

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA**  
**Faculdade de Tecnologia de Jundiaí Deputado Ary Fossen**  
**Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Embarcados**

**Nome:** JOSE AUGUSTO DOS SANTOS                      **RA:** 1141372211015

**Nome:** MARIA EDUARDA DA PAIXÃO BORZANI   **RA:** 1141372211005

**Aplicação de Inteligência Artificial na Otimização do Controle do  
Processo Físico-Químico de Eletrólise**

**Jundiaí  
2024**

**Nome:** JOSE AUGUSTO DOS SANTOS

**RA:** 1141372211015

**Nome:** MARIA EDUARDA DA PAIXÃO BORZANI

**RA:** 1141372211005

## **Aplicação de Inteligência Artificial na Otimização do Controle do Processo Físico-Químico de Eletrólise**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia de Jundiaí - “Deputado Ary Fossen” como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Sistemas Embarcados, sob a orientação do Professor Doutor Gerson Pastre de Oliveira e do Professor Doutor Herbert Rodrigues do Nascimento Costa.

**Jundiaí  
2024**

**(SUBSTITUÍDA ESTA PÁGINA PELA FOLHA DE APROVAÇÃO DIGITALIZADA)**

Dedico este trabalho aos professores e alunos da Fatec Jundiaí, cujos esforços estão moldando o futuro da inteligência artificial e da tecnologia. Que continuemos a explorar e transformar o mundo com inovação e criatividade.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos, primeiramente, à Faculdade de Tecnologia de Jundiaí - “Deputado Ary Fossen” por proporcionar o ambiente propício à realização deste trabalho de graduação, bem como por buscar constantemente oferecer os recursos e a infraestrutura necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

Em especial, expressamos nossa profunda gratidão ao Professor Doutor Gerson Pastre de Oliveira e ao Professor Doutor Herbert Rodrigues do Nascimento Costa, pela orientação e apoio incansáveis durante todo o processo de desenvolvimento do trabalho. Sua expertise, paciência e incentivo foram fundamentais para a realização deste estudo.

Por fim, estendemos nossos agradecimentos a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“A inteligência artificial está transformando a forma como abordamos a produção e os processos industriais, oferecendo novas formas de eficiência e inovação que antes eram inimagináveis.”

**Andrew Ng**

## RESUMO

DOS SANTOS, José Augusto; BORZANI, Maria Eduarda da Paixão. **Aplicação de Inteligência Artificial na Otimização do Controle do Processo Físico-Químico de Eletrólise**. 52 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnólogo em Sistemas Embarcados. Faculdade de Tecnologia de Jundiaí - “Deputado Ary Fossen”. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. Jundiaí. 2024

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e a implementação de um reator de hidrogênio utilizando tecnologia de controle automatizado, com o intuito de validar a viabilidade de sua operação em um ambiente de testes controlado. A montagem do reator foi realizada com êxito, comprovando a eficácia dos materiais e componentes escolhidos para sua construção. Os testes conduzidos demonstraram o funcionamento satisfatório do reator, que atingiu os parâmetros operacionais esperados, evidenciando estabilidade e segurança durante toda a execução. A integração eficiente dos componentes eletrônicos garantiu o desempenho esperado, sem falhas significativas.

Outro aspecto relevante foi a programação da inteligência artificial integrada aos sensores de monitoramento. A interação eficiente entre o software de controle e os sensores, responsáveis pela supervisão contínua dos parâmetros do reator, assegurou a otimização do processo. A inteligência artificial mostrou-se capaz de adaptar-se a diferentes cenários operacionais, promovendo uma gestão eficaz e segura do sistema. Os resultados indicam que o uso combinado de controle automatizado e inteligência artificial proporciona uma solução robusta e escalável para o gerenciamento de reatores.

Em síntese, o trabalho evidenciou a viabilidade da construção e operação de um reator de hidrogênio, destacando o papel das tecnologias emergentes, como automação e inteligência artificial, na otimização de processos industriais. A integração bem-sucedida entre IA e sensores, aliada ao desempenho seguro do reator, abre caminhos para futuras pesquisas e melhorias, com vistas a tornar essa tecnologia mais acessível e eficiente em aplicações práticas.

**Palavras Chave:** controle automatizado; inteligência artificial; automação; estabilidade.



## ABSTRACT

DOS SANTOS, José Augusto; BORZANI, Maria Eduarda da Paixão. **Application of Artificial Intelligence in Optimizing the Physical-Chemical Electrolysis Process Control**. 52 p. End-of-course paper in Technologist Degree in (Sistemas Embarcados em inglês, ver página 20). Faculdade de Tecnologia de Jundiaí - "Deputado Ary Fossen". Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. Jundiaí.2024.

This work aims to develop and implement a hydrogen reactor using automated control technology, with the objective of validating the feasibility of its operation in a controlled testing environment. The assembly of the reactor was successfully completed, demonstrating the effectiveness of the materials and components selected for its construction. The conducted tests showed satisfactory reactor performance, achieving the expected operational parameters and evidencing stability and safety throughout execution. The efficient integration of electronic components ensured the expected performance without significant failures.

Another relevant aspect was the programming of artificial intelligence integrated with monitoring sensors. The efficient interaction between the control software and the sensors, responsible for continuous supervision of the reactor's parameters, ensured process optimization. The artificial intelligence was capable of adapting to different operational scenarios, promoting effective and safe system management. The results indicate that the combined use of automated control and artificial intelligence provides a robust and scalable solution for reactor management.

In summary, this work demonstrated the feasibility of building and operating a hydrogen reactor, highlighting the role of emerging technologies, such as automation and artificial intelligence, in optimizing industrial processes. The successful integration of AI and sensors, combined with the reactor's safe performance, paves the way for future research and improvements, aiming to make this technology more accessible and efficient for practical applications.

**Keywords:** automated control; artificial intelligence; automation; stability.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Imagem 1 - Estrutura do Sistema	32
Imagem 2 - Fluxograma do projeto	33
Imagem 3 - Diagrama Caso de Uso	34
Imagem 4 - Diagrama de Classe	35
Imagem 5 - Diagrama de Atividades	35
Imagem 6 - Diagrama de Atividades	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação de materiais utilizados.....	21
Tabela 2 - Requisitos Funcionais RF-01.....	23
Tabela 3 - Requisitos Funcionais RF-02.....	23
Tabela 4 - Requisitos Funcionais RF-03.....	24
Tabela 5 - Requisitos Funcionais RF-04.....	24
Tabela 6 - Requisitos Funcionais RF-05.....	24
Tabela 7 - Requisitos Funcionais RF-06.....	25
Tabela 8 - Requisitos Não Funcionais RNF- 01.....	25
Tabela 9 - Requisitos Não Funcionais RNF-02.....	26
Tabela 10 - Requisitos de Domínio RD-01.....	27
Tabela 11 - Requisitos de Domínio RD-02.....	27
Tabela 12 - Requisitos de Domínio RD-03.....	28
Tabela 13 - Requisitos de Domínio RD-04.....	28
Tabela 14 - Requisitos de Domínio RD-04.....	29
Tabela 15 - Requisitos de Domínio RD-04.....	29
Tabela 16 - Quadro de especificações dos componentes.....	36

## SUMÁRIO

<b>1 Introdução.....</b>	<b>13</b>
1.1 Introdução da inteligência artificial e tecnologia humanidade.....	13
1.2 Contexto Histórico e Descoberta do Hidrogênio:.....	14
1.3 Introdução do Projeto.....	15
<b>2 Especificação do Sistema.....</b>	<b>17</b>
2.1 Escopo do Projeto.....	17
2.1.1 Objetivos do projeto.....	17
2.1.2 Funcionalidades:.....	17
2.1.3 Limites:.....	18
2.2 Justificativa do projeto:.....	19
2.3 Clientes do sistema.....	20
2.4 Materiais utilizados.....	21
<b>3 Requisitos do Sistema.....</b>	<b>24</b>
3.1 Requisitos Funcionais.....	24
3.2 Requisitos não funcionais.....	26
3.3 Requisitos do Domínio.....	27
<b>4 Definição do Projeto (caso: estruturado).....</b>	<b>31</b>
4.1 Mudança de Arquitetura.....	32
4.2 Arquitetura do Sistema.....	34
4.3 Descrição Lógica dos Processos.....	35
4.4 Casos de Uso.....	36
4.5 Diagramas de Classe.....	36
4.6 Diagramas de Atividades.....	37
4.7 Diagramas de Máquina de Estados.....	38
<b>5 Especificação dos componentes e módulos eletrônicos.....</b>	<b>38</b>
<b>6 Considerações Finais.....</b>	<b>40</b>
<b>Referências.....</b>	<b>41</b>

## 1 Introdução

### 1.1 Introdução da inteligência artificial e tecnologia humanidade

A busca pela Inteligência Artificial (IA) é uma das mais audaciosas da humanidade, direcionada ao desenvolvimento de máquinas que repliquem a mente e as ações humanas. Desde suas origens, a Inteligência Artificial tem sido conduzida pelo anseio de ampliar as habilidades cognitivas do ser humano. A Inteligência Artificial contemporânea é o ponto culminante dessa meta, com a capacidade de alterar drasticamente a forma como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos com o mundo (Russell & Norvig, 2021).

