

Application of Fuzzy Control in Embedded Sensing Systems for Beekeeping Monitoring

1st Marcelly Homem Coelho

Laboratório de Tecnologias Computacionais - LabTeC
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Araranguá, Brasil
marcellyhc@gmail.com

2nd Vinicius Pereira Ferri

LabTeC/UFSC
Araranguá, Brasil
viniciusferri@gmail.com

3rd Edilene Valeriano

PPGTIC - LabTeC/UFSC
Araranguá, Brasil
edilenevaleriano@gmail.com

4rd Luciana Bolan Frigo

LabTeC/UFSC
Araranguá, Brasil
luciana.frigo@ufsc.br

5rd Eliane Pozzebon

PPGTIC - LabTeC/UFSC
Araranguá, Brasil
eliane.pozzebon@ufsc.br

Abstract—In the activity of beekeeping, there are routine reviews, production management, in some eventuality it is necessary for the beekeeper to intervene. For this intervention, the hives must be opened. The opening for inspection should be done only when necessary and in order to interfere as little as possible in the activity of the colonies. Due to the fact that the openings cause wear to the swarm, since, during the revisions, usually occurs honey consumption, bee mortality and exposure of the pictures to the environment. The objective of the article is to analyze the temperature and internal humidity, smoke index and the meteorological conditions associated with the apiary. Based on this objective, the following questions arise: How to monitor the hive? And how to generate knowledge with the data collected? In order to answer the questions an embedded system was developed consisting of internal and external sensing modules for the hives. While the question of generating knowledge with the collected data was developed a computational model used the software MATLAB. From the obtained results, it can be concluded that the Fuzzy Logic is applicable in the treatment of data with multiple values and that the developed system helps the beekeepers to extract several information without the need to influence the work of the colonies.

Keywords—beekeeping monitoring, artificial intelligence, embedded system, fuzzy logic

I. INTRODUÇÃO

O Brasil possui grande potencial melífero, com estimativas para produzir anualmente toneladas de mel de ótima qualidade, geleia real, pólen, própolis, cera e apitoxina [5]. Atualmente, o país é o sexto maior produtor de mel do mundo. Entretanto, ainda existe um grande potencial apícola não explorado e grande possibilidade de se maximizar a produção [1].

A atividade apícola preenche todas as necessidades sustentáveis, é capaz de causar impactos positivos no âmbito social, econômico e ambiental. No aspecto econômico e social, destaca-se como uma alternativa de geração de faturamento, uma vez que a produtividade proporciona postos de trabalho durante todo o ano, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida no campo [1] [8]. Quanto ao aspecto ecológico, a

apicultura contribui para a manutenção e preservação da natureza, pois as abelhas polinizam as flores e, assim, permitem a multiplicação das espécies vegetais [7].

Para os cultivos apícolas apresentarem uma boa produtividade é necessário realizar intervenções nas colmeias. Essas intervenções tem como propósito avaliar as condições gerais dos apiários. De acordo com [4], a abertura para inspeção deve ser feita somente quando necessário de forma a perturbar o mínimo possível o trabalho das colônias, uma vez que, durante as revisões, geralmente ocorre o consumo exagerado de mel, mortalidade de abelhas na tentativa de defender a colônia e mortalidade de crias em razão da exposição dos quadros ao meio ambiente.

De acordo com [5], para consolidar o segmento com maior produtividade e qualidade técnica, é necessário: adotar tecnologias para melhorar a produtividade; baixar o custo de produção; e promover a melhoria técnica de produtos. Diante desse contexto, as novas tecnologias vêm desempenhando um papel de grande importância para a sociedade, surgindo possibilidades da aplicabilidade em diversas áreas. A inteligência artificial (IA) pode contribuir de maneira significativa no desenvolvimento de ferramentas que viabilizam e agilizam as atividades apícolas.

Neste trabalho são apresentados os subsídios para a implementação de um sistema embarcado baseado em Lógica Fuzzy para o monitoramento da apicultura e as metodologias desenvolvidas para a obtenção e análise dos dados obtidos, por meio do comportamento ambiental e condições climáticas, como elementos principais para a tomada de decisão.

O sistema desenvolvido é constituído de módulos de sensoriamento internos e externos, responsáveis pelos dados no interior da colmeia e dados da estação meteorológica, respectivamente. Esses valores referentes ao monitoramento e segurança do apiário são enviados em tempo real para uma aplicação web, com o propósito de transmitir informações aos apicultores.

As demais seções deste artigo estão estruturadas da seguinte

forma: na Seção 2 é realizada uma revisão da literatura sobre sistemas computacionais aplicados na apicultura; na Seção 3 são apresentados alguns conceitos sobre Lógica Fuzzy e a utilização dessa técnica de IA no estudo de dados apícolas; a Seção 4 apresenta o sistema de sensoriamento embarcado desenvolvido; a Seção 5 relata os resultados dos experimentos; e a última Seção, 6, descreve as considerações finais.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Foram encontradas algumas pesquisas científicas que descrevem o desenvolvimento de aplicações para o monitoramento apícola. Dentre os trabalhos, pode-se citar [10], em que é proposto um sistema wireless para alerta de possíveis doenças nas colônias. O sistema possui sensores para captação de ruídos das abelhas. De acordo com os autores, conhecer a frequência do ruído dentro das colmeias é fundamental para a análise da saúde das abelhas. Para isso, foram empregados diversos tipos de sensores e filtros. Resultando na determinação dos melhores dispositivos para detecção de pragas nas colônias.

