup>

diogenes@diocesanocaruaru.g12.br

<sup>1</sup> COLÉGIO DIOCESANO DE CARUARU  
Caruaru – PE

Categoria: ARTIGO SUPERIOR / MULTIMÍDIA

**Resumo:** Este trabalho propõe o Bee-byte, um protótipo de sistema de monitoramento de colmeias de abelhas melíferas que visa auxiliar na apicultura de precisão, técnica que busca otimizar a produção e a saúde das abelhas. O protótipo utiliza um sensor DHT22 para coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar, e uma célula de carga conectada a um módulo HX711 para medir o peso da colmeia. Uma placa Arduino Uno R4 Wi-fi processa e envia os dados para um banco de dados MySQL, que alimenta um gráfico em uma página web. A análise dos dados é realizada por Inteligência Artificial (IA) através da API do Gemini (Google), que fornece insights sobre a atividade da colmeia e sugestões de manejo para o apicultor, contribuindo para a tomada de decisões mais assertivas e eficientes. Os resultados obtidos demonstram o potencial da aplicação da IA na apicultura de precisão, visando maximizar a produção e garantir o bem-estar das abelhas.

**Palavras Chaves:** Apicultura; Robótica; Inteligência Artificial; IoT.

**Abstract:** This work proposes Bee-byte, a prototype honey bee hive monitoring system aimed at assisting in precision beekeeping, a technique that seeks to optimize bee production and health. The prototype uses a DHT22 sensor to collect temperature and relative humidity data, and a load cell connected to an HX711 module to measure the hive's weight. An Arduino Uno R4 Wi-Fi board processes and sends the data to a MySQL database, which feeds a graph on a web page. Data analysis is performed by Artificial Intelligence (AI) through the Gemini API (Google), which provides insights on hive activity and management suggestions for the beekeeper, contributing to more assertive and efficient decision-making. The results obtained demonstrate the potential of AI application in precision beekeeping, aiming to maximize production and ensure the well-being of bees.

**Keywords:** Beekeeping; Robotics; Artificial Intelligence; IoT.

## 1 INTRODUÇÃO

Diversos fatores contribuem para a manutenção dos ecossistemas, sendo as abelhas um importante agente de polinização (Silva, 2017). Das plantas que estão presentes na produção de alimentos no Brasil, 76% dependem da função da polinização para o equilíbrio ecossistêmico, apontam os dados da EMBRAPA no 1º Relatório Temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção Agrícola no Brasil, citado por Cardoso et al. (2023).

A apicultura, compreendida como a criação e manejo de abelhas, apresenta um baixo custo inicial de investimento em relação a outras atividades agropecuárias, além da facilidade na manutenção (Silva, 2017). Também é muito importante destacar que a apicultura é uma atividade sustentável, pois envolve os três pilares da sustentabilidade: o social, o econômico e o ambiental (Cardoso et al., 2023).

Como exemplo, é possível citar o valor econômico dessa atividade em relação à produção de mel que, apenas no ano de 2021, atingiu o valor de R\$854,4 milhões (Cardoso et al., 2017). De acordo com o Atlas da Apicultura no Brasil, disponibilizado pela Associação Brasileira de Estudos das Abelhas, com dados do IBGE, nesse ano, foram produzidas mais de 55 mil toneladas de mel. O crescimento dessa produção tem sido constante, conforme é possível observar na imagem 1.

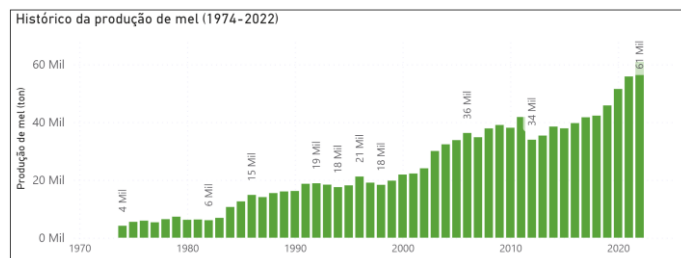


Imagem 1 –Histórico da produção de mel no Brasil entre os anos de 1974 e 2022. Fonte: Atlas da Apicultura no Brasil. Acesso em 13 de julho de 2024

Apesar do crescimento observado na produção de mel, estudos têm alertado sobre a diminuição no número de espécies polinizadoras silvestres e domesticadas e nos serviços de polinização em todo o mundo (Potts et al., 2010 apud Maciel, 2018).

