

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE ZOOTECNIA

PAULA ARAUJO MACHADO

**UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIA DE PRECISÃO NA APICULTURA:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Porto Alegre – RS

2024

PAULA ARAUJO MACHADO

UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIA DE PRECISÃO NA APICULTURA:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito para obtenção do Grau de Bacharel em
Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Alice Borges Ferreira

Co-orientador: Cesar Henrique Espírito Candal Poli

Porto Alegre – RS

2024

PAULA ARAUJO MACHADO

**UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIA DE PRECISÃO NA APICULTURA:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Data de aprovação: ____/____/____.

Professor(a) Orientador
Orientador

Professor(a) Avaliador
Membro da Banca

Professor(a) Avaliador
Membro da Banca

AGRADECIMENTOS

Esta monografia é o fruto de uma jornada repleta de desafios e conquistas, e é com imenso carinho e gratidão que dedico este trabalho àqueles que foram essenciais em cada passo deste caminho.

Primeiramente, aos meus queridos pais, Adriana e Marcelo Machado, que me proporcionaram as bases de amor, educação e valores que moldaram o meu ser. Vocês me ensinaram a importância do conhecimento e a nunca desistir dos meus sonhos. Vossa dedicação e sacrifício são as maiores fontes de inspiração para mim. Em cada página deste trabalho, há um pouco do que vocês me ensinaram.

Aos meus irmãos Brenda, Matheus e Aline, que suas palavras de encorajamento e atos de bondade foram a força que muitas vezes me impulsionou a seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis.

Meus avós: Hilda, Luis, Fátima e Dalton, que mesmo de longe, sempre estiveram presentes e impulsionando a dar meu melhor.

Ao meu namorado, Vitor Wolff Bordignon, que sempre acreditou em mim e me ofereceu suporte incondicional, sempre me ajudando a manter o equilíbrio e a sanidade durante os períodos mais intensos de estudo e pesquisa.

Aos meus amigos, Danieli Quadros, Francine Pinheiro, Ariane Andrades, Alexandra Moller, que estiveram comigo durante toda a caminhada da graduação, proporcionaram grandes e incríveis momentos, sempre com palavras sábias e de carinho, além de várias risadas compartilhadas. Às minhas companheiras de reta final dessa jornada, Ingrid, Kathiele, e Suzana, essas duas últimas que estiveram presentes no tão temido PIZ e fizeram as coisas ficarem mais leves com palavras de motivação. E cada palavra de apoio foram fundamentais.

Um agradecimento especial à minha orientadora, Alice, cuja sabedoria, paciência e orientação foram fundamentais para a realização deste trabalho. Sua capacidade de me desafiar e me guiar ao longo deste processo foi incrível e extremamente valiosa para meu crescimento acadêmico e pessoal. Por último e não menos importante, meu co-orientador: Professor Poli, que sempre esteve disponível e, por mais que saiba mais de ovelhas que abelhas, se pôs disponível a auxiliar nessa caminhada que é o Trabalho de Conclusão de Curso.

Este trabalho é uma celebração de todas essas contribuições e um símbolo do meu profundo agradecimento a cada um de vocês.

RESUMO

Este estudo explora a apicultura de precisão, uma prática inovadora que utiliza tecnologias avançadas para otimizar a gestão das colmeias e abordar desafios contemporâneos no manejo das abelhas. A relevância deste tema é destacada pela sua capacidade de melhorar a produtividade e a sustentabilidade na apicultura, além de contribuir significativamente para a conservação ambiental e a saúde das abelhas. Os objetivos principais desta pesquisa foram: Identificar os bancos de dados que mais publicam sobre apicultura de precisão; Mapear a distribuição geográfica das publicações; Determinar os principais parâmetros monitorados na apicultura de precisão; e Identificar as categorias mais avaliadas pelas publicações científicas. Através de uma revisão sistemática e palavras-chave foram encontrados 733 estudos sobre a temática e utilizando o diagrama PRISMA. Destes, foram selecionados 133 artigos de três bases de dados - Scopus, IEEE (Xplore Digital Library) e CAPES, cobrindo o período de 2013 a 2023. Os resultados indicam que o banco de dados Scopus se destaca na publicação de artigos sobre apicultura de precisão. Geograficamente, os Estados Unidos e a Letônia emergem como os países com maior número de publicações. Os principais parâmetros monitorados identificados na pesquisa incluem o comportamento das abelhas, a temperatura, entre outros. Quanto às categorias avaliadas, o estudo revela um foco significativo em IoT e monitoramento remoto, sublinhando uma tendência crescente na adoção dessas tecnologias no setor apícola. Este trabalho evidenciou que o ponto com mais destaque sobre apicultura de precisão é a identificação e análise das tendências atuais e emergentes na adoção de tecnologias avançadas para o manejo das colmeias. Destacou-se especialmente o papel do monitoramento remoto e da Internet das Coisas (IoT) na transformação das práticas apícolas.

Palavras-chave: Apicultura de precisão, monitoramento de colmeias, revisão de literatura

ABSTRACT

This study explores precision beekeeping, an innovative practice that utilizes advanced technologies to optimize hive management and address contemporary challenges in beekeeping. The relevance of this theme is highlighted by its ability to improve productivity and sustainability in beekeeping, as well as its significant contribution to environmental conservation and bee health. The main objectives of this research were to: Identify the databases that publish the most on precision beekeeping; Map the geographical distribution of publications; Determine the main parameters monitored in precision beekeeping; and Identify the categories most evaluated by scientific publications. Through a systematic review and keywords, 733 studies on the theme were found, and using the PRISMA diagram, 133 articles were selected from three databases - Scopus, IEEE (Xplore Digital Library), and CAPES, covering the period from 2013 to 2023. The results indicate that the Scopus database stands out in the publication of articles on precision beekeeping. Geographically, the United States and Latvia emerge as the countries with the highest number of publications. The main monitored parameters identified in the research include bee behavior, temperature, among others. Regarding the categories evaluated, the study reveals a significant focus on IoT and remote monitoring, underlining a growing trend in the adoption of these technologies in the beekeeping sector.

Keywords: Precision beekeeping, hive monitoring, literature review.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas do processo de revisão sistemática	12
Figura 2 - Ilustração da usabilidade da plataforma RAYYAN	25
Figura 3 - Fluxograma PRISMA indicando o número de registros e publicações incluídos e excluídos em cada nível da revisão sistemática	27

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição de Publicações Científicas sobre Apicultura de Precisão nos Bancos de Dados	28
Gráfico 2 - Distribuição Global de Artigos Científicos sobre Apicultura de Precisão.....	29
Gráfico 3 - Proporção de Artigos Científicos por Parâmetro Monitorado	30
Gráfico 4 - Distribuição de Publicações Científicas por Tecnologia na Apicultura.....	31

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	OBJETIVOS.....	10
2.1	OBJETIVO GERAL	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3.	METODOLOGIA	11
4.	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	13
4.1	APICULTURA	13
4.1.1	BIOLOGIA DA ABELHA.....	14
4.1.2	COMPORTAMENTO	16
4.1.3	VARIÁVEIS INTERNAS	17
4.2	AGRICULTURA DE PRECISÃO	22
4.2.1	APICULTURA DE PRECISÃO	23
5.	RESULTADOS.....	24
6.	DISCUSSÃO	32
7.	CONCLUSÕES	34
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

A importância das abelhas é inestimável, tendo um papel crucial no contexto ambiental e na produção de alimentos, elas desempenham uma função essencial na polinização, contribuindo para a reprodução de uma variedade formidável de plantas, incluindo muitas das culturas alimentares para o ser humano (EMBRAPA MEIO-NORTE, 2015). Essa relação entre abelhas e plantas não apenas sustenta a biodiversidade, mas também a segurança alimentar global. Estima-se que cerca de 75% das culturas agrícolas e 85% das plantas com flores dependem, de alguma forma, da polinização por insetos, sendo as abelhas uma das mais eficientes (GIANNINI et al., 2015; OLLERTON et al., 2011; POTTS et al., 2010). Além do contexto ambiental, elas contribuem para o cenário econômico, sendo fonte de renda para inúmeros apicultores com seus produtos e subprodutos como o mel, a cera de abelha e o própolis (MOHAN; SANTHANAM; WAN ISMAIL, 2023).

Nos últimos anos, tem-se observado um aumento alarmante nas taxas de mortalidade das colônias de abelhas. Elas são animais extremamente sensíveis ao uso indiscriminado de inseticidas. Além disso, a perda de habitat nos últimos anos fez com que a situação sanitária das abelhas venha se agravando, com perdas substanciais de colmeias ou com seu enfraquecimento repentino (Imperatriz-Fonseca et al., 2012; PIRES et al., 2016). Nesse contexto, a produção demanda uma abordagem inovadora e sustentável, e a tecnologia de precisão surge como um aliado estratégico, proporcionando não apenas eficiência operacional, mas também informações detalhadas para o manejo integrado das colônias de abelhas. Esta inovação revolucionária permite aos apicultores aprimorar suas práticas de manejo por meio da coleta, processamento e análise eficientes de grandes volumes de dados (DANIELI et al., 2023; HADJUR; LEFÈVRE; AMMAR, 2023).

A presente revisão explora a relação entre a apicultura e a tecnologia de precisão, destacando não apenas a importância intrínseca da apicultura na sociedade e na natureza, mas também delineando as limitações enfrentadas por esta prática milenar.

O foco central deste trabalho reside na argumentação de que a tecnologia de precisão é capaz de medir, controlar e prever uma variedade de parâmetros, desde comportamentais até de manejo, para otimizar o desempenho das colônias de abelhas. A coleta de dados precisa e a análise em tempo real oferecem uma visão abrangente das condições ambientais, saúde das abelhas e padrões comportamentais, permitindo intervenções proativas e informadas.

Para abordar essa temática, este trabalho será dividido em seções distintas. Inicialmente, será oferecida uma revisão abrangente da literatura, abordando os fundamentos da apicultura,

as atuais práticas de manejo e as limitações enfrentadas. Em seguida, será realizada uma análise detalhada da tecnologia de precisão, explorando suas aplicações específicas na apicultura. A metodologia adotada incluirá estudos de caso, análises estatísticas e avaliações práticas para validar a eficácia da tecnologia proposta.

O objetivo deste trabalho é, portanto, fornecer uma contribuição significativa para a compreensão da interseção entre apicultura e tecnologia de precisão, destacando seu potencial para impulsionar a sustentabilidade e a eficiência nesse setor. Ao fazer isso, esperamos oferecer uma base sólida para futuras pesquisas e práticas inovadoras na apicultura moderna.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O principal objetivo do presente trabalho é realizar uma Revisão Sistemática e selecionar os artigos mais relevantes dos últimos anos em apicultura de precisão, a fim de avaliar quais as tendências e quais tecnologias vem sendo maus utilizadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar quais bancos de dados publicam o maior número de artigos sobre apicultura de precisão;
- Identificar qual a distribuição geográfica global de publicação dos artigos selecionados;
- Identificar quais são os principais parâmetros monitorados na apicultura de precisão;
- Identificar as categorias mais avaliadas pelas publicações científicas.

3. METODOLOGIA

Nesta revisão sistemática, adotamos as diretrizes do PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para nossos métodos. A estratégia de busca consistiu na pesquisa em bases de dados acadêmicas, abrangendo tanto fontes nacionais como o "Portal de Periódicos da CAPES", quanto internacionais, incluindo "Scopus" e "IEEE Xplore Digital Library". Utilizamos palavras-chave específicas na pesquisa, tais como "Precision", "beekeeping", "precision apiculture" e "honey bee monitoring".

Para auxiliar na análise de cada artigo, foi utilizada a ferramenta "RAYYAN" como apoio à revisão sistemática que facilita a triagem e a seleção de estudos.