A proposta [6] é desenvolver um sistema para calefação - sistema de aquecimento destinado a ambientes fechados- para ninhos de abelhas. O trabalho monitora parâmetros físicos, como a temperatura e a umidade de caixas de abelhas. O sistema de aquecimento automático foi feito com o uso de uma resistência elétrica acoplada a uma placa cerâmica. A placa cerâmica serviu como dissipadora de calor para a área interna da caixa. O objetivo do trabalho é obter uma maior possibilidade de desenvolvimento dos ninhos e consequentemente aumento da multiplicação da espécie.

A pesquisa [4] descreve o projeto Beehiveor, ferramenta computacional cujo objetivo é auxiliar as atividades cotidianas presentes no manejo de cultivos apícolas. O sistema possui uma central, responsável pela coleta e envio de dados das colmeias, e um aplicativo, com a função de exibir os dados coletados. A ferramenta monitora as variáveis: temperatura, umidade, ruído, sensor de presença e quantidade de abelhas. O autor relata que o sistema não é capaz de gerar análises automáticas sobre os dados coletados, ficando assim a cargo dos apicultores realizar inferências.

Além destes trabalhos descritos acima, existem muitas outras pesquisas abordando o uso de sistemas computacionais para o monitoramento e controle de produções apícolas. De forma oposta, existe uma lacuna considerável de aplicações que são capazes de gerar análises automáticas com os dados coletados dos apiários. Emerge desse motivo o objetivo do presente artigo: desenvolver um sistema, baseado em IA, capaz de classificar a condição geral da colmeia para auxiliar o apicultor na tomada de decisão sobre a necessidade de intervenção.

III. CONCEITOS DE CONJUNTOS FUZZY

A necessidade de resolver problemas cada vez mais complexos tem estimulado o avanço no desenvolvimento de técnicas computacionais, impulsionando o avanço da Inteligência Artificial. A teoria de possibilidade proposta por Zadeh é capaz

de incorporar ao sistema a habilidade para lidar com situações que apresentam imprecisões e incertezas [12].

Na teoria clássica temos a possibilidade de utilizar apenas dois valores: verdadeiro ou falso. Entretanto, examinando que os seres humanos lidam com informações aproximadas, adotou-se uma nova estratégia, a Lógica Fuzzy, que permite expandir a teoria dos conceitos clássicos para uma maior aproximação da forma humana de processar informações [13].

Os fundamentos da teoria de Lógica Fuzzy têm origem nos conjuntos nebulosos [12], publicados no Journal of Information and Control. O termo Fuzzy significa nebuloso e se refere ao fato de, em muitos casos, não se conhecer completamente os sistemas que se analisa. A modelagem e o controle Fuzzy são estratégias para manipular dados qualitativos de maneira precisa. Assim, esta teoria abrange uma ampla caracterização, fornecendo ferramentas matemáticas para proceder com informações como expressões verbais abstratas (baixo, alto, muito, pouco), definidas como variáveis linguísticas, cujos valores são nomes de conjuntos Fuzzy.

A. Estrutura Básica de um Sistema Fuzzy

Os autores [2] [3] enfatizam os componentes básicos de um controlador Fuzzy, conforme a Fig. 1, com destaque para:

- Interface de fuzzyficação: etapa na qual as variáveis linguísticas são definidas de forma subjetiva. Engloba a análise do problema, definições das variáveis de entrada do sistema, criação das regiões de intersecção.
- Procedimento de inferência: etapa na qual as proposições/regras são definidas e examinadas. Engloba a definição das proposições; análise das regras e criação da região resultante.
- Interface de defuzzyficação: etapa na qual as regiões resultantes são convertidas em valores numéricos para a variável de saída do sistema. Esta etapa corresponde a ligação funcional entre as regiões Fuzzy e o valor esperado de saída.

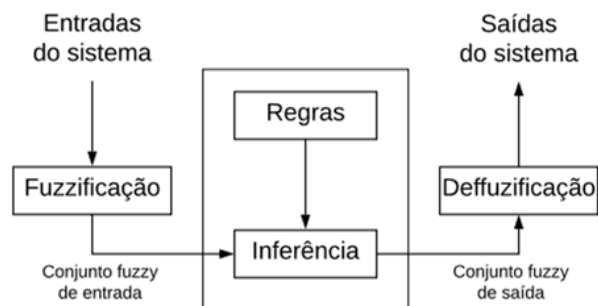


Figura 1. Diagrama das etapas de um sistema Fuzzy.

B. Sistema de Controle Fuzzy para o Monitoramento Apícola

Para o monitoramento do apiário por meio de um sistema embarcado de controle Fuzzy, analisou-se a composição das variáveis da aplicação. Na sequência, entradas e saídas foram modeladas no software MATLAB.

As entradas que necessitam de tratamento Fuzzy são: temperatura/umidade interna e índice de fumaça, estas completavam os sensores implantados dentro da colmeia. Enquanto as entradas Fuzzy: índice pluviométrico e velocidade do vento foram fornecidas por uma estação meteorológica instalada próximo à colmeia. As demais entradas - sensor de detecção de predadores, sensor de chama - foram programados para exibir os dados periodicamente, sem a necessidade de passar pela análise Fuzzy. Enquanto as saídas foram notificações e alertas específicos.

O sistema é controlado pelo Método de Inferência de Mamdani, o qual propõe uma relação Fuzzy binária para modelar matematicamente a base de regras. Esse método tem como base a regra de composição de inferência de máximos e mínimos.

Na Fig. 2 podemos observar a relação entre as entradas, o método de inferência e a saída do sistema.