, que pode ser causada por diversos fatores, como o desmatamento, o aumento da agricultura, com expansão de monoculturas e uso de pesticidas e as mudanças climáticas.

Estão entre os desafios enfrentados pelas colônias de abelhas, alguns fatores são abióticos, como a flutuação nos valores da temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e luminosidade (Abou-Shaara et al., 2017). Nas espécies de abelhas que vivem em sociedade, “o controle das condições internas da colônia é essencial para a sobrevivência do grupo” (Jesus, 2017, p. 15). As próprias abelhas se utilizam de técnicas para manter um ambiente estável dentro de, pelo menos, parte da colmeia (Meikle; Holst, 2015).

Para avaliar o estado das colônias, muitos apicultores recorrem à inspeção visual, abrindo as colmeias e removendo os

quadros. Essa manipulação é muito invasiva e muitas abelhas podem ser esmagadas com a movimentação dos quadros (Maciel, 2018). Esse acompanhamento do estado das colônias pode ser um trabalho demorado, além do fato de muitos apiários estarem localizados em locais remotos, como em áreas rurais, o que demanda grandes deslocamentos.

Para auxiliar na manutenção da saúde das colmeias, alguns apicultores têm se utilizado da apicultura de precisão, técnica que consiste na medição de valores das colônias através de sensores, para monitorar fatores importantes, como a temperatura e a umidade relativa do ar (Maciel, 2018).

O objetivo da apicultura de precisão é poder avaliar a saúde da colmeia e se antecipar a uma possível enxameação por abandono ou migração, que “é o processo em que todas as abelhas abandonam a colmeia à procura de um novo ambiente com melhores condições” (Silva, 2017, p. 12).

Um dos primeiros registros que se tem do monitoramento de colônias é o estudo de Gates (1914) no qual foram realizadas medições sob condições controladas e de maneira sistemática durante um ano. Esse trabalho se diferencia de estudos anteriores, que foram realizados através de observações casuais e em um curto período do ano.

A utilização de colmeias modificadas pode ajudar os apicultores a melhorar as condições da colônia, protegendo “as abelhas de impactos ambientais extremos, principalmente temperatura e umidade inadequadas” (Abou-Shaara et al., 2017, p. 456, tradução nossa).

Após a instalação de sensores na colônia, “as colmeias podem ser monitoradas sem perturbação, inclusive durante os períodos em que as inspeções invasivas são contraindicadas, como no inverno ou em épocas de estresse da colônia” (Meikle; Holst, 2015, p. 10, tradução nossa).

Ainda de acordo com Meikle e Holst (2015), o monitoramento contínuo permite associar os dados a eventos na colmeia, como mudanças no comportamento e saúde da colônia, status da rainha e fatores externos como clima, fluxo de néctar ou exposição a pesticidas.

Portanto, por entender a importância das abelhas para o ecossistema e para a produção de alimentos; por verificar a representatividade econômica da produção de mel no Brasil; por conhecer as ameaças e desafios que as abelhas enfrentam; e por notar a dificuldade que muitos apicultores têm de monitorar de forma eficaz as colônias, é que propomos este projeto.

Através da revisão de literatura que fizemos e que apresentaremos na seção seguinte (Fundamentação), e através do desenvolvimento de um sistema de monitoramento de dados com análise feita por IA (Inteligência Artificial), pretendemos contribuir para o maior sucesso da atividade de apicultura.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO

Nesta seção serão apresentadas informações valiosas, presentes em outros estudos acadêmicos, sobre como as abelhas atuam para manter a homeostase na colônia, e a importância de fatores, como temperatura e umidade relativa do ar, para a saúde da colmeia.

Foram analisados diversos estudos sobre as condições necessárias para o bom funcionamento de uma colmeia, porém, destacou-se a pesquisa de Gates (1914), que foi uma das primeiras a manter um rigor nas medições e análises de dados

coletados de colônia de abelhas. A seguir, as descobertas de Gates (1914) serão relacionadas com outros estudos posteriores, para demonstrar em que se fundamenta este nosso trabalho.

Além da temperatura interna e externa da colmeia, Gates (1914) também registrou a umidade relativa do ar (que identificaremos a partir de agora neste trabalho apenas por UR) e o peso da colmeia. O experimento ocorreu entre 22 de outubro de 1907 e 26 de setembro de 1908. Como nenhum dos instrumentos registrava automaticamente as medições, houve variação entre a quantidade diária de leituras realizadas. No verão, as leituras cobriam um período de 14 horas diárias de registro.