Estabelecemos critérios rigorosos de inclusão e exclusão para a seleção dos artigos após a definição dos bancos de dados e palavras-chave. Os critérios de exclusão forammeticulosamente determinados para assegurar a relevância e especificidade da análise do estudo, conforme segue abaixo.

Critérios iniciais de exclusão: Inicialmente foram excluídos os artigos duplicados e aqueles que não atendiam ao prazo pré-definido para esta revisão. Esta etapa é crítica para assegurar a relevância e a especificidade dos estudos analisados.

Seleção por palavras-chave: Posteriormente, foram selecionados artigos com base em palavras-chave específicas. A seleção foi feita por meio da análise dos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos. As palavras-chave foram selecionadas com base em critérios definidos para esta revisão e objetivaram identificar estudos diretamente relevantes ao tema de interesse.

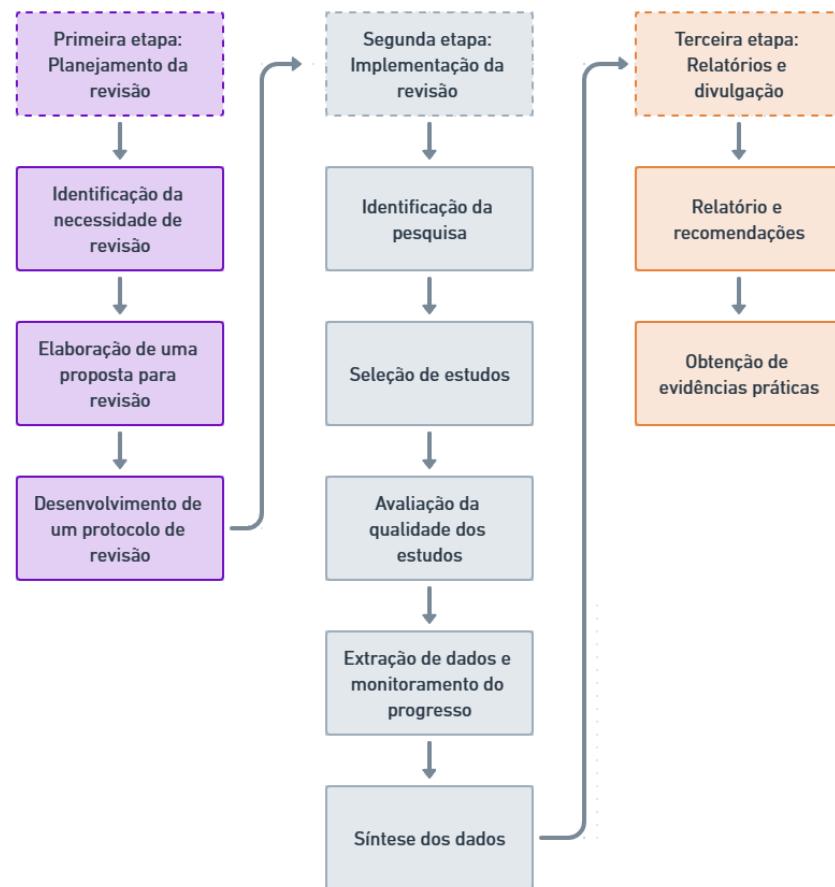
Os operadores booleanos "AND", "NOT" e "OR" foram usados para combinar diferentes palavras-chave e incluir sinônimos ou termos relacionados. Os artigos foram selecionados por meio da leitura dos títulos e resumos dos artigos encontrados para verificar se atendiam aos critérios de inclusão.

Critérios de exclusão específicos: Foram excluídos artigos não disponíveis em inglês e português devido à variedade de estudos nestes idiomas. Além disso, a seleção limitou-se a artigos científicos e, portanto, não incluiu outros tipos de publicações, como livros ou relatórios. O foco está em estudos específicos com abelhas e não inclui estudos com outros insetos ou animais. Artigos de revisão também foram excluídos para focar em pesquisas originais.

Análise de conteúdo: Após aplicação dos critérios de exclusão, os textos selecionados foram lidos na íntegra e exportadas para um banco de dados no Excel e por fim, realizou-se estatística descrita, com elaboração de gráficos e tabelas. Esta etapa foi realizada para

identificar artigos que analisassem ou abordassem pelo menos uma tecnologia apícola de precisão (por exemplo, software, hardware ou aplicativo). Esta etapa é crucial para garantir que os estudos incluídos sejam diretamente relevantes para o escopo da revisão.

Figura 1 - Etapas do processo de revisão sistemática



Fonte: Adaptado de (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003)

4. REFERÊNCIAL TEÓRICO

A compreensão da apicultura e sua evolução é crucial para mensurar o impacto e o potencial que as tecnologias de precisão oferecem nesse campo. As técnicas apícolas, desenvolvidas e aprimoradas ao longo do tempo, incluem estratégias como controle de doenças e pragas, alimentação suplementar, colheita de mel e gerenciamento da reprodução das abelhas. Cada uma destas práticas requer um conhecimento detalhado sobre a sua biologia, comportamento social e sua interação com o meio ambiente.

Além disso, as abelhas possuem sistemas complexos de comunicação, incluindo a dança das abelhas e o uso de feromônios, que são essenciais para a coordenação das atividades dentro da colônia.

Ao considerar a apicultura de precisão, é fundamental reconhecer como estas práticas tradicionais e a biologia das abelhas estão interligadas com a tecnologia moderna. A apicultura de precisão utiliza uma variedade de tecnologias, como sensores, sistemas de monitoramento, análise de dados e inteligência artificial para melhorar a eficiência operacional e fornecer informações detalhadas para o gerenciamento abrangente das colônias de abelhas.

Portanto, uma estrutura teórica sólida é fundamental para compreender como aplicar a tecnologia de precisão de forma eficaz. Este conhecimento fornece a base necessária para avaliar os avanços na tecnologia apícola e compreender o seu impacto na gestão das colmeias e na sustentabilidade da produção apícola.

4.1 APICULTURA

A apicultura é uma prática milenar, caracterizada pela criação racional de abelhas do gênero *Apis* e obtenção de produtos como o mel, própolis, geleia real, cera entre outros para fins comerciais ou lazer, em locais controlados pelo ser humano (MOREIRA & FARINHA, 2011). Dados arqueológicos demonstram que a coleta de mel era realizada com maiores dificuldades e risco, sendo colhido sem o uso de tecnologias propícias (PEREIRA et al., 2023). No entanto, ao longo dos séculos, a apicultura evoluiu a partir da transição para as sociedades agrícolas permanentes e se tornou uma atividade mais sofisticada, com a percepção das comunidades sobre os benefícios de se criar abelhas de forma controlada, assim como a otimização da produção de mel. Assim, modificaram-se as técnicas de manejo e a domesticação de abelhas (BERALDO, 2011).

A partir do século XIX, houveram avanços significativos na apicultura após a invenção da colmeia móvel por Lorenzo Lorraine Langstroth que modificou a apicultura, permitindo um

manejo mais eficiente e aumentando significativamente a produção de mel ao redor do mundo (MOREIRA & FARINHA, 2011).

O século XX trouxe novos avanços no que tange a biologia das abelhas, como estudos sobre genética, a comunicação pela dança e manejo sanitário. Com o avanço tecnológico, foi possível o monitoramento das colônias, assim como uma melhor capacidade de analisar o bem-estar e desenvolvimento sustentável. (NIEH, 2004; KAPHEIM et al., 2015; FRISCH, 2014).

Atualmente, a apicultura é uma prática disseminada em escala global, abarcando uma produção diversificada que vai além do mel, englobando diversos produtos apícolas. Países como China, Turquia e Rússia se destacam como líderes nessa atividade, sendo a China reconhecida como o principal produtor mundial de mel, atendendo tanto à demanda interna quanto internacional (PAULA et al., 2016).

No contexto brasileiro, a apicultura surgiu inicialmente com a introdução de abelhas de raças europeias e em 1956, foram introduzidas as abelhas africanas. Hoje, a apicultura brasileira possui um híbrido denominado *Apis mellifera*, a qual está adaptada às condições climáticas do país, além da variada vegetação que oferece um ambiente propício para o desenvolvimento da apicultura (REÁTEGUI, 2020; OLIVEIRA; CUNHA, 2005; RAMOS; CARVALHO, 2007).

A escolha específica das abelhas africanizadas foi motivada pela sua notável capacidade de adaptação ao clima tropical, aliada à resistência a condições adversas e elevada produtividade. Esse cruzamento inadvertido com outras raças de abelhas preexistentes no Brasil ampliou a diversidade genética das populações apícolas, mas também levantou desafios relacionados à gestão e controle das características específicas de cada raça.

A expansão das abelhas africanizadas pelo país, como resultado natural do seu ciclo reprodutivo, gerou uma maior resistência ao clima e às doenças que acometiam as abelhas. Esse fenômeno não apenas destaca a adaptabilidade dessas abelhas, mas também evidencia a importância da gestão efetiva das colônias para garantir uma produção apícola sustentável e manutenção da biodiversidade.

4.1.1 BIOLOGIA DA ABELHA

Compreender a biologia das abelhas é fundamental para o estudo da apicultura, pois esta compreensão aprofundada fornece uma base sólida para práticas apícolas eficazes, como desenvolver estratégias específicas de manejo adaptadas às diferentes funções desempenhadas por cada grupo. Existem mais de 20.000 espécies de abelhas, mas algumas, como a *Apis*

mellifera, são particularmente predominantes na apicultura devido à sua adaptabilidade, capacidade de produção de mel e eficiência na polinização.

É perceptível que a anatomia das abelhas é uma adaptação às suas funções ecológicas, evidenciando uma complexidade que desempenha um papel crucial em seu comportamento e sobrevivência. Os sistemas sensoriais avançados das abelhas incluem os olhos compostos, que são formados por milhares de pequenas lentes individuais, conhecidas como omatídios. Essa estrutura dos olhos permite que as abelhas tenham uma excelente percepção de movimento e um amplo campo de visão, o que é essencial para a localização de flores e a navegação durante o voo. Além disso, as abelhas têm três pequenos olhos adicionais no topo da cabeça, chamados ocelos, que são sensíveis à luz e ajudam na orientação em relação ao sol (RAMOS; CARVALHO, 2007). Já as antenas são outro componente sensorial importante, pois são altamente sensíveis e capazes de detectar estímulos variados, como odores e variações térmicas, sendo fundamentais para a comunicação e transmissão de informações, assim como para a localização de alimentos (VISSCHER, 1983).

No que se refere à fisiologia, as abelhas possuem um sistema digestivo especializado, adaptado para o processamento eficiente do néctar. Este sistema inclui um órgão conhecido como papo de mel, onde o néctar é armazenado e transformado em mel. A transformação do néctar em mel ocorre através de um processo de regurgitação e subsequente evaporação, logo após este mel é armazenado nas células de cera para uso posterior (BRODSCHNEIDER; GRATZER, 2021).

As abelhas operárias são dotadas de glândulas de cera, localizadas em seu abdômen. Estas glândulas são responsáveis pela produção de cera, um componente essencial na construção dos favos de mel. Os favos, caracterizados por sua eficiência estrutural e economia de material, são utilizados para o armazenamento de mel e pólen, bem como para o desenvolvimento das larvas (HEPBURN; KURSTJENS, 1988).

As abelhas são insetos sociais que se comunicam entre si através de interações químicas, pela produção de feromônios (PEREIRA, 2016). Estes insetos são organizados em colônias, que em condições típicas, tem entre 20.000 a 80.000 abelhas adultas, incluindo uma única rainha, milhares de operárias (10.000-60.000) e um número variável de zangões.