O desenvolvimento da IA está intimamente ligado ao desejo de compreender a própria razão humana. Ao longo da história, filósofos debateram a essência do pensamento, da lógica e da solução de problemas, estabelecendo os fundamentos teóricos que posteriormente fundamentaram a elaboração de sistemas de inteligência artificial (Poole & Mackworth, 2017). A essência da IA reside na tentativa de traduzir os princípios da razão humana em uma linguagem computacional, abrindo novas possibilidades para a evolução tecnológica e a inteligência mecânica.

As redes neurais, um dos pilares fundamentais da Inteligência Artificial contemporânea, são sistemas concebidos para reproduzir o funcionamento dos neurônios biológicos. Essas redes têm a capacidade de aprender e se adaptar com base em informações, ajustando suas ligações de forma semelhante ao cérebro humano, conforme explicado por Poole e Mackworth. (2017), mostrando a complexidade e o potencial desse tipo de abordagem. Esse processo de aprendizado permite que se realizem tarefas complexas, como reconhecimento de padrões, tradução de idiomas e até mesmo a criação artística, mostrando o imenso alcance e versatilidade da inteligência artificial.

A Inteligência Artificial tem se revelado crucial na melhoria de processos industriais, graças à sua habilidade de analisar dados em tempo real, detectar obstáculos e aprimorar o fluxo de trabalho, levando a melhorias notáveis na eficiência e produtividade. Esta habilidade de processar dados complexos rapidamente e fazer

escolhas inteligentes está transformando a indústria, promovendo a inovação e aumentando a competitividade das organizações.

Um marco importante no mundo da IA foi a vitória do programa AlphaGo da DeepMind sobre o campeão mundial de Go, um jogo conhecido por sua complexidade estratégica. Essa conquista demonstrou o avanço significativo dos algoritmos de aprendizado profundo e redes neurais, estabelecendo a IA como uma força poderosa na resolução de problemas complexos (Silver et al., 2016).

Este trabalho investiga a capacidade da Inteligência Artificial em aprimorar o controle de processos físico-químicos, como a eletrólise. Este procedimento é essencial em vários setores industriais e requer um controle minucioso de elementos como temperatura, corrente elétrica e concentração de reagentes. Ao aplicar algoritmos de aprendizado de máquina, é possível analisar dados em tempo real e ajustar os parâmetros automaticamente, aumentando a eficácia e a excelência do produto final. Assim, a IA pode abrir caminho para uma nova era de otimização e inovação industrial.

## **1.2 Contexto Histórico e Descoberta do Hidrogênio:**

O hidrogênio estabelece o elemento mais abundante de todo nosso universo, sua descoberta está diretamente ligada ao desenvolvimento da química. Essa trajetória acadêmica decorre da necessidade do homem em compreender a natureza da matéria, o mundo que o cerca, o aprofundamento da estrutura da água e a identificação de alternativas de energia sustentáveis.

Em primeiro plano, visualizamos a aparição do hidrogênio durante o século XVI, com Theophrastus von Hohenheim realizando a introdução ao tema voltado para a identificação de um gás inflamável ao reagir a metais com ácidos. Henry Cavendish, em 1766, através de experimentos meticulosos, identificou as propriedades de um gás inflamável ao dissolver metais em ácidos diluídos, chamando-o de "ar inflamável" [Cavendish, 1766]. Cavendish nos estrutura como realmente ocorre a diferença do gás da estrutura do ar atmosférico, ocasionando na descoberta do hidrogênio como um elemento químico. [Jensen, W. B. (2005)].

A composição da água foi desvendada em 1800, quando William Nicholson e Anthony Carlisle, por meio de experimentos com eletricidade, conseguiram decompô-la em seus elementos constituintes: hidrogênio e oxigênio [Nicholson,1800]. Essa descoberta revolucionou a química, ao revelar a natureza dos gases liberados e ao inaugurar o estudo da eletrólise, processo que permite a separação de substâncias por meio de correntes elétricas.

No século XX, o hidrogênio, um dos gases identificados por Nicholson e Carlisle, passou a desempenhar um papel central no desenvolvimento de tecnologias de energia limpa [Carlisle,2000]. A produção de hidrogênio através de métodos como eletrólise da água, reforma a vapor e fotólise da água se destacou como uma alternativa sustentável, impulsionando avanços importantes nas estratégias para enfrentar a crise energética e as mudanças climáticas.

As utilizações do hidrogênio são extensas, abrangendo áreas como o transporte, a indústria, a produção de energia e o setor químico. Uma das aplicações mais relevantes é como combustível para veículos, proporcionando uma opção ecológica em relação aos combustíveis fósseis. Ademais, o hidrogênio desempenha um papel crucial na fabricação de amônia, crucial para a produção de fertilizantes, e de metanol, um composto utilizado como combustível.

Ao longo dos anos, o hidrogênio, que antes era um elemento praticamente invisível, passou a ser o protagonista em uma jornada científica em constante evolução. Esse desenvolvimento estabelece as diversas soluções inovadoras para os desafios da energia e da sustentabilidade, fazendo do hidrogênio uma peça chave no futuro das tecnologias limpas.

### **1.3 Introdução do Projeto**

A produção de hidrogênio por meio da eletrólise, processo que utiliza energia elétrica para decompor a água em seus elementos constituintes - hidrogênio e oxigênio - destaca-se como uma área promissora. O hidrogênio, por sua vez, é considerado um combustível limpo e versátil, com potencial para diversas aplicações, como geração de energia elétrica e transporte. Contudo, o gerenciamento exato do processo de eletrólise requer a supervisão contínua de variáveis físicas, tais como tensão elétrica, temperatura e corrente elétrica. É



fundamental aprimorar esses parâmetros para aumentar a eficiência na produção de hidrogênio e assegurar a segurança do procedimento.

Neste cenário, a inteligência artificial se apresenta como um recurso eficaz para a gestão e aprimoramento de processos industriais, como a eletrólise. A habilidade da Inteligência Artificial de examinar grandes quantidades de dados, reconhecer padrões e tomar decisões complexas em tempo real a torna perfeita para automatizar e melhorar processos intrincados, como a produção de hidrogênio.

Este documento descreve a especificação de um sistema de controle de eletrólise otimizado por Inteligência Artificial, com o objetivo de produzir hidrogênio de maneira eficaz e segura. O sistema fundamenta-se na recolha e avaliação de dados em tempo real, empregando algoritmos de aprendizagem automática para ajustar os parâmetros do processo e potencializar a geração de hidrogênio.

O uso da Inteligência Artificial no controle da eletrólise possibilita o acompanhamento em tempo real, reunindo informações de sensores, como temperatura e corrente elétrica, e detectando quaisquer desvios dos parâmetros predefinidos. A Inteligência Artificial tem a capacidade de modificar os parâmetros do processo de eletrólise em tempo real, conforme as circunstâncias operacionais e as metas de produção.

Com base nessas premissas, o estudo atual destaca uma contribuição significativa para o avanço tecnológico no setor de energias renováveis, fornecendo uma alternativa inovadora para o controle do processo de eletrólise. Além disso, promove a viabilidade do uso eficaz da inteligência artificial em processos químicos.

## **2 Especificação do Sistema**

### **2.1 Escopo do Projeto**

#### **2.1.1 Objetivos do projeto**

O sistema, desenvolvido em um protótipo de pequena escala, tem como objetivo principal aprimorar o processo por meio do controle preciso e inteligente dos parâmetros do processo de eletrólise. O objetivo é obter uma compreensão completa dos processos eletroquímicos e suas utilizações na mudança para uma economia de energia limpa, inspirado no trabalho de Hermann Wendt, "Tecnologias Eletroquímicas Avançadas de Hidrogênio" (WENDT, 2008).