A partir de sua observação, Gates (1914) concluiu que as abelhas são capazes de controlar e conservar a temperatura da colmeia, mesmo com fatores ambientais externos adversos. A manutenção desse equilíbrio é importante para a saúde geral da colônia, mas especialmente durante o período em que estão sendo geradas novas crias.

Em estudos posteriores, encontra-se a confirmação da importância da temperatura para a sobrevivência da colmeia, pois as abelhas são organismos estenotérmicos, ou seja, sobrevivem apenas dentro de uma certa faixa de temperatura (Himmer, 1932; Koeniger, 1978 apud Jesus, 2017).

A produção de mel é afetada quando as condições ambientais são extremas, já que as abelhas diminuem a produção quando precisam se preocupar com a regulação da temperatura interna da colônia, que elas tentam manter entre 33 e 36°C, de acordo com Cardoso et al. (2023).

Ainda de acordo com Cardoso et al. (2017, p.25):

para manter a temperatura adequada, as abelhas realizam a termorregulação, que é a capacidade de controlar e normalizar as condições internas por meio da temperatura em resposta ao ambiente. O controle da temperatura dentro da colmeia é crucial para o desenvolvimento das crias e a sobrevivência da colônia, pois variações inadequadas podem afetar outros aspectos fisiológicos, aumentando a mortalidade e gerando consequências na vida adulta das abelhas.

Especificamente em relação ao ninho de crias, as abelhas operárias se preocupam ainda mais em manter a temperatura em 34,5°C, com variação de  $\pm 1,5^\circ\text{C}$ . (Jones et al., 2005), pois a criação de novas abelhas é muito sensível a variações da temperatura da colmeia (Stabentheiner et al., 2010 apud Abou-Shaara et al., 2007).

As abelhas mantêm limites rígidos de temperatura durante o desenvolvimento das crias pois as habilidades de aprendizado e memória de curto prazo das operárias adultas são afetadas pela temperatura que elas experimentaram durante seu desenvolvimento na fase de pupas (Jones et al., 2005). Também podem acontecer mortes, malformações e o colapso fisiológico de operárias ou de forrageiras em voo (Mardan; Kevan, 2002 apud Silva, 2017)

Para elevar temperaturas abaixo de 33°C e manter as crias, as operárias se agrupam no ninho, aumentando a densidade de abelhas, promovendo a endotermia sob demanda (Harrison, 1987; Stabentheiner et al., 2010 apud Abou-Shaara et al., 2017). Esse tipo de comportamento também foi observado por Gates (1914) ao relatar que quando o ar no exterior da colmeia

estava quente, o aglomerado se expandia; com o frio, contraía-se.

Além do agrupamento, elas também realizam o aquecimento ativo ao vibrarem os músculos torácicos do voo (Abou-Shaara et al., 2017). Um outro motivo para elevarem a temperatura no interior da colmeia é a tentativa de se defender contra infecções (Deans, 1940; Bailey, 1981 apud Jesus, 2017).

Já nas situações em que a temperatura está acima dos 36°C, as operárias “começam a mitigar a carga de calor usando o comportamento de ventilação, vibrando rapidamente suas asas” (Abou-Shaara et al., 2017, p. 456, tradução nossa). Outro mecanismo aplicado é o resfriamento evaporativo, através do qual “as abelhas utilizam a ventilação produzida através do batimento de suas asas para dispersar gotículas d’água, além da saída das operárias da colônia a fim de diminuir a temperatura interna” (Jesus, 2017, p. 21).

Apesar de ser muito importante, a temperatura não é o único fator a ser observado na saúde de uma colônia e na produção de crias. Outro marcador importante é a umidade relativa (UR), que, para a eclosão dos ovos, deve estar idealmente entre 90 e 95% (Abou-Shaara et al., 2017).

Gates (1914) destacou a influência da UR na massa (peso) da colmeia, pois o mel é uma substância higroscópica, ou seja, possui a capacidade de absorver água e interagir com a UR. Porém, independentemente dessa característica, “mudanças na média móvel do peso da colmeia foram correlacionadas com o crescimento da colônia” (Meikle; Holst, 2015, p.14, tradução nossa).

O monitoramento do peso da colmeia pode ajudar a interpretar alguns eventos que estão relacionados:

a ocorrência do fluxo de néctar durante as épocas de forrageamento, o consumo do estoque de alimento durante as épocas sem forrageamento, a ocorrência de abandono da colmeia (devido à diminuição da massa), além de ser possível estimar o número de abelhas envolvidas na atividade de forrageamento (Zacepins et al., 2015 apud Maciel, 2018).