Cada casta tem um propósito específico, a rainha é responsável pela postura de ovos, enquanto as operárias realizam tarefas como coleta de néctar e pólen, construção de favos e cuidado com a prole, ao passo que os zangões têm a função de acasalar com a rainha. A partir disso, o objetivo da colônia é preservar a sobrevivência (JIMÉNEZ, 2019).

A diferenciação alimentar durante a fase larval determina a distinção entre castas, durante os primeiros três dias de vida. As larvas de rainha, operária e zangão são alimentadas com geleia real secretada pelas glândulas hipofaríngeas e mandibulares das operárias jovens, em volume e qualidade semelhantes (NAQUET, 2015; SOUZA *et al.*, 2018).

Após o período de três dias, as larvas passam a ser alimentadas de forma diferente. A rainha continua recebendo muita geleia real, enquanto as operárias recebem muita geleia de operária, que é menos nutritiva (DIETZ; HAYDAK, 1971; MALESZKA, 2018; OWEN, 2020; SLATER *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2018).

4.1.2 COMPORTAMENTO

O comportamento social das abelhas (*Apis mellifera*) representa um paradigma de complexidade e eficiência no reino animal, caracterizado por uma divisão de trabalho altamente especializada, mecanismos de comunicação avançados e habilidades de tomada de decisão coletiva. A divisão de trabalho baseada na idade das operárias é um aspecto central desse comportamento, com abelhas jovens realizando tarefas internas e as mais velhas assumindo funções externas, um fenômeno conhecido como polietismo etário (SEELEY, 1982).

A comunicação entre as abelhas, especialmente a dança das abelhas, é um exemplo notável de transmissão de informações complexas dentro da colônia (DORNHAUS; CHITTKA, 2004). As abelhas forrageiras comunicam a localização de fontes de alimento através de movimentos e vibrações específicos (VON FRISCH, 1967). Estudos recentes têm aplicado tecnologias de análise de vídeo e algoritmos de aprendizado de máquina para decodificar esses sinais de dança (LANDGRAF *et al.*, 2011).

O comportamento de termorregulação das abelhas é outro exemplo de cooperação e sincronização, essencial para a sobrevivência da colônia. As abelhas mantêm a temperatura da colmeia em um intervalo estreito, formando um aglomerado durante o inverno e ventilando a colmeia no verão (STABENTHEINER *et al.*, 2010). A utilização de sensores térmicos e modelagem computacional tem proporcionado uma compreensão mais profunda desses mecanismos (JONES *et al.*, 2004).

A capacidade das abelhas de tomar decisões coletivas, particularmente na escolha de novos locais para colmeias, é um processo complexo que envolve a integração descentralizada das opiniões de abelhas exploradoras. Este fenômeno tem sido estudado sob a perspectiva da inteligência coletiva e teoria dos jogos (SEELEY *et al.*, 2006).

4.1.3 VARIÁVEIS INTERNAS

Monitorar diferentes características físicas e químicas das colmeias é essencial para garantir o bem-estar das abelhas, comportamento da colônia, assim como compreender os sinais de possíveis distúrbios e outras adversidades, incluindo a umidade na colmeia, ruídos, ambiente, peso das colmeias, temperatura interna, ventilação, exposição solar, espaçamento adequado entre as colmeias e a distância em relação a áreas com o uso intensivo de pesticidas (VREELAND, 2017).

4.1.3.1 UMIDADE

A umidade desempenha um papel crucial na saúde e sobrevivência das colônias de abelhas, influenciando diretamente vários aspectos do seu comportamento e fisiologia. De acordo com HUMAN; NICOLSON; DIETEMANN (2006), a umidade relativa dentro de uma colmeia deve ser mantida entre 40% e 60%. Esta faixa é essencial para o bem-estar das abelhas, pois umidade excessiva ou insuficiente pode levar a problemas significativos (ABOU-SHAARA et al., 2017)

Quando a umidade está dentro da faixa ideal, ela contribui positivamente para a saúde da sua colônia de abelhas de várias maneiras. Primeiro, facilita a regulação da temperatura dentro da colmeia. As abelhas utilizam a umidade para auxiliar no processo de ventilação, evaporando a água quando necessário para resfriar o ambiente interno. Além disso, a umidade adequada é essencial para o desenvolvimento larval. As abelhas jovens necessitam de um ambiente úmido para um crescimento saudável, e a umidade insuficiente pode levar ao mal desenvolvimento e até a morte (EOUZAN et al., 2019).

Por outro lado, um excesso de umidade pode ser prejudicial. Um ambiente excessivamente úmido favorece o crescimento de fungos e bactérias, que podem causar doenças na colônia. Além disso, altos níveis de umidade podem comprometer a integridade estrutural do favo de mel, pois a cera se torna mais maleável e menos estável. Isso não apenas dificulta o armazenamento de mel e pólen, mas também pode levar ao colapso físico da estrutura da colmeia, especialmente sob o peso do mel (HUMAN; NICOLSON, 2006).

As abelhas possuem mecanismos sofisticados para modificar a umidade dentro da colônia. Um dos métodos mais notáveis é o comportamento de ventilação, onde as abelhas operárias agitam suas asas vigorosamente para promover a circulação do ar. Este comportamento ajuda a evaporar o excesso de umidade e também a resfriar a colmeia em dias quentes. Além disso, as abelhas ajustam a abertura da entrada da colmeia para controlar o fluxo

de ar, o que indiretamente afeta os níveis de umidade. Durante o inverno, as abelhas se agrupam para gerar calor, reduzindo a ventilação para manter a umidade e a temperatura ideais (SEELEY, 1985).

A umidade dentro de uma colmeia varia significativamente ao longo do ano, influenciada por fatores externos como clima e estação. A habilidade das abelhas em regular a umidade é um fator crítico para sua sobrevivência durante as diferentes estações, como exemplo, durante o verão, as abelhas enfrentam o desafio de manter a umidade em níveis adequados, especialmente em regiões com altas temperaturas e baixa umidade ambiental. Durante o inverno, o desafio é oposto; as abelhas devem minimizar a umidade excessiva que pode resultar da condensação, especialmente em climas frios e úmidos (STABENTHEINER; KOVAC; BRODSCHNEIDER, 2010).

4.1.3.2 TEMPERATURA

As abelhas são insetos ectotérmicos ou “de sangue frio”, uma vez que sua temperatura corporal se ajusta conforme a temperatura do ambiente em que se encontram (RODRIGUES, 2004). Assim, a temperatura corporal das abelhas, que influencia diretamente seu metabolismo e atividade, é altamente dependente da temperatura do ambiente. Para o desenvolvimento adequado das larvas e uma eficiente produção de mel, é crucial que a colmeia mantenha uma temperatura de cerca de 34 a 35°C. Um desvio significativo dessa faixa de temperatura pode levar a um desenvolvimento larval prejudicado e a uma redução na eficiência da colônia (ABOU-SHAARA et al., 2017).

Além disso, temperaturas extremamente altas ou baixas podem causar estresse nas abelhas, levando a uma diminuição da imunidade, aumentando a susceptibilidade a doenças e parasitas (STABENTHEINER et al, 2010)

As abelhas possuem mecanismos sofisticados para modificar a temperatura dentro da colônia. Durante os meses mais frios, elas se agrupam em uma formação densa conhecida como "aglomeração de inverno" para conservar o calor. As abelhas no centro da aglomeração vibram seus músculos de voo, gerando calor, enquanto aquelas na periferia atuam como isolamento. Este comportamento coletivo permite que a colônia mantenha uma temperatura interna estável, mesmo quando as condições externas são extremamente frias (COOK et al., 2022).

Por outro lado, em condições de calor excessivo, as abelhas ventilam a colmeia batendo suas asas e, em alguns casos, coletam água para evaporar dentro da colmeia, reduzindo assim a temperatura interna (KLEINHENZ et al., 2003).

Fora da colmeia, as abelhas enfrentam desafios adicionais relacionados à temperatura. Durante o forrageamento, as abelhas precisam manter sua temperatura corporal para voar eficientemente e coletar recursos. Em temperaturas muito baixas, as abelhas podem ter dificuldade em voar e são menos eficientes na coleta de néctar e pólen. Em contraste, altas temperaturas podem levar ao superaquecimento, especialmente quando as abelhas estão expostas diretamente ao sol por períodos prolongados. O superaquecimento não só afeta a capacidade de forrageamento das abelhas, mas também pode causar danos físicos e aumentar a taxa de mortalidade (VOLLET-NETO; MENEZES; IMPERATRIZ-FONSECA, 2014).

As abelhas têm a capacidade de regular sua temperatura corporal até certo ponto, aumentando a taxa metabólica para gerar calor ou buscando sombra e ventilação para se resfriar. No entanto, essas estratégias têm limites, e condições extremas podem afetar adversamente a saúde e a longevidade das abelhas forrageiras (HEINRICH; ESCH, 1994).

Ao longo do ano, a dinâmica de temperatura dentro e fora da colmeia afeta significativamente o ciclo de vida e o comportamento das abelhas. Durante a primavera e o verão, quando as temperaturas são mais amenas, as abelhas estão ativamente forrageando, coletando recursos e expandindo a colônia. Este é também o período em que a regulação da temperatura é crucial para o desenvolvimento de novas abelhas. No outono e no inverno, as abelhas reduzem suas atividades de forrageamento e concentram-se na manutenção da temperatura da colmeia para sobreviver ao frio. Durante esses meses, a colônia depende das reservas de alimento acumuladas anteriormente e da eficiência da termorregulação para manter a viabilidade da colônia. Alterações na temperatura ambiente, devido a fatores como mudanças climáticas ou perda de habitat, podem desequilibrar esse ciclo sazonal, afetando a saúde da colônia e a sobrevivência das abelhas (SOUTHWICK; HELDMAIER, 1987).

4.1.3.3 SOM

O som desempenha um papel crucial na vida de uma colônia de abelhas, servindo como um meio de comunicação e indicador de saúde da colmeia. As abelhas produzem sons através da vibração de suas asas e corpos, criando frequências que variam de acordo com suas atividades e estados emocionais. A frequência e intensidade desses sons podem indicar diferentes comportamentos, como forrageamento, alimentação, aquecimento da colmeia, e até mesmo estresse ou ameaças à colônia. A medição do som da colmeia é realizada utilizando-se de microfones e sensores acústicos que captam as vibrações e as transformam em dados audíveis ou visuais. Esses dados são analisados para monitorar a saúde e o comportamento da

colônia, fornecendo informações valiosas para os apicultores e pesquisadores. Por exemplo, um aumento na frequência do som pode indicar atividade intensa de forrageamento ou preparação para a enxameação, enquanto uma diminuição pode sinalizar problemas como falta de alimento ou doenças (SEELEY, 1992).

Os sons dentro da colmeia podem ser afetados tanto por fatores internos quanto externos. Internamente, a idade e o papel das abelhas na colônia influenciam os sons produzidos. Por exemplo, as abelhas mais jovens, responsáveis pela alimentação das larvas e cuidados com a rainha, emitem sons de frequências mais baixas, enquanto as forrageiras mais velhas produzem sons de frequências mais altas. Externamente, fatores ambientais como temperatura, umidade e presença de predadores ou ameaças podem alterar os padrões sonoros da colmeia. Por exemplo, em dias mais frios, as abelhas tendem a vibrar mais intensamente para gerar calor, resultando em um aumento da intensidade sonora. Da mesma forma, a presença de um predador ou uma ameaça iminente pode levar a um aumento repentino na frequência e intensidade do som, servindo como um sinal de alerta para as outras abelhas. Essas variações sonoras são cruciais para a manutenção do equilíbrio e saúde da colônia, pois permitem que as abelhas se comuniquem eficientemente e respondam apropriadamente a mudanças e desafios (KIRCHNER, 1993).