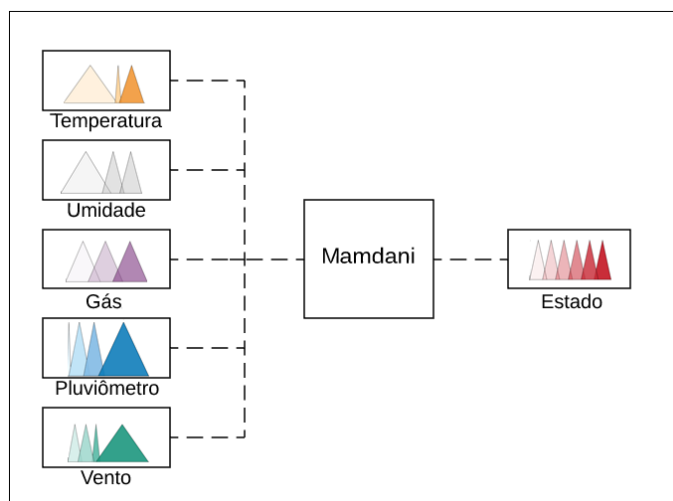


Figura 2. Esquema do sistema de controle Fuzzy para o monitoramento apícola.

Primeiramente, deve-se coletar os dados iniciais e realizar a etapa de fuzzificação, em que os dados são transformados em variáveis linguísticas dos conjuntos.

Sobre o conjunto “temperatura”, foram inferidos valores entre [0 e 50] °C. Assim, três faixas de valores foram estabelecidas e denominadas “baixa”, “ideal” e “alta”. O sensor escolhido para medir a temperatura foi o DHT22 pois possui precisão de 0.5 °C (aceitável para a aplicação apícola). De acordo com a literatura [9], a temperatura interna ideal para a espécie de abelha que é explorada na apicultura, a *Apis mellifera* ou africanizada, como é conhecida, varia de 34°C a 36°C. Temperaturas abaixo de 34°C são consideradas frias

e acima de 36°C, extremamente quentes. A Fig. 3, mostra a disposição dos intervalos de valores.

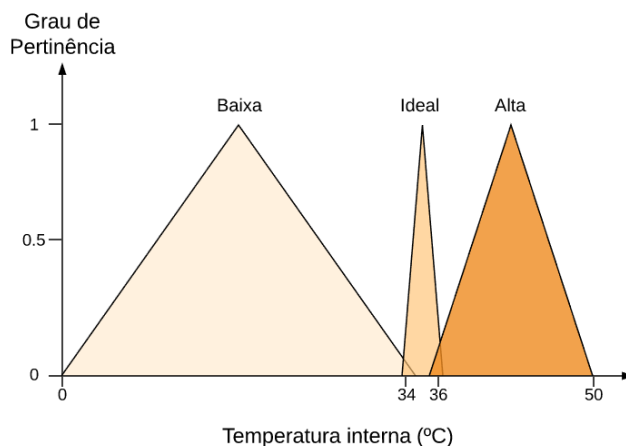


Figura 3. Modelagem da entrada do sistema: temperatura interna da colmeia.

A umidade relativa do ar, no interior do apiário, é um fator crítico para a boa qualidade das condições físicas-ambientais necessárias para um desenvolvimento saudável das colônias. Os valores do conjunto “umidade”, mapeados a partir do sensor DHT22, têm sua cobertura entre [0, 100] %. Após a análise dos dados, determinou-se qual a faixa de umidade ideal para a criação de novos indivíduos e manutenção das colônias das espécies de abelhas utilizadas. Além disto, foram estipulados os demais intervalos. Conforme a Fig. 4.

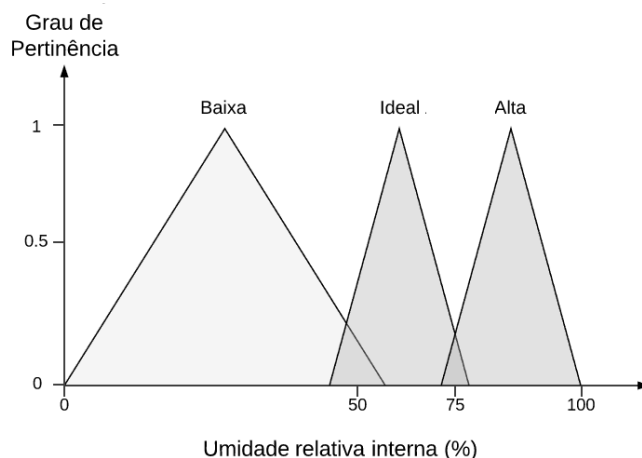


Figura 4. Modelagem da entrada do sistema: umidade interna da colmeia.

O fumigador é um equipamento indispensável no trabalho com as abelhas. É usado para produzir fumaça, que é de grande importância para a segurança do apicultor durante o manejo das colmeias [11]. Porém, se usado em grande quantidade pode causar a morte das abelhas. Após a análise de vários dados obtidos estipulou-se a faixa de fumaça que é ideal para a manutenção dos apiários. Assim, três faixas de valores

foram estabelecidas e denominadas “normal”, “mediana” e “elevada”. Conforme a Fig. 5.