Levando em consideração todos esses estudos que comentamos, entendemos que há uma relação entre a temperatura, a umidade relativa do ar e o peso das colônias. Esses indicadores são úteis para compreender o estado das colmeias e auxiliar os apicultores a tomarem decisões corretivas para evitar a perda da colônia.

### 3 SOLUÇÃO PROPOSTA

Entendendo a importância de conhecer os marcadores ambientais para a apicultura, propomos um projeto de monitoramento de colmeias de abelhas melíferas, de forma remota usando IoT (Internet of Things – Internet das Coisas), com armazenamento em nuvem (cloud) e com processamento dos dados por IA (Inteligência Artificial) para serem interpretados, gerando automaticamente insights para os apicultores sobre a atividade e saúde das colônias, e sugestões de intervenções no manejo.

Enxergamos a ideia deste projeto dentro do conceito de apicultura de precisão, que é uma estratégia cujo objetivo é minimizar o consumo de recursos e aumentar a produtividade das abelhas (Silva, 2017).

Pretendemos apresentar a seguir uma visão geral do projeto, perfazendo as principais etapas que envolvem a apicultura de

precisão, segundo Maciel (2018): coleta e interpretação dos dados, análise das informações para oferecer suporte à tomada de decisão para o gerenciamento do apiário.

Apesar de o uso de tecnologia para monitorar caixas de abelhas já ser conhecido, incluindo o monitoramento de grandezas como temperatura, umidade, massa (peso), gases internos, áudio, vídeo e vibrações de colmeias (Meikle; Holst, 2015), nosso trabalho pretende incluir um elemento que consideramos valioso: a análise dos dados por uma IA e a sugestão de intervenções fornecidas por essa IA.

### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente projeto está atualmente na fase de prototipação, o que quer dizer que construímos um modelo em pequena escala para realização de testes. Podemos dividir nosso protótipo em três partes: a maquete em 3D representando uma caixa de abelha, as peças eletroeletrônicas e o sistema de softwares.

A ideia do nosso projeto é que haja o mínimo de invasão na colmeia, por isso utilizaremos internamente apenas um sensor, o DHT22, que fornece medições de temperatura e umidade relativa do ar, com tolerância de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  e 2-5% de precisão, respectivamente.

Além desse sensor, utilizaremos, para medir o peso do protótipo, uma célula de carga com capacidade para pesagem de 0 a 20Kg, que é composto por uma ponte resistiva que altera sua resistência de acordo com o peso aplicado. Essa célula de carga está conectada a um módulo conversor HX711, que é um conversor e amplificador de sinal 24bits, que fará a interligação entre a célula de carga e o microcontrolador.

Esses componentes (sensor DHT22 e módulo HX711) estão conectados a uma placa Arduino Uno R4 Wi-fi, que armazena a programação e que recebe os dados dos sensores, organiza e os envia para a nuvem (cloud).

Optamos por enviar os dados para um banco de dados MySQL, que armazenará, a cada 5 minutos, dados sobre a temperatura, umidade e peso da colmeia.

Em uma página web, é apresentado um gráfico com os dados registrados e abaixo dele há um botão “Analisar dados com IA”. Após o botão ser clicado, é enviada uma requisição para o Gemini (IA generativa do Google), através de sua API, com o fornecimento dos dados e a solicitação de análise. Após o processamento, é exibida na página uma análise dos dados com sugestões de manejo da colmeia.

A imagem 2 apresenta visualmente o esquema geral do projeto, enquanto a imagem 3 fornece o esquema eletroeletrônico. Na imagem 4 vemos a tela do site no qual é possível interagir com o sistema e na imagem 5 o protótipo impresso em 3D.

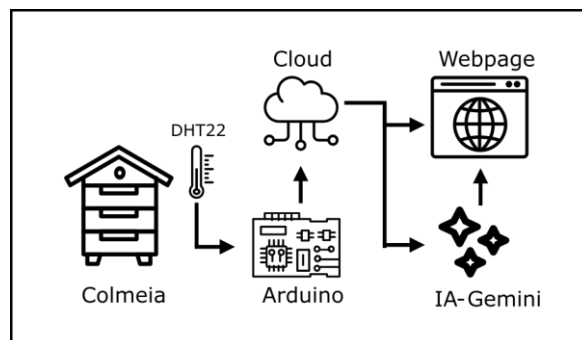


Imagem 2 – Esquema geral do projeto.