As abelhas também modificam o som dentro da colônia para coordenar atividades coletivas. Um exemplo notável é a "dança das abelhas", um comportamento complexo onde as abelhas forrageiras comunicam a localização de fontes de alimento através de movimentos e vibrações específicas. Essas vibrações são transmitidas através do contato físico e são interpretadas pelas outras abelhas, guiando-as aos locais de forrageamento, podemos citar também a “dança do tremor” que visa recrutar mais trabalhadoras para armazenar néctar (SEELEY, 1992) e muitos outros. Além disso, sons específicos são usados para coordenar a termorregulação da colmeia, onde as abelhas vibram em uníssono para gerar calor e manter a temperatura ideal dentro da colmeia. Essas formas de comunicação sonora são fundamentais para a sobrevivência e eficiência da colônia, permitindo uma coordenação eficaz e a tomada de decisões coletivas (RILEY et al., 2005).

Fora da colmeia, o som também desempenha um papel significativo para as abelhas. Durante o forrageamento, as abelhas utilizam sons para se comunicar com outras forrageiras e potencialmente para avaliar a qualidade das fontes de néctar. Além disso, as abelhas são sensíveis aos sons do ambiente, o que pode influenciar seu comportamento de forrageamento. Por exemplo, ruídos fortes ou contínuos podem perturbar as abelhas e afetar negativamente sua capacidade de coletar alimentos e se comunicar eficientemente. Essa sensibilidade ao som é um

aspecto crucial para a sobrevivência das abelhas, pois permite que elas respondam rapidamente a ameaças potenciais ou mudanças no ambiente (DRELLER; KIRCHNER, 1993).

Ao longo do ano, as variações no som da colmeia refletem as mudanças sazonais na atividade da colônia. Durante a primavera e o verão, quando as abelhas estão mais ativas no forrageamento e na expansão da colônia e os sons dentro da colmeia são geralmente mais intensos e frequentes. Em contraste, no outono e inverno, quando as abelhas entram em um estado mais inativo e se concentram na manutenção da colmeia, os sons tendem a diminuir em frequência e intensidade. Essas variações sazonais são cruciais para entender o ciclo de vida das abelhas e para o manejo eficaz das colmeias, pois fornecem informações valiosas sobre o estado da colônia e suas necessidades em diferentes épocas do ano (SEELEY, 1985).

4.1.3.4 PESO

O monitoramento do peso de uma colmeia de abelhas é uma ferramenta valiosa na apicultura de precisão, fornecendo *insights* cruciais sobre o tamanho, a saúde e a produtividade da colônia. O peso da colmeia é um indicador dinâmico que reflete uma variedade de fatores, incluindo a quantidade de mel, pólen, abelhas e cria presente.

As variações no peso da colmeia ao longo do ano fornecem informações valiosas sobre o ciclo de vida da colônia e sua interação com o ambiente. Durante a primavera e o início do verão, espera-se que o peso aumente significativamente à medida que as abelhas coletam néctar e pólen ativamente. Este período de ganho de peso coincide com a época de maior atividade de forrageamento e crescimento da colônia. Por outro lado, no outono e no inverno, o peso da colmeia tende a diminuir à medida que as abelhas consomem suas reservas de alimento para sobreviver durante os meses mais frios, quando os recursos externos são escassos (SEELEY, 2009; LI et al., 2022). Este padrão sazonal de variação de peso é um aspecto crucial da biologia da colônia e pode fornecer informações valiosas para a prática da apicultura sustentável (HARBO, 1986).

Além disso, o peso da colmeia pode ser afetado por fatores como a presença de doenças ou parasitas. Por exemplo, uma infestação do ácaro *Varroa destructor* pode levar a uma diminuição no número de abelhas e, consequentemente, a uma redução no peso da colmeia. Da mesma forma, doenças como a Loque Americana podem afetar a cria e resultar em perda de peso. Portanto, uma mudança abrupta ou inesperada no peso da colmeia pode ser um indicativo precoce de problemas de saúde, permitindo intervenções rápidas para mitigar os impactos negativos (JAMES; PITTS-SINGER, 2008).

A gestão do peso da colmeia também é influenciada por fatores ambientais e climáticos. Por exemplo, condições climáticas adversas, como chuvas prolongadas ou temperaturas extremamente altas, podem limitar a capacidade das abelhas de forragear, afetando assim o acúmulo de recursos e o peso da colmeia (MEIKLE; HOLST, 2014).

A capacidade de monitorar essas mudanças de peso ajuda os apicultores a tomar decisões informadas sobre a gestão da colmeia, como a necessidade de alimentação suplementar ou a avaliação da saúde geral da colônia (DELAPLANE; VAN DER STEEN; GUZMAN-NOVOA, 2013; CECCHI et al., 2020)

Dessa forma, torna-se relevante que tecnologias de monitoramento de colmeias sejam utilizadas a fim de reduzir ou diminuir a mortalidade por pragas, de forma a manter forte os enxames sem a necessidade de abrir constantemente as colônias.

4.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

O modelo de sucesso tecnológico conhecido na atualidade aplicado ao agronegócio, é a Agricultura de Precisão (AP). Esta representa um grande avanço na forma como gerimos e otimizamos as práticas agrícolas. Esta abordagem aproveita tecnologia avançada para monitorizar e gerir com precisão as variáveis agrícolas, visando aumentar a eficiência e a sustentabilidade. O desenvolvimento da agricultura de precisão começou com a introdução de sistemas de posicionamento global (GPS) e sensores remotos, permitindo o mapeamento detalhado dos campos e a aplicação precisa de insumos como fertilizantes e pesticidas (MCBRATNEY et al., 2005).

À medida que a tecnologia avançou a agricultura de precisão evoluiu para incluir sistemas automatizados e robótica. Por exemplo, os drones tornaram-se uma ferramenta valiosa para a coleta de dados agrícolas, fornecendo imagens aéreas detalhadas que ajudam a identificar questões como escassez de água, pragas e doenças (ZHANG & KOVACS, 2012). Esses veículos aéreos não tripulados (UAVs) podem cobrir rapidamente grandes áreas, fornecendo dados críticos em tempo real para uma tomada de decisão rápida e eficaz, além de compreender melhor a variabilidade espacial dos seus campos e adaptar as práticas de gestão às necessidades específicas das diferentes regiões.

Além dos drones, a agricultura de precisão também se beneficia do uso de sensores de solo e da tecnologia da Internet das Coisas (IoT). Por exemplo, os sensores de umidade do solo podem fornecer dados valiosos sobre as condições de irrigação, permitindo uma gestão mais eficiente da água (BONGIOVANNI e LOWENBERG-DEBOER, 2004). A Internet das Coisas

liga estes sensores a sistemas de análise de dados para permitir a monitorização contínua e automática das condições do campo e facilitar a implementação de práticas agrícolas inteligentes.

Segundo BARRETO (2015) a Agricultura de Precisão é um sistema integrado de gestão de informação e tecnologia baseado no conceito de que variações espaciais e temporais afetam o rendimento das culturas.

4.2.1 APICULTURA DE PRECISÃO

O desenvolvimento de tecnologias de precisão na apicultura é um campo de estudo que tem registado progressos significativos nos últimos anos. O termo “apicultura de precisão” (PB) foi definida como uma estratégia de gestão de apiários baseada no monitoramento de colônias de abelhas individuais para minimizar o consumo de recursos e maximizar a produtividade das abelhas (ZACEPINS et al., 2012). As abelhas são insetos sociais, portanto, o comportamento de uma colônia de abelhas é igual ao comportamento de indivíduos de outras espécies. (ZACEPINS; STALIDZANS; MEITALOVS, 2012).

A integração de tecnologias avançadas na apicultura transformou as práticas tradicionais, permitindo o monitoramento mais eficaz e uma gestão mais precisa das colmeias. Um primeiro passo nesta direção foi a introdução de balanças eletrônicas para monitorizar o peso da colmeia, uma prática que é crucial para a compreensão da dinâmica de forrageamento e da saúde geral da colónia (MEIKLE; HOLST, 2014). Essas balanças fornecem dados contínuos sobre o ganho ou perda de peso da colmeia, permitindo que os apicultores tomem decisões sobre alimentação e manejo de acordo com a época do ano.

O uso de sensores inteligentes dentro das colmeias ajuda a manter condições ideais dentro da colmeia, coletando dados em tempo real sobre variáveis ambientais, como temperatura, umidade, som e níveis de CO₂. Esses sensores oferecem aos apicultores uma visão detalhada do ambiente interno das colmeias capazes de, por exemplo, detectar sinais precoces de doenças ou infestações por pragas, permitindo ajustes precisos para evitar a disseminação entre colônias (DSOUZA, 2023; CECCHI et al., 2020; EDWARDS-MURPHY et al., 2016; ABU, 2020).

A polinização agrícola é outra área em que a tecnologia de precisão desempenha um papel vital. Com o uso de sensores de rastreamento, os apicultores podem monitorar os padrões de voo das abelhas, identificando áreas específicas que podem precisar de maior atenção. Além disso, o desenvolvimento de algoritmos avançados permite a otimização das rotas de polinização, garantindo uma distribuição eficiente das abelhas para maximizar a produtividade

nas plantações. Essa abordagem não apenas beneficia a agricultura, mas também destaca a contribuição crucial das abelhas para a segurança alimentar (FAO, 2018; BAHGAT, 2023; PETTIS, 2016).

A facilidade proporcionada pelo acesso remoto às informações das colmeias é uma vantagem da tecnologia de precisão, onde os apicultores podem monitorar suas colônias de qualquer lugar, recebendo dados em tempo real por meio de aplicativos e plataformas *online*. Isso não só economiza tempo, mas também permite uma resposta imediata a situações críticas. Alertas automáticos em caso de mudanças nas condições da colmeia, como variações abruptas de temperatura ou padrões de voo anormais, capacitam os apicultores a tomar medidas proativas, evitando perdas significativas (NGO et al., 2019).

No contexto da produção de mel, a tecnologia de precisão oferece oportunidades para melhorar a eficiência dos processos. Sistemas de rastreamento e monitoramento automatizado do processo de produção proporcionam *insights* valiosos para aprimorar a qualidade do mel e otimizar os métodos de extração. No entanto, a implementação dessas tecnologias pode exigir investimentos significativos em infraestrutura e treinamento, o que pode ser uma barreira para pequenos produtores.

A conservação da biodiversidade é um benefício adicional da tecnologia de precisão na apicultura. Ao fornecer dados detalhados sobre o comportamento e a saúde das abelhas, os apicultores e os pesquisadores podem contribuir para estudos científicos mais abrangentes. Essas informações são cruciais para entender as ameaças à biodiversidade e implementar estratégias de conservação eficazes.

5. RESULTADOS

Inicialmente, foi realizada uma busca abrangente em bases de dados acadêmicas utilizando de palavras-chave (Tabela 1), resultando na identificação de 733 trabalhos no total potencialmente relevantes. Essa busca inicial é crucial para capturar uma ampla gama de estudos, garantindo que a revisão seja abrangente e representativa do estado atual do conhecimento no campo.

Tabela 1. Palavras-chave utilizadas para a busca nos diferentes bancos de dados

Palavra chave	Scopus	IEEE	CAPES
“Precision beekeeping” OR “precision apiculture” OR “honey bee monitoring”	566	166	13

Fonte: Autora, 2024

Após a coleta inicial dos artigos, os mesmos foram indexados na plataforma RAYYAN (Figura 2). RAYYAN é uma ferramenta de apoio à revisão sistemática que facilita a triagem e a seleção de estudos. Ela permite aos pesquisadores organizar artigos, realizar marcações e anotações, e colaborar com outros membros da equipe de pesquisa. A plataforma é especialmente útil para gerenciar grandes volumes de literatura, permitindo uma triagem eficiente e colaborativa dos estudos.

