

CAPÍTULO 1

USO IoT E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA AGRICULTURA

Data de submissão: 10/02/2025

Data de aceite: 05/03/2025

Murylo Pereira da Silva Ferreira

Mestrando do PGDRA/UFRO

David Lopes Maciel

Doutorando PGDRA/UFRO

Aline Mikos

Doutoranda PGDRA/UFRO

Aírton Ribeiro dos Santos

Mestrando PGDRA/UFRO

Geraldo de Magela Carvalho de Oliveira

Engenharia Elétrica (UFPA). Esp. no Uso

Racional de Energia (UNIFEI)

Professor IFRO - Porto Velho – RO

Adjalma Campos de França Neto

Doutor em Agronomia (Drenagem e Irrigação) - (UNESP). Professor

Departamento de Agronomia – Campus Rolim de Moura/RO

Fabrício Moraes de Almeida

Doutor em Física (UFC) com Esp. em Eng. de Produção/Engenharia Elétrica (FUNIP). Professor do PGDRA/UFRO

RESUMO: A região Amazônica ocupa grande parte do território nacional, porém sua contribuição econômica é muito baixa

se comparada a área. Isso ocorre devido ao fator que a maioria da região tem sua economia baseada na exploração dos recursos naturais, e um dos maiores desafios é como explorar esses recursos de forma sustentável, com maior eficiência e menor destruição. Inserido nesse contexto o estado de Rondônia tem se destacado na piscicultura, principalmente na produção do Tambaqui (*Colossoma macropomum*) e do Pirarucu (*Arapaima gigas*) no agronegócio. Porém, mesmo com uma produção expressiva ainda enfrenta os problemas convencionais da piscicultura como a degradação dos corpos hídricos através das excretas e sobras de ração que são transformadas em matéria orgânica suspensa, dióxido de carbono, nitrogênio amoniacial e outros compostos. Dessa forma, o capítulo do livro apresenta um protótipo e a viabilidade do uso de sistemas aquaponicos integrados com IoT na região em termos de eficiência de produção e qualidade, usando Inteligência Artificial para modelagem de dados. Os resultados demonstram a possibilidade de um protótipo de aplicação de IA e IoT na agricultura para otimizar a produção.

PALAVRAS-CHAVE: IoT. Inteligência Artificial. Agricultura. Aquaponia. Amazônia.

USE OF IOT AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AGRICULTURE

ABSTRACT: The Amazon region occupies a large part of the national territory; however, its economic contribution is very low compared to its size. This occurs because most of the region's economy is based on the exploitation of natural resources, and one of the greatest challenges is how to exploit these resources sustainably, with greater efficiency and less destruction. Within this context, the state of Rondônia has stood out in fish farming, particularly in the production of Tambaqui (*Colossoma macropomum*) and Pirarucu (*Arapaima gigas*). However, despite significant production, it still faces conventional fish farming problems, such as the degradation of water bodies caused by excretions and feed leftovers, which are transformed into suspended organic matter, carbon dioxide, ammoniacal nitrogen, and other compounds. In this scenario, the present study aims to investigate the feasibility of using aquaponic systems integrated with IoT in the region in terms of production efficiency and quality, employing AI for data modeling.

KEYWORDS: IoT. Artificial intelligence. Agriculture. Aquaponics. Amazon.

INTRODUCÃO

A atividade humana tem modificado largamente a paisagem do planeta, substituindo áreas naturais por diferentes uso e ocupação do solo, impactando diretamente na qualidade e disponibilidade dos recursos naturais (COELHO et al, 2014). O processo de urbanização em todo mundo vem crescendo, devido a isso problemas sociais, ambientais e culturais são desafios a serem enfrentados tanto pelos governos quanto pelas populações (MORGADO, 2016).

Diante desse contexto a colonização da Amazônia passou por diversos projetos de ocupação agropecuários que vieram a formar as cidades, expandindo a fronteira urbana e agrícola, aumentando o desmatamento, queimada e urbanização. (D'ANTONA et al, 2011). A queimada e desmatamento são fatores de enorme pressão sobre os ecossistemas alterando a evapotranspiração e consequentemente o ciclo hidrológico na Amazônia (COPERTINO et al, 2019).

A Amazônia ocupa 60% do território brasileiro, que caberia mais da metade dos países europeus, e 17% de sua área já foi devastada, o que equivale a duas vezes o território do Japão ou Alemanha, que são duas das maiores potências do planeta. Porém, sua contribuição econômica para o PIB nacional é de apenas 8% (HURTINNE, 2005; HOMMA, 2010).

A produção na região tem histórico de degradação do meio ambiente, passando por extrativismo animal e vegetal na década de 60, e pecuária e lavoura na década de 80, seguidas de extração de madeira (HOMMA, 2015). Grande parte da população rural é de agricultores com propriedades de pequeno e médio porte, principalmente nos estados de Rondônia e Pará (HURTINNE, 2005).

METODOLOGIA

De acordo com Köche (2005), o conhecimento científico é caracterizado por um elevado poder de crítica, sustentado pela utilização de uma linguagem precisa e bem delimitada, o que assegura a definição clara dos conceitos e estabelece as categorias dos correspondentes empíricos. Esses elementos possibilitam a realização de experimentos para coletar evidências que comprovem sua validade, além de permitir a discussão dos resultados de maneira intersubjetiva na comunidade científica. Para isso, os experimentos seguem procedimentos e métodos fundamentados em critérios mínimos de verificabilidade, reconhecidos e aceitos por essa comunidade. Complementando essa visão, Andrade (2004) observa que:

"Há algum tempo, considerava-se a pesquisa científica 'coisa de gênio', ou seja, algo excepcional, fruto da 'inspiração', avesso a qualquer tipo de planejamento. Hoje, já não é mais possível admitir essa ideia de 'estalo', pois sabe-se que as descobertas e as invenções do mundo moderno não ocorrem por acaso ou por 'intuição', mas por meio de pesquisas sistemáticas, organizadas."

O capítulo do livro está definida n pesquisa científica, como: pesquisa bibliográfica, para mineração de literatura na área, além disso, uso de pesquisa bibliométrica para pesquisar e analisar o impacto das publicações sobre a temática. Já a pesquisa experimental será utilizada para montagem do sistema de aquaponia e uso dos sensores IoT, com a coleta de dados para modelagem usando Inteligência artificial que converge para pesquisa quantitativa.

Para realização dessa pesquisa utiliza o método SSF, que é dividido em quatro passos e oito atividades, como mostrado na figura 2. Essa metodologia foi desenvolvida para padronizar os procedimentos de buscas nas bases de dados científicas, podendo ser utilizado tanto para revisão sistemática quanto para revisão integrativa (FERENHOF E FERNANDES, 2016).

As atividades 1 e 2 da fase do protocolo de pesquisa foram feitos da seguinte forma;

- Estratégia de pesquisa – Utilizando-se de operadores booleanos e a chave de busca em conjunto com os filtros da plataforma Web of Science para encontrar artigos indexados sem limite de tempo.
- Parametrização e aplicação da chave de busca utilizando os termos aquaponics system, IoT e application.