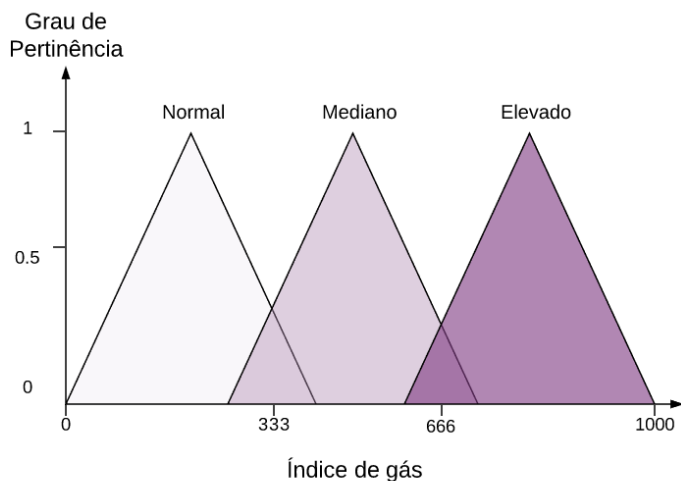


Figura 5. Modelagem da entrada do sistema: índice de fumaça na colmeia.

Os valores do conjunto “índice pluviométrico”, mapeados a partir de um sensor de chuva, têm cobertura entre [0, 100] mm/h. Dentro disto, foram estipuladas quatro faixas de valores, designadas como “fraco”, “moderado”, “forte” e “muito forte”. Essas faixas foram determinadas de acordo com aplicativos meteorológicos. Fig. 6.

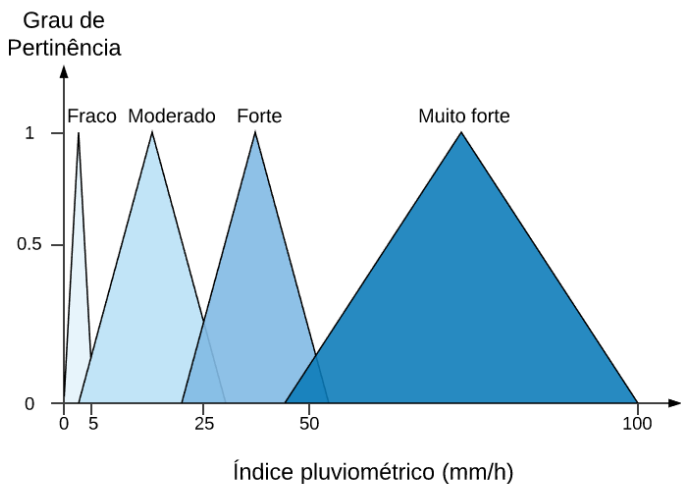


Figura 6. Modelagem da entrada do sistema: índice pluviométrico.

Para medição da velocidade do vento foi utilizado um anemômetro. Os valores do conjunto foram [0, 120] Km/h. As regiões de grandes ventanias exigem um esforço maior das colônias e isso acaba por diminuir a produção melífera. De acordo com [8], ventos fortes e tempestades periódicas dificultam a aproximação das abelhas as colmeias, impedindo-as de manter suas linhas de voo e prejudicam a produtividade

do apiário. Mediante o estudo da interferência da velocidade do vento nos apiários foram estipulados intervalos. Fig. 7.

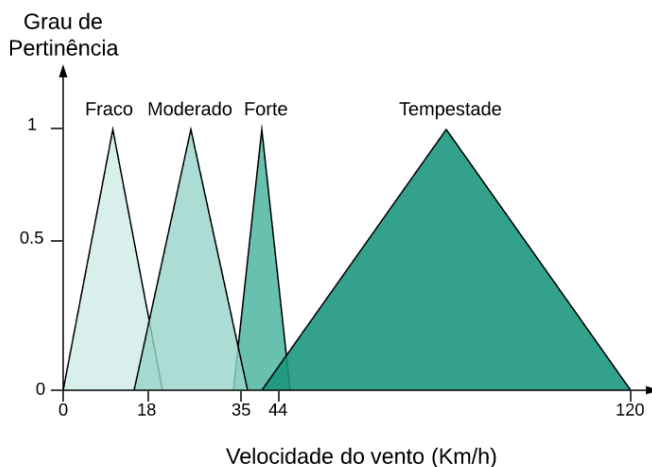


Figura 7. Modelagem da entrada do sistema: velocidade do vento.

Ao finalizar a fase de fuzzificação, seguiu-se para a inferência, passo que determina como as regras são combinadas. Portanto, foram implementadas regras de inferência composicional para gerar graus de inferência e resultar nos valores de saída. A modelagem Fuzzy foi criada observando as características obtidas nas simulações reais no protótipo desenvolvido.

A fase de defuzzificação recebe o conjunto Fuzzy, analisado na fase de inferência, e fornece uma saída precisa. Para assegurar esta precisão, utilizou-se o método de defuzzificação “média dos máximos”, realizando a média entre os dois elementos extremos no universo, ou seja, os maiores valores da função de pertinência.

Para melhor visualização, a Fig. 8 ilustra a disposição das seis faixas estipuladas para saída “mensagem”, com valores entre [0, 36]. Estes intervalos foram utilizados para representar as possíveis condições e alertas específicos do apiário.

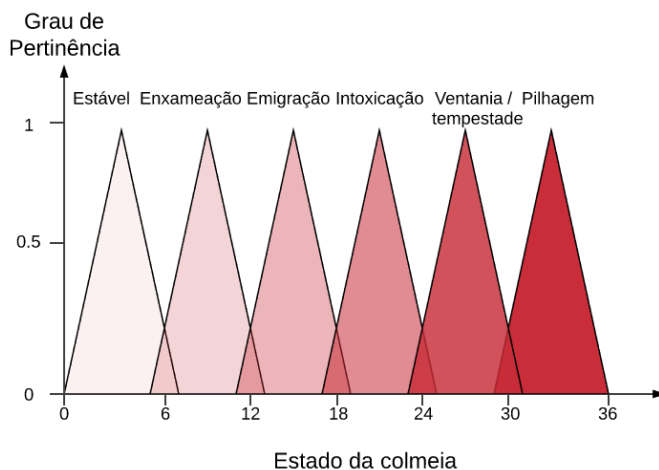


Figura 8. Modelagem da saída do sistema: mensagem/alerta específico.