Figura 2 - Ilustração da usabilidade da plataforma RAYYAN

The screenshot shows the RAYYAN platform interface. On the left, there are three filter panels: 'Journal' (listing various journals like Frontiers in Molecular Biosciences, bioRxiv, Biomed Pharmacother, etc.), 'Authors' (listing names like Rehman, Suriya, Alzohairy, Mohammad A, etc.), and 'Year' (listing years 2021, 2020, 2017, 2014, 2007). The main central area displays a table of search results for the query '2021-10-11: My review'. The table has columns for Date, Title, Authors, and Rating. The first few entries include: '2021-05-31 Triple-hit high-grade B-cell lymphoma presenting with ovaria...', '2017-01-01 Temperature sensitive liposomes combined with thermal abla...', '2014-01-01 The effect of doxorubicin loading on response and toxicity wit...', '2007-01-01 Treatment of malignant lymphoma in an African lion (Panthera...)...', and '2020-01-01 Temporary blockade of interferon- β ameliorates doxorubicin-... Ma, Pan; Qin, Yue; Cao, Hon...'. At the bottom of the results table, it says 'No articles selected, use your mouse or keyboard to select articles from the above table.' On the right side, there is a vertical 'REVIEW CHAT' sidebar with a 'Hadeel' button and a 'Help' button.

Fonte: (QCRI (QATAR COMPUTING RESEARCH INSTITUTE), 2023)

Durante o processo de triagem, foi utilizado o diagrama PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). O diagrama PRISMA é um fluxograma que orienta a seleção e a exclusão de estudos em uma revisão sistemática, promovendo transparência e rigor metodológico. Ele ajuda a documentar claramente todas as etapas do processo de seleção, desde a identificação inicial dos estudos até a seleção final dos artigos incluídos na revisão.

Neste processo, 4 trabalhos foram inicialmente excluídos por serem duplicatas. A identificação e remoção de duplicatas são essenciais para evitar a contagem múltipla do mesmo estudo, o que poderia distorcer os resultados da revisão.

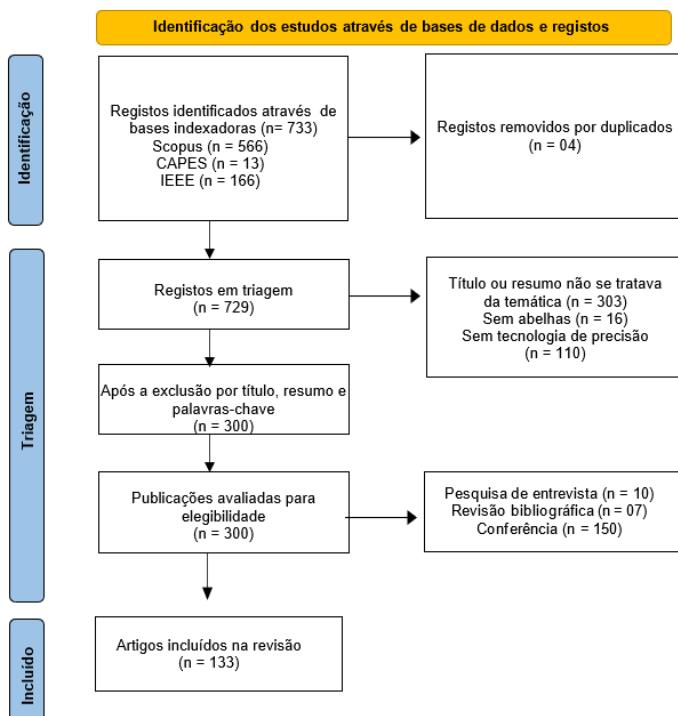
Após a remoção das duplicatas, 303 trabalhos foram excluídos por não se relacionarem diretamente com a temática de "apicultura de precisão" com base em seus títulos e resumos. Esta etapa é crucial para garantir que a revisão se concentre estritamente no tema de interesse.

Adicionalmente, 16 trabalhos foram excluídos por não terem abelhas como foco principal e 110 trabalhos foram descartados por não envolverem tecnologia de precisão. Esses critérios de exclusão são importantes para manter o foco da revisão na interseção específica entre apicultura e tecnologia de precisão.

Dos artigos restantes, 10 foram excluídos por serem baseados em pesquisa com entrevista, 7 por serem revisões bibliográficas, por fim, 150 foram descartados por se tratar de conferências.

Após este rigoroso processo de seleção, restou 133 artigos que foram considerados adequados para inclusão na revisão sistemática (Figura 3).

Figura 3 - Fluxograma PRISMA indicando o número de registros e publicações incluídos e excluídos em cada nível da revisão sistemática.



Fonte: (PAGE et al., 2021)

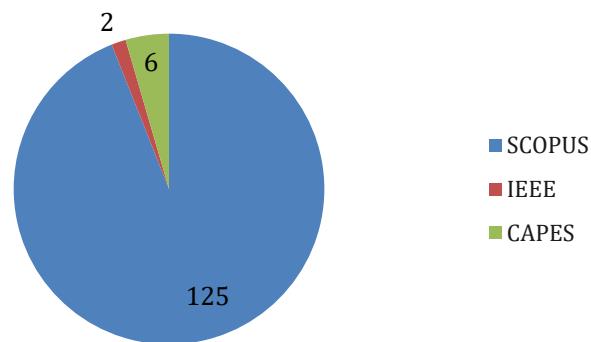
As variações observadas na quantidade de artigos em cada banco de dados podem ser atribuídas a múltiplas motivações, incluindo a abrangência temática dos bancos de dados, a popularidade do tema de pesquisa dentro da comunidade acadêmica, e a acessibilidade e reconhecimento da plataforma de publicação. Um estudo de MONGEON; PAUL-HUS (2016) analisou a cobertura temática de grandes bases de dados, destacando como isso afeta a distribuição de publicações científicas.

A distribuição desigual de artigos científicos entre diferentes bancos de dados pode refletir a especialização e foco temático das plataformas (Gráfico 1). O SCOPUS, por exemplo, é conhecido por sua ampla cobertura interdisciplinar, enquanto bases de dados como o IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), apresentam uma concentração maior em engenharia e tecnologia, além de predominar estudos em formatos de conferências, que muitas vezes, servem como apresentação de pesquisas preliminares ou em andamento, o que pode levar a uma menor representação de artigos completos revisados por pares no contexto de apicultura de precisão. Esta especialização é discutida por VAN NOORDEN (2014) em um artigo sobre as tendências globais na publicação científica.

As diferenças na quantidade de artigos podem ser amplamente influenciadas pela acessibilidade e reconhecimento da plataforma de publicação. O SCOPUS, por exemplo, oferece uma visibilidade maior para os artigos devido à sua ampla aceitação global (BJÖRK; SOLOMON, 2012).

Outro aspecto que pode influenciar a distribuição de artigos é o reconhecimento e premiação associados à publicação em determinados bancos de dados. Pesquisadores podem preferir submeter seus trabalhos a bancos de dados com reputação de excelência e rigor na seleção de artigos. Estudos mostram a influência da reputação dos periódicos na escolha dos autores para submissões (LARIVIÈRE; HAUSTEIN; MONGEON, 2015).

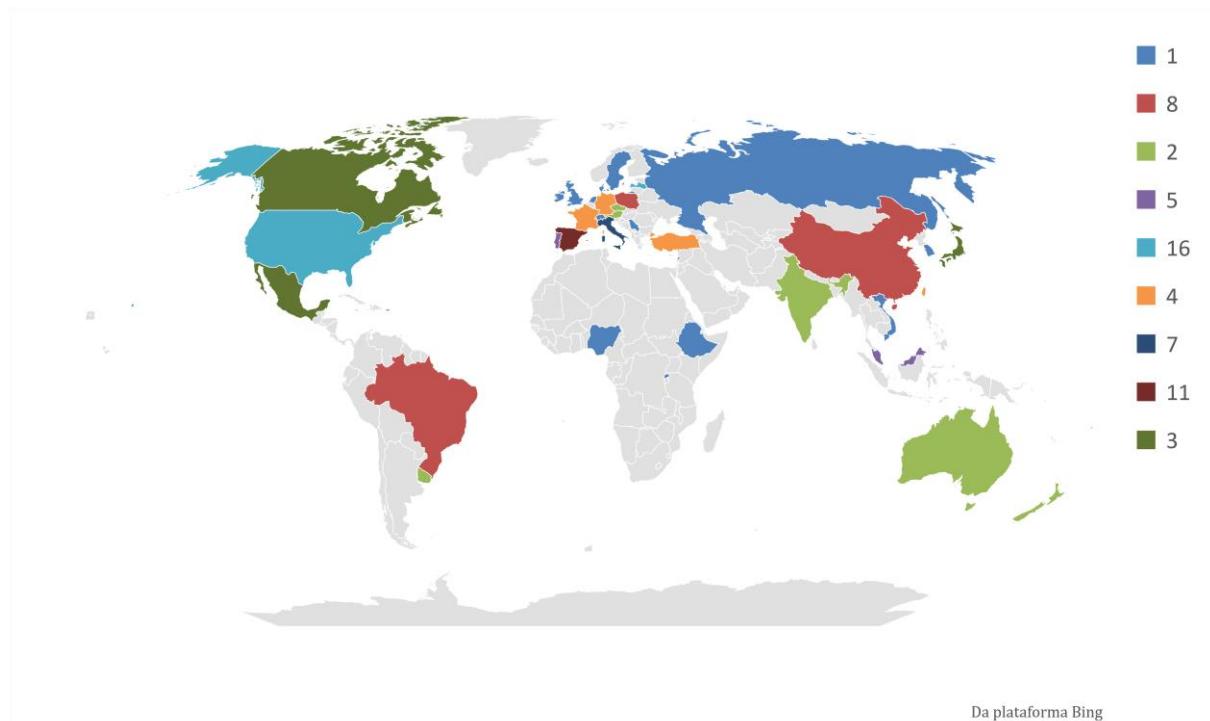
Gráfico 1 - Distribuição dos artigos selecionados nos Bancos de Dados



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

A distribuição geográfica dos estudos selecionados para a revisão (Gráfico 2), revela um panorama diversificado de pesquisa e desenvolvimento que pode ser atribuído a uma variedade de motivações socioeconômicas, ambientais e tecnológicas. A análise dos dados sugere a influência de fatores como a importância econômica da apicultura, os desafios ambientais enfrentados, o nível de desenvolvimento tecnológico e as políticas de apoio à pesquisa em cada país. Estudos como os de POTTS et al. (2016), que exploram a importância econômica e ecológica da apicultura, podem fornecer perspectivas sobre essas motivações.

Gráfico 2 - Distribuição Global dos Artigos Selecionados para Revisão



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

A partir do Gráfico acima, ficou evidente a grande quantidade de diversidade geográfica dos artigos incluídos na revisão. As maiores contribuições vêm dos Estados Unidos e da Letônia, ambos com 16 artigos. O Brasil e a China seguem com 8 publicações cada. A Espanha contribui com 11 artigos, enquanto a Itália tem 7. A Malásia apresenta 5 publicações, número compartilhado com Portugal. A Polônia registra 8 artigos, e tanto a França quanto a Alemanha e a Turquia contribuem com 4 cada. Países como México, Canadá e Japão têm 3 publicações. Outros países como Índia, Nova Zelândia, Uruguai, Áustria, Austrália, e Taiwan registraram entre 1 e 4 artigos. Menções únicas com um único artigo são vistas para nações como Suécia, Porto Rico, Irlanda, Nigéria, Coreia do Sul, Dinamarca, Eslováquia, Vietnã, Sérvia, Líbano, Áustria, Suíça, Ruanda, Etiópia, Rússia e Holanda. Alguns destes países já são conhecidos por serem grandes produtores de mel, como é o caso da China que reflete na quantidade de estudos, porém, Turquia e Rússia também surgem como produtores de mel mas não de artigos sobre o assunto e o oposto também é visto, como é o caso da Letônia, grande produtora de trabalhos sobre apicultura de mel. Então ainda vale compreender a motivação dos outros países serem grandes produtores de trabalhos e não necessariamente consumidores dos produtos de origem apícola.