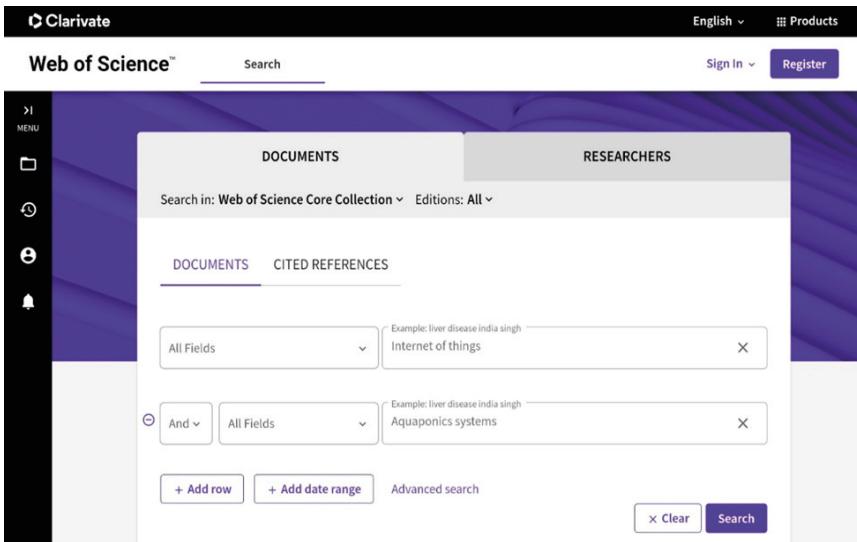


Fig.1 Parametrização da chave de busca na plataforma Web of Science.

Fonte: Autoria própria, 2024.

O software R® será utilizado para automatizar as atividades de gestão de documentos, padronização e seleção de documentos e composição do portfólio de documentos da fase do protocolo de pesquisa, através das Bibliotecas RStudio/Bibliometrix. Na fase de análise o mesmo processo de automatização ocorreu, mas foi gerado um banco de dados em MS Excel® com todos os artigos pesquisados nas duas plataformas Web of science e Science Direct, para então posterior tratamento dos dados com Bibliometrix. A biblioteca R®/Biblioshine foi utilizada na fase de síntese, sendo aplicada ao Banco de Dados resultante da fase de análise. A última fase foi finalizada com a escrita do artigo, utilizando os relatórios e dados gerados para embasar a escrita dos resultados (SILVA et. al, 2016).

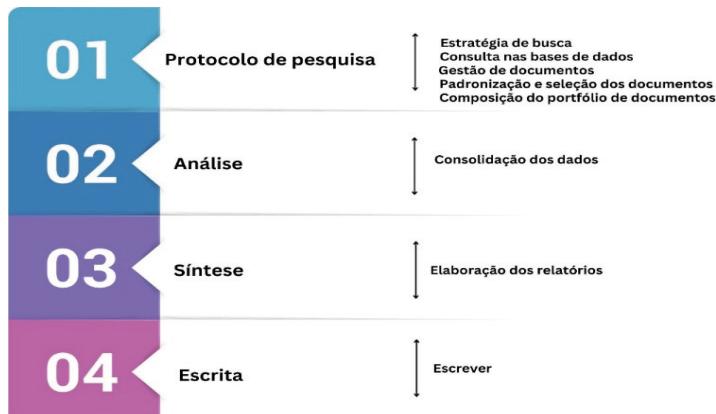


Figura 2 – Etapas e atividades do método Systematic Search Flow.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Para o monitoramento do sistema será utilizado o microcontrolador ESP32 desenvolvido pela Espressif Systems, que tem versatilidade, baixo custo e alto desempenho. O microcontrolador será integrado a um sensor DHT22 responsável por medir umidade e temperatura. Os dados coletados serão enviados a um broker que utiliza o protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), e posteriormente aos outros dispositivos como mostra a figura 3. Além disso, a modelagem de dados será realizada usando Inteligência Artificial.

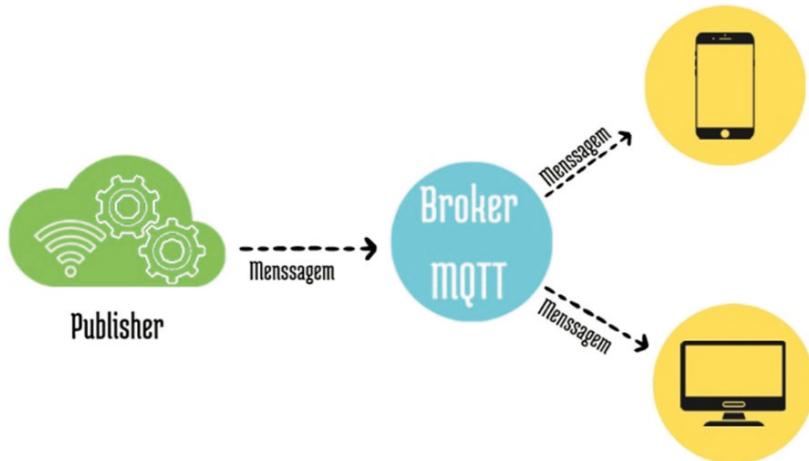


Fig. 3 Esquema de comunicação do protocolo MQTT.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Foi utilizada a plataforma <https://wokwi.com> para a simulação das configurações das placas e sensores, a programação em linguagem C é inserida no layout como mostrado na figura 4.

```

WOKWI SALVAR COMPARTILHAR MESTRADO AQUAPONIA Documentos
esboço.ino diagrama.json bibliotecas.txt Gerente de Biblioteca
1
2
3
4 #include "DHTesp.h"
5 #include <WiFi.h>
6 #include <WiFiClient.h>
7 #include <PubSubClient.h>
8
9
10 //////////////// Configuração do WiFi
11 #define WiFi_SSID "Wokwi-GUEST"
12 #define WiFi_PASSWORD ""
13 // Definir o canal WiFi acelera a conexão :
14 #define WiFi_CHANNEL 6
15 estado_interno = WL_IDLE_STATUS; // o status do rádio WiFi
16
17
18 //////////////// Configuração do MQTT
19 const char * mqtt_server = "test.mosquitto.org"; // Corretor
20 char * meu_topico_SUB = "F1/T/SUB"; // tema escolhido
21 char * meu_topico_PUB = "F1/T/PUB_Temperatura"; // tema escolhido
22 char * meu_topico_Calib2 = "F1/T/PUB_Umidade"; // tema escolhido
23 //////////////// Configuração do WiFi e MQTT
24 WiFiClient espClient;
25 Cliente PubSubClient ( espClient );
26
27 ////////////////Configuração do sensor de leitura
  
```

Fig.4 Layout da página de configurações.

Fonte: Autoria própria, 2024.

