

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JAKSON FELIX DA SILVA ARAUJO

**PROJETO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA UMA
PLANTA DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO**

MEDIANEIRA

2025

JAKSON FELIX DA SILVA ARAUJO

**PROJETO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA UMA
PLANTA DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO**

Project of a supervisory system for a hydrogen production plant

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Alex Lemes Guedes.

MEDIANEIRA

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

JAKSON FELIX DA SILVA ARAUJO

**PROJETO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA UMA
PLANTA DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 03/fevereiro/2025

Alex Lemes Guedes
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Leandro Antonio Pasa
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cristian Stanhaus
Mestrado
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

**MEDIANEIRA
2025**

Dedico este trabalho aos meus pais, Cristiane F. Freitas e Evandro S. Araujo, pelo amor e apoio incondicional em todos os momentos da minha graduação; aos meus amigos, pela companhia e incentivo ao longo dessa jornada. Este trabalho é o reflexo de um sonho construído com dedicação, esforço e colaboração, que só foi possível graças ao trabalho e à assistência de cada um deles.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus pela oportunidade da vida e por me proporcionar o conhecimento e a força para seguir em frente. Sou grato à Itaipu Parquetec pela oportunidade de realizar este trabalho em suas instalações e utilizando seus equipamentos. Agradeço também ao LAD (Laboratório de Automação e Desenvolvimento), que me acolheu e foi minha segunda casa durante toda a graduação.

Um agradecimento especial ao Professor Alex Lemes Guedes, que possibilitou diversas experiências e ensinamentos valiosos, sua amizade, acima de tudo, foi o meu maior presente. Um agradecimento especial ao Victor Augusto, sempre presente com seus conselhos e amizade.

À minha namorada Jennifer Vieira, muito mais do que um simples agradecimento, é uma honra estar ao seu lado nesse período tão importante de nossa formação, pela compreensão e apoio incondicional.

Por fim, agradeço a todos que, ao longo dessa jornada, de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

RESUMO

Devido às mudanças climáticas e ao aumento da temperatura global, o movimento de descarbonização dos setores emissores de gases de efeito estufa tem ganhado força. Nesse contexto, o hidrogênio verde surge como uma possível solução, pois é produzido a partir de fontes renováveis e, quando manufaturado por meio da eletrólise alcalina da água, não emite dióxido de carbono. A substituição de combustíveis fósseis usados em processos industriais, no transporte de cargas ou na produção de hidrogênio cinza é uma tendência global, com diversas nações aumentando seus investimentos em tecnologias de produção de hidrogênio verde. A planta de produção de hidrogênio verde é um processo que exige cuidados devido às altas pressões e temperaturas presentes no sistema. Monitorar e controlar os sensores e atuadores é essencial para garantir a segurança e eficiência da produção. A automação desse processo envolve o monitoramento e aquisição de dados do sistema em tempo real, características essenciais dos sistemas supervisórios SCADA. Esta pesquisa apresenta o desenvolvimento de um sistema supervisório para uma planta de produção de hidrogênio verde, com o projeto de telas interativas que permitem a comunicação em tempo real com o controlador principal do processo. A implementação de um sistema SCADA em uma planta real de produção de hidrogênio, com alarmes, notificações e monitoramento em tempo real, se mostrou uma solução promissora para aumentar a eficiência e segurança na produção de hidrogênio verde.

Palavras-chave: eletrólise; automação; sistemas de controle supervisório; gás como combustível.

ABSTRACT

Due to climate change and the increase in global temperature, the decarbonization movement of greenhouse gas-emitting sectors has gained momentum. In this context, green hydrogen emerges as a potential solution, as it is produced from renewable sources and, when manufactured through alkaline water electrolysis, does not emit carbon dioxide. The substitution of fossil fuels used in industrial processes, cargo transportation, or gray hydrogen production is a global trend, with many nations increasing their investments in green hydrogen production technologies. The green hydrogen production plant is a process that requires careful attention due to the high pressures and temperatures present in the system. Monitoring and controlling sensors and actuators is essential to ensure production safety and efficiency. The automation of this process involves real-time monitoring and data acquisition of the system, which are key features of SCADA supervisory systems. This research presents the development of a supervisory system for a green hydrogen production plant, with the design of interactive screens that enable real-time communication with the main process controller. The implementation of a SCADA system in a real hydrogen production plant, with alarms, notifications, and real-time monitoring, proved to be a promising solution to enhance efficiency and safety in green hydrogen production.

Keywords: electrolysis; automation; supervisory control systems; gas as fuel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2022	14
Figura 2 - Emissões de gases de efeito estufa no setor de Energia e Processos Industriais	14
Figura 3 - Descarbonização dos principais setores da economia via hidrogênio	15
Figura 4 - Distribuição da energia elétrica por fonte no Brasil	17
Figura 5 - Exemplo esquemático de sistema interligado entre painel fotovoltaico, eletrolisador e carga elétrica	19
Figura 6 – Subunidades de uma PPH	20
Figura 7 – Arquitetura de um sistema SCADA	22
Figura 8 - Tamanho de dados digitais	23
Figura 9 - Diagrama Esquemático da Planta Física	25
Figura 10 - Planta de Produção de Hidrogênio	26
Figura 11 – Fluxo de Funcionamento do Processo de Produção de H ₂	27
Figura 12 - CLP ABB	28
Figura 13 - Haiwell Cloud SCADA Software Supervisório	29
Figura 14 - Diagrama do projeto com telas e equipamentos	30
Figura 15 - Tela Principal de Operação	30
Figura 16 - Tela de Configurações	31
Figura 17 - Tela de Ajuda	32
Figura 18 - Tela de Relatórios	33
Figura 19 – Tela de Históricos	33
Figura 20 – Hierarquia do Supervisório	34
Figura 21 - Paleta de cores usadas no supervisório SCADA	36
Figura 22 - Variáveis Digitais	37
Figura 23 - Variáveis Analógicas	39
Figura 24 - Botões do Menu	41
Figura 25 - Exemplo de Mensagem de Alarme	42
Figura 26 - Arquitetura do teste em simulação	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos estados da PPH.....	27
Quadro 2 - Legenda do diagrama da planta.....	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1	Hidrogênio verde	13
2.1.1	Descarbonização.....	13
2.1.2	Fontes Renováveis.....	16
2.1.3	Potencial do Hidrogênio como Fonte Renovável.....	17
2.2	Planta de produção de hidrogênio (PPH).....	18
2.2.1	Classificações do Hidrogênio	18
2.2.2	Eletrólise da água.....	18
2.2.3	Funcionamento de uma PPH e suas variáveis	20
2.3	SCADA.....	21
2.3.1	Supervisão na Automação	21
2.3.2	Aquisição de Dados.....	22
2.4	Redes de Comunicação Industrial	23
3	METODOLOGIA	25
3.1	Estrutura Física	25
3.1.1	CLP	28
3.2	Escolha do Software Supervisório	28
3.3	Projeto das telas.....	29
3.3.1	Tela principal de operação	29
3.3.2	Telas de configurações e ajuda.....	31
3.3.3	Telas de relatórios e históricos	32
4	RESULTADOS.....	34
4.1	Sistema de Monitoramento e Supervisão	36
4.1.1	Variáveis digitais.....	37
4.1.2	Variáveis analógicas.....	39
4.1.3	Outras funções da tela de operação principal	40
4.2	Aquisição de dados.....	41
4.2.1	Dados dos sensores analógicos.....	43
4.3	Ajudas do supervisório.....	43
4.4	Testes de funcionamento	44
4.4.1	Teste do supervisório em simulações	44
4.4.2	Teste do supervisório na planta física real	45
5	CONCLUSÃO	47

REFERÊNCIAS.....	49
APÊNDICE A – Imagens das telas do supervisor.....	52
APÊNDICE B - Tabela de variáveis do supervisor.....	65

1 INTRODUÇÃO

Em um contexto em que as mudanças climáticas globais estão se tornando cada vez mais evidentes, é inegável o impacto do aquecimento global causado pelo crescente aumento de gases de efeito estufa na atmosfera. Uma parcela significativa desses gases é proveniente de atividades industriais e do transporte de cargas pesadas, que liberam diariamente dióxido de carbono (CO_2) devido à queima de combustíveis fósseis não renováveis (TSAI, POTENZA, *et al.*, 2023).