A partir do atual trabalho se tornou evidente que o comportamento das abelhas é o parâmetro mais estudado, ocupando 24% das pesquisas (Gráfico 3). Este interesse pode ser atribuído à importância crítica do comportamento na determinação da saúde geral e produtividade de uma colônia.

Gráfico 3 - Proporção de artigos selecionados por parâmetro monitorado



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Segundo o comportamento, a temperatura é o segundo parâmetro mais investigado, com 19% evidenciando que a regulação térmica é vital para a sobrevivência da colônia tendo em vista que são insetos que vibram para manter o interior da colmeia na temperatura ideal e que, monitorar as flutuações dentro da colmeia que podem indicar problemas, como a presença de doenças ou o estresse térmico.

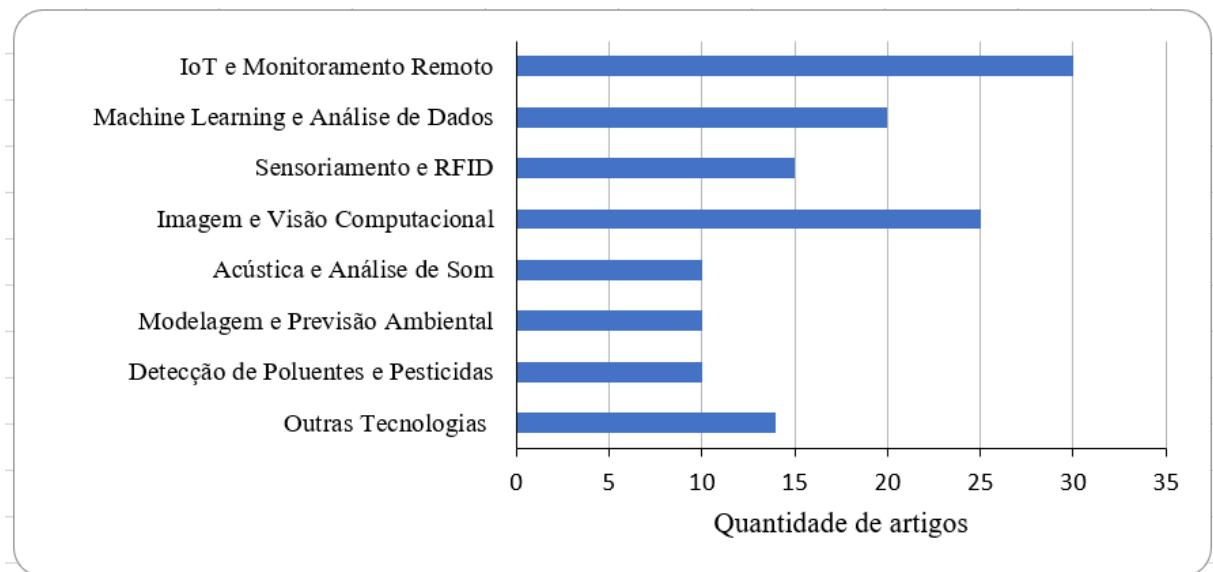
A umidade, que tem 11% do foco de pesquisa, é outro fator ambiental crítico, pois níveis inadequados podem levar a doenças ou diminuir a eficiência da produção de mel. Peso e ruído, com 12% e 10% respectivamente, são parâmetros que informam sobre a saúde da colônia e a produtividade do mel. O tráfego de abelhas e o forrageamento, com 6% e 7% das pesquisas, são essenciais para entender como as abelhas interagem com o ambiente e entre si.

Por último, pesticidas, que representam 9% das pesquisas, são um parâmetro crítico, já que a exposição a produtos químicos nocivos é uma das principais causas do declínio das populações de abelhas.

Observa-se a distribuição de artigos científicos que abrangem diversas tecnologias aplicadas à apicultura de precisão (Gráfico 4). Cada categoria reflete um aspecto da tecnologia e seu grau de aplicação no campo. Através deste gráfico, podemos inferir o foco atual da pesquisa e desenvolvimento dentro da apicultura de precisão e as tendências tecnológicas emergentes.

A categoria de IoT e Monitoramento Remoto lidera em quantidade de artigos, o que sugere uma tendência de pesquisa voltada para a automação e a coleta de dados em tempo real. Esta predominância indica o valor que os sistemas de monitoramento remoto têm na apicultura, permitindo que os apicultores acompanhem as condições das colmeias sem perturbações frequentes, o que pode levar ao estresse das abelhas. Além disso, a IoT oferece um meio de coletar grandes conjuntos de dados que são fundamentais para a análise e melhoria contínua das práticas apícolas.

Gráfico 4 - Distribuição de categorias avaliadas nos artigos selecionados



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Machine Learning e Análise de Dados também têm uma representação significativa, refletindo a importância do processamento e interpretação de grandes volumes de dados gerados pelo monitoramento das colmeias. A alta incidência de artigos nesta categoria destaca a crescente complexidade e sofisticação dos métodos de análise de dados na apicultura, bem como a necessidade de modelos preditivos e algoritmos inteligentes capazes de informar decisões de manejo.

O sensoriamento e RFID, embora menos representados do que as duas primeiras categorias, ainda mostram uma presença sólida no conjunto de dados. Isso pode ser indicativo

de uma área de pesquisa em crescimento, focada na rastreabilidade e no monitoramento individualizado das abelhas e das condições ambientais das colmeias. Estas tecnologias são essenciais para entender o comportamento das abelhas e para a gestão otimizada da saúde da colônia.

A tecnologia de Imagem e Visão Computacional, apresentando uma quantidade moderada de artigos, evidencia o interesse no desenvolvimento de técnicas não invasivas para a observação e análise das colmeias. O uso de visão computacional pode ajudar na detecção de doenças, no monitoramento da produção de mel e na observação do comportamento das abelhas, com mínima interferência humana.

A categoria de Acústica e Análise de Som, com um número menor de artigos, pode indicar uma área de nicho, onde o som é utilizado como um indicador do bem-estar da colônia. Apesar do menor volume de pesquisa, a relevância desta tecnologia reside na sua capacidade de detectar problemas dentro da colmeia sem a necessidade de inspeção visual.

Modelagem e previsão ambiental também têm uma presença modesta no gráfico, o que pode refletir as complexidades inerentes à modelagem de sistemas ambientais. No entanto, a importância desta área não pode ser subestimada, pois oferece insights valiosos sobre como as mudanças climáticas e outros fatores ambientais afetam a apicultura.

A área de Detecção de Poluentes e Pesticidas tem um volume menor de artigos, sugerindo que esta é uma área especializada dentro da apicultura de precisão ou às dificuldades associadas ao desenvolvimento de métodos de detecção que sejam ao mesmo tempo sensíveis, específicos e práticos para uso em campo.

A categoria “Outras tecnologias” pode tratar de estudos pioneiros em áreas como contagem automática de favos de mel, análise e aplicação de feromônios para a gestão comportamental das colmeias, e desenvolvimento de sistemas de segurança para o monitoramento contra roubos e atos de vandalismo em apiários.

6. DISCUSSÃO

Após os resultados, nota-se que o número de artigos publicados anualmente de 2013 a 2023, teve um crescimento expressivo. Este crescimento pode ser atribuído a uma maior conscientização sobre a importância das abelhas para a polinização e a saúde dos ecossistemas, bem como ao reconhecimento da crise global das abelhas (PIRES et al., 2016). O aumento substancial de publicações a partir de 2020 sugere um ponto de inflexão na pesquisa, que pode

estar relacionado a avanços significativos em tecnologias aplicadas ou a um aumento no financiamento e na colaboração interdisciplinar. Além disso, poderia refletir o sucesso de políticas de incentivo à pesquisa e desenvolvimento ou o surgimento de novas metodologias de pesquisa que facilitam a produção científica.

Destaca-se também a importância do monitoramento de diversos parâmetros internos e externos relacionados às colônias. A grande quantidade de estudos relacionados ao comportamento das abelhas, o que ocupa a maior proporção das pesquisas, reflete a relevância do comportamento para a saúde geral e produtividade da colônia, pois, como foi descrito anteriormente, o comportamento das abelhas é um fator chave, pois são insetos sociais, sendo a comunicação um aspecto extremamente eficiente, visto que abelhas forrageiras revelam localizações importantes sobre fontes de alimentos (DORNHAUS; CHITTKA, 2004; VON FRISCH, 1967) e as decisões tomadas na colônia são realizadas em conjunto, como exemplo, o momento certo para realizar enxameação (SEELEY et al., 2006). Outro exemplo em que ocorre sincronização no comportamento da colônia diz respeito à termorregulação, pois as abelhas conseguem formar um aglomerado durante épocas mais frias e ventilar a colmeia durante o verão. Podemos concluir então que, de fato, o comportamento é o fator mais esclarecedor dentro da colônia, podendo evidenciar mudanças climáticas, sociais ou presença de pragas (TASHAKKORI; HAMZA; CRAWFORD, 2021).

A temperatura emerge como o segundo parâmetro mais estudado, destacando seu impacto direto no metabolismo das abelhas e a importância da regulação térmica para a sobrevivência da colônia. Além disso, a temperatura desempenha um papel crítico no desenvolvimento adequado das larvas. As abelhas precisam manter sua temperatura corporal adequada para voar de forma eficiente. Em casos extremos de calor ou frio, há muito gasto de energia dentro e fora da colônia para manter a temperatura agradável, o que pode afetar a coleta de pólen (STABENTHEINER et al., 2010).

A umidade, a qual representou uma parcela significativa dos estudos, é um fator ambiental crítico, essencial para a regulação térmica e maturação do mel. Estudos afirmam que a umidade relativa da colônia deve se manter em torno de 60% para o bem-estar das abelhas e para a maturação do mel. Níveis adequados de umidade facilitam a regulação térmica dentro da colmeia, tendo em vista que as abelhas utilizam a mesma para auxiliar no processo de ventilação, evaporando a água quando necessário (EOUZAN et al., 2019). Quando a umidade dentro da colônia é baixa, as operárias coletam água para facilitar o resfriamento evaporativo, demonstrando mais uma vez sua relevância para o bem-estar da colônia. As abelhas forrageiras distribuem pequenas gotas de água dentro da colmeia e nas paredes das células contendo ovos

ou larvas para prevenir a secagem, o que resulta em uma diminuição da temperatura da colmeia (ABOU-SHAARA et al., 2017).

O peso e o ruído, também parâmetros relevantes, fornecendo informações sobre a saúde da colônia. Os ruídos são importantes tendo em vista que a frequência e intensidade desses sons podem indicar diferentes comportamentos, como forrageamento, alimentação, aquecimento da colmeia, e até mesmo estresse ou ameaças à colônia (SEELEY, 1992). Já o peso diz muito sobre a produtividade do mel e diminuição ou aumento da população dentro da colônia, podendo prever enxameação (MEIKLE; HOLST, 2014).

O tráfego de abelhas e o forrageamento, com menor foco, são essenciais para compreender a interação das abelhas com o ambiente. Por último, os estudos sobre pesticidas, apesar de terem sido menos numerosos neste estudo, ressaltam a importância da detecção de produtos químicos nocivos, uma das principais causas do declínio das populações de abelhas.

No que se trata da distribuição geográfica dos estudos, fica clara que a apicultura de precisão é relevante em diferentes climas e contextos apícolas, sublinhando a universalidade dos desafios enfrentados pelas abelhas e a necessidade de soluções adaptáveis a variados ambientes.