A configuração do software utilizada será a seguinte:

```
#include "DHTesp.h"
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <PubSubClient.h>
##### configuração do wifi
#define WIFI_SSID "Wokwi-GUEST"
#define WIFI_PASSWORD ""
// Defining the Wifi channel speeds up the connection:
#define WIFI_CHANNEL 6
int status = WL_IDLE_STATUS; // the Wifi radio's status
##### configuração do MQTT
const char* mqtt_server = "test.mosquitto.org"; // MQTT broker
char* my_topic_SUB = "F/SUB"; // the chosen topic
char* my_topic_PUB1 = "F/PUB_Temperatura"; // the chosen topic
char* my_topic_PUB2 = "F/PUB_Umidade"; // the chosen topic
##### configuração do wifi e MQTT
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
##### configuração do tempo de leitura
int contador = 1;
char mensagem [30];
unsigned long lastMillis = 0;
#####Configuração do DHT22
const int DHT_PIN = 15;
DHTesp dhtSensor;
float ambiente [2];
float lastTemp = -999.0;
float lastHum = -999.0;
void setup () {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(115200);
    Serial.println("Olá, ESP32!");
    dhtSensor.setup(DHT_PIN, DHTesp::DHT22);
    conectawifi ();
    client.setServer(mqtt_server, 1883); // Set the MQTT broker server and port
    client.setCallback(callback); // Set the callback function for incoming MQTT messages
}
void loop () {
    // put your main code here, to run repeatedly:
    sensor_ambiente ();
```

```

// Verifica se houve uma alteração nos valores de temperatura ou umidade
if (ambiente [0]! = lastTemp || ambiente [1]! = lastHum) {
    Serial. Print ("Temperatura: ");
    Serial. Print (ambiente [0]);
    Serial. Print ("°C\\umidade: ");
    Serial. Print (ambiente [1]);
    Serial.println("%");
    // Actualize os valores anteriores
    lastTemp = ambiente [0];
    lastHum = ambiente [1];
}

// Check MQTT connection and process incoming messages
if (! client. Connected ()) {
    reconnect ();
}
client. Loop ();
delay (100); // Add a delay to avoid flooding the MQTT broker with messages
//Aguarda 15 segundos para enviar uma nova mensagem
if (millis () - lastMillis > 15000) {
    lastMillis = millis ();
    //sprint (mensagem, “MQTT ESP32 - Mensagem no. %d”, contador);
    //envio da temperatura
    int valiant = (int) ambiente [0];
    float Val float = (abs (ambiente [0]) - abs(valiant)) * 100000;
    int val_fra = (int)Val float;
    sprint (mensagem, “%D.Ed.”, valiant, val_fra);
    Serial. Print (“Mensagem envied: ”);
    Serial.println(mensagem);
    //Enviar a mensagem a broker
    client. publish (my_topic_PUB1, mensagem);
    Serial. Print(contador);
    Serial.println(“-Temperatura envied com sucesso...”);
    //envio da umidade
    val_int = (int) ambiente[1];
    val_float = (abs(ambiente[1]) - abs(val_int)) * 100000;
    val_fra = (int)val_float;
    sprintf(mensagem, “%d.%d”, val_int, val_fra );
    //sprintf(mensagem,”%d”, ambiente[1] );
    Serial.print(“Mensagem enviada: ”);
    Serial.println(mensagem);
    //Envia a mensagem ao broker
}

```

```

client.publish(my_topic_PUB2, mensagem);
Serial.print(contador);
Serial.println("-Umidade enviada com sucesso..."); 
//Incrementa o contador
contador++;
}
}

void conectawifi()
{
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD, WIFI_CHANNEL);
  Serial.print("Conectando ao WiFi ");
  Serial.print(WIFI_SSID);
  // Wait for connection
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(100);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println(" Conectado!");
  Serial.print("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}

// Process incoming MQTT message and control the servo motor
void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
  String string;
  Serial.print("Chegou a mensagem [");
  Serial.print(topic);
  Serial.print("] ");
  for (int i = 0; i < length; i++) {
    string+=((char)payload[i]);
  }
  Serial.print(string);
}

// Attempt to reconnect to the MQTT broker if the connection is lost
void reconnect() {
  while (!client.connected()) {
    Serial.print("Tentando conectar ao MQTT ...");
    if (client.connect("ESPClient")) {
      Serial.println("Conectado");
      client.subscribe(my_topic_SUB);
    } else {
      Serial.print("falhou, rc=");
    }
  }
}

```

```

Serial.print(client.state());
Serial.println(" Tente novamente em 5 segundos");
}
}
}

void sensor_ambiente()
{
TempAndHumidity data = dhtSensor.getTempAndHumidity();
ambiente[0]= data.temperature;
ambiente[1] = data.humidity;
//Serial.println("Temperatura: " + String(ambiente[0], 2) + "°C");
//Serial.println("Umidade: " + String(ambiente[1], 1) + "%");
//.println("---");
// delay(200);

```

Para testar o funcionamento do protocolo MQTT utilizará a plataforma online <https://testclient-cloud.mqtt.cool> como na figura 5.

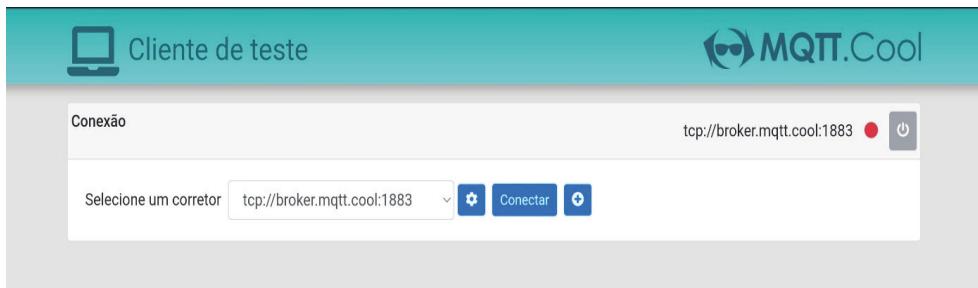


Fig.5 Layout do MQTT Test Mosquito.

Fonte: Autoria própria, 2024.

O aplicativo utilizado para receber as informações mobile será o MQTT DASH, as configurações utilizadas estão representadas nas figuras 6 e 7.

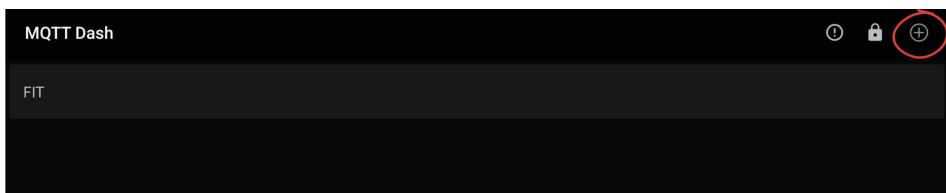


Fig.6 Adicionar Broker no MQTT DASH

Fonte: Autoria própria, 2024.

MQTT Dash

Default (automatically connect on start up)
 Note: this option is useful if you have just one connection configured.
 If you have more than one connection, you can create home screen shortcut for every connection.
 To create shortcut long press on any connection in connections list.

Keep screen on when connected to this broker

Allow metrics management. If disabled, you can't add, edit, delete or rearrange metrics. This serves as protection from unintentional metrics changing.

Name
 FIT

Address
 test.mosquitto.org

Port
 1883

Enable connection encryption (SSL/TLS).
 Note: If server certificate is self-signed, you need to install it to your device or enable option below, otherwise connection will fail. If server certificate issued by a known Certificate Authority (CA), it will work out of box, without installing to your device. Also don't forget, that MQTT servers have different ports for plain and SSL/TLS connections.

This broker uses self-signed SSL/TLS certificate. I trust this certificate at my own risk.

User name

User password

Client ID (must be unique)
 mqtdash-74b2457b

Tile size
 100 x 100

Fig.7 Como preencher as configurações do Broker no MQTT Dash.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Fig.8 Como preencher as configurações do Broker no MQTT Dash.

MQTT Dash

Default (automatically connect on start up)
 Note: this option is useful if you have just one connection configured.
 If you have more than one connection, you can create home screen shortcut for every connection.
 To create shortcut long press on any connection in connections list.

Keep screen on when connected to this broker

Allow metrics management. If disabled, you can't add, edit, delete or rearrange metrics. This serves as protection from unintentional metrics changing.