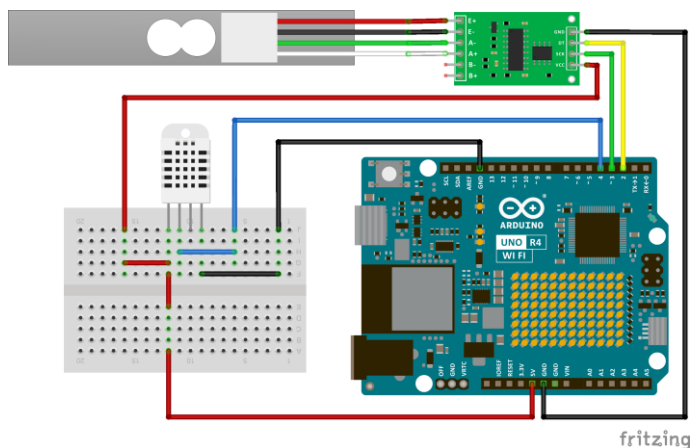


Imagem 3 – Esquema eletroeletrônico do projeto

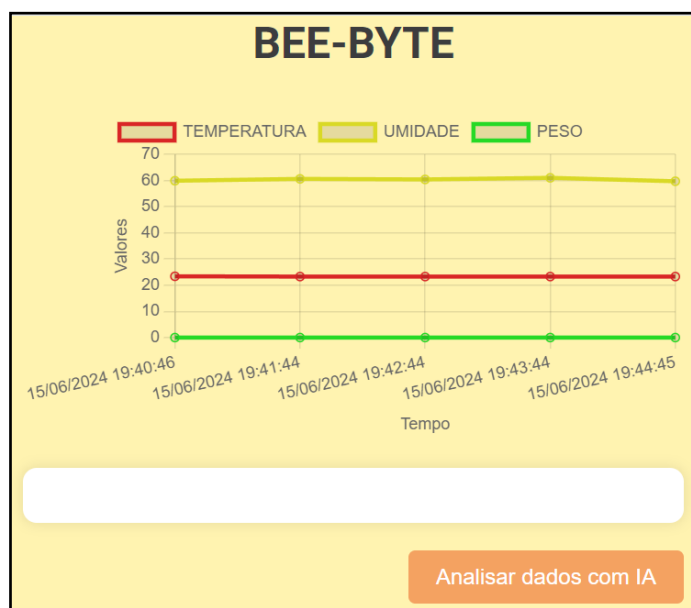


Imagem 4 – Tela da página web

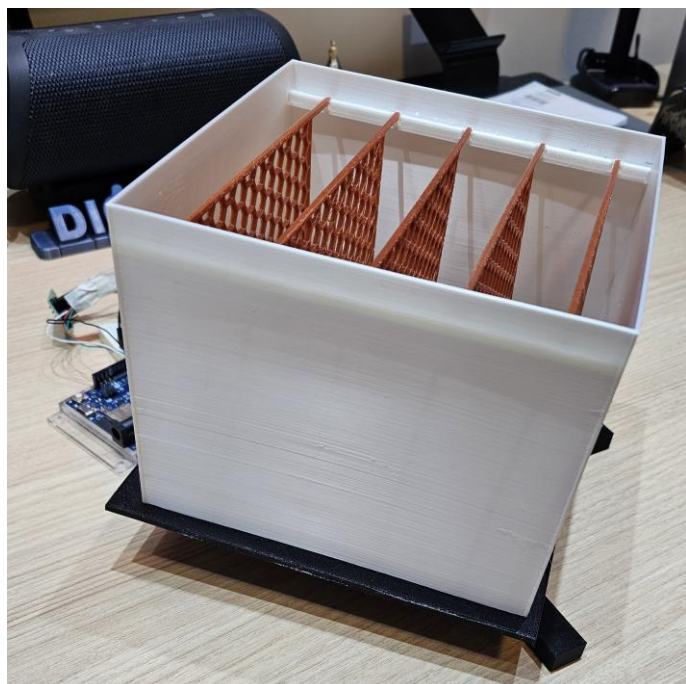


Imagem 5 – Protótipo impresso em 3D

Através do escaneamento do código QR abaixo é possível acessar o repositório contendo os códigos do Arduino e da interface web (página, estilos e scripts). Também estão disponibilizados os modelos 3D.