Em relação aos artigos por área tecnológica, destacam as várias frentes de pesquisa em apicultura de precisão. Nota-se que o "IoT e Monitoramento Remoto" lidera em número de publicações, sendo um indicativo da era digital em que vivemos, onde a Internet das Coisas (IoT) oferece possibilidades inexploradas para monitoramento e gestão em tempo real de apiários, potencializando o manejo e a saúde das colmeias (NGO et al., 2019).

7. CONCLUSÕES

Estudos publicados entre 2013 e 2023 mostram um aumento significativo na investigação apícola, refletindo uma maior consciência da importância das abelhas, além de acessibilidade às tecnologias específicas para medição e análise de dados em grande escala. É fundamental monitorar os parâmetros internos e externos da colônia de abelhas, com ênfase no comportamento das abelhas, que é crucial para a saúde e produtividade da colônia. Parâmetros como temperatura e umidade são cruciais para a sobrevivência e o bem-estar da colônia. A temperatura afeta diretamente o metabolismo das abelhas e é essencial para o desenvolvimento normal das larvas, enquanto a umidade é crítica para a regulação da temperatura e a maturação do mel.

Além disso, o peso e o ruído da colmeia fornecem informações valiosas sobre a saúde da colmeia, com o ruído indicando diferentes comportamentos e o peso refletindo a produtividade do mel e as mudanças populacionais. A apicultura de precisão é, portanto, relevante em diferentes climas e ambientes, destacando a natureza universal dos desafios enfrentados pelas abelhas.

A era digital é marcada pelo domínio de tecnologias como a Internet das Coisas e o monitoramento remoto, os quais lideraram em número de publicações encontrados pela pesquisa. Estas tecnologias oferecem possibilidades sem precedentes de monitorização e gestão de apiários em tempo real, melhorando a gestão e a saúde das colmeias. Além disso, “Machine Learning e Análise de Dados” também teve destaque, refletindo a importância do “big data” e da inteligência artificial na interpretação das grandes quantidades de dados coletados por sensores e câmeras.

Ao final deste trabalho, fica evidente a necessidade de mais estudos na área de apicultura de precisão e, principalmente, se estes avanços tecnológicos são acessíveis à pequenos produtores e economicamente viável. Espera-se que o atual trabalho sirva como auxílio para tantos outros estudos na área que é tão nova e importante.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ABOU-SHAARA, H. F. et al. A review of impacts of temperature and relative humidity on various activities of honey bees. **Insectes Sociaux**, v. 64, n. 4, p. 455–463, 6 jul. 2017.
- ABU, E. S. THE USE OF SMART APICULTURE MANAGEMENT SYSTEM: REVIEW PAPER. **Asian Journal of Advances in Research**, v. 3, n. 1, p. 379–389, 29 set. 2020.
- ALLERI, M. et al. Recent developments on precision beekeeping: A systematic literature review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 14, n. 100726, p. 12, 1 dez. 2023.
- BAHGAT, I. The role of bees in pollination and food security: A critical review. **Ukrainian Journal of Ecology**, v. 13, n. 6, 29 jun. 2023.
- BARRETO, L. M. R. C. **Apicultura De Precisão**. 1. ed. Taubaté, SP: UNITAU, 2015.
- BELLIN, A. et al. **Projeto E Desenvolvimento De Laboratório Móvel Para Monitoramento Ambiental Dos Níveis De Temperatura E Humidade Baseado Em Internet Das Coisas (Iot)**. CRICTE - 2017. Anais... In: XXVIII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA - CRICTE. 2017. Acesso em: 11 dez. 2023
- BERALDO, R. M.; BARBOZA, R. A. B. **Apicultura Orgânica**. São Paulo: SIRT/UNESP, maio 2011. Disponível em: <<http://respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTQzMg==>>. Acesso em: 3 jan. 2024.
- BJÖRK, B.-C.; SOLOMON, D. Open access versus subscription journals: a comparison of scientific impact. **BMC Medicine**, v. 10, n. 1, 17 jul. 2012.
- BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. Precision Agriculture and Sustainability. **Precision Agriculture**, v. 5, n. 4, p. 359–387, ago. 2004.
- BRODSCHNEIDER, R.; GRATZER, K. The FAO Guideline on Good Beekeeping Practices for Sustainable Apiculture. **Bee World**, v. 98, n. 4, p. 144–144, 2 out. 2021.
- CATANIA, P.; VALLONE, M. Application of A Precision Apiculture System to Monitor Honey Daily Production. **Sensors**, v. 20, n. 7, p. 2012, 3 abr. 2020.

CECCHI, S. et al. A Smart Sensor-Based Measurement System for Advanced Bee Hive Monitoring. **Sensors**, v. 20, n. 9, p. 2726, 10 maio 2020.

CHITTKA, L. Optimal Sets of Color Receptors and Color Opponent Systems for Coding of Natural Objects in Insect Vision. **Journal of Theoretical Biology**, v. 181, n. 2, p. 179–196, jul. 1996.

COOK, D. et al. Temperature Sensing and Honey Bee Colony Strength. **Journal of Economic Entomology**, v. 115, n. 3, p. 1–9, 6 maio 2022.

DA SILVA, L. F. **Apicultura E a Produção De Abelhas Rainhas**. Trabalho De Conclusão De Curso—Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul: [s.n.].

DANIELI, P. P. et al. Precision Beekeeping Systems: State of the Art, Pros and Cons, and Their Application as Tools for Advancing the Beekeeping Sector. **Animals**, v. 14, n. 1, p. 70–70, 24 dez. 2023.

DAŇKOVÁ, K.; NICHOLAS, S.; NORDSTRÖM, K. Temperature during pupal development affects hoverfly developmental time, adult life span, and wing length. **Ecology and Evolution**, v. 13, n. 10, p. e10516, 24 out. 2023.

DELAPLANE, K. S.; VAN DER STEEN, J.; GUZMAN-NOVOA, E. Standard methods for estimating strength parameters of *Apis mellifera* colonies. **Journal of Apicultural Research**, v. 52, n. 1, p. 1–12, 29 jan. 2013.

DIETZ, A.; HAYDAK, M. H. Caste determination in honey bees. I. The significance of moisture in larval food. **Journal of Experimental Zoology**, v. 177, n. 3, p. 353–357, jul. 1971.

DOMINGOS, A. T. DE S.; NÓBREGA, M. M. DA; SILVA, R. A. DA. Biologia Das Abelhas *Apis Mellifera*: Uma Revisão Bibliográfica. **ACTA Apicola Brasilica**, v. 4, n. 2, p. 08-12, 31 dez. 2016.

DORNHAUS, A.; CHITTKA, L. Why do honey bees dance? **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 55, n. 4, p. 395–401, 1 fev. 2004.

DRELLER, C.; KIRCHNER, W. H. Hearing in honeybees: localization of the auditory sense organ. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 173, n. 3, p. 275–279, set. 1993.

DSOUZA, A.; P, A.; HEGDE, S. **HiveLink, an IoT based Smart Bee Hive Monitoring System.** Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2309.12054>>. Acesso em: 5 jan. 2024.

E SILVA, A. DE L. **Monitoramento não invasivo de colmeias através da IOT.** Monografia—Universidade Federal do Ceará: [s.n.].

EDWARDS-MURPHY, F. et al. b+WSN: Smart Beehive with Preliminary Decision Tree Analysis for Agriculture and Honey Bee Health Monitoring. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 124, n. 2016, p. 211–219, jun. 2016.

EOUZAN, I. et al. Hygroregulation, a key ability for eusocial insects: Native Western European honeybees as a case study. **PLOS ONE**, v. 14, n. 2, p. e0200048, 8 fev. 2019.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **A Importância Das Abelhas Na Biodiversidade E Sua Contribuição Para a Segurança Alimentar E Nutricional.** Disponível em: <<https://www.fao.org/sao-tome-e-principe/noticias/detail-events/pt/c/1133316/>>. Acesso em: 4 jan. 2024.

FAVRE, D. Mobile phone-induced Honeybee Worker Piping. **Apidologie**, v. 42, n. 3, p. 270–279, 13 abr. 2011.

FERNANDES, A. M. et al. Insights of innovation and competitiveness in meat supply chains. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 22, n. 3, p. 413–427, 19 abr. 2019.

FERRARI, S. et al. Monitoring of Swarming Sounds in Bee Hives for Early Detection of the Swarming Period. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 64, n. 1, p. 72–77, nov. 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Why Bees Matter.** Disponível em: <<https://www.fao.org/documents/card/en/c/i9527en>>. Acesso em: 4 dez. 2023.

FRISCH, K. VON. **Bees: Their Vision, Chemical Senses, and Language.** [s.l.] Cornell University Press, 2014.

GIANNINI, T. C. et al. The Dependence of Crops for Pollinators and the Economic Value of Pollination in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 3, p. 849–857, 1 jun. 2015.

GOULSON, D. et al. Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. **Science**, v. 347, n. 6229, p. 1255957–1255957, 26 fev. 2015.

GRUPO ALTICE. **A Importância Das Abelhas E Apicultura No Antigo Egito**. Disponível em: <<https://egipto.blogs.sapo.pt/abelhas-e-apicultura-no-antigo-egito-2605>>. Acesso em: 11 dez. 2023.

HADJUR, H.; LEFÈVRE, L.; AMMAR, D. **Services Orchestration at the Edge and in the Cloud on Energy-Aware Precision Beekeeping Systems**. Disponível em: <<https://inria.hal.science/hal-04091575/>>. Acesso em: 8 jan. 2024.

HARBO, J. R. Effect of Population Size on Brood Production, Worker Survival and Honey Gain in Colonies of Honeybees. **Journal of Apicultural Research**, v. 25, n. 1, p. 22–29, jan. 1986.

HEINRICH, B.; ESCH, H. Thermoregulation in Bees. **American Scientist**, v. 82, n. 2, p. 164–170, 1994.

HENRY, E. et al. Precision apiculture: Development of a Wireless Sensor Network for Honeybee Hives. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 156, n. 2019, p. 138–144, jan. 2019.

HEPBURN, H. R.; KURSTJENS, S. P. The combs of honeybees as composite materials. **Apidologie**, v. 19, n. 1, p. 25–36, 1988.

HUMAN, H.; NICOLSON, S. W. Nutritional content of fresh, bee-collected and stored pollen of Aloe greatheadii var. davyana (Asphodelaceae). **Phytochemistry**, v. 67, n. 14, p. 1486–1492, jul. 2006.

HUMAN, H.; NICOLSON, S. W.; DIETEMANN, V. Do honeybees, *Apis Mellifera scutellata*, Regulate Humidity in Their nest? **Naturwissenschaften**, v. 93, n. 8, p. 397–401, 3 maio 2006.

JAMES, R.; PITTS-SINGER, T. L. **Bee Pollination in Agricultural Eco-systems**. Oxford, England: Oxford University Press, 2008.

JIMÉNEZ, E. C. P. **Influencia Nutricional En El Sistema De Defensa De *Apis Mellifera***. Dissertação—Centro de Investigación Científica de Yucatán: CICY, 2019.