Name
 FIT

Address
 test.mosquitto.org

Port
 1883

Enable connection encryption (SSL/TLS).
 Note: If server certificate is self-signed, you need to install it to your device or enable option below, otherwise connection will fail. If server certificate issued by a known Certificate Authority (CA), it will work out of box, without installing to your device. Also don't forget, that MQTT servers have different ports for plain and SSL/TLS connections.

This broker uses self-signed SSL/TLS certificate. I trust this certificate at my own risk.

User name

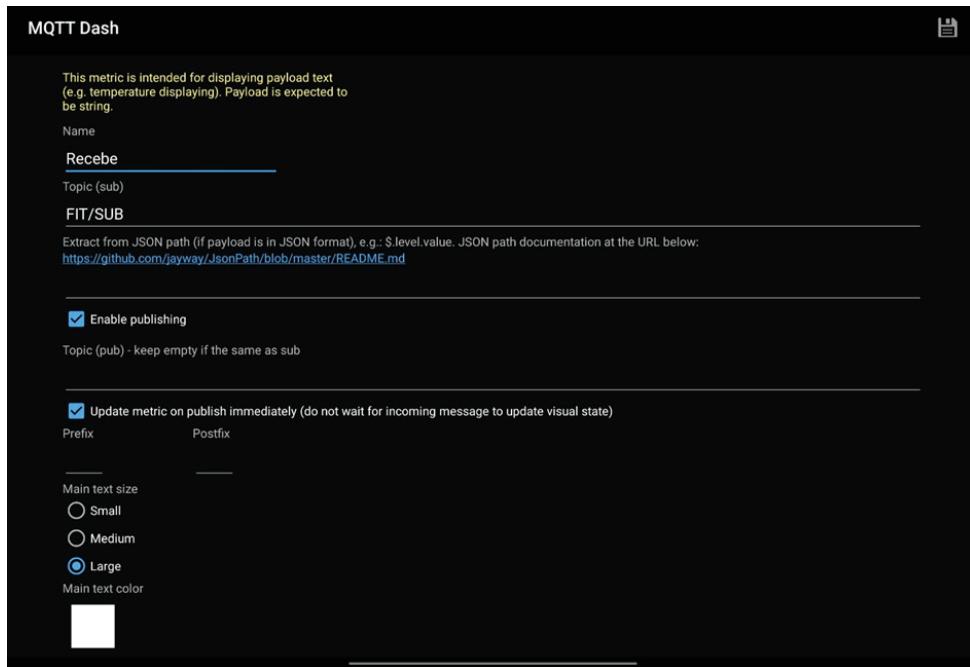
User password

Client ID (must be unique)
 mqtdash-74b2457b

Tile size
 100 x 100

Fonte: Autoria própria, 2024.

Fig. 9 Como preencher as configurações do Broker no MQTT Dash.



Fonte: Autoria própria, 2024.

ALGUNS FUNDAMENTOS SOBRE DESENVOLVIMENTO REGIONAL NA AMAZÔNIA.

Ciclos econômicos e ocupacionais na Amazônia.

O estado de Rondônia passou por diversos ciclos econômicos, que são eles: O primeiro ciclo da borracha, construção da Estrada de Ferro Madeira Mamoré, Construção das linhas telegráficas, segundo ciclo da borracha, exploração da cassiterita, a abertura da BR-364, exploração do ouro e a construção da Usina Hidroelétrica de Samuel na região. E todos acarretaram impactos ambientais diferentes, devido a ocupação desordenada e exploração dos recursos naturais (SILVA 1991; SILVA, 1997; MEDEIROS, 2004).

Durante o primeiro (1880-1910) e segundo (1941-1945) ciclos da borracha houve um grande fluxo de retirantes nordestinos para a Amazônia, cerca de 80 mil e principalmente cearenses, que se instalaram na região que é hoje o estado de Rondônia. A ocupação ocorreu principalmente na região do vale do Rio Madeira, Guaporé, Ji-Paraná, Machado, Jamari e Candeias (NUNES, 1996).

Nesse período também houve as primeiras tentativas da construção de uma ferrovia que permitiria o escoamento dos produtos do centro-oeste boliviano para o Atlântico. Assim com o Tratado de Petrópolis entre Brasil e Bolívia onde o Acre seria incorporado ao território nacional em troca da construção dessa ferrovia, houve um fluxo de ocupação da região do que hoje é Porto Velho e Guajará - Mirim (RIBEIRO, 2009).

Posteriormente entre 1950-1960 houve um processo de intensificação da ocupação devido a construção da BR 364, a população da Amazônia aumentou de 1 milhão para 5 milhões. A partir de 1965 o processo de integração do centro-sul do país com a região amazônica foi parte de projetos de ocupação incentivados pelo governo brasileiro. O norte do país foi usado como solução para tensões fundiárias do nordeste e sudeste do país, onde ocorreu a expulsão de pequenos agricultores devido a modernização da agricultura (ALVES, 2018).

Na década de 80 do século XX o estado de Rondônia intensificou a agropecuária, pois sua colonização foi oriunda de programas de ocupação estimulados pelo governo federal. O INCRA era responsável por distribuir terras, uma das exigências era desmatar pelo menos 50% do lote para obter o título de posse da terra. Os lotes variavam de 50 a 100 ha, que tinham como principal objetivo o desmatamento para uso intensivo do solo (SCHLINDWEIN, 2012).

E o último grande ciclo ocupacional foram as hidrelétricas, que trouxeram um novo fluxo migratório para a região devido à necessidade de mão de obra, afetando diretamente no crescimento desordenado sem infraestrutura adequada (CAVALCANTE et al, 2016).

Psicultura E Seus Problemas

A partir da década de 80 a psicultura começou a se desenvolver no estado de Rondônia como uma alternativa de renda para os produtores rurais, e tem se tornado uma das atividades econômicas mais importantes da região. Atualmente a atividade é positiva para a economia do estado, gerando arrecadação através do Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), emprego e alimento para a população (XAVIER, 2013).

Ao mesmo tempo a psicultura é uma atividade de menor impacto ambiental se comparada a bovinocultura e agricultura. A produção gira em torno do Tambaqui (*Colossoma macropomum*) espécie nativa da região Amazônica. Em 2018 Rondônia foi o maior produtor de Tambaqui e Pirarucu. Embora sejam conhecidos seus aspectos positivos, a psicultura também possui aspectos negativos, pois a maioria dos tanques da região é do tipo tanques-solo (escavado) (EMATER, 2017; IDARON, 2018). Esses tanques são reservatórios escavados e tem suas paredes compactadas para evitar a infiltração da água, podendo precisar de correção da terra e aplicação de fertilizantes químicos orgânicos e inorgânicos (PROCHMAN E MICHAELS, 2003).

Alguns trabalhos mostram que a psicultura também pode acabar com a qualidade da água de corpos receptores através das excretas e sobras de ração que são transformadas em matéria orgânica suspensa, dióxido de carbono, nitrogênio amoniacal e outros compostos. Além disso há patógenos que usam a própria água do cultivo para se proliferar, podendo causar desastres na produção como o surto de anemia infecciosa no salmão chileno, surto de mancha branca no camarão de Santa Catarina e Necrose Hipodérmica Hematopoiética no camarão no Nordeste (MACINTOSH & PHILLIPS, 1992; VENÂNCIO & QUEIROZ, 1998; POERSH 2012).