Uma fonte de energia menos prejudicial que a derivada da queima de combustíveis fósseis é o hidrogênio (H_2). Apesar de ser um dos elementos mais abundantes na superfície terrestre, geralmente ele é encontrado combinado com outros elementos e raramente em sua forma pura. Atualmente, ele já é amplamente utilizado em processos de refino e produção de fertilizantes, porém é produzido predominantemente por meio de fontes não sustentáveis, como a reforma do gás natural (CORREIA, 2022).

O conceito de hidrogênio verde (H_2V) surge como uma alternativa mais sustentável para sua produção. Obtido através do processo de eletrólise alcalina da água, a produção do hidrogênio verde não emite gases de efeito estufa e produz apenas água como resíduo. Essa tecnologia tem experimentado um crescimento significativo nas últimas décadas, impulsionada por pesquisas e inovações constantes nessa área (GIZ, 2021).

Uma planta de produção de hidrogênio verde consiste em uma série de subsistemas interligados em um processo contínuo, alimentado por fontes renováveis de energia, como energia fotovoltaica e eólica. A automação desempenha um papel crucial nesse processo, sendo a implementação de um sistema supervisório, como o SCADA, um exemplo de como otimizar, monitorar, controlar e analisar os dados de produção de forma eficiente (QUISPE, 2020).

Uma planta de geração de hidrogênio verde acessível, porém automatizada e fácil de operar torna o processo mais confiável, seguro e eficiente, contribuindo, por consequência, para a inovação e o avanço do conhecimento nesse campo.

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho é a implementação de um sistema supervisório SCADA em uma planta de produção de hidrogênio verde. Para atingir esse objetivo, os seguintes objetivos específicos serão abordados:

- Selecionar um software, gratuito e adequado à aplicação, para a construção do supervisório SCADA;
- Desenvolver a comunicação entre o Controlador Lógico Programável (CLP) utilizado para o controle da Planta de Produção de Hidrogênio e o sistema supervisório;
- Criar uma interface de monitoramento da planta de produção de hidrogênio;
- Implementar um sistema de segurança com alarmes, notificações e registros históricos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção será apresentado o estado da arte e os principais estudos e conceitos utilizados. O objetivo é construir uma base sólida para o entendimento do trabalho, relacionado à descarbonização das fontes de energia, produção de hidrogênio verde, supervisão e controle de processos eletroquímicos.

2.1 Hidrogênio verde

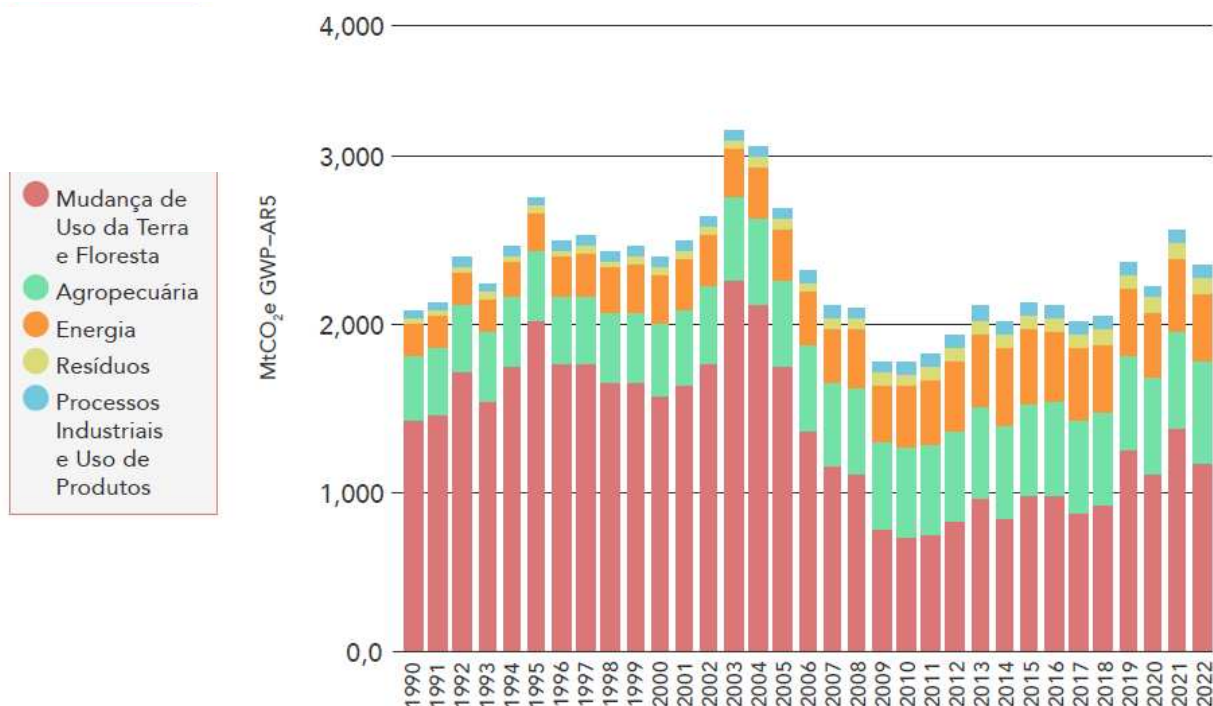
As mudanças climáticas e o aumento da temperatura média global têm preocupado diversos setores da economia mundial, como os setores de geração de energia e de transporte de cargas e passageiros. Essa preocupação com as mudanças climáticas está criando uma demanda por uma economia descarbonizada. Nesse contexto, a produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis emerge como um vetor importante para atingir esse objetivo (ALVARENGA, 2021).

2.1.1 Descarbonização

Com o objetivo de cumprir as metas de descarbonização estabelecidas no Acordo de Paris, o Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), incluindo CO₂, CH₄, N₂O, perfluorcarbonos, hidrofluorcarbonos e SF₆. A meta é alcançar uma redução de 37% em relação aos níveis de 2005 até 2025. Além disso, o país tem a ambição de atingir uma redução de 43% até 2030 (BRASIL, 2015).

De acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), o Brasil registrou um total de 2,3 bilhões de toneladas de gases de efeito estufa emitidos no ano de 2022, considerando a análise da emissão bruta. Essa informação pode ser visualizada na Figura 1. Por envolver a queima de combustíveis fósseis para fornecimento de energia, os setores de energia e processos industriais são um dos principais responsáveis pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE) (TSAI, POTENZA, *et al.*, 2023).