A saída do sistema tem como objetivo informar uma estimativa das condições gerais do apiário, avaliar a ocorrência de anormalidades e evitar revisões desnecessárias. De acordo com [4] [11] as revisões nas colmeias devem ser feitas somente quando necessário e de forma a interferir o mínimo possível na atividade das abelhas, evitando causar desgaste ao enxame, uma vez que, durante as revisões, geralmente ocorre um consumo exagerado de mel, mortandade de abelhas na tentativa de defender a colônia, mortandade de crias em razão da exposição dos quadros ao meio ambiente e interrupção da postura da rainha. Abaixo são listadas situações que podem ocorrer na apicultura:

- Estável: situação que oferece condições ideais para o trabalho das abelhas e do apicultor.
- Enxameação: é a saída de um colônia de abelhas levando um suprimento de mel para a construção dos favos e para a sua alimentação. Causa prejuízos porque descontrola a produção e, por esse motivo, deve ser evitada. As principais causas da enxameação são: superpopulação; falta de espaço para postura ou para armazenar o mel e pólen; instinto de reprodução; falta de ventilação; temperatura elevada; muita umidade dentro da colmeia.
- Enxames fugidios: fenômeno indesejável, também conhecidos como emigração, que provoca o abandono das famílias, deixando as colmeias totalmente vazias. Os principais motivos de abandono são: uso excessivo de fumaça; excesso de calor na colmeia e período de secas.
- Intoxicação: as abelhas, enquanto insetos, são grandemente afetadas pela presença de fumaça e pesticidas. Esses elementos provocam a contaminação e consequentemente a morte de abelhas em campo, tornam as colônias mais susceptíveis às doenças. Em casos extremos, pode ocorrer a contaminação do mel e a perda do apiário.
- Ventania: em casos de ventos fortes as entradas das colmeias devem ser direcionadas para o lado contrário ao dos ventos prevaletentes na região, mesmo que sejam fracos. O apicultor também deve reduzir a entrada da colmeia para barrar a entrada de ventos.
- Período chuvoso: A falta de alimentos é o maior problema do período chuvoso. Isso pode fazer com que as abelhas abandonem a colmeia, esta irá demorar um bom tempo para se recompor. Algumas práticas de manejo podem reduzir as perdas do apicultor por conta do excesso pluviométrico. Uma saída, é fornecer uma alimentação reforçada com fontes proteicas e energéticas.
- Pilhagem: Consiste no roubo de mel das colmeias por abelhas de colônias vizinhas. Em geral, enxames fracos são atacados por enxames fortes. A pilhagem é um acontecimento indesejável porque aumenta a mortandade das abelhas, podendo causar até abandono dos enxames que estão sendo atacados. Para evitar o saque nas colônias o principal parâmetro que deve ser observado é a variação de temperatura interna da colmeia.

IV. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA EMBARCADO

Para construção do protótipo, conforme a Fig. 9, foram utilizados componentes eletrônicos e ferramentas computacionais, como hardware, software e linguagens de programação. Inicialmente, modelou-se o sistema Fuzzy em MATLAB. Na sequência, implementou-se na linguagem C++ e, posteriormente, embarcou-se na plataforma de desenvolvimento Arduino.



Figura 9. Protótipo da Caixa Langstroth automatizada.

Ao longo do desenvolvimento do sistema embarcado, foram utilizados módulos de sensoriamento interno e externo a Caixa Langstroth. Internamente, o protótipo possui sensores acoplados em um dos quadros. São eles: sensor de umidade e temperatura DHT22 e um sensor de fumaça. Externamente, possui um sensor ultrassônico, cujo objetivo é reconhecer a presença de predadores, sensor de fogo, encarregado de detectar precocemente a presença de incêndios em áreas de cultivos, sensor de chuva e um anemômetro para obter as informações climáticas referentes ao local de instalação da colmeia.

O sistema capta as leituras dos sensores e a partir disso processa as informações por meio da técnica Fuzzy. Esta tarefa é realizada por meio de um conjunto de regras preestabelecidas na programação, regras de inferência, a qual foi implementada usando o ambiente de desenvolvimento integrado do Arduino.

O protótipo contava com meios de divulgação das informações. Primeiramente, adicionou-se na caixa um módulo display LCD. Posteriormente, foi desenvolvida uma aplicação web com o objetivo de disponibilizar periodicamente notificações e alertas específicos sobre o apiário, dando suporte a tomada de decisão por parte dos apicultores.

A metodologia e os processos, envolvidos no desenvolvimento do projeto, são ilustrados na Fig. 10.