Contaminantes Do Solo E Água Em Rondônia

Mercúrio (Hg) - O mercúrio está presente em três formas, elementar (Hg0), orgânico (Hg22+ e Hg2+) e na forma orgânica. A forma elementar é encontrada em mais abundância na atmosfera, porém a mais tóxica é a espécie orgânica na forma de metilmercúrio (CH3Hg+, MeHg). Além de ter uma alta taxa de absorção oral, superior a 90%, permanece o dobro de tempo das espécies inorgânicas, aproximadamente 80 dias (HERMANN, 2020).

Nas últimas três décadas vem ocorrendo mudanças significantes no uso e ocupação do solo na Amazônia, a falta da cobertura vegetal expõe o solo a elevadas temperaturas que aumentam a volatilização de mercúrio no solo. A imobilização e acumulação de contaminantes nesse compartimento depende da composição biogeoquímica, que é afetada diretamente pelo tipo de uso e ocupação do solo (BASTOS E LACERDA, 2004).

Os solos amazônicos são naturalmente ricos em mercúrio, e os maiores fatores de remobilização e reemissão são oriundos da atividade antrópica como garimpo, queima de combustíveis fósseis, queima da floresta para conversão em pastos, erosão e lixiviação, formação de lagos de usinas hidroelétricas. (TAVARES, 2020).

Durante a estação seca devido as queimadas e suspensão da poeira, o aumento das partículas atmosféricas aumenta em até 100 vezes, o que facilita os processos de oxidação, adsorção e deposição do mercúrio. Esse processo faz com que a concentração de mercúrio atmosférico depositado no ecossistema amazônico está em sua maioria na forma inorgânica (Hg2+) (BASTOS E LACERDA, 2004).

A criação de lagos para usinas hidrelétricas, como as do Rio Madeira, inundam áreas de florestas que por sua vez aumenta o nível de metilmercúrio nos reservatórios. A decomposição da matéria orgânica após a inundação cria condições anóxicas, em que micro-organismos aumentam o processo de metilação do mercúrio inorgânico (CASTILHOS E RODRIGUES, 2008).

O metilmercúrio é considerado um dos agentes mais citotóxicos e neurotóxicos do meio ambiente, pois causa alterações no sistema nervoso, cardiovascular, imunológico e respiratório (TAVARES, 2020). Segundo Vasconcellos (2015) estima-se que cerca de 34,31% perdem 2% de seu QI, devido a exposição a altas concentrações de MeHg.

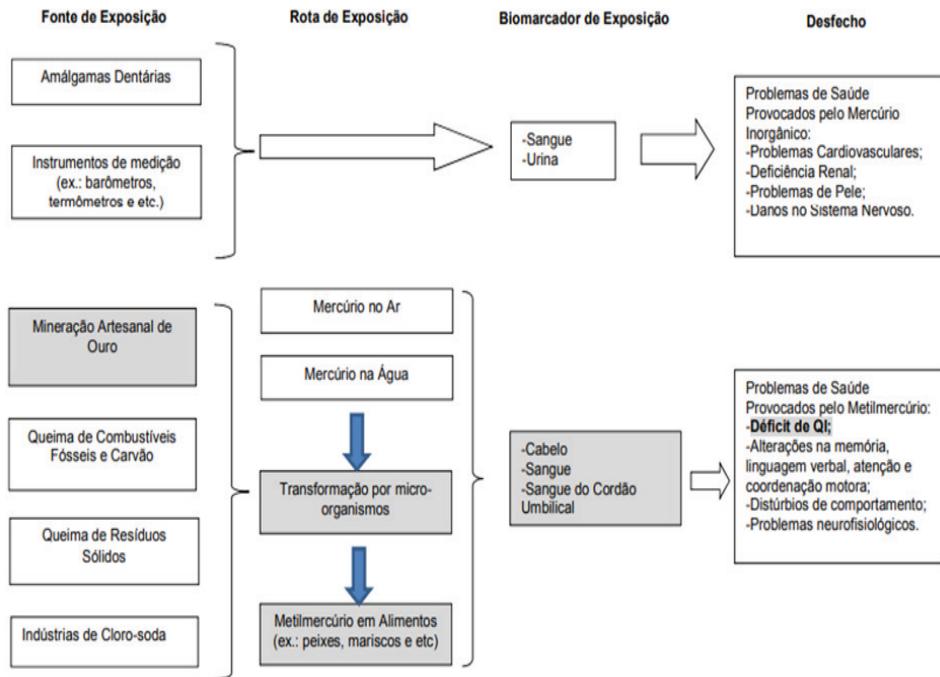


Figura 10: Principais formas de exposição ao mercúrio, com destaque para o cenário amazônico.

Fonte: Vasconcellos (2015)

Uso de agroquímicos

Os defensivos agrícolas podem ser divididos em orgânicos e inorgânicos em relação a sua composição química, sendo que os inorgânicos derivados e arsênio (As), enxofre (S), cianeto (CN), cobre (Cu), a milênios para lidar com pragas. A partir da revolução industrial começou a utilização de pesticidas a base de antimônio (Sb), bário (Ba), boro (B), cádmio (Cd), chumbo (Pb), flúor (F), mercúrio (Hg) e tálio (Tl). Após os séculos XIX já vieram os organoclorados, organofosforados, carbamatos e piretróides (MORGADO, 2019).

No Brasil os grupos químicos mais utilizados para controle de parasitas bovinos, como carrapato e mosca de chifre por exemplo, são os piretróides, organofosforados e amidina. Segundo Pereira et al (2018), os mais utilizados na região de Cacoal seguem a mesma tendência das demais regiões sendo os piretróides, avermectina e organofosforados sendo os mais utilizados (tabela 1).

Base química	Número de propriedades / (%)	Frequência de uso por ano		
		Baixo (%)	Média (%)	Alta (%)
Piretróide	143 (62,7%)	35,80%	24,10%	40,00%
Avermectina	109 (47,8%)	84,60%	8,65%	6,73%
Organofosforado	94 (41,2%)	33,30%	23,40%	43,20%
Fenilpirazol	63 (27,6%)	50,90%	18,80%	30,10%
Benzimidazol	17 (8,02%)	85,70%	-	14,20%
Imidina	08 (3,77%)	50%	-	50%
Benzoilureia	07 (3,30%)	86,60%	-	13,30%
Fenólicos	05 (2,36%)	56,60%	16,60%	26,60%
Benzofenilureia	01 (0,47%)	-	-	-

Tabela 1: Antiparasitários utilizados na microrregião da bacia leiteira de Cacoal (RO).

Fonte: Pereira et al (2018).

A Secretaria de Saúde e Meio Ambiente e o dos Recursos Naturais e Renováveis (IBAMA), os agroquímicos são classificados de I a IV de acordo com o perigo ambiental. Sendo a classe I altamente perigosos, classe II muito perigosos, classe 3 perigosos, classe 4 pouco perigosos (WHO, 1990). Pereira et al (2018) mostra que 72,17% das propriedades avaliadas em seu trabalho utilizavam agroquímicos da classe I.

Base química	Nº de propriedades/%	Classe toxicológica	Classificação de Potencial Periculosidade Ambiental
Ácido Piridinocarboxílico	89 (41,98%)	Classe I (extremamente tóxico)	Classe I
Ácido Ariloxialcanoico	63 (29,72%)	Classe I (extremamente tóxico)	Classe III
Fenoxiácidos	15 (7,08%)	Classe IV (Pouco tóxico)	Classe III
Derivado da Glicina	14 (6,6%)	Classe IV (Pouco tóxico)	
Antranilamida	04 (1,89%)	Classe III (Mediamente Tóxico)	Classe II
Dipiridilos	04 (1,89%)	**	**
Piretróide	01 (0,47%)	Classe I (extremamente tóxico)	Classe II

Tabela 2: Agroquímicos utilizados na microrregião da bacia leiteira de Cacoal (RO)

Fonte: Pereira et al (2018).