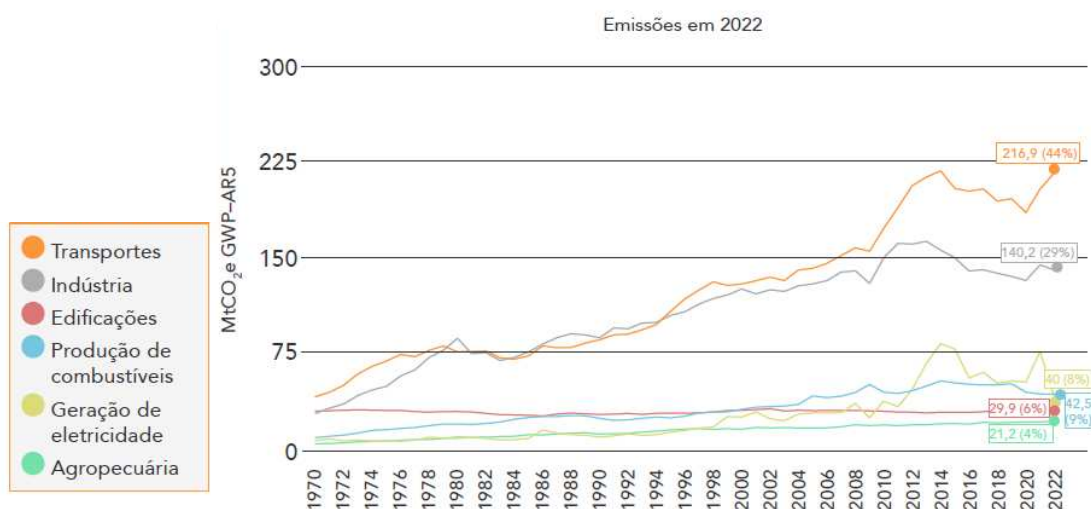
Figura 1 - Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2022



Fonte: Adaptado de TSAI (2023)

Outro setor responsável por gerar e emitir esses gases é o de transportes, que corresponde a 44% das emissões provindas do setor de energia e processos industriais, vide o gráfico presente na Figura 2 (TSAI, POTENZA, *et al.*, 2023).

Figura 2 - Emissões de gases de efeito estufa no setor de Energia e Processos Industriais

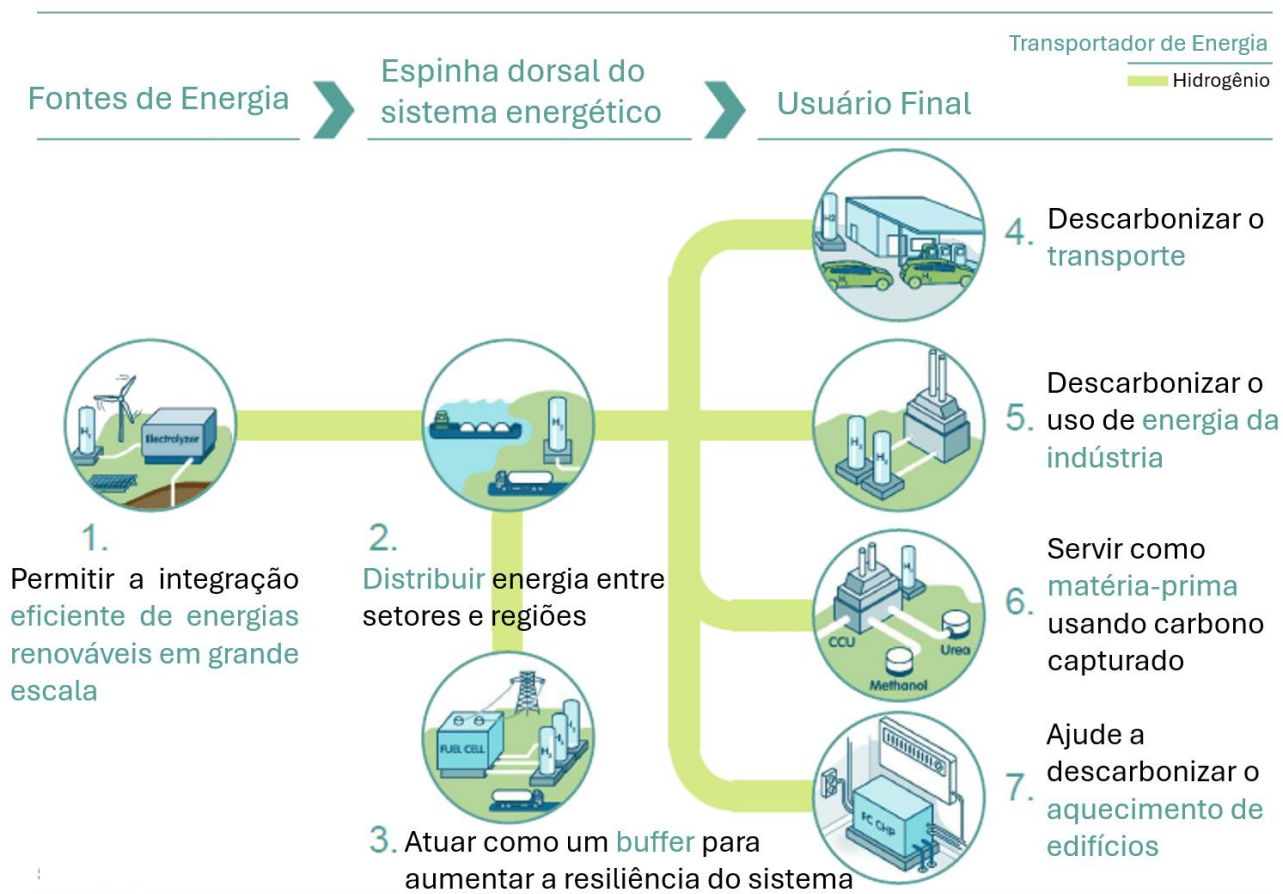


Fonte: Adaptado de TSAI (2023)

De acordo com estimativas da Agência Internacional de Energia (AIE), o aumento da demanda global de energia crescerá entre 25% e 30% até 2040, o que está relacionado com mais emissão de gases do efeito estufa devido à dependência que a tecnologia atual possui de carvão e derivados do petróleo (CH2V, 2019).

O hidrogênio verde é um alvo estratégico de várias nações no âmbito da descarbonização das economias, sendo altamente valioso em questão energética e produzido, em sua grande maioria, por meio de energias renováveis. Esta estratégia vem de encontro como um componente essencial para alcançar os objetivos de diminuição das emissões de GEE estabelecidos pelos países no Acordo de Paris (GIZ, 2021). A Figura 3 ilustra a interconexão do hidrogênio entre os setores de produção, armazenamento de energia e utilização pelos usuários finais.

Figura 3 - Descarbonização dos principais setores da economia via hidrogênio



Fonte: Adaptado de COUNCIL (2017)

A discrepância entre a demanda e a geração de energia é uma realidade variável ao longo do dia e ao longo das estações do ano (HYDROGEN COUNCIL, 2017). Em certos momentos, a energia gerada excede o consumo, enquanto em outros a demanda excede a capacidade de geração. Para mitigar esses desequilíbrios, o hidrogênio surge como uma solução possível pois pode ser armazenado durante os períodos de excesso de geração e convertido em energia elétrica nos momentos em que a demanda não pode ser atendida pela geração atual. Além disso, o uso do hidrogênio oferece benefícios significativos para a descarbonização de diversos setores industriais (EPE, 2021).