Também é possível acessar o repositório através do endereço: <https://github.com/diogenessouza/bee-byte>

## 5 RESULTADOS E CONCLUSÕES

O protótipo do projeto se mostrou operacional e funcionando conforme o planejado. Portanto, acreditamos que os testes em escala real poderão resultar em uma aplicação útil.

No projeto, a parte em que tivemos maior dificuldade de desenvolver foi a estrutura de envio de dados para o banco de dados e o envio do BD para a página web.

Este projeto surgiu a partir da ideia de tentar oferecer alguma contribuição da IA Gemini do Google, através de sua API, para o campo da apicultura de precisão, que já existe. O poder de processamento da IA pode dar aos apicultores sugestões rápidas e valiosas que podem maximizar a produção, bem como evitar a perda de uma colmeia, com alertas assertivos e com antecedência e preditividade.

Gostaríamos, com este trabalho, de estimular pesquisadores e entusiastas da área da robótica e da IA a melhorarem esta ideia e dar novas contribuições, permitindo um maior desenvolvimento econômico a partir da apicultura de precisão.

Estamos abertos a receber sugestões de melhoria ou críticas que apontem soluções. Nosso endereço de e-mail está presente no cabeçalho do artigo, contate-nos!

Por fim, gostaríamos de agradecer à Mostra Nacional de Robótica, pela oportunidade de apresentarmos nosso projeto e pela iniciativa, que inspira milhares de estudantes em todo o país. Muito obrigado!

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOU-SHAARA, H. F.; OWAYSS, A. A.; IBRAHIM, Y. Y.; BASUNY, N. K. A review of impacts of temperature and relative humidity on various activities of honey bees. **Insectes Sociaux**, v. 64, n. 4, p. 455-463, jul. 2017. DOI: 10.1007/s00040-017-0573-8. Kostenko, M. and Piotrovsky, 1970, L., Electrical Machines, part 2, Mir, Russia.

CARDOSO, D. F.; SILVA, F. S.; ROMERO, G. B.; MAIA, M. V.; ANGELO, N. A. M. **Desenvolvimento de um protótipo de caixa de abelhas com IoT**. São Caetano do Sul, 2023. Disponível em: <https://repositorio.maua.br/handle/MAUA/523>. Acesso em: 18 maio 2024.

GATES, Burton N. The temperature of the bee colony. **Bulletin of the US Department of Agriculture**, n. 96, 22 jul. 1914.

JESUS, Felipe Thiago. **Sistema de calefação para ninhos de abelhas-sem-ferrão com controle e leitura de temperatura interna por sistema remoto**. Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/179779>. Acesso em: 18 maio 2024.

JONES, J.C.; MALESZKA, R.; HELLIWELL, P.; OLDRYD, B.P. The effects of rearing temperature on developmental stability and learning and memory in the honey bee, *Apis mellifera*. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 191, n. 11, p. 1121-1129, 2005. DOI 10.1007/s00359-005-0035-z.

MACIEL, Felipe Anderson Oliveira. **Reconhecimento de padrões sazonais em colônias de abelhas *Apis mellifera***. 2018. 51 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Teleinformática)—Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

MACIEL, F. A. O.; BRAGA, A. R.; SILVA, A. L.; SILVA, T. L. C.; FREITAS, B. M.; GOMES, D. G. Reconhecimento de Padrões de Colônias de Abelhas *Apis Mellifera* Segundo Mudanças das Estações do Ano. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA À GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS (WCAMA), 9. , 2018, Natal. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2018 . ISSN 2595-6124. DOI: <https://doi.org/10.5753/wcama.2018.2937>.

MEIKLE, W.G.; HOLST, N. Application of continuous monitoring of honeybee colonies. **Apidologie**, v. 46, p. 10-22, 2015. DOI: 10.1007/s13592-014-0298-x

MESQUITA, A. R.; SALMENTO, L. L. S.; SALES JÚNIOR, O. R.; SANTOS, J. H. C.; ARAÚJO, F. M. A. BeeFresh: ferramenta de monitoramento de temperatura com IoT para colmeias de abelhas melíponas. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 52724-52740, jul. 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n7-790. Disponível em:

SILVA, Alisson de Lima. **Monitoramento não invasivo de colmeias através de IoT**. Quixadá, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/24740>. Acesso em: 18 maio 2024.

*Observação: O material multimídia deste trabalho encontra-se disponível em: [www.mnr.org.br/mostravirtual](http://www.mnr.org.br/mostravirtual).*