Os corpos d'água pode ser atingidos pelos agrotóxicos através processos como percolação, drenagem, escoamento superficial e subsuperficial, erosão, deriva e volatilização (AMERICO-PINHEIRO & SALES, 2021). No ambiente aquático podem e ligar ao material particulado em suspensão, ao sedimento e a biota (SILVA et al, 2013). Quanto maior a concentração e tempo de exposição, maior as chances de afetar a biota em nível de comunidade e ecossistemas, pois afeta a taxa de reprodução e impede o recrutamento de novas espécies (PERE & MOREIRA, 2003).

Aquaponia como alternativa na otimização da produção

A aquaponia consiste em um meio de produção onde a hidroponia e aquicultura estão integradas em um único sistema, onde ocorre a recirculação de água e nutrientes. Essa recirculação faz com que a produção seja eficiente e sustentável, causando menos impactos ao meio ambiente (HUDLEY et al, 2013; NAVARRO, 2013). O termo aquaponia é relativamente novo, esse modelo de produção é atribuído a povos astecas há mais de 1000 anos, que através de jangadas de barro e varas de madeira produziam vegetais em cima de lagos (EBEL, 2020).

O crescimento populacional, associado ao aumento da demanda por recursos hídricos, há uma enorme pressão sobre os setores de produção alimentícia, devido a isso a sustentabilidade passa a ser uma questão de necessidade. Consequentemente, a produção de alimentos com perda mínima de água e nutrientes também é uma necessidade, sendo a aquaponia uma possibilidade de que isso ocorra (HUNDLEY, 2013).

Diante desse contexto, a aquaponia surge como uma modalidade de cultivo com uma série de benefícios, dentre eles o baixo custo de produção otimização da produção por espaço. Pois é um sistema integrado onde há uma maior eficiência no uso de recursos ideal para produção do pequeno, médio agricultor e até perímetro urbano. A cultura de peixes fornece nutrientes para as plantas, e as plantas limpam a amônia da água para os peixes, beneficiando o sistema.

Havendo assim um melhor controle de qualidade da água, menor quantidade de resíduos orgânicos, controle de algas e fungos que alteram o sabor dos peixes, manutenção anual, possibilidade de várias safras ao ano e manejo intensivo para manter a homogeneidade dos produtos (RAKOCY, 2006; GRABE & JUNGE, 2007; BRAZ FILHO, 2010).

Estudo Bibliométrico e uso da Inteligência Artificial

A comunicação científica é a forma que a academia utiliza para trocar conhecimento entre a comunidade científica, se tornando a força que impulsiona o avanço científico. Com progresso tecnológico, a capacidade de gerar e armazenar uma grande quantidade de informação também gerou novas formas de organizar e analisar, através de estudos métricos da informação. Essas análises por sua vez utilizam métodos matemáticos e estatísticos, dentre eles destacam-se a bibliometria, cientometria e infometria que avaliam e descrevem os cursos da produção científica (SOUZA et al, 2024).

Recentemente os estudos de revisão da literatura tem se tornado uma importante ferramenta, auxiliando os pesquisadores acerca dos principais estudos, de áreas específicas do conhecimento, em determinado espaço-tempo. Sendo as principais: revisões narrativas, integrativas, sistemática, de escopo e bibliométricas. A revisão bibliométrica assim como as demais, utilizam técnicas exploratório-descritiva para aprofundamento de determinado tema, permitindo ainda encontrar pesquisadores e periódicos de maior relevância e análise sistêmica dos dados obtidos (MUNARO et. al, 2024).

Rosenrof e Fernandes (2016) nós trazemos algumas avaliações dos prós e contras da revisão sistemática na visão de alguns autores, mostrando que nos modelos utilizados a maior lacuna encontrada trata-se principalmente do fluxo de busca. E diante desse problema os autores propõe uma metodologia chamada Systematic Search Flow baseado nos seis princípios de Jesson et al (2011), que são estratégia, consulta em base de dados, organizar bibliografias e padronizar seleção de artigos, composição do portfólio e consolidação de dados, síntese e elaboração de relatórios e escrita.

Diante desse contexto, o presente trabalho visa verificar o uso das IoT em sistemas de produção aquaponicos, através mostrando assim as tendências da produção científica nessa área e suas lacunas.

Tecnologias Disruptivas

A evolução da sociedade humana depende da criação de novas ferramentas, e isso marca toda a sua trajetória desde a idade da pedra até a revolução tecnológica atual. Depois da segunda guerra mundial houve a terceira revolução tecnológica, que modificou a forma como se davam as relações sociais. As novas ferramentas e tecnologias desenvolvidas impulsionaram a economia e a qualidade de vida, mas também foram causadoras da diminuição da mão de obra humana alterando a relação do trabalho (SOLIMANI E FILHO, 2017).

A Revolução Digital tem como característica marcante não a profundidade das modificações sociais e sim a velocidade em que afeta a sociedade. Cada uma das grandes revoluções foram responsáveis por criar base para o próximo estágio a ser alcançado, por exemplo, sem o saneamento básico e a energia elétrica melhorando a qualidade de vida não seria possível criar as tecnologias atuais (GABRIEL, 2022).

Uma das características das ferramentas criadas pelos seres humanos é alteração da sua sociedade, porém existem determinadas inovações tecnológicas que modificam profundamente toda a relação social. Essas tecnologias são chamadas de tecnologias disruptivas, pois representam uma quebra nos paradigmas sociais, forçando a sociedade a modificações para se adaptar as inovações tecnológicas (TSUNODA E CÂNDIDO, 2022).

Clayton Christensen cunhou o conceito de inovação disruptiva em seu livro “O dilema da inovação”, onde o autor avalia o impacto de pequenas inovações no mercado em que entram e como modificam as relações de poder. É importante diferenciar inovação incremental e inovações disruptivas, no livro o autor mostra que a primeira melhora um produto já estabelecido no mercado agregando um maior valor, já o segundo muda totalmente a forma como fazemos ou compreendemos algo (CHRISTENSEN, 2011).

Agricultura 4.0

No período neolítico a prática da agricultura dependia totalmente das características climáticas, pois o conhecimento acumulado pela sociedade naquela época era rudimentar. As ferramentas eram simples e o homem estava aprendendo a domar animais para o trabalho. Essa técnica descrita acima é chamada de agricultura 1.0, e infelizmente é a realidade de muitos países hoje (PIVOTO et al, 2023).

Já no entre o século 18 e 19 a troca da matriz energética por combustível fóssil marcou a ascensão da sociedade urbana e industrial, e isso também afetou o meio rural. Com as novas máquinas e ferramentas como fertilizantes, arados reversíveis, colheitadeiras etc. Essas ferramentas ajudaram a acelerar o processo de produção e substituíram grande parte da mão de obra humana, que é uma das principais características da agricultura 2.0 (PIVOTO et al, 2023).

Já na década de 90 do século 20 houve alguns acontecimentos importantes, como a aprovação do primeiro alimento transgênico pela FDA (Food and. Drug Administrativo), surgimento de ferramentas geoespaciais e sensores remotos. Tais tecnologias permitiram o uso de pesticidas, irrigação, fertilizante com alta precisão, marcando o início da agricultura 3.0 (PIVOTO et al, 2023).