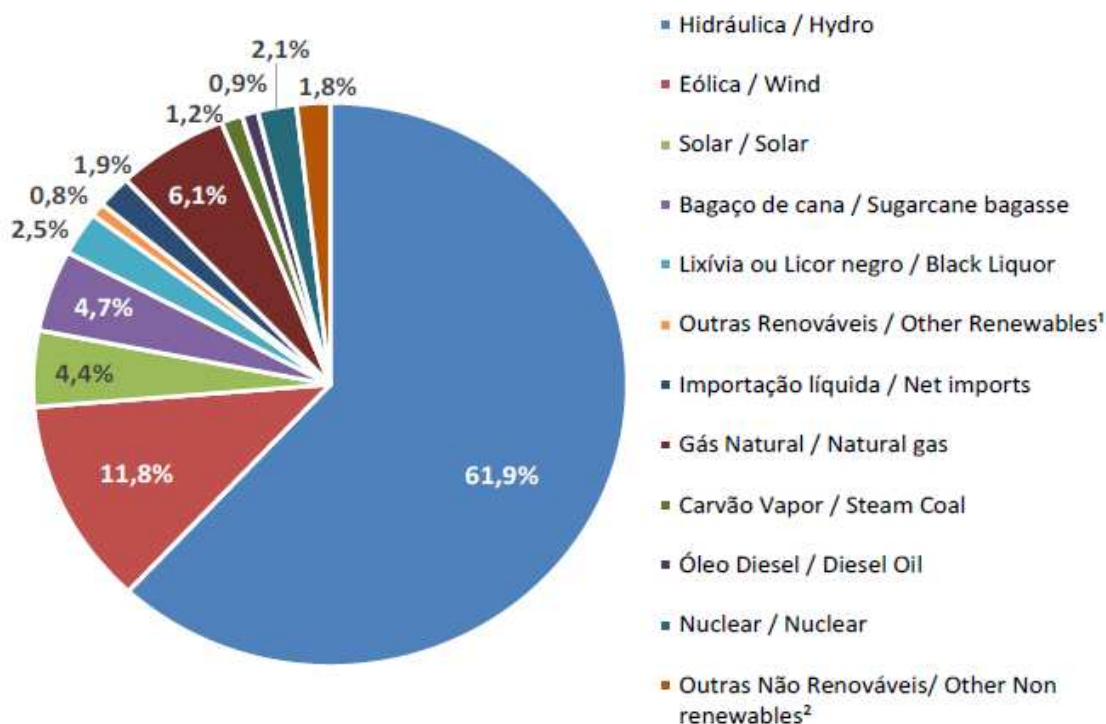
Em estudos da COUNCIL apontam que o hidrogênio pode vir a ser uma ótima alternativa à descarbonização em setores com grande dificuldade de mudança das fontes de energia, como a indústria e o transporte. As projeções indicam que o hidrogênio poderia representar cerca de 20% da energia final consumida até 2050. Seu uso como ferramenta para descarbonização resultaria na redução anual das emissões de CO₂ em cerca de 6 Giga toneladas em comparação com as tecnologias atuais, contribuindo com aproximadamente 18% da redução adicional necessária para limitar o aquecimento global a dois graus Celsius (HYDROGEN COUNCIL, 2017).

2.1.2 Fontes Renováveis

As fontes renováveis são aquelas que se renovam ao serem usadas. Exemplo delas são: eólica (energia do vento), solar (energia do sol), hidroelétrica (energia da água dos rios) e biomassa (energia de matéria orgânica) (EPE, 2024). Como mostra o gráfico presente na Figura 4, as fontes renováveis representam cerca de 88% da oferta interna de eletricidade no Brasil, quando somado a produção nacional de energia e a importação, que também é majoritariamente renovável (EPE, 2023).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética, caso o hidrogênio seja produzido com fontes de energia renováveis, como eólica, solar e hidroelétrica, pode ser uma fonte de energia de baixa emissão de carbono, sendo utilizado diretamente em setores com difícil energização e uma solução para o armazenamento de energia (EPE, 2021).

Figura 4 - Distribuição da energia elétrica por fonte no Brasil



Fonte: Adaptado EPE (2023)

2.1.3 Potencial do Hidrogênio como Fonte Renovável

O uso de hidrogênio para processos industriais é uma tendência mundial, de forma que a demanda por ele triplicou desde 1975 e continua a aumentar, porém a maior parte da produção desse gás vem de combustíveis fósseis (IEA, 2019).

A Empresa de Pesquisa Energética destaca a tendência mundial do uso de H₂V (Hidrogênio Verde) e do incentivo na pesquisa, desenvolvimento e inovação de tecnologias na área. A Alemanha e outros países europeus estão com planos de investimento em plantas de hidrogênio pelo mundo com o objetivo de fortalecer o mercado global de hidrogênio verde para uso energético (EPE, 2021).

O Brasil tem o potencial de ser um dos maiores produtores de hidrogênio verde do mundo devido à matriz energética ser majoritariamente renovável. Várias aplicações podem usar o hidrogênio verde na economia, assim como diversos setores industriais e fertilizantes. Pode ser utilizado ainda para substituição de combustíveis com alta emissão de carbono, além de poder ser usado para armazenar energia renovável em momentos que a geração supera a demanda (FERNANDES, AZEVEDO, *et al.*, 2023).

2.2 Planta de produção de hidrogênio (PPH)

A produção de hidrogênio pode ser realizada de diversas formas distintas, sendo o processo eletrolítico uma delas. Consiste em uma reação química gerada por uma fonte de energia elétrica, sendo que a tensão e a corrente elétrica são aplicadas através de eletrodos imersos em um meio líquido, como água. No caso da eletrólise da água, o resultado do processo eletroquímico são os gases hidrogênio e oxigênio, com a própria água como resíduo (SILVA, 1991).

2.2.1 Classificações do Hidrogênio

O gás hidrogênio é incolor, mas existem classificações para diferenciar sua forma de produção e seus impactos no meio ambiente. Existem três classificações principais para o hidrogênio (H_2):

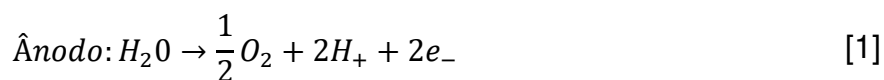
- Hidrogênio Cinza: É produzido a partir da reforma do gás natural, sem utilização de captura e armazenamento de carbono (CCUS - Carbon Capture Utilisation and Storage). Cerca de 95% do hidrogênio produzido se enquadra nessa categoria.
- Hidrogênio Azul: Também é produzido principalmente a partir da reforma do gás natural, porém com a aplicação de CCUS. Isso torna sua produção mais sustentável em comparação ao hidrogênio cinza.
- Hidrogênio Verde: Chamado de H_2V , é produzido por meio da eletrólise da água, utilizando fontes renováveis como energia solar e eólica. É considerado o mais sustentável entre as categorias de H_2 (CORREIA, 2022).

2.2.2 Eletrólise da água

Há diferentes sistemas de eletrólise da água, entre os quais destacam-se a eletrólise alcalina da água (AWE), membrana de troca de prótons (PEMs) e eletrólise da água de óxido sólido (SOE). Esses sistemas usam diferentes materiais, porém efetuam as mesmas reações eletroquímicas (CHI e YU, 2018).