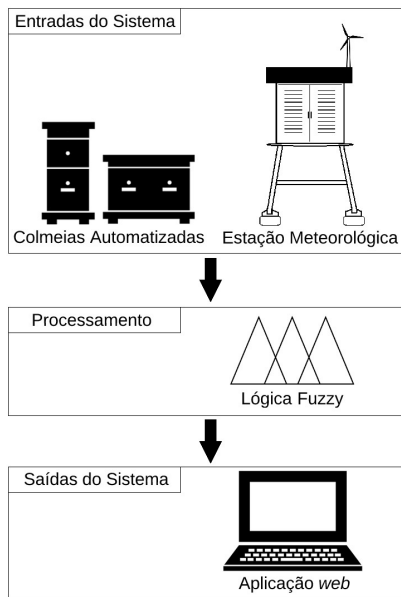


Figura 10. Processos do projeto desenvolvido.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização dos testes, com destaque, 6 situações foram criadas para cada uma das possíveis saídas do sistema. Totalizando 36 simulações no protótipo de colmeia automatizada, as quais podem acontecer no cotidiano dos apicultores.

A primeira situação teve como entrada do sensor DHT22, responsável por informar a temperatura e umidade, 36°C e 60%, respectivamente. Para as entradas climáticas, índice pluviométrico e velocidade do vento, foram simulados os valores de 6 mm/h e 10 Km/h. A leitura do sensor de gás foi nula. Com essas entradas passando por todos os processos Fuzzy, a saída esperada para o sistema era o estado “Estável”, visto que o apiário apresentava condições ideais. A resposta desta simulação resultou conforme o esperado. Fig. 11.

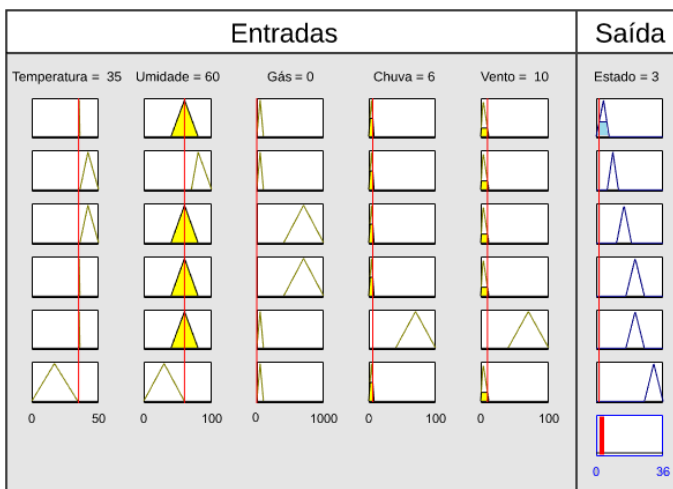


Figura 11. Simulação do sistema no software MATLAB: estado estável

A resposta da simulação coincidiu com a do sistema embarcado, a qual, foi disponibilizada em uma aplicação web. Fig. 12.



Figura 12. Aplicação web: estado estável

A segunda situação simulada foi um caso de enxameação, fenômeno natural que provoca a saída de uma colônia de abelhas. Considerando que suas principais causas são o superaquecimento e a alta umidade dentro da colmeia configurou-se a temperatura interna de 40.5°C e a umidade da colmeia de 79%. As demais configurações são demonstradas na Fig. 8. A saída do sistema Fuzzy foi o estado “Enxameação”, o que comprova que este sistema de controle resultou o esperado, visto que o apiário estava com a temperatura e a umidade extremamente altas. A resposta da simulação resultou conforme o esperado. Fig. 13.

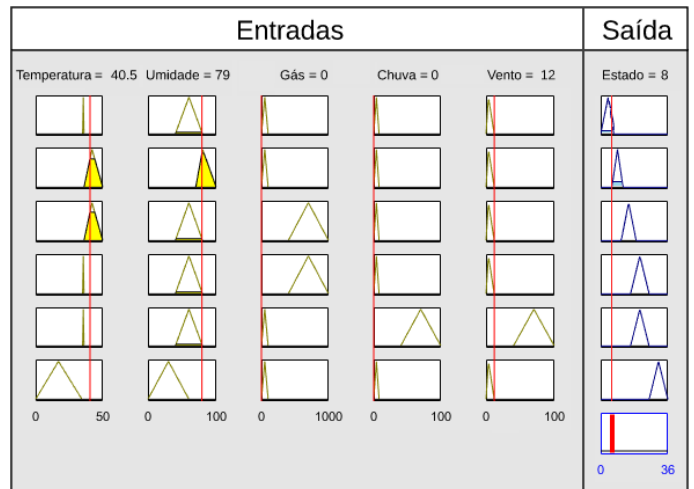


Figura 13. Simulação do sistema no software MATLAB: estado de enxameação.

Na sequência, a situação foi um caso de enxames fugidios. As principais causas da emigração de uma colônia são o uso excessivo de fumaça, temperaturas elevadas e períodos de estiagem causando insuficiência de precipitação pluviométrica necessária para o cultivo apícola. Os valores das variáveis de entrada foram configurados respeitando essas causas. A resposta da simulação é demonstrada na Fig. 14.

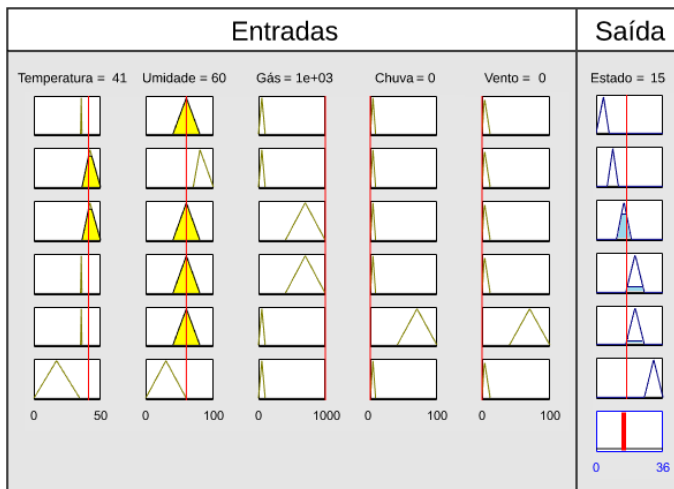


Figura 14. Simulação do sistema no software MATLAB: estado de emigração.