A otimização do processo da eletrólise é crucial para potencializar a produção de hidrogênio, minimizando o consumo de energia e garantindo a segurança do processo. O sistema estruturado utiliza a Inteligência Artificial para analisar dados em tempo real, como a tensão elétrica, a temperatura e a corrente elétrica, e tomar decisões inteligentes para ajustar os parâmetros do processo. O sistema propõe demonstrar a praticabilidade da aplicação da Inteligência Artificial no controle de aplicações químicas, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis para a produção de hidrogênio.

#### **2.1.2 Funcionalidades:**

A principal função do sistema é monitorar em tempo real os parâmetros do processo de eletrólise, coletando dados de tensão elétrica, temperatura e corrente elétrica através de sensores específicos. Esses dados são transmitidos para o microcontrolador ESP32, que atua como o "cérebro" do sistema, processando as informações e utilizando algoritmos de inteligência artificial, implementados na plataforma TensorFlow Lite, para análise e tomada de decisão.

A inteligência artificial, treinada com dados históricos do processo de eletrólise, identifica padrões e tendências, utilizando algoritmos de aprendizado de máquina

para otimizar o processo em tempo real. A partir da análise dos dados, a IA toma decisões estratégicas, ajustando os parâmetros do processo através dos atuadores. O sistema utiliza um potenciômetro para ajustar a tensão elétrica, um relé para desarme, um NTC para controle indireto da temperatura do reator, e um transistor regulador para ajustar a corrente elétrica.

O sistema exibe na tela os dados recolhidos, acompanhando a condição do sistema. Esta interface possibilita ao usuário acompanhar o processo de eletrólise, modificar os parâmetros manualmente, caso seja preciso, e visualizar os dados em tempo real, simplificando a avaliação e o monitoramento do rendimento do sistema.

### **2.1.3 Limites:**

Este trabalho desenvolveu um sistema de controle de eletrólise com otimização por Inteligência Artificial que, embora promissor, ainda é um protótipo com restrições para usos em grande escala. A aplicação em pequena escala, feita com o microcontrolador ESP32, evidencia a viabilidade do conceito. No entanto, falta robustez e capacidade de processamento suficientes para lidar com a complexidade de ambientes industriais.

Ademais, o sistema vigente não inclui recursos destinados à produção em larga escala, tais como conexão com a rede elétrica, armazenamento ou administração do hidrogênio gerado. Embora tenha suas limitações, o sistema demonstra grande capacidade para melhorar a eficiência e a segurança na produção de hidrogênio, representando um progresso considerável em comparação aos métodos de controle convencionais. Como destaca [Oliveira, 2018] na obra *Educação Matemática: epistemologia, didática e tecnologia*, a fluência no uso de tecnologias, a aplicação de IA contribui para soluções inovadoras que podem, eventualmente, ser adaptadas para ambientes industriais mais exigentes, à medida que são refinadas e alinhadas às demandas específicas de cada setor.

## 2.2 Justificativa do projeto:

O presente trabalho se justifica pela necessidade de desenvolver tecnologias que otimizem a produção de hidrogênio verde, garantindo eficiência, segurança e sustentabilidade no processo. A utilização da inteligência artificial (IA) no controle e otimização do processo de eletrólise, como proposto neste trabalho, representa um avanço significativo em relação aos métodos tradicionais de controle, permitindo a análise de dados em tempo real e a tomada de decisões inteligentes para ajustar os parâmetros do processo. [Oliveira, 2018]. A IA, com sua capacidade de análise e tomada de decisão, permite ajustar os parâmetros do processo de forma dinâmica, adaptando-se às variações e otimizando a produção de hidrogênio. Essa otimização do processo se traduz em uma produção mais eficiente e sustentável, reduzindo o impacto ambiental e os custos de produção. [Ghoddusi et al., 2019].

Vale destacar que, desde os trabalhos pioneiros de Henry Cavendish, com a publicação de "Experiments on Factitious Airs" em 1766, a busca por métodos eficientes e seguros para produção de hidrogênio tem sido um foco importante da pesquisa científica. [Cavendish, 1766]. O presente trabalho se insere nesse contexto histórico, aproveitando os avanços tecnológicos e científicos para contribuir para o desenvolvimento de soluções mais eficientes e sustentáveis para a produção de hidrogênio.

Atualmente o reconhecimento da inteligência artificial como um campo crucial para o futuro, demonstrado pela premiação do Nobel de Física para John Hopfield e Geoffrey Hinton, destaca a importância de integrar práticas experimentais no currículo escolar. [Colaborou Roger Marzochi, 2024] Isso pode contribuir para a formação de cidadãos mais conscientes e preparados para enfrentar os desafios ambientais e energéticos do futuro, incluindo a aplicação da inteligência artificial para soluções inovadoras e sustentáveis. A pesquisa trabalhada busca contribuir para o avanço do desenvolvimento de tecnologias limpas e sustentáveis, contribuindo para a construção de um futuro guiado pela revolução da inteligência artificial.

Desde a primeira demonstração da eletrólise da água por Nicholson e Carlisle em 1800 [Nicholson, W., & Carlisle, A. (1800)], a eletroquímica tem desempenhado um

papel fundamental no avanço tecnológico na produção de hidrogênio. Entender as reações químicas que ocorrem na decomposição da água, que são a base para a produção eletroquímica de hidrogênio, possibilitou o avanço de tecnologias inovadoras ao longo dos séculos. O progresso do saber científico não apenas abre novas perspectivas, mas também estimula avanços tecnológicos, particularmente na geração de energia limpa e sustentável.

O momento atual é propício para estudos e avanços em melhorias na produção de hidrogênio verde, impulsionados por políticas públicas e investimentos de empresas privadas. O PL 2308/2023, transformado na Lei Ordinária 14948/2024, instituiu o marco legal do hidrogênio de baixa emissão de carbono, criando incentivos para a indústria do hidrogênio e estabelecendo o Regime Especial de Incentivos para a Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono (Rehidro). O projeto-piloto da Petrobras, com investimento de R\$90 milhões, prevê a produção de hidrogênio verde em Alto Rodrigues, no Rio Grande do Norte, utilizando energia solar e gás natural. [**Petrobras, 2024**]. A Petrobras, a maior consumidora de hidrogênio do país, está investindo na produção de hidrogênio verde, demonstrando a importância desse combustível para a redução dos impactos das mudanças climáticas. [**Petrobras, 2024**].

Impulsionado por políticas públicas e investimentos privados, o presente estudo ganha ainda mais relevância ao propor a otimização do processo de eletrólise com inteligência artificial. Conforme proposto, pode contribuir significativamente para o avanço tecnológico e a implementação em larga escala da produção de hidrogênio verde no Brasil. Dessa forma, o sistema pode aprimorar o processo de produção de hidrogênio verde, tornando-o mais eficiente e sustentável.

### **2.3 Clientes do sistema**

O sistema de controle de eletrólise com otimização por IA, apresentado neste trabalho, tem como público-alvo o meio acadêmico e científico. O sistema pode ser utilizado por professores e alunos de faculdades para realizar estudos e experimentos em laboratório, testando diferentes configurações e parâmetros para otimizar a produção de hidrogênio verde.

O sistema é projetado para ser fácil de usar e adaptável a diferentes necessidades, com diferentes níveis de complexidade e recursos. O objetivo final é contribuir para o avanço da tecnologia na produção de hidrogênio verde, e para a construção de um futuro mais sustentável.

## 2.4 Materiais utilizados

Esta seção apresenta a metodologia desenvolvida e aplicada na pesquisa, arquitetando os materiais utilizados para a esquematização do sistema de eletrólise com o controle por inteligência artificial.

O trabalho consistiu na construção de um protótipo com o enfoque de produção de hidrogênio através do processo da eletrólise, com a finalidade de testar em prática a construção da IA e o seu método de treinamento para controlar o processo. O desígnio da pesquisa foi o levantamento das possibilidades que visam a aplicação da inteligência artificial na otimização de processos químicos. Desenvolvendo e testando um sistema de IA para supervisionar e controlar as etapas do processo de eletrólise.