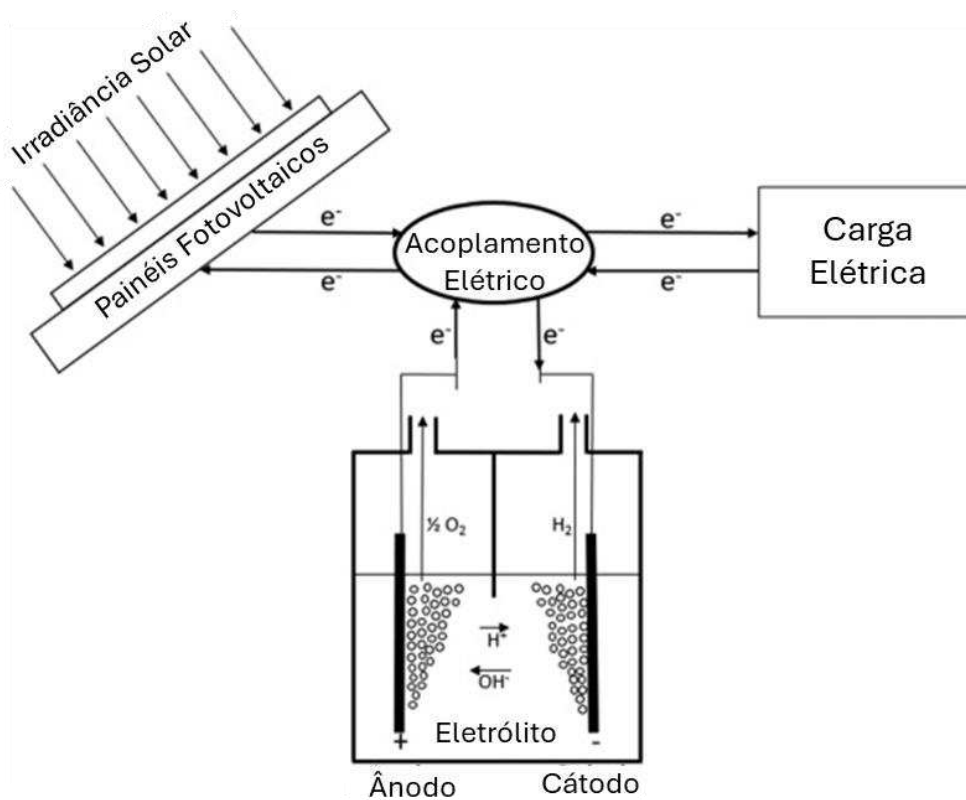
O processo de eletrólise alcalina da água consiste em aplicar uma corrente elétrica contínua na água misturada com uma solução alcalina – que diminui sua resistividade – com o objetivo de dividir a molécula da água (H_2O) e obter os gases de hidrogênio (H_2) e oxigênio (O_2), como mostra as equações [1], [2] e [3] (CHI e YU, 2018). Caso a corrente elétrica utilizada no processo da eletrólise seja gerada por

fontes de energia renováveis não é produzido nenhum tipo de poluição ou resíduo no processo, tornando-se então sustentável, ou “verde” (VOITIC, PICHLER, *et al.*, 2018).



Na Figura 5 pode-se observar um sistema acoplado entre uma geração fotovoltaica e um sistema de eletrólise da água. Essa é uma promissora fonte de hidrogênio renovável, que usa a energia solar para alimentar um eletrolisador. Esse sistema híbrido também é conhecido como solar-hidrogênio, e se torna cada vez mais uma alternativa promissora para competir economicamente com a produção de hidrogênio por combustíveis fósseis (BURTON, PADILLA, *et al.*, 2021).

Figura 5 - Exemplo esquemático de sistema interligado entre painel fotovoltaico, eletrolisador e carga elétrica

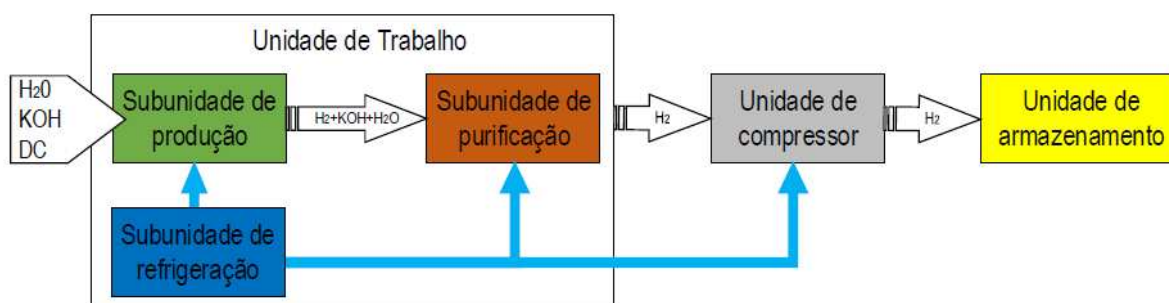


Fonte: Adaptado de BURTON (2021)

2.2.3 Funcionamento de uma PPH e suas variáveis

Na planta de produção de hidrogênio (PPH) por eletrólise da água, há vários subsistemas que desempenham funções específicas em cada etapa do processo. Esses subsistemas consistem em conjuntos de máquinas, ferramentas de produção, sensores e atuadores, todos controlados e monitorados por um sistema de computador responsável pela gestão do processo de produção (QUISPE, 2020). A Figura 6 apresenta um esquemático de como os subsistemas de uma planta de produção de hidrogênio estão interligados.

Figura 6 – Subunidades de uma PPH



Fonte: QUISPE (2020)

O processo é iniciado com a injeção de água desmineralizada (H_2O) misturada a hidróxido de potássio (KOH) e energia elétrica em corrente contínua (DC) para alimentar o eletrolisador. Após as reações eletroquímicas são gerados H_2 , O_2 e H_2O . A água volta para o processo de produção, o O_2 pode ser purificado para outro uso ou liberado para o ambiente, e o H_2 segue para o processo de purificação, a fim de eliminar qualquer resquício de O_2 (Gás Oxigênio) ou água. Depois de purificado, o gás deve passar por um processo de compressão e armazenamento em alta pressão, e fica disponível para uso.

Neste processo estão presentes vários gases a altas pressões e com temperaturas controladas, de forma que é fundamental monitorar as variáveis de pressão e temperatura para o perfeito funcionamento dos sistemas. Tratando-se de um gás combustível, esses cuidados devem ser ainda maiores, de forma que um sistema de controle e supervisão deve estar atento aos níveis de operação do sistema (QUISPE, 2020).

Não mencionado na Figura 6, porém não menos importante, é o sistema de limpeza dos encanamentos de gases a fim de retirar resíduos ou restos, de forma a

permitir mudanças e manutenção na planta de forma segura. Para isso pode ser utilizado um sistema de purga com nitrogênio (N₂).

2.3 SCADA

Muitas plantas industriais têm como componente um sistema chamado SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Sistemas de supervisão e aquisição de dados, são softwares feitos para o monitoramento e controle dos processos usando de drives, servidores, módulos de entrada de saída ou CLPs (FRANCHI e CAMARGO, 2020).

2.3.1 Supervisão na Automação

A automação de processos é fundamental em diversos setores industriais pois permite a operação de processos de modo sequencial, rápida e precisa, minimizando a interferência humana (CAPELLI, 2013).

Em processos produtivos, como uma PPH, é fundamental que a automação venha aumentar a qualidade e segurança do processo, visando maior produtividade. Para isso usa-se controladores lógicos programáveis (CLPs) monitorando os sensores de entrada do processo, sensores de temperatura, pressão e vazão, a fim de acionar os atuadores de saída (válvulas, buzzer, sirenes, entre outros) quando forem necessários ao processo (FRANCHI e CAMARGO, 2020).

Junto ao CLP há um sistema de supervisão, onde o operador do sistema pode interagir com o controle. Esse monitoramento permite que o supervisor veja, em tempo real, o status dos sensores/transdutores que convertem grandezas físicas em sinais elétricos que podem ser enviados para as entradas do CLP, gerar relatórios, ver históricos, e ainda controlar a planta (FRANCHI e CAMARGO, 2020).

Normalmente o sistema SCADA não atua diretamente no atuador da planta, mas manda uma mensagem por rede de comunicação industrial a um dispositivo, que pode ser uma UTR (Unidade Terminal Remota) ou um CLP, e este faz o acionamento e atuação do equipamento na planta. Da mesma forma, o CLP ou UTR, faz a leitura de sensores e o controle direto dos atuadores, e estas ações podem ser monitoradas pelo supervisório (GOMI, 1990).