A quarta situação foi um caso de extrema intoxicação. O principal fator é a grande quantidade de inseticidas usados para proteger culturas agrícolas, que muitas vezes, estão próximas aos apiários. Definiu-se o índice de gás/fumaça com seu valor máximo. As demais configurações estão demonstradas na Fig. 15.



Figura 15. Simulação do sistema no software MATLAB: estado de intoxicação.

A quinta situação simulada foi um caso de ventania/tempestade próximo ao apiário. Os sensores de índice de chuva e de velocidade do vento, instalados próximos a colmeia, não apresentaram esses valores no período de desenvolvimento da pesquisa. Porém, resolveu-se configurar essas situações no software MATLAB. As quais tiveram as entradas inicializadas com valores extremamente altos, para ambos os sensores climáticos. Logo, esperava-se que o sistema entrasse em estado de tempestade, alertando ao apicultor que a situação no apiário estava com as condições climáticas indesejáveis. A resposta da simulação resultou conforme o esperado. Fig. 16.

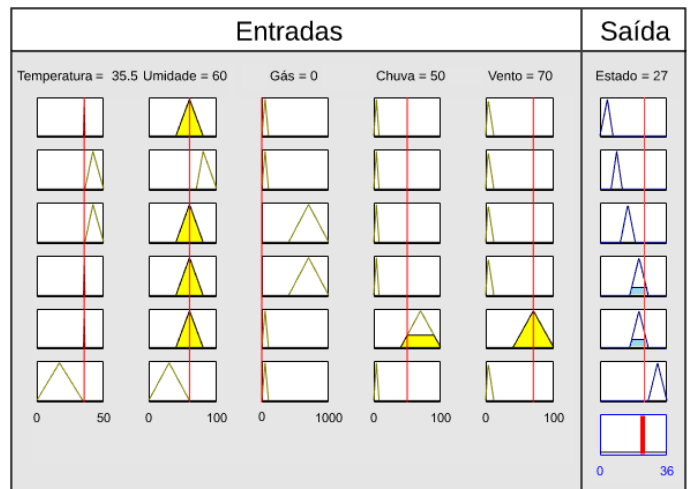


Figura 16. Simulação do sistema no software MATLAB: estado de tempestade.

Por fim, a sexta situação simulada foi um caso de pilhagem. A pilhagem é o assalto de uma colônia a outra. Geralmente as vítimas são as famílias mais fracas que podem abandonar a colmeia ou serem exterminadas. O valor simulado, representando o sensor DHT22, da temperatura e da umidade foram 33°C e 40%, respectivamente. Para as entradas climáticas, índice pluviométrico e velocidade do vento, foram simulados os valores de 44 mm/h e 55 Km/h. A leitura do sensor de gás de 500. Com essas entradas passando por todos os processos de controle Fuzzy, a saída esperada para o sistema era o estado “Pilhagem”, visto que as condições do apiário apresentavam distúrbios significativos. A resposta desta situação resultou conforme o esperado. Fig. 17.

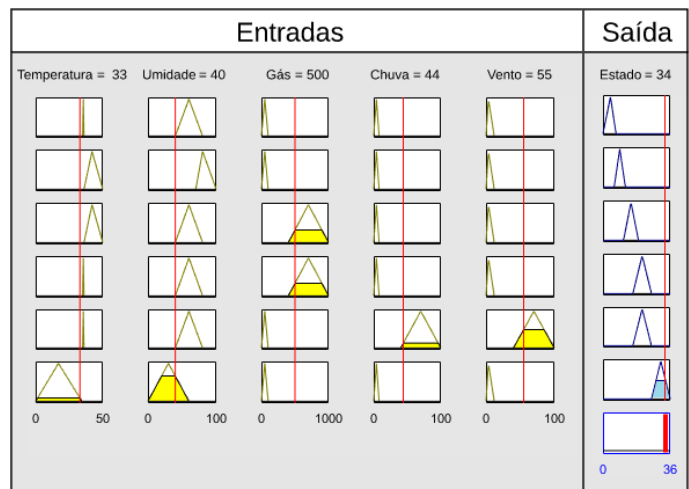


Figura 17. Simulação do sistema no software MATLAB: estado de pilhagem.

As saídas do sistema - estado do apiário - foram equivalentes no ambiente de simulação e no sistema embarcado desenvolvido, disponibilizado por meio da aplicação web, para cada um dos estados: estável (conforme a Fig. 12), enxameação, emigração, intoxicação, tempestade e pilhagem. De acordo

com a mudança das condições climáticas e das características internas da colmeia. As demais simulações são demonstradas na Tabela I.