Para a elaboração do protótipo, foram utilizados os seguintes materiais, apresentados na Tabela 1:

Tabela 1- Especificação de materiais utilizados

Número	Material	Descrição	Quantidade
1	Fonte 12V 15A	Fornece a energia para o processo de eletrólise.	1

2	Sensor de Corrente ACS712-20A	Monitora a corrente elétrica que passa pelo reator, fornecendo dados importantes para a IA controlar o processo e garantir a segurança.	1
3	Sensor de Temperatura NTC 10K 5mm Arduino ESP	Monitora a temperatura do reator durante o processo de eletrólise. É crucial para evitar o superaquecimento e garantir a segurança do sistema.	1
4	ESP32	Microcontrolador que atua como core do sistema, recebendo os dados dos sensores, processando-os e controlando os atuadores de acordo com os parâmetros definidos pela IA.	1
6	Transistor	Utilizado para regular a corrente que passa pelos cabos, evitando a sobrecarga e o aquecimento excessivo.	1
7	Relé	Atua como um interruptor controlado pelo ESP32, permitindo ligar e desligar o circuito do reator de acordo com os comandos da IA.	1
8	Placa de Prototipagem - PCB	Facilita a montagem do circuito, permitindo a conexão dos componentes de forma organizada.	1

9	Jumpers	Conectores utilizados para conectar os componentes na placa de prototipagem.	
10	Fios de Instalação Elétrica	Utilizados para conectar os componentes do circuito.	
11	Placa de Aço Inox (20x60mm)	Utilizadas como eletrodos no reator de eletrólise, garantindo a condutividade elétrica e a resistência à corrosão.	2
12	Barra Roscada 1 Metro 1/4 Rosqueada Zincada	Utilizadas para montar a estrutura do reator, fixando as placas de aço inox.	1
13	Porcas	Utilizadas para fixar as barras roscadas e as placas de aço inox no reator.	
14	Filtro para cavalete de entrada	Utilizado para conter a solução de água e sal, além de servir como um filtro para remover impurezas.	1

fonte: Elaborado pelos autores (2024)



### 3 Requisitos do Sistema

#### 3.1 Requisitos Funcionais

Esta seção apresenta os requisitos funcionais do sistema de controle de eletrólise com inteligência artificial, confeccionado para a produção eficaz de hidrogênio. Os requisitos funcionais especificam as funcionalidades necessárias que o sistema possui para atingir seus objetivos.

Em partida da análise das necessidades do processo de eletrólise e da aplicabilidade da inteligência artificial, foram compactados os seguintes requisitos funcionais. Esses requisitos que determinam o comportamento e a competência do sistema:

Tabela 2 - Requisitos Funcionais RF-01

<b>RF-01</b>	
<b>Requisitos Funcionais - Inicialização e Desligamento Automático do Processo</b>	
Descrição do Funcionamento	O sistema deve permitir a inicialização e o desligamento automático do processo de eletrólise, através de comandos pré-definidos pelo usuário no código.

fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Tabela 3 - Requisitos Funcionais RF-02

<b>RF-02</b>	
<b>Requisitos Funcionais - Monitoramento Contínuo de Parâmetros</b>	
Descrição do Funcionamento	O sistema deve monitorar continuamente a tensão elétrica, temperatura e corrente

	elétrica do processo de eletrólise, coletando dados em tempo real.
--	--

fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Tabela 4 - Requisitos Funcionais RF-03

<b>RF-03</b>	
<b>Requisitos Funcionais - Controle Dinâmico dos Parâmetros</b>	
Descrição do Funcionamento	O sistema deve ajustar a temperatura e corrente elétrica do processo de eletrólise em tempo real, com base em algoritmos de controle pré-definidos.

fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Tabela 5 - Requisitos Funcionais RF-04

<b>RF-04</b>	
<b>Requisitos Funcionais - Verificação e Controle da Integridade dos Sistemas</b>	
Descrição do Funcionamento	O sistema deve gerar alertas em caso de falha na comunicação ou leitura de dados dos sensores.

fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Tabela 6 - Requisitos Funcionais RF-05

<b>RF-05</b>	
<b>Requisitos Funcionais - Interrupção Automática do Processo</b>	

Descrição do Funcionamento	O sistema deve interromper o processo de eletrólise automaticamente em caso de falhas persistentes, definidas por um tempo pré-determinado.
----------------------------	---

fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Tabela 7 - Requisitos Funcionais RF-06

<b>RF-06</b>	
<b>Requisitos Funcionais - Retorno de Dados em Tempo Real</b>	
Descrição do Funcionamento	O sistema deve exibir os dados coletados (tensão elétrica, temperatura e corrente elétrica) em tempo real para o usuário.

fonte: Elaborado pelos autores (2024)

### 3.2 Requisitos não funcionais

Esta seção descreve os requisitos não funcionais do sistema de gerenciamento de eletrólise com inteligência artificial, projetado para a produção otimizada e segura de hidrogênio. Os requisitos não funcionais, posto que não estejam diretamente relacionados às funcionalidades do sistema, empenham garantir a qualidade, performance e usabilidade, preservando que o sistema atenda às expectativas e necessidades do projeto.

Tabela 8 - Requisitos Não Funcionais RNF- 01

<b>RNF- 01</b>
<b>Requisitos Não Funcionais - Performance - Taxa de atualização</b>

Descrição do Funcionamento	O sistema deve coletar, processar e analisar os dados em tempo real, com uma taxa de atualização de no mínimo 1 Hz (1 leitura por segundo) para garantir a otimização do processo.
----------------------------	--

fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Tabela 9 - Requisitos Não Funcionais RNF-02

<b>RNF-02</b>	
<b>Requisitos Funcionais - Usabilidade - Linguagem Clara</b>	
Descrição do Funcionamento	O sistema deve ter uma configuração de códigos clara para navegação organizada, permitindo que o usuário acesse facilmente as configurações do sistema.

fonte: Elaborado pelos autores (2024)

### 3.3 Requisitos do Domínio

Nesta parte, abordaremos a elaboração deste projeto, que combina os conhecimentos obtidos durante o curso de Sistemas Embarcados com uma vasta pesquisa e análise de trabalhos pertinentes no campo, com o objetivo de aprimorar o rendimento e a eficiência energética do procedimento.

Para estabelecer os requisitos de domínio que influenciam o comportamento e as habilidades fundamentais do sistema, foi conduzida uma avaliação minuciosa das demandas do processo de eletrólise, considerando vários fatores. Inicialmente, procedemos a uma extensa revisão de literatura, pesquisando artigos científicos e

trabalhos acadêmicos ligados à eletrólise, produção de hidrogênio, gestão de processos e inteligência artificial.

Nesta seção, discutiremos a elaboração deste trabalho, que une os conhecimentos adquiridos durante o curso de Sistemas Embarcados a uma extensa pesquisa e análise de trabalhos relevantes na área, visando melhorar o rendimento e a eficiência energética do processo.

Simultaneamente, analisamos os variados tipos de algoritmos de Inteligência Artificial e suas utilizações em sistemas de controle, com o objetivo de determinar os algoritmos mais apropriados para aprimorar o processo de eletrólise e assegurar a segurança na produção de hidrogênio. A avaliação englobou a análise de algoritmos de controle preditivo, adaptativo e fuzzy, levando em conta as particularidades do processo de eletrólise e as variáveis que afetam a geração de hidrogênio.

Com base nesse estudo aprofundado, foram definidos os seguintes requisitos funcionais que determinam o comportamento e as capacidades essenciais do sistema:

Tabela 10 - Requisitos de Domínio RD-01

<b>RD-01</b>	
<b>Requisitos Domínio - Conhecimentos Químicos - História do Hidrogênio</b>	
Descrição do Funcionamento	Compreender a evolução histórica do conhecimento sobre o hidrogênio, desde sua descoberta até as aplicações atuais, contextualizando seu papel na ciência e na sociedade.

fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Tabela 11 - Requisitos de Domínio RD-02

<b>RD-02</b>
<b>Requisitos Domínio - Conhecimentos Químicos - Composição do Hidrogênio</b>

Descrição do Funcionamento	Compreender a composição química do hidrogênio e suas propriedades relevantes para o desenvolvimento do sistema de produção de hidrogênio.
----------------------------	--

fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Tabela 12- Requisitos de Domínio RD-03

<b>RD-03</b>	
<b>Requisitos Domínio - Conhecimentos Inteligência Artificial - Funcionamento teórica/prática</b>	
Descrição do Funcionamento	Compreender os conceitos e funcionalidades da inteligência artificial (IA) para aplicação no sistema de produção de hidrogênio, incluindo o aprendizado de máquina e a otimização de processos.

fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Tabela 13 - Requisitos de Domínio RD-04

<b>RD-04</b>	
<b>Requisitos Domínio - Conhecimentos de Sensores- Cálculo da temperatura do NTC</b>	
Descrição do Funcionamento	Compreender a composição de componentes eletrônicos, tendo em mente o funcionamento do cálculo necessário para a programação do sensor NTC.

fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Tabela 14 - Requisitos de Domínio RD-04