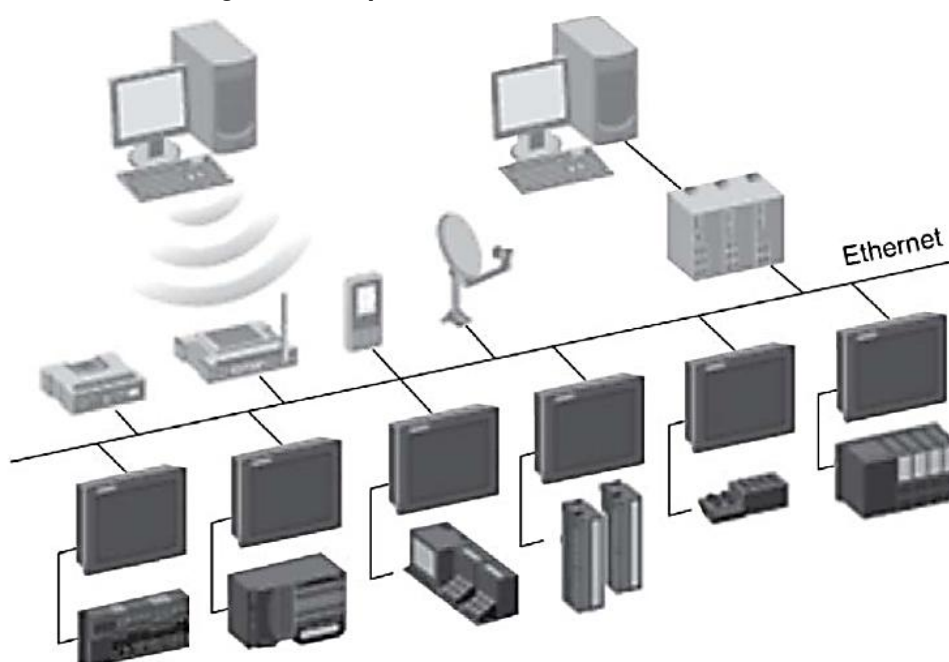
Cabe diferenciar um equipamento IHM (interface Homem-Máquina) de um supervisório. Enquanto o primeiro consiste em uma tela dedicada a apresentar

informações legíveis e acessíveis ao operador, permitindo também o controle e a interação com os componentes físicos da planta, sua operação acaba sendo mais local em relação ao supervisão SCADA, pois este tem uma dimensão maior devido a comunicação em rede abranger os diversos subsistemas e poder interagir a grandes distâncias. Com o crescimento da tecnologia, porém, os limites entre IHM e supervisórios estão cada vez mais tênues (SANTOS, 2014).

A International Society of Automation (ISA) é uma associação que elabora normas para engenharia, padronizando, entre outras coisas, sistemas de controle e automação usados na indústria. Ela elaborou a norma ISA-101, que contempla as melhores práticas relacionadas a IHM para sistemas de automação, e é recomendado que um projeto de supervisão siga as instruções presentes na norma (ISA, 2016).

A Figura 7 mostra uma arquitetura de sistema SCADA genérico interligando CLPs e IHMs através de uma rede de comunicação.

Figura 7 – Arquitetura de um sistema SCADA



Fonte: Adaptado de SANTOS (2014)

2.3.2 Aquisição de Dados

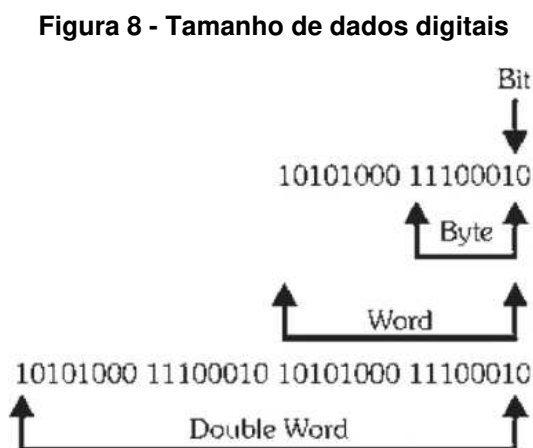
Para que o controle e supervisão seja possível, é necessário que haja um sistema de aquisição de dados do processo. As informações que forem coletadas pelos dispositivos de entrada (sensores) e o status dos dispositivos de saída (atuadores) devem ser registradas e armazenadas em um banco de dados capaz de

gerar gráficos de histórico e tendência para as variáveis analisadas. Ao armazenar esses dados, é possível manter os históricos de operação e arquitetar estratégias de otimização (SANTOS, 2014).

2.4 Redes de Comunicação Industrial

A rede de comunicação em um processo industrial é fundamental para a transferência de dados entre os dispositivos presentes na planta, como sensores e atuadores, bem como para os dispositivos de monitoramento e controle, como CLPs, IHMs e supervisão SCADA (LUGLI e SANTOS, 2019). A comunicação é implementada através de protocolos, ou regras comuns que os dispositivos seguem de forma a permitir trocas de informação (SANTOS, 2014). Redes industriais são definidas como sendo determinísticas, ou seja, é possível saber quanto tempo de varredura e qual será o tempo exato para o envio e recebimento da informação. Um exemplo de protocolo não determinístico é o Ethernet (LUGLI e SANTOS, 2019), enquanto o protocolo Modbus é considerado como um protocolo industrial.

Os humanos conseguem armazenar e reconhecer informações através da fala, visualização de imagens, gestos, sinais luminosos, entre outras fontes de dados. Já as máquinas e equipamentos entendem as informações apenas como valores numéricos, sendo a menor unidade de informação chamada de bit, que pode assumir os valores 1 ou 0. Um conjunto de 8 bits é denominado Byte, e pode representar 256 informações diferentes. A um conjunto de dois Bytes nomeia-se Word, que pode ter um total de 65.536 informações diferentes. A Figura 8 ilustra esse conceito (FRANCHI e CAMARGO, 2020).



Fonte: Capelli (2013)

Uma informação de um equipamento está presente em sua memória. A informação é um valor numérico que ocupa um determinado espaço, como uma Word. Essa informação, para que seja gravada e encontrada posteriormente, é colocada em local especificado através de um outro valor numérico, chamado de endereço.

Uma informação na memória pode ser encarada como uma variável utilizada apenas internamente no programa do dispositivo, ou pode ser alguma informação final, útil para ser acessada por outro equipamento. No caso do protocolo de comunicação Modbus, informações desse último tipo são colocadas em registradores, que são posições de memória possíveis de serem acessadas por este protocolo de comunicação.

Registradores são endereços na memória de um equipamento. Cada registrador possui um endereço, um valor e um significado. Para escrever ou ler alguma informação (dados) contidos no registrador, deve ser informado o endereço do respectivo registro e qual ação será realizada: escrita ou leitura. O protocolo Modbus define o tamanho dos registradores como uma Word. Cada equipamento pode definir como a informação é armazenada, mas de forma geral os bits neste registrador geralmente representam dados, como exemplo, um registrador pode armazenar a temperatura lida por um sensor (VAHID, 2008).

O protocolo escolhido para comunicação entre o supervisório SCADA e os equipamentos da planta de produção de hidrogênio foi o Modbus TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol). Esse protocolo fornece comunicação entre Cliente/Servidor conectados em uma rede Ethernet TCP/IP, amplamente usado para troca de informações em tempo real entre dispositivos em redes industriais (MODBUS ORGANIZATION, 2006).