Os avanços tecnológicos na área da computação em rede permitiram a criação de dispositivos conectados à internet como sensores, câmeras e smartphones com um baixo custo. Com isso o uso desses dispositivos se tornou viáveis na agricultura. Com isso no início do século 21 surge a agricultura 4.0 ou agricultura inteligente, que com uso da IoT aumentam a produtividade, reduz custo e melhora a qualidade (PIVOTO et Al, 2023).

O conceito de uma rede de dispositivos inteligentes iniciou-se em 1982, com a alteração de uma Coke machine na Universidade de Carnegie Mellon que foi o primeiro dispositivo a ser conectado à internet, reportando se as bebidas que acabaram de ser repostas já estavam frias. O britânico Kevin Ashton foi o primeiro a cunhar o termo “internet of thing” para se referir a um sistema onde a internet está conectada ao mundo físico através de vários sensores (GOKHALE, 2018).

Dessa forma, o contexto da agricultura inteligente utiliza sensores baseados em IoT (internet of thing) para otimizar a produção (PYINGKODI et al, 2022). A tecnologia IoT trata-se de uma rede de objetos físicos, como sensores por exemplo, que estejam conectados a uma rede permitindo assim a coleta e troca de dados. Sendo assim a IoT permite o controle desses objetos remotamente, conectando o mundo físico ao digital resultando em maior eficiência e precisão (GOKHALE et al, 2018).

Sendo assim os agricultores podem monitorar sua produção remotamente recebendo informações importantes em tempo real, como, por exemplo, observar se a umidade do solo está baixa dando início a irrigação (PYIGNKODI, 2022). A IoT tem a capacidade de interação sem a necessidade do ser humano intervir, mesmo estando em seus estágios iniciais vários avanços vêm acontecendo nessa integração entre objetos e sensores na internet (GOKHALE, 2018).

Uso De IoT Para O Monitoramento Do Sistema Aquaponicos

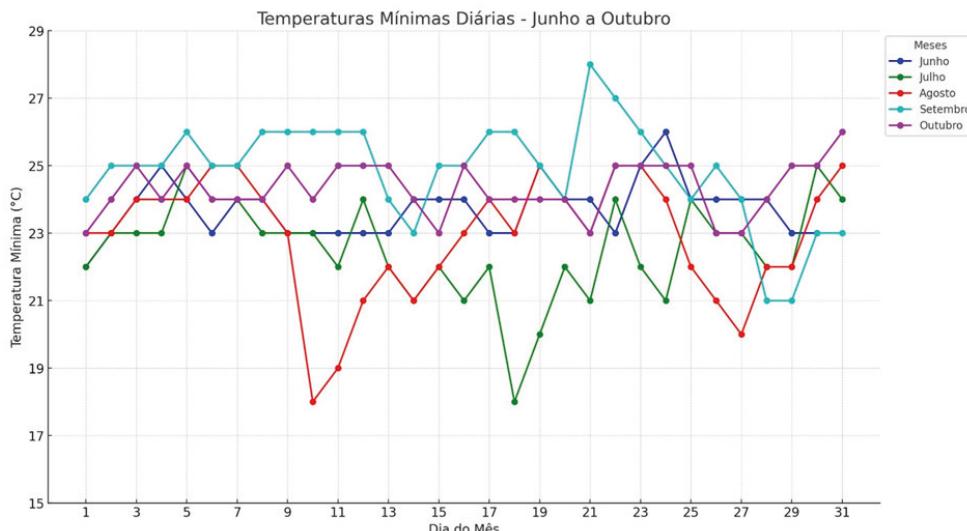


Fig.11.1 Temperaturas mínimas diárias registradas de junho a outubro.

Fonte: Autoria própria, 2024.

O gráfico exibe as temperaturas mínimas diárias registradas de junho a outubro. Cada linha colorida representa um mês específico, facilitando a comparação das variações de temperatura mínima ao longo dos dias e entre os diferentes meses.

Análise dos Dados:

1. Variação ao Longo dos Meses:

Observa-se uma variação moderada nas temperaturas mínimas entre junho e outubro, com temperaturas geralmente entre 21°C e 26°C na maioria dos dias. Junho e julho (linhas azul e verde) apresentam temperaturas mínimas mais estáveis, sem grandes oscilações, variando em torno de 22°C a 25°C. Agosto (linha vermelha) mostra uma maior variação, com quedas em alguns dias para abaixo de 20°C, sugerindo uma possível flutuação climática nesse mês.

2. Meses com Temperaturas Mínimas Mais Baixas:

Agosto tem algumas das temperaturas mínimas mais baixas do período analisado, com quedas acentuadas, especialmente por volta do dia 9. Setembro (linha ciano) e outubro (linha roxa) também apresentam pequenas quedas, mas, em geral, mantêm temperaturas acima de 23°C.

3. Tendência Geral:

A temperatura mínima parece ter uma leve tendência de aumento de junho até outubro, embora com algumas oscilações. Isso pode refletir uma mudança sazonal. Os dias com temperaturas mais baixas em agosto e setembro podem indicar um padrão climático específico para esse período.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise bibliométrica revela que a pesquisa sobre o uso de IoT e Inteligência Artificial na aquaponia é um campo recente e colaborativo, com uma base sólida de referências e um nível significativo de colaboração internacional. Apesar da leve desaceleração na taxa de crescimento de novas publicações, o campo demonstra uma boa repercussão na comunidade científica, indicada pela média de citações por documento. Esses resultados destacam a relevância da tecnologia no aprimoramento de práticas sustentáveis na produção de alimentos, especialmente em regiões como a Amazônia.

O Interesse Variável: O aumento seguido de queda pode indicar que o interesse pelo uso de IoT e Inteligência Artificial na aquaponia teve um período de expansão rápida, mas posteriormente estabilizou ou diminuiu. **Impacto da Pandemia:** Eventos globais, como pandemias ou guerras, podem ter afetado a produção científica, tanto impulsionando quanto reduzindo o número de publicações em determinados períodos.

A Saturação Temporária: A queda pode também indicar uma possível saturação temporária nas pesquisas ou uma mudança no foco para outras áreas dentro da mesma temática. Em resumo, o gráfico sugere um crescimento inicial na produção científica seguido por um pico e uma posterior desaceleração, o que pode refletir as tendências de pesquisa e os desafios enfrentados pelos pesquisadores na área.

De fato, análise das fontes mais relevantes mostra que a pesquisa sobre IoT e IA na aquaponia é um campo interdisciplinar com contribuições de diferentes áreas, incluindo tecnologia, agricultura e sensoriamento. A revista “Computers and Electronics in Agriculture” se destaca como a principal publicação para esses estudos, enquanto as conferências IEEE também são importantes veículos de disseminação. Isso sugere que pesquisadores desse campo precisam buscar múltiplas fontes e plataformas para se manterem atualizados com os avanços.

Além disso, com a aplicação da Lei de Bradford evidencia que algumas fontes concentram a maior parte da produção científica relevante para o tema, com destaque para “Computers and Electronics in Agriculture”. Essas fontes nucleares são essenciais para pesquisadores interessados em manter-se atualizados com os avanços e estudos no uso de tecnologias emergentes na aquaponia.