<b>RD-05</b>	
<b>Requisitos Domínio - Conhecimentos programação Python - Utilização da biblioteca Numpy</b>	
Descrição do Funcionamento	Compreender a linguagem de programação Python e a utilização da biblioteca numpy.

fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Tabela 15 - Requisitos de Domínio RD-04

<b>RD-06</b>	
<b>Requisitos Domínio - Conhecimentos programação Python - Utilização de biblioteca TensorFlow</b>	
Descrição do Funcionamento	Compreender a linguagem de programação Python e a utilização da biblioteca Tensor Flow.

fonte: Elaborado pelos autores (2024)

#### 4 Definição do Projeto (caso: estruturado)

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um gerador de hidrogênio com foco na otimização da produção e controle preciso do processo através da integração de um sistema de inteligência artificial (IA). O projeto se baseia na utilização de placas de aço inox 316L para a construção do gerador e de uma carcaça de filtro de água para garantir a segurança e a eficiência do sistema.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto se estrutura em três etapas principais:

1. **Estrutura do Gerador:** Nesta etapa, o foco é a montagem do gerador de hidrogênio, utilizando placas de aço inox 316L e a carcaça de filtro de água. O sistema de eletrólise, responsável pela produção do hidrogênio, será implementado, juntamente com sensores de temperatura e corrente para monitoramento do processo.
2. **Estrutura da IA:** A segunda etapa se concentra no desenvolvimento do sistema de inteligência artificial, utilizando a linguagem Python. Algoritmos de aprendizado de máquina serão implementados para otimizar a produção de hidrogênio.
3. **Junção das Atividades:** Por fim, o sistema de IA será integrado ao gerador de hidrogênio, configurando a comunicação entre os sensores, o controlador e a IA. Testes e ajustes serão realizados para garantir o funcionamento otimizado do sistema.

A proposta de um gerador de hidrogênio com inteligência artificial identifica um avanço significativo na solução para ocasionar a produção eficiente e segura de hidrogênio, possibilitando a transição para uma economia baseada em energia limpa e sustentável. A integração de um sistema inteligente, baseado em algoritmos de aprendizado de máquina, permite o controle preciso do processo de eletrólise, monitorando e ajustando em tempo real parâmetros como tensão elétrica, temperatura e corrente elétrica. Através da metodologia estruturada, com a utilização de um microcontrolador ESP32 como plataforma de processamento, sensores NTC e ACS712-30A para coletar dados, e atuadores como potenciômetro, relé e transistor regulador para ajustar os parâmetros, o projeto aspira oferecer uma



solução inovadora e eficiente para a produção de hidrogênio, impulsionando a aplicação dessa tecnologia em diversos setores.

O desenvolvimento do sistema teve como ponto de partida a estrutura do filtro de hidrogênio apresentada no canal do YouTube do professor Mario Mhk. No entanto, diversas modificações foram implementadas para otimizar a funcionalidade e a eficiência do sistema, adaptando-o às necessidades específicas do projeto. O entusiasmo e o conhecimento de um dos membros da equipe na área de inteligência artificial impulsionaram a inclusão da IA, desenvolvida em Python com a plataforma TensorFlow, buscando atingir a solução às necessidades do projeto.

#### **4.1 Mudança de Arquitetura**

Durante o desenvolvimento do projeto foi constatada a inviabilidade de construir a Inteligência Artificial através da biblioteca TensorFlow por conta da ausência de suporte direto para MicroPython. A biblioteca TensorFlow foi desenvolvida para ser utilizada em dispositivos com considerável poder de processamento, como Desktops e Cloud Computing. Para utilizar a biblioteca em dispositivos com processamento limitado, como microcontroladores, dispositivos móveis e *wearables*, é necessária a conversão do modelo de IA gerado e treinado no TensorFlow para um modelo em TensorFlow Lite, uma versão otimizada e comprimida, porém, essa versão só pode ser executada através de um interpretador específico para .TFLite, o arquivo comprimido do TensorFlow, ou convertendo o mesmo para C ++, linguagem cujo MicroPython não oferece suporte ou conexão, tornando sua aplicação inviável. Além disso, não é possível utilizar a biblioteca numpy pois seu conteúdo quando descompactado ocupa por completo a memória do microcontrolador.

Para solucionar os problemas encontrados, decidimos desenvolver um modelo de IA simples sem a utilização de bibliotecas auxiliares. Para isso foi utilizada a linguagem Python juntamente com os recursos do Micropython para integrar a IA e os sensores e atuadores. Os parâmetros de treinamento foram definidos de maneira empírica e de acordo com a necessidade específica do sistema. A arquitetura do modelo desenvolvido foi escolhida através de decisões

conceituais e testadas de maneira empírica, sendo empregada a solução que desempenhou melhor seu papel com menor custo computacional.

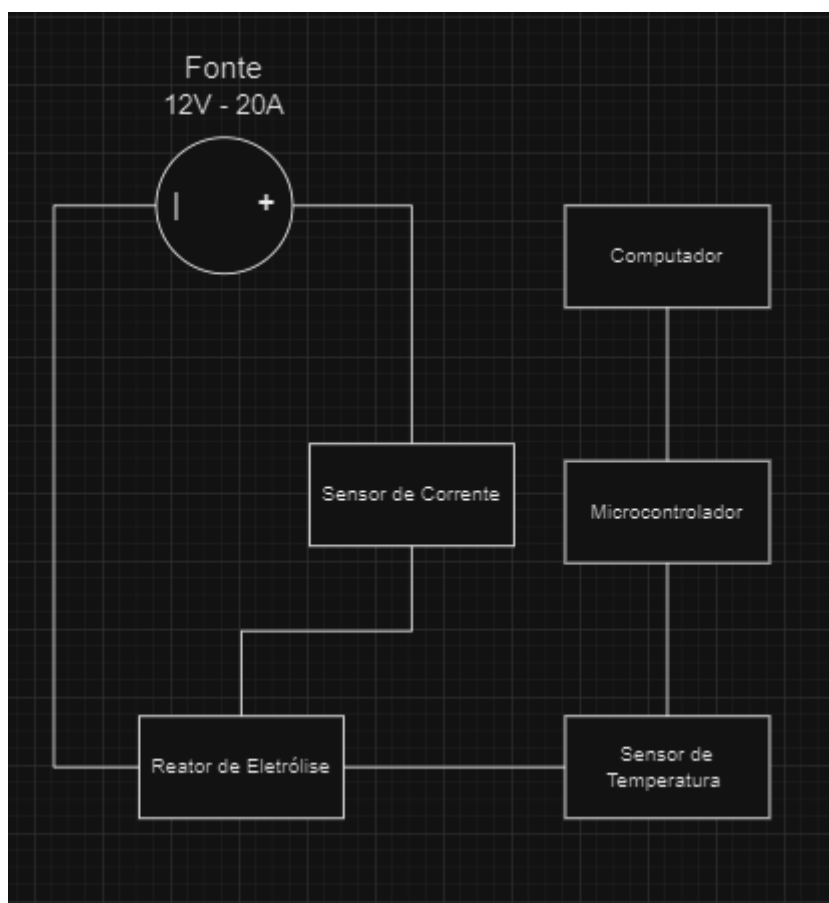
A Inteligência Artificial foi construída utilizando o modelo de Redes Neurais, com a função de ativação ReLu (Rectified Linear Unit), um otimizador Adam e uma função de perda Mean Squared Error (MSE).

- **Funções de Ativação:** As funções de ativação são o que decidem se um neurônio oculto executará sua função ou não, dependendo dos valores de entrada e dos pesos atribuídos a ele. A função ReLu, Rectified Linear Unit, retorna o maior valor entre 0 e o parâmetro de entrada e sua derivada retorna 1 se  $x > 0$ , ou seja, caso as entradas do neurônio resultem em valores negativos ou 0, o neurônio não executa sua ação, tornando se popular para resolução de problemas não lineares e seu rápido treinamento.
- **Otimizador:** O otimizador é a ferramenta que ajusta os pesos atribuídos aos neurônios para convergir a um valor adequado mais rapidamente, minimizando a função de perda e agilizando o processo de treinamento. O otimizador Adam combina o momento e a média quadrática dos pesos para executar essa ação de maneira eficiente, ajustando cada peso de maneira individual.
- **Função de perda:** A função de perda é o algoritmo que indica se o modelo está se distanciando ou se aproximando do parâmetro de saída esperado, sendo útil para aplicar correções nos pesos durante o aprendizado para convergirem a valores que levem a aproximação ao resultado desejado, sendo seu objetivo sempre ser o menor possível. A função de perda Mean Squared Error calcula o quadrado da diferença entre a entrada e saída esperada, quando seu resultado diverge do esperado, a saída produz um resultado alto, que favorece o reajuste dos pesos com a finalidade de diminuir essa diferença.