3 METODOLOGIA

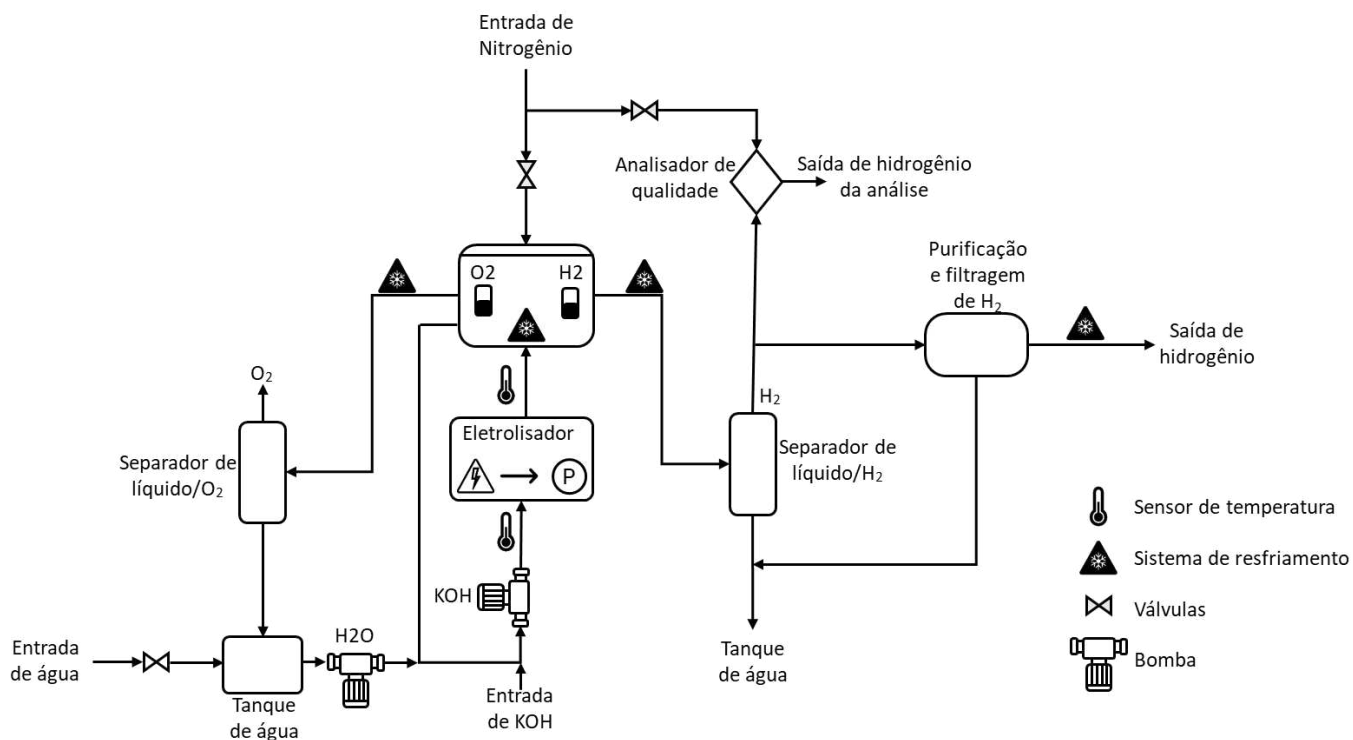
Nesta seção são apresentados os instrumentos utilizados no projeto, incluindo softwares, equipamentos, métodos para o desenvolvimento do supervisor e o protótipo das telas, com o objetivo de esclarecer ao leitor os passos que serão seguidos neste trabalho.

3.1 Estrutura Física

Existem vários modelos de planta de produção de hidrogênio sendo desenvolvidas e aprimoradas por diferentes instituições e centros de pesquisa no Brasil e no mundo, criando patentes tecnológicas e bases para o desenvolvimento do setor de hidrogênio verde (IRENA, 2022).

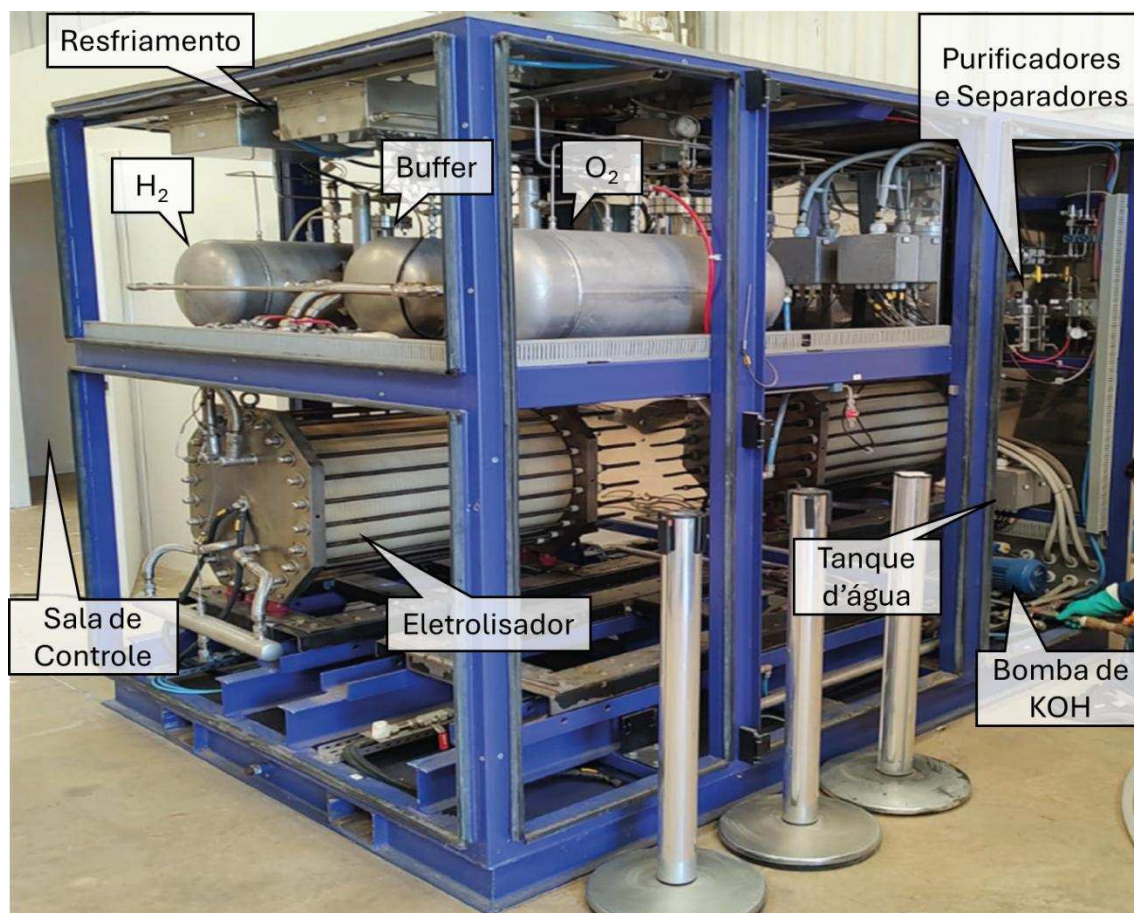
Dentre os exemplos brasileiros destaca-se o projeto de pesquisa da Itaipu Parquetec com parceria com outras entidades de pesquisa e educação. Esta planta, caracterizada como industrial de pequeno porte, foi escolhida para a implementação do supervisor (PTI, 2023). Veja na Figura 9 um diagrama esquemático da planta física e na Figura 10 a planta real.