TABELA I
TABELA DE SIMULAÇÕES DO SISTEMA

Saída do Sistema	Entradas do Sistema				
	Temperatura	Umidade	Gás	Chuva	Vento
Estável	35.0	60.0	0	6.0	10.0
Estável	35.0	58.0	0	5.0	8.0
Estável	35.5	55.5	0	5.0	12.0
Estável	35.5	52.5	0	0	16.0
Estável	36.0	50.5	0	0	10.0
Enxameação	40.5	79.0	0	0	12.0
Enxameação	39.5	79.5	0	0	10.0
Enxameação	40.8	80.0	0	0	14.0
Enxameação	39.0	79.5	0	0	8.0
Enxameação	40.5	79.0	0	0	10.0
Emigração	41.0	60.0	1000	0	0
Emigração	40.1	60.0	900	0	10.0
Emigração	40.5	60.0	1000	0	12.0
Emigração	41.5	60.0	800	0	11.0
Emigração	41.8	60.0	1000	0	14.0
Intoxicação	35.5	60.0	600	7.0	10.0
Intoxicação	35.0	60.0	1000	5.0	13.0
Intoxicação	36.5	62.0	900	10.0	15.0
Intoxicação	35.0	60.0	1000	5.0	13.0
Intoxicação	36.0	65.0	850	10.0	10.0
Tempestade	35.5	60.0	0	50.0	70.0
Tempestade	35.0	65.0	0	50.0	75.0
Tempestade	36.0	70.0	0	60.0	80.0
Tempestade	35.0	65.0	0	50.0	78.0
Tempestade	36.0	72.0	0	60.0	80.0
Pilhagem	33.0	40.0	500	44.0	55.0
Pilhagem	34.0	56.0	600	40.0	30.0
Pilhagem	33.0	50.0	700	30.0	40.0
Pilhagem	34.0	56.0	600	40.0	30.0
Pilhagem	33.5	50.0	500	30.0	45.0

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a utilização da técnica de IA para a implementação de um sistema embarcado para o monitoramento de apiários. A abordagem proposta aplica a Lógica Fuzzy para o tratamento das variáveis envolvidas no sistema.

Com base nos dados obtidos e nas análises de estabilidade foram definidos 6 estados de saída. Sendo assim, os resultados, obtidos por meio dos testes, mostraram que é possível o desenvolvimento de um sistema embarcado inteligente que determine, com certo grau de precisão, a ocorrência de situações de alertas em apiários e uma forma simultânea de envio destas informações possibilitando ao apicultor extrair diversas informações sem a necessidade de influenciar diretamente no trabalho das colônias.

Este estudo mostrou que o tratamento de variáveis com múltiplos valores de Zadeh pode ser muito útil para incorporar as incertezas em várias situações simultaneamente, tarefa que a complexidade não pode ser tratada eficientemente com metodologias tradicionais.

Por fim, o desenvolvimento do sistema automatizado fornece mais informações para suportar a tomada de decisões

por parte dos apicultores e serve como instrumento de auxílio para a compreensão das características do empreendimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Santa Catarina e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense - Campus Santa Rosa do Sul. Em especial, ao professor Miguelangelo Ziegler Arboitte e ao técnico em apicultura Mauricio Duarte Anastácio, os quais foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] Bacaxixi P., Bueno C. E., Ricardo H. A., Epiphany P. D., Silva T. F., Bosquê G. G. e Lima F. C. C., "A importância da apicultura no Brasil". Revista Científica Eletrônica de Agronomia, Garça, vol. 20, pp. 01–06, 2011.
- [2] Cabó A. E. C., Lima R. W., Lopes D. C. e Lima E. A. "Sistema fuzzy para a indicação da quantidade de combustível no processo de sinterização de produtos cerâmicos". IV Brazilian Conference on Fuzzy Systems. Campinas, SP, 2016.
- [3] Coelho M. H., Dal Pont T. R., Coutinho L. C. M. e Perez A. F., "Implementação de um sistema para o monitoramento de barragens utilizando lógica fuzzy". XXI Congresso Brasileiro de Automática. Vitória, ES, 2016.
- [4] Dutra, T. F. S. "Beehiveior: Sistema de monitoramento e controle de colmeias de produção apícola". Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Mestrado Profissional em Engenharia de Software. Natal, RN, 2016.
- [5] Freitas D. G. F., "Nível tecnológico e competitividade da produção de mel de abelhas (*Apis mellifera*) no Ceará". Dissertação de Mestre em Economia Rural. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, 2003.
- [6] Jesus, T. F. "Sistema de Calefação para Ninhos de Abelhas-sem-Ferrão com Controle e Leitura de Temperatura Interna por Sistema Remoto". Dissertação de Mestrado em Agroecossistemas - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC 2017.
- [7] Kerr, W. E., Carvalho, G. A., Silva, A. C. D., Assis, M. D. G. P. D. "Aspectos pouco mencionados da biodiversidade amazônica". Parcerias Estratégicas, vol. 6, nº 12, pp. 20-41, 2001.
- [8] Silva, N. R., "Aspectos do perfil e do conhecimento de apicultores sobre manejo e sanidade da abelha africanizada em regiões de apicultura de Santa Catarina". Dissertação de Mestre em Agro ecossistema. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis SC., 2004.
- [9] Silva, C. A., Garcia, R. P. A., Camargo, E. V., Saucedo, D. R., Rozado, M. F., Lopes, F. C., Barros, G. G. e Vieira, A.C. "Temperatura no Interior de Colméias Langstroth Dentro e Fora de Abrigo". 19º Congresso Brasileiro de Apicultura. Gramado, RS, 2012.
- [10] Qandour, A., Ahmad, I., Habibi, D., and Leppard, M. "Remote beehive monitoring using acoustic signals". Australian Acoustical Society, vol. 42: pp. 204–209, 2014.
- [11] Wiese, H., Apicultura Novos Tempos. Guaíba, RS. Editora Agropecuária, 2000.
- [12] Zadeh, L. A., Fuzzy Sets. Information And Control, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [13] Zadeh, L. A., Fuzzy Logic. IEEE Computer Magazine, pp. 83-92, 1988.