## 4.2 Arquitetura do Sistema

Esta seção apresenta um diagrama e a descrição da arquitetura do sistema de controle de eletrólise com inteligência artificial, desvendando a estrutura e as relações entre seus principais elementos. O diagrama estruturado busca apresentar de forma facilitada como os componentes se interconectam e juntos constituem o protótipo construído.

**Imagem 1 - Estrutura do Sistema**

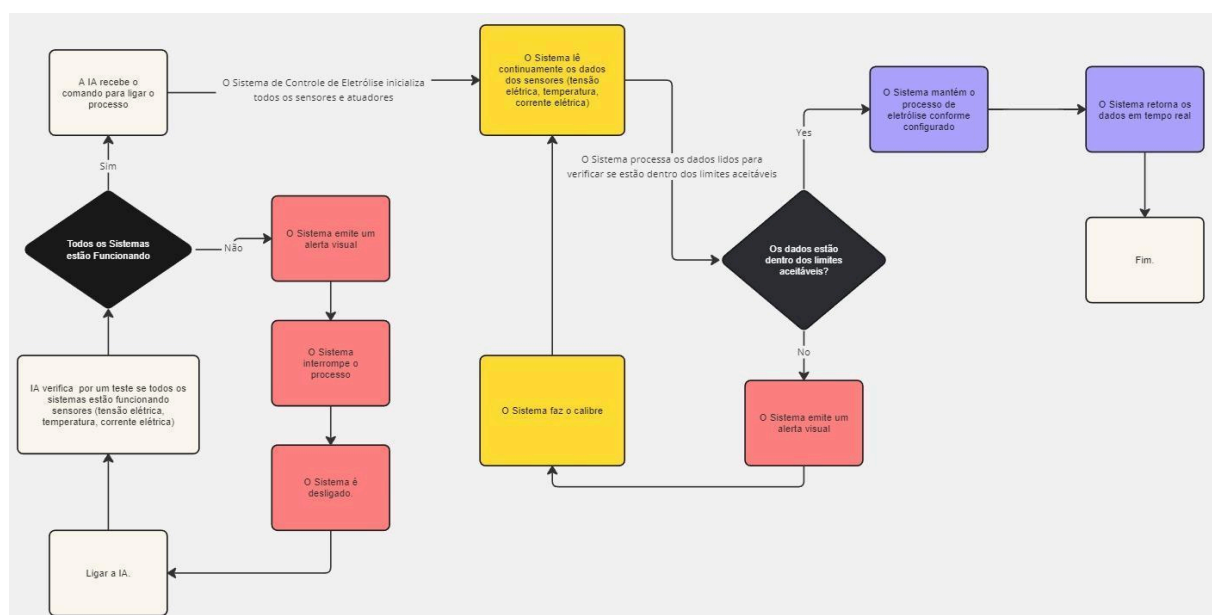


fonte: Elaborado pelos autores (2024)

### 4.3 Descrição Lógica dos Processos

Neste trecho, apresentamos a esquematização da lógica por trás do nosso projeto, evidenciando o caminho de decisão presente em cada etapa. O curso apresentado na imagem a seguir, estruturam a programação do sistema.

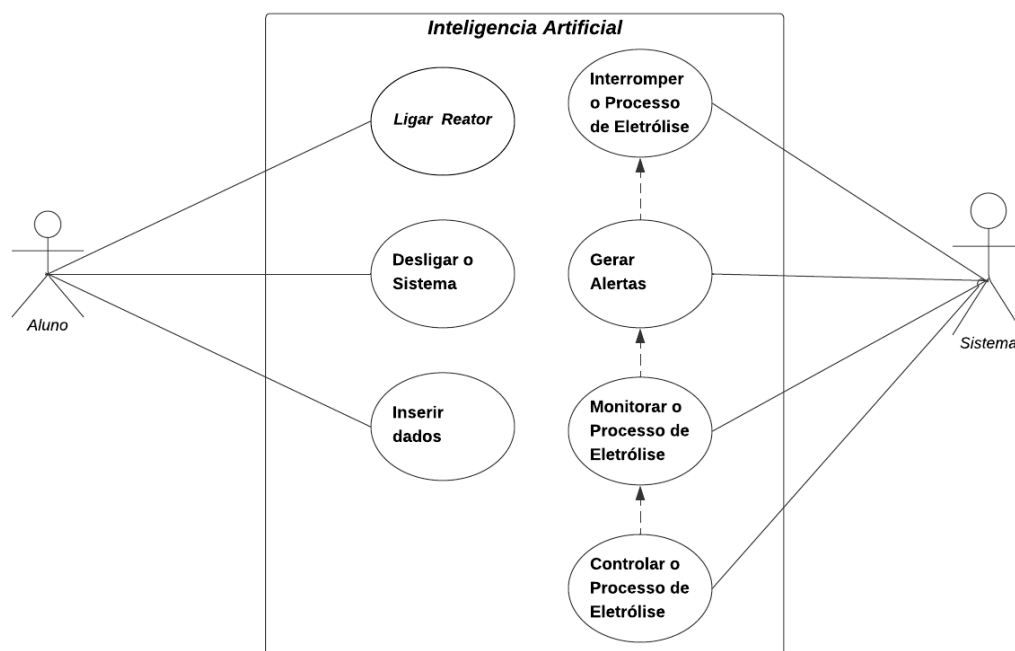
**Imagem 2 - Fluxograma do projeto**



fonte: Elaborado pelos autores (2024)

## 4.4 Casos de Uso

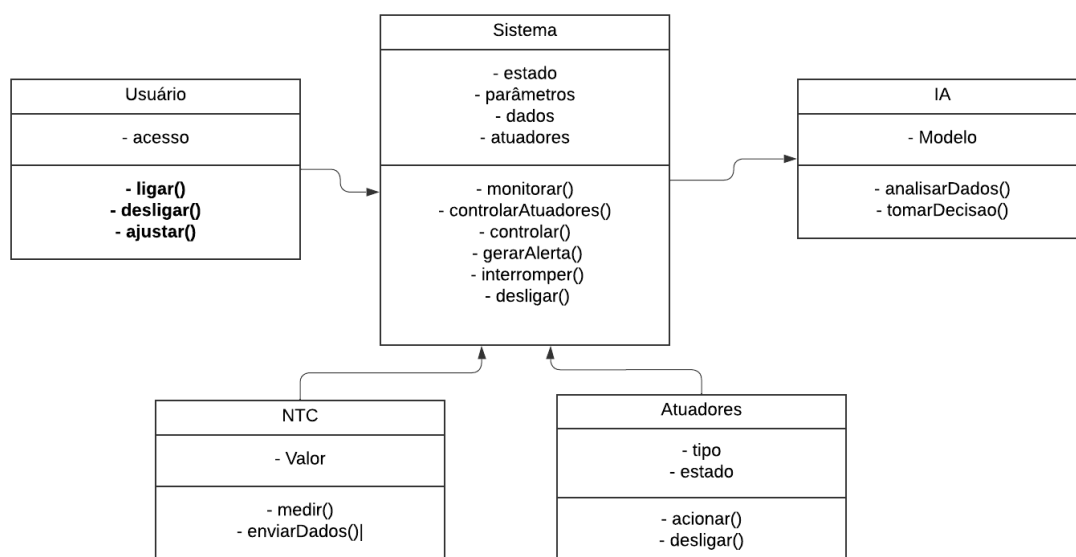
Imagem 3 - Diagrama Caso de Uso



fonte: Elaborado pelos autores (2024)