- KAPHEIM, K. M. et al. Genomic Signatures of Evolutionary Transitions from Solitary to Group Living. **Science**, v. 348, n. 6239, p. 1139–1143, 14 maio 2015.
- KIRCHNER, W. H. Acoustical communication in honeybees. **Apidologie**, v. 24, n. 3, p. 297–307, 1993.
- KLEINHENZ, M. et al. Hot bees in empty broodnest cells: heating from within. **Journal of Experimental Biology**, v. 206, n. 23, p. 4217–4231, 1 dez. 2003.
- LARIVIÈRE, V.; HAUSTEIN, S.; MONGEON, P. The Oligopoly of Academic Publishers in the Digital Era. **PLOS ONE**, v. 10, n. 6, p. e0127502, 10 jun. 2015.
- LI, L. et al. Analysis of temperature characteristics for overwintering bee colonies based on long-term monitoring data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 198, n. 2019, p. 107104, 1 jul. 2022.
- LIANG, A. Effectiveness of Transfer Learning, Convolutional Neural Network and Standard Machine Learning in Computer Vision Assisted Bee Health Assessment. **International Communication Engineering and Cloud Computing Conference (CECCC)**, 28 out. 2022.
- LINHARES, M. V. D.; QUINTELLA, C. M. Apropriação Intelectual Da Tecnologia (Software E Hardware) Do Controle De Qualidade Da Cadeia Industrial De Mel. **Revista Gestão Inovação E Tecnologias**, v. 8, n. 1, p. 4259–4270, 8 mar. 2018.
- LOFARO, D. **The Honey Bee Initiative -Smart Hive**. IEEE. Anais... In: 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON UBIQUITOUS ROBOTS AND AMBIENT INTELLIGENCE. 2017. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7992772>>. Acesso em: 4 jan. 2024
- MACHADO, J. et al. Vista Do Agricultura De Precisão: Programas Tecnológicos No Brasil. **Geama**, v. 4, n. 2, p. 023–030, abr. 2018.
- MALESZKA, R. Beyond Royalactin and a Master Inducer Explanation of Phenotypic Plasticity in Honey Bees. **Communications Biology**, v. 1, n. 1, 22 jan. 2018.
- MARTINEZ, O. A.; SOARES, A. E. E. Melhoramento Genético Na Apicultura Comercial Para Produção Da Própolis. **Revista Brasileira De Saúde E Produção Animal**, v. 13, n. 4, p. 982–990, dez. 2012.

MARTINHO, C. et al. APICULTURA: REVISÃO DE LITERATURA. **Revista Lusófona De Ciência E Medicina Veterinária**, v. 12, n. 1, p. 1–17, 3 ago. 2022.

MCBRATNEY, A. et al. Future Directions of Precision Agriculture. **Precision Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 7–23, fev. 2005.

MEIKLE, W. G.; HOLST, N. Application of Continuous Monitoring of Honeybee Colonies. **Apidologie**, v. 46, n. 1, p. 10–22, 27 jun. 2014.

MICHELSEN, A. Signals and flexibility in the dance communication of honeybees. **Journal of Comparative Physiology**, v. 189, n. 3, p. 165–174, mar. 2003.

MOHAN, S.; SANTHANAM, R.; WAN ISMAIL, W. I. CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN BEEKEEPING AND HONEY PRODUCTION DURING COVID-19 PANDEMIC – A SHORT REVIEW. **JOURNAL OF SUSTAINABILITY SCIENCE AND MANAGEMENT**, v. 18, n. 5, p. 215–224, 31 maio 2023.

MONGEON, P.; PAUL-HUS, A. The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. **Scientometrics**, v. 106, n. 1, p. 213–228, 19 out. 2016.

NAIR, P. QnAs with May R. Berenbaum. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 31, p. 12583–12583, 20 jun. 2011.

NGO, T. N. et al. A real-time Imaging System for Multiple Honey Bee Tracking and Activity Monitoring. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 163, n. 104841, ago. 2019.

NIEH, J. C. Recruitment Communication in Stingless Bees (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). **Apidologie**, v. 35, n. 2, p. 159–182, mar. 2004.

OLIVEIRA, M. L. DE; CUNHA, J. A. Abelhas africanizadas *Apis mellifera scutellata* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera: Apidae: Apinae) exploram recursos na floresta amazônica? **Acta Amazonica**, v. 35, n. 3, p. 389–394, set. 2005.

OLLERTON, J.; WINFREE, R.; TARRANT, S. How Many Flowering Plants Are Pollinated by animals? **Oikos**, v. 120, n. 3, p. 321–326, 21 fev. 2011.

OSTAP-CHEC, M. et al. Red mason bee (*Osmia bicornis*) thermal preferences for nest sites and their effects on offspring survival. **Apidologie**, v. 52, n. 3, p. 707–719, 26 abr. 2021.

- OWEN, R. **The Australian Beekeeping Manual**. 2. ed. [s.l.] Exisle Publishing, 2020.
- PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews. **British Medical Journal**, v. 372, n. 71, 29 mar. 2021.
- PAULA, M. F. DE et al. Análise da competitividade das exportações brasileiras de mel natural, segundo o modelo constant market share e o índice de vantagem comparativa revelada. **Revista Ceres**, v. 63, n. 5, p. 614–620, out. 2016.
- PEREIRA, F. DE M. et al. **Sistema De Produção De mel**. Distrito Federal: EMBRAPA, 2023. p. 78
- PETTIS, J. S. The role of honey bees in worldwide food security. **2016 International Congress of Entomology**, 1 jan. 2016.
- PHILLIPS, C. Following beekeeping: More-than-human Practice in Agrifood. **Journal of Rural Studies**, v. 36, n. 2014, p. 149–159, out. 2014.
- PHILLIPS, T. **Beginning Beekeeping : Everything You Need to Make Your Hive thrive!** 1. ed. Indianapolis, In: Dk Publishing, 2017.
- PIRES, C. S. S. et al. Enfraquecimento E Perda De Colônias De Abelhas No Brasil: Há Casos De CCD? **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 5, p. 422–442, maio 2016.
- POTTS, S. G. et al. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. **Nature**, v. 540, n. 7632, p. 220–229, 28 nov. 2016.
- QCRI (QATAR COMPUTING RESEARCH INSTITUTE). **Rayyan – Intelligent Systematic Review**. Disponível em: <<https://www.rayyan.ai>>. Acesso em: nov. 2023.
- RAFAEL BRAGA, A. et al. BeeNotified! a Notification System of Physical Quantities for Beehives Remote Monitoring. **Revista De Informática Teórica E Aplicada**, v. 27, n. 3, p. 50–61, 18 jun. 2020.
- RAMOS, J. M.; CARVALHO, N. C. Estudo morfológico e biológico das fases de desenvolvimento de *Apis Mellifera*. **Revista Científica eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 6, n. 10, p. 1–21, 10 ago. 2007.

REÁTEGUI, J. A. M. **The introduction of the Africanised honey bee: A stinging menace or a blessing of the Americas?** Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, 2020. Disponível em: <https://stud.epsilon.slu.se/15457/1/moreno_reategui_j_a_200331.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2024.

RHOADES, P. **The Importance of Bees in Natural and Agricultural Ecosystems.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/rm/pubs/rmrs_p069/rmrs_p069_077_079.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2024.

RIBEIRO, C. A.; OLIVEIRA, I. N. S.; GOMES, D. G. **Uma Análise Bibliométrica Da Produção Científica Em Apicultura De Precisão.** Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/ercemapi/article/view/21970/21793>>. Acesso em: 4 jul. 2023.

RILEY, J. R. et al. The flight paths of honeybees recruited by the waggle dance. **Nature**, v. 435, n. 7039, p. 205–207, maio 2005.

ROUBIK, D. W. **Pollination of Cultivated Plants : a Compendium for Practitioners.** 2. ed. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. v. 1

SEBRAE. **Conheça O Histórico Da Apicultura No Brasil.** Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/conheca-o-historico-da-apicultura-no-brasil,c078fa2da4c72410VgnVCM100000b272010aRCRD>>. Acesso em: 11 dez. 2023.

SEELEY, T. D. Adaptive significance of the age polyethism schedule in honeybee colonies. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 11, n. 4, p. 287–293, dez. 1982.

SEELEY, T. D. **Honeybee Ecology A Study of Adaptation in Social Life.** [s.l.] Princeton University Press, 1985.

SEELEY, T. D. The tremble dance of the honey bee: message and meanings. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 31, n. 6, dez. 1992.

SEELEY, T. D. **The Wisdom of the Hive: The Social Physiology of Honey Bee Colonies.** Cambridge: Harvard University Press, 2009. p. 314

SLATER, G. P.; YOCUM, G. D.; BOWSHER, J. H. Diet quantity influences caste determination in honeybees (*Apis mellifera*). **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 287, n. 1927, p. 10, 27 maio 2020.

- SOKOLOWSKI, M. B. Honey bee colony aggression and indirect genetic effects. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 31, p. 18148–18150, 20 jul. 2020.
- SOUTHWICK, E. E.; HELDMAIER, G. Temperature Control in Honey Bee Colonies. **BioScience**, v. 37, n. 6, p. 395–399, jun. 1987.
- SOUZA, D. A. et al. Differences in the morphology, physiology and gene expression of honey bee queens and workers reared in vitro versus in situ. **Biology Open**, v. 7, n. 11, p. bio036616, 19 out. 2018.
- STABENTHEINER, A.; KOVAC, H.; BRODSCHNEIDER, R. Honeybee Colony Thermoregulation – Regulatory Mechanisms and Contribution of Individuals in Dependence on Age, Location and Thermal Stress. **PLoS ONE**, v. 5, n. 1, 29 jan. 2010.
- TASHAKKORI, R.; HAMZA, A. S.; CRAWFORD, M. B. Beemon: An IoT-based beehive monitoring system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 190, n. 2021, p. 106427, nov. 2021.
- TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, set. 2003.
- TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à Agricultura De Precisão: Conceitos E Vantagens. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 159–163, fev. 2002.
- TU, G. J. et al. Automatic Behaviour Analysis System for Honeybees Using Computer Vision. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 122, n. 2016, p. 10–18, mar. 2016.
- VAN NOORDEN, R. **Global scientific output doubles every nine years.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.as.utexas.edu/astronomy/education/spring13/wheeler/secure/scientific_output_9.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2024.
- VISSCHER, P. K. The honey bee way of death: Necrophoric behaviour in *Apis mellifera* colonies. **Animal Behaviour**, v. 31, n. 4, p. 1070–1076, nov. 1983.
- VREELAND, R. H.; SAMMATARO, D. **Beekeeping – from Science to Practice.** [s.l.] Cham Springer International Publishing, 2017.

WITTER, S. et al. **As Abelhas E a Agricultura.** [s.l.] EDIPUCRS, 2014. Disponível em: <<https://editora.pucrs.br/edipucrs/acessolivre/Ebooks//Pdf/978-85-397-0658-7.pdf>>.

YAMAMOTO, M.; BARBOSA, A. A. A.; OLIVEIRA, P. E. A. M. DE. A Polinização Em Cultivos Agrícolas E a Conservação Das Áreas naturais: O Caso Do maracujá-amarelo (*Passiflora Edulis F. Flavicarpa DENEGER*). **Oecologia Australis**, v. 14, n. 1, p. 174–192, 2010.

ZACEPINS, A. et al. Challenges in the Development of Precision Beekeeping. **Biosystems Engineering**, v. 130, n. 2015, p. 60–71, 2014.

ZACEPINS, A. et al. **Beekeeping in the Future - Smart Apiary Management.** 17th International Carpathian Control Conference (ICCC). **Anais...**2016. Acesso em: 11 dez. 2023

ZACEPINS, A. et al. **Development of Internet of Things Concept for Precision Beekeeping.** 18th International Carpathian Control Conference (ICCC). **Anais...**maio 2017. Acesso em: 11 dez. 2023

ZACEPINS, A.; KARASHA, T. **Application of Temperature Measurements for Bee Colony Monitoring: a Review.** Engineering for Rural Development. **Anais...** In: PROCEEDINGS OF THE 12TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE. 23 maio 2013. Acesso em: 11 dez. 2023

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, n. 1, p. 6–10, 2013.

ZACEPINS, A.; STALIDZANS, E.; MEITALOVS, J. **Application of Information Technologies in Precision Apiculture.** Indianapolis, USA: Proceedings of the 13th International Conference on Precision Agriculture, jun. 2012. Acesso em: 11 dez. 2023.

ZHANG, C.; KOVACS, J. M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 693–712, 31 jul. 2012.