E a análise bibliométrica demonstra que o campo possui alguns pesquisadores destacados que contribuem ativamente para o avanço do conhecimento sobre o uso de IoT e IA na aquaponia. A presença de autores com múltiplas publicações indica um núcleo de especialistas comprometidos com a pesquisa no tema, o que sugere uma base sólida para futuros avanços e colaborações científicas. E confirma a aplicação da Lei de Lotka na pesquisa sobre IoT e IA na aquaponia. A maioria dos autores publica apenas um documento, enquanto um pequeno grupo de pesquisadores contribui com mais trabalhos. Essa distribuição é típica em muitas áreas científicas e indica que, embora o campo atraia diversos pesquisadores, apenas alguns se dedicam a longo prazo. Esse núcleo de autores prolíficos provavelmente lidera o avanço e a disseminação do conhecimento na área.

Já a nuvem de palavras revela que a pesquisa sobre IoT e IA na aquaponia está centrada no desenvolvimento de sistemas que permitem o monitoramento e controle de variáveis ambientais críticas, com foco em temperatura, oxigênio dissolvido e qualidade da água. Técnicas de aprendizado de máquina, como redes neurais, são aplicadas para prever condições e otimizar o funcionamento dos sistemas. A presença de termos relacionados a desafios e otimização indica que os pesquisadores estão trabalhando para superar barreiras técnicas e melhorar a eficiência dos sistemas de aquaponia conectados, visando uma produção sustentável.

De forma geral, a rede de colaboração revela uma estrutura fragmentada, com pequenos grupos de pesquisadores colaborando de forma isolada entre si. Embora existam núcleos colaborativos importantes, a ausência de interconexões entre os grupos indica que a pesquisa em IoT e Inteligência Artificial na aquaponia está compartmentalizada. Fomentar colaborações entre esses grupos pode potencialmente enriquecer a área, facilitando a troca de ideias e promovendo inovações mais abrangentes e integradas.

A Figura 11.2, sugere que as temperaturas mínimas diárias entre junho e outubro são relativamente estáveis, com pequenas variações. Agosto é o mês com maior variação e apresenta as temperaturas mínimas mais baixas, enquanto outubro tende a apresentar temperaturas um pouco mais elevadas. Essas informações podem ser úteis para entender a variação climática ao longo desses meses e auxiliar em decisões relacionadas a atividades que dependem da temperatura mínima, como práticas agrícolas e de aquaponia.

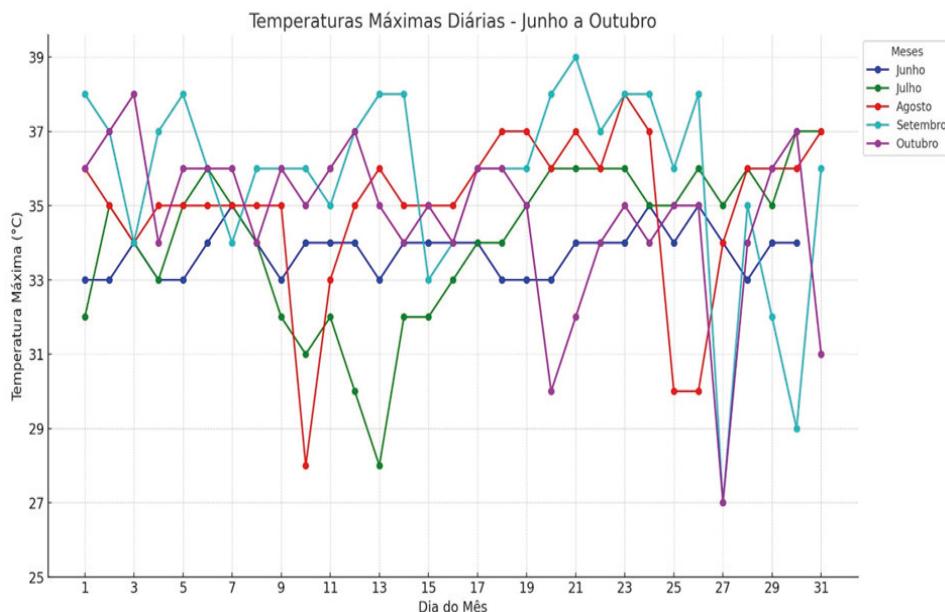


Fig. 11.2 Temperaturas máximas diárias registradas entre os meses de junho e outubro.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Além disso, a Figura 11.2 apresenta as temperaturas máximas diárias registradas entre os meses de junho e outubro. Cada cor representa um mês específico, permitindo uma análise comparativa das variações nas temperaturas máximas ao longo dos dias e entre os diferentes meses.

Portanto, a Figura 11.2 revela que as temperaturas máximas são mais estáveis em junho e julho, enquanto agosto, setembro e outubro mostram maior variabilidade. Setembro parece ser o mês com as temperaturas máximas mais altas, possivelmente devido ao efeito de transição sazonal. As flutuações mais intensas em agosto e outubro sugerem que esses meses têm uma maior susceptibilidade a mudanças climáticas repentinas, o que pode impactar atividades sensíveis à temperatura, como agricultura e aquaponia. Esses dados são valiosos para planejar atividades que dependem das temperaturas máximas diárias.

REFERENCIAS

EMATER. Entidade Autárquica de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Rondônia. Piscicultura. [2016?] Disponível em:<http://www.emater.ro.gov.br/ematerro/piscicultura/> Acesso em 28/10/2020.

HOMMA, Alfredo. Política agrícola ou política ambiental para resolver os problemas da Amazônia? Revista de Política Agrícola, v. 19, n. 1, p. 99-105, 2010.

HOMMA, Alfredo Kingo Oyama. Sinergias de mudanças para uma nova agricultura na Amazônia. Amazônia em tempo: estudos climáticos e socioambientais. Belém: Universidade Federal do Pará, p. 51-80, 2015.

HURTIENNE, Thomas Peter. Agricultura familiar e desenvolvimento rural sustentável na Amazônia. Novos cadernos NAEA, v. 8, n. 1, 2008.

IDARON-RO – Agência de Defesa Sanitária Agrosilvopastoril DO ESTADO DE RONDÔNIA. 2013. Disponível em: www.pciconcursos.com.br/.../idaron-agencia-de-defesa-sanitaria-agrosilvopastoril-ro-396. Acesso em 28/10/2020.

MACINTOSH, D.J.; PHILLIPS, M.J. Environmental issues in shrimp farming in: Shrimp'92 (eds. H.C. Saram & T. Singh). Proceeding of the 3rd global conference on the shrimp industry, infofish, kuala Lumpur, 1992.

MEDEIROS, Edison Lucas de. História da Evolução Sócio-Política de Rondônia. Porto Velho. Editora, 2004.

POERSH, L.H.; ALMEIDAM, M.; GAONA, C.A. et al. Bioflocos: Uma alternativa econômica viável para produtores de camarão em viveiro. Panorama da Aquicultura, p.37, 2012.

PROCHMANN, Angelo Mateus; MICHELS, Ido Luiz. Estudo das Cadeias Produtivas de Mato Grosso do Sul - Piscicultura. Governo do Estado do Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2003, 152 p.

RACKOY, J.; MASSER, M.; LOSORDO, T. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. SRAC Publication, v.454, p.1-16, 2006.

SILVA, Amizael Gomes da. Amazônia Porto velho. Rondônia. Palmares, 1991.

VENÂNCIO, R. & QUEIROZ, J.F. A relação do uso de rações com o ambiente. Alimentação Animal, 1998.

XAVIER, Raica Esteves; DÓRIA, Carolina Rodrigues da Costa. Caracterização e prospecção da cadeia produtiva da piscicultura no Estado de Rondônia. 2013.