## 4.5 Diagramas de Classe

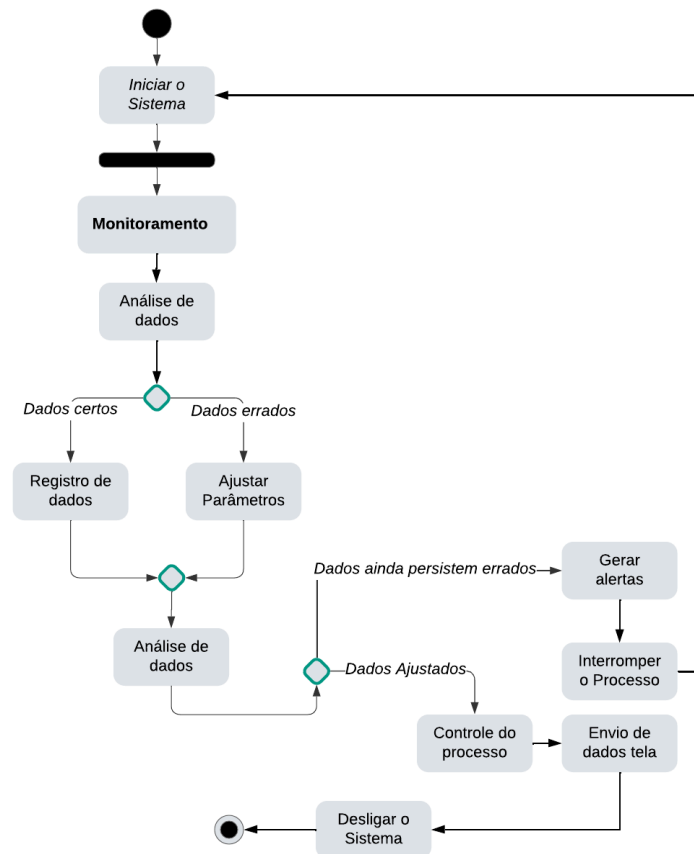
Imagem 4 - Diagrama de Classe



fonte: Elaborado pelos autores (2024)

## 4.6 Diagramas de Atividades

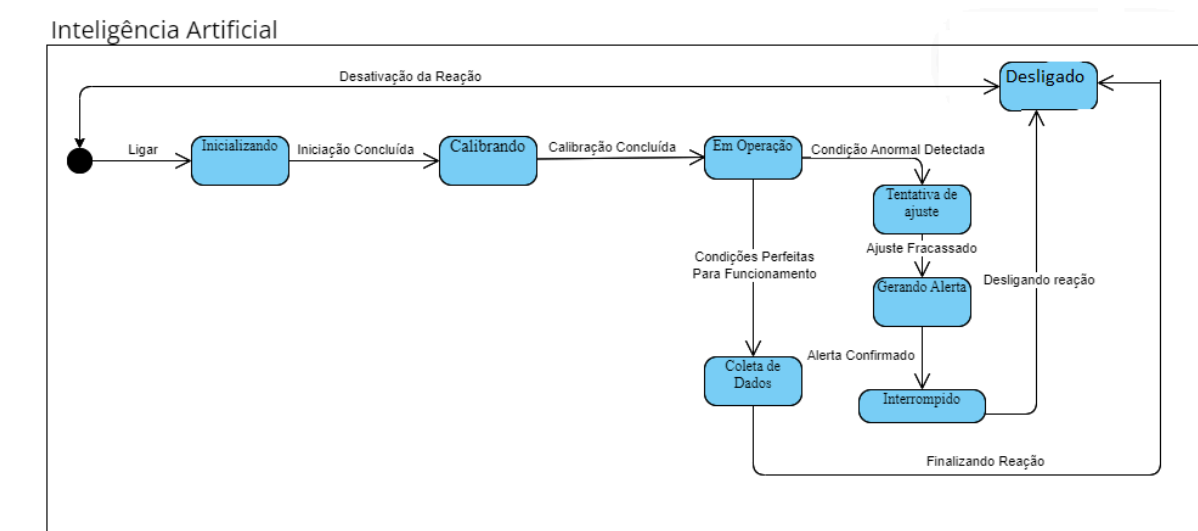
Imagem 5- Diagrama de Atividades



fonte: Elaborado pelos autores (2024)

## 4.7 Diagramas de Máquina de Estados

Imagem 6- Diagrama de Atividades



fonte: Elaborado pelos autores (2024)

## 5 Especificação dos componentes e módulos eletrônicos

Nesta seção, são detalhados os componentes utilizados, com enfoque de evidências as especificações técnicas, de modo a esclarecer seu papel na arquitetura do sistema. A seleção rigorosa dos componentes escolhidos desempenha um papel indispensável na performance e na eficiência do sistema, permitindo uma operação segura e otimizada.

A arquitetura elétrica do sistema possui uma implementação simples. Para seccionamento do sistema, utilizamos um relé, que ao detectar condições extremas de funcionamento, interrompe automaticamente a operação. O controle de potência da carga é realizado pelo transistor MOSFET IRFZ44 no optoacoplador com um pulso PWM que será gerado a partir do microcontrolador ESP32. Para executar um

controle de temperatura indireto, utilizamos um NTC acoplado a um resistor limitador do reator.

A tabela a seguir oferece uma visão geral de cada componente, facilitando o entendimento de sua função e pertinência no conjunto.

Tabela 16 - Quadro de especificações dos componentes

<b>Quantidade</b>	<b>Item</b>	<b>Especificação</b>
1	Fonte 12V 15A	Saída: 12V DC, 15A, proteção contra curto-circuito e sobrecarga.
1	Sensor de Corrente ACS712-20A	Sensor de efeito Hall, corrente nominal 20A, saída analógica.
1	Sensor de Temperatura NTC 10K 5mm	Termistor NTC, resistência a 25°C = 10kΩ, dimensões: 5mm.
1	ESP32	Microcontrolador versão ESP32-WROOM-32, tensão de alimentação do módulo 3,3V.
1	Transistor IRLZ44	Tensão máxima 55V, tensão mínima 20V.
1	Relé	Tensão de alimentação da bobina de 12V.
1	Optoacoplador 6N139	Isolamento de até 5kV para evitar possíveis danos do circuito de potência ao microcontrolador

fonte: Elaborado pelos autores (2024)



## 6 Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e a implementação de um reator de hidrogênio utilizando tecnologia de controle automatizado, com o intuito de validar a viabilidade de sua operação em um ambiente de testes controlado. A montagem do reator foi concluída com sucesso, demonstrando a eficácia dos materiais e componentes escolhidos para sua construção.

O funcionamento do reator também foi um sucesso, atingindo os parâmetros esperados de operação. Durante os testes, o sistema apresentou estabilidade e segurança, confirmando que a integração dos diversos componentes eletrônicos foi realizada de maneira eficiente e sem falhas significativas.

Além disso, a programação da inteligência artificial, integrada com os sensores de monitoramento, foi outro ponto alto deste projeto. A interação entre o software de controle e os sensores, que monitoram continuamente os parâmetros de funcionamento do reator, resultou em um desempenho eficiente. A IA foi capaz de adaptar-se aos diferentes cenários de operação, garantindo a otimização do processo e a segurança do sistema. Os resultados obtidos indicam que a combinação entre o controle automatizado e a inteligência artificial oferece uma solução robusta e escalável para o controle de reatores.

Em resumo, este trabalho demonstrou não apenas a viabilidade da montagem e funcionamento de um reator de hidrogênio, mas também o potencial de aplicação de tecnologias emergentes, como a inteligência artificial e a automação, para otimizar processos industriais e garantir maior segurança e eficiência. O sucesso na integração da IA com os sensores e o funcionamento geral do reator abre portas para futuras pesquisas e melhorias, com o objetivo de tornar este tipo de tecnologia mais acessível e eficiente em aplicações reais.