Figura 9 - Diagrama Esquemático da Planta Física



Fonte: Autoria Própria (2024)

Figura 10 - Planta de Produção de Hidrogênio



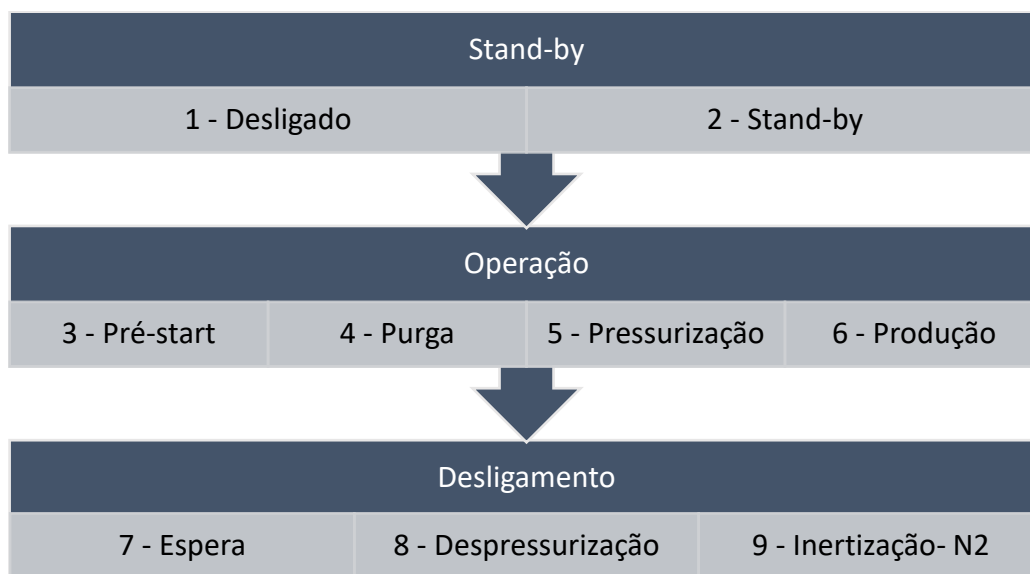
Fonte: Adaptado de PTI (2023)

São muitos os equipamentos que compõem a planta: tanques, bombas, válvulas, sensores de temperatura, pressão e nível, separadores de gases e líquidos, trocadores de calor, eletrolisador, entre outros equipamentos.

Assim como citado na sessão 2.2.3 deste projeto de pesquisa, uma planta dessas proporções possui vários subsistemas que são interligados e trabalham paralela ou sequencialmente para o correto funcionamento do processo de produção. A Figura 11 representa por meio de um fluxograma o processo sequencial de funcionamento de uma planta de produção de hidrogênio, contendo as três principais etapas de processo da planta: stand-by, operação e desligamento (QUISPE, 2020).

As Figura 11 e o Quadro 1 explicam quais equipamentos estão acionados durante cada uma das etapas do processo de produção. Estas duas devem ser analisadas em conjunto para um entendimento global da planta.

Figura 11 – Fluxo de Funcionamento do Processo de Produção de H₂



Fonte: Adaptado de QUISPE (2020)

Quadro 1 - Descrição dos estados da PPH

	Estado	Ligado
STAND-BY	1 - DESLIGADO	-
	2 - STAND-BY	Válvula de refrigeração TCV102, subsistemas
OPERAÇÃO	3 - PRE-START	Válvula de refrigeração TCV102, bomba de KOH, subsistemas
	4 - PURGA	Válvula de refrigeração TCV102, válvula de controle LCV102b e H2 CV109B, eletrolisador, bomba de KOH, subsistemas
	5 - PRESSURIZAÇÃO	Válvula de refrigeração TCV101, válvula de controle LCV102b, H2 CV109b e CV110, eletrolisador, bomba de KOH, subsistemas
	6 - PRODUÇÃO	
DESLIGAMENTO	7 - ESPERA	Válvula de refrigeração TCV101, bomba de KOH, subsistemas
	8 - DESPRESSURIZAÇÃO	Válvula de refrigeração TCV101, válvula de controle LCV102b e CV109B, subsistemas
	9 - INERTIZAÇÃO	Válvula de refrigeração TCV102, válvula de controle LCV102a e CV109A, válvula de controle de N2 NCV101 e NCV102, subsistemas

Fonte: Adaptado de QUISPE (2020)

3.1.1 CLP

O controlador lógico programável usado para automatização da PPH é um dos principais componentes presentes nessa pesquisa. Sua conexão em rede com o supervísório é vital para aquisição de dados dos sensores e atuadores ligados as suas entradas, possibilitando a supervisão do processo produtivo (FRANCHI e CAMARGO, 2020). Na Figura 12 é apresentado uma imagem do controlador modelo ABB AC 500 PM556-ETH, utilizado na PPH vista na Figura 10.

A programação embarcada no controlador pode ser escrita em diversas linguagens, sendo que para esta planta especifica foram utilizadas SFC (Sequential function chart) e Ladder. Os CLPs tem limitações de entradas e saídas, portanto é necessário o uso de módulos de expansão digitais e analógicos para aumentar a integração com os diversos equipamentos (ABB, 2024). Nesta PPH foram utilizados 6 módulos de expansão digital modelo DX571, e 2 módulos de expansão de entradas analógicas modelo AI523.

Figura 12 - CLP ABB

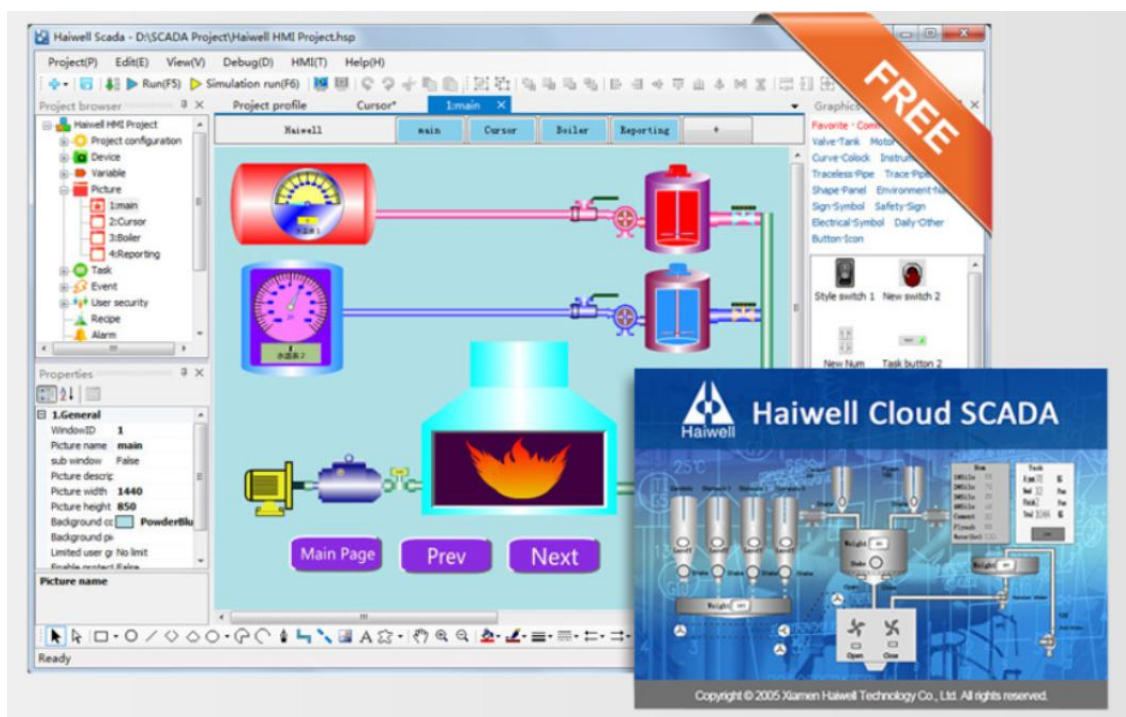


Fonte: ABB (2024)

3.2 Escolha do Software Supervisório

O software escolhido para a elaboração do supervísório SCADA foi o Haiwell Cloud SCADA, representado no Brasil pela empresa Alfacomp Automação Industrial. Este software permite o monitoramento e controle de processos industriais, sem limitações de variáveis ou telas, de forma gratuita, o que garante a produção de supervísórios de qualquer tamanho. A Figura 13 mostra uma imagem desse supervísório (ALFACOMP, 2020).

Figura 13 - Haiwell Cloud SCADA Software Supervisório



Fonte: ALFACOMP (2020)

3.3 Projeto das telas