## Referências

- Almeida, A. S.** et al. Hidrogênio, o combustível do futuro. *Diversitas Journal*, 4(2): 356-366, 2019.
- Carmo, M.; et al.** A comprehensive review on PEM water electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(12): 4909-4933, 2013.
- Cavendish, H. (1766).** *Experiments on Factitious Airs*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 56, 141-184..
- Ghoddusi, H., Creamer, G. G., & Rafizadeh, N. (2019).** Machine learning in energy economics and finance: A review. *Energy Economics*, 81, 709-727.
- IRENA.** Green Hydrogen: a guide to policy making. IRENA, 2020.
- Oliveira, G. P. (2018).** Sobre tecnologias e Educação Matemática: fluência, convergência e o que isto tem a ver com aquilo. In Oliveira, G. P. (Org.). *Educação Matemática: epistemologia, didática e tecnologia*. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Petrobras. (2024).** Petrobras vai produzir hidrogênio verde a partir de 2026. [Notícia online].
- Russell, S., & Norvig, P. (2021).** *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.
- Poole, D., & Mackworth, A. (2017).** *Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Silver, D., et al. (2016).** *Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search*. *Nature*, 529(7587), 484–489.

```
import random
import math

# Função de ativação ReLU
def relu(x):
    return max(0, x)

# Função ReLU derivada
def relu_derivative(x):
    return 1 if x > 0 else 0

# Função linear
def linear(x):
    return x

# Função de perda - Mean Squared Error
def mean_squared_error(y_true, y_pred):
    return (y_true - y_pred) ** 2

# Multiplicação de listas
def dot_product(a, b):
    return sum(x * y for x, y in zip(a, b))

# Treinamento da rede neural
def train_neural_network(X, y, epochs, learning_rate, beta1=0.9, beta2=0.999,
epsilon=1e-8):
    input_layer_neurons = len(X[0])
    hidden_layer_neurons = 8
    output_layer_neurons = 1

    # Inicializa pesos entre as camadas
    hidden_weights = [[random.random() for _ in range(hidden_layer_neurons)]
for _ in range(input_layer_neurons)]
    hidden_bias = [random.random() for _ in range(hidden_layer_neurons)]
```

```

output_weights = [random.random() for _ in range(hidden_layer_neurons)]
output_bias = random.random()

# Inicializa os momentos para o otimizador Adam
m_hidden_weights = [[0 for _ in range(hidden_layer_neurons)] for _ in
range(input_layer_neurons)]
v_hidden_weights = [[0 for _ in range(hidden_layer_neurons)] for _ in
range(input_layer_neurons)]
m_hidden_bias = [0 for _ in range(hidden_layer_neurons)]
v_hidden_bias = [0 for _ in range(hidden_layer_neurons)]

m_output_weights = [0 for _ in range(hidden_layer_neurons)]
v_output_weights = [0 for _ in range(hidden_layer_neurons)]
m_output_bias = 0
v_output_bias = 0

# Treinamento
for epoch in range(epochs):
    total_error = 0

    for i in range(len(X)):
        # Forward pass
        input_data = X[i]
        target_output = y[i][0]

        # Camada oculta
        hidden_layer_input = [dot_product(input_data, [hidden_weights[j][k] for
j in range(input_layer_neurons)]) + hidden_bias[k] for k in
range(hidden_layer_neurons)]
        hidden_layer_output = [relu(x) for x in hidden_layer_input]

        # Camada de saída com ativação linear

```

```

    output_layer_input = dot_product(hidden_layer_output, output_weights)
+ output_bias
    predicted_output = linear(output_layer_input)

# Função de perda
    loss = mean_squared_error(target_output, predicted_output)
    total_error += loss

# Backpropagation
    d_predicted_output = predicted_output - target_output

# Gradiente para a camada oculta
    d_hidden_layer = [d_predicted_output * output_weights[j] *
relu_derivative(hidden_layer_output[j]) for j in range(hidden_layer_neurons)]

# Atualização dos pesos da camada de saída
    for j in range(hidden_layer_neurons):
        m_output_weights[j] = beta1 * m_output_weights[j] + (1 - beta1) *
hidden_layer_output[j] * d_predicted_output
        v_output_weights[j] = beta2 * v_output_weights[j] + (1 - beta2) *
(hidden_layer_output[j] * d_predicted_output) ** 2
        output_weights[j] -= learning_rate * m_output_weights[j] /
(math.sqrt(v_output_weights[j]) + epsilon)

    m_output_bias = beta1 * m_output_bias + (1 - beta1) *
d_predicted_output
    v_output_bias = beta2 * v_output_bias + (1 - beta2) *
(d_predicted_output ** 2)
    output_bias -= learning_rate * m_output_bias /
(math.sqrt(v_output_bias) + epsilon)

# Atualização dos pesos da camada oculta
    for k in range(input_layer_neurons):
        for j in range(hidden_layer_neurons):

```

```

        m_hidden_weights[k][j] = beta1 * m_hidden_weights[k][j] + (1 -
beta1) * input_data[k] * d_hidden_layer[j]
        v_hidden_weights[k][j] = beta2 * v_hidden_weights[k][j] + (1 - beta2)
* (input_data[k] * d_hidden_layer[j]) ** 2
        hidden_weights[k][j] -= learning_rate * m_hidden_weights[k][j] /
(math.sqrt(v_hidden_weights[k][j]) + epsilon)

    for j in range(hidden_layer_neurons):
        m_hidden_bias[j] = beta1 * m_hidden_bias[j] + (1 - beta1) *
d_hidden_layer[j]
        v_hidden_bias[j] = beta2 * v_hidden_bias[j] + (1 - beta2) *
(d_hidden_layer[j] ** 2)
        hidden_bias[j] -= learning_rate * m_hidden_bias[j] /
(math.sqrt(v_hidden_bias[j]) + epsilon)

# Erro médio por época
mean_error = total_error / len(X)

if epoch % 100 == 0:
    print(f"Epoch {epoch}, MSE: {mean_error}")
return hidden_weights, hidden_bias, output_weights, output_bias

# Função de predição
def predict_single(input_data, hidden_weights, hidden_bias, output_weights,
output_bias):
    hidden_layer_input = [dot_product(input_data, [hidden_weights[j][k] for j in
range(len(input_data))]) + hidden_bias[k] for k in range(len(hidden_bias))]
    hidden_layer_output = [relu(x) for x in hidden_layer_input]

    output_layer_input = dot_product(hidden_layer_output, output_weights) +
output_bias
    predicted_output = linear(output_layer_input)

return predicted_output

```

**# Dados de entrada**

**X = [[100,10], [90,10], [80,10], [70,10], [60,8], [50,7], [40,6], [30,5], [20,4], [10,3],  
[0,1], [30,1]] # Temperatura e Corrente atuais**

**y = [[0], [10], [20], [30], [40], [50], [60], [70], [80], [90], [100], [100]] # Ajuste**

**# Parâmetros de treinamento**

**epochs = 1000**

**learning\_rate = 0.01**

**hidden\_weights, hidden\_bias, output\_weights, output\_bias =**

**train\_neural\_network(X, y, epochs, learning\_rate)**

## APÊNDICE B – Código [programa principal.py]

```

from machine import ADC, Pin, PWM
import math
import time
import parametros as p

#-----
#-----SENSOR DE
TEMPERATURA-----
#-----

BETA = 3950

ntc = ADC(Pin(34))
ntc atten(ADC.ATTN_11DB)

def read_ntc_temperature():
    analog_value = ntc.read()
    temperature_celsius = 1 / (math.log(1 / (4096 / analog_value - 1)) / BETA + 1.0
/ 298.15) - 273.15
    return temperature_celsius

#-----
#-----SENSOR DE
CORRENTE-----
#-----

adc = ADC(Pin(35))
adc.width(ADC.WIDTH_12BIT)

```



```
adc.atten(ADC.ATTN_11DB)
```

```
VCC = 3.3
```

```
SENSITIVITY = 0.066
```

```
ADC_OFFSET = 2830 # Valor do ADC correspondente a 0A
```

```
def read_current():
```

```
    adc_value = adc.read()
```

```
    time.sleep(0.3)
```

```
    adjusted_value = adc_value - ADC_OFFSET # Ajustar a leitura com base no
offset medido
```

```
    sensor_voltage = (adjusted_value / 4095) * VCC # Converter leitura
ajustada para tensão
```

```
    # Calcular a corrente (em A)
```

```
    current = sensor_voltage / SENSITIVITY
```

```
    return current
```

```
#-----
```

```
#-----RELÉ DE
```

```
SECCIONAMENTO-----
```

```
#-----
```

```
rele = Pin(5, Pin.OUT)
```

```
#-----
```

```
#-----REGULAGEM DE
```

```
SAÍDA-----
```

```
#-----
```

```
frequency = 5000
```

```
led = PWM(Pin(2), frequency)
```

```
def adjust_output_current(prediction):
```

```
    min_value = 15
```

```
    max_value = 125
```

```
    new_min = 0
```

```
    new_max = 1023
```

```
    # Aplica normalização
```

```
    normalize = ((prediction - min_value) / (max_value - min_value)) * (new_max -
new_min) + new_min
```

```
    if normalize <0:
```

```
        normalize = 0
```

```
    else:
```

```
        led.duty(int(normalize))
```

```
#-----
```

```
#-----VOID LOOP()-----
```

```
#-----
```

```
while True:
```

```
    temperature = read_ntc_temperature()
```

```
    current = read_current()
```

```
    print(f"Temperature: {temperature:.2f} °C, Current {current:.2f} A")
```

```
    # Executa a predição do modelo e ajusta a saída
```

```
    prediction = p.predict_single([temperature, current], p.hidden_weights,
p.hidden_bias, p.output_weights, p.output_bias)
```

```
    adjust_output_current(int(prediction))
```

```
print("Adjusted Temperature :", int(prediction), "°C", end="\n\n\n\n")
```

```
if temperature > 125:
```

```
    rele.value(1)
```

```
else:
```

```
    rele.value(0)
```

```
time.sleep(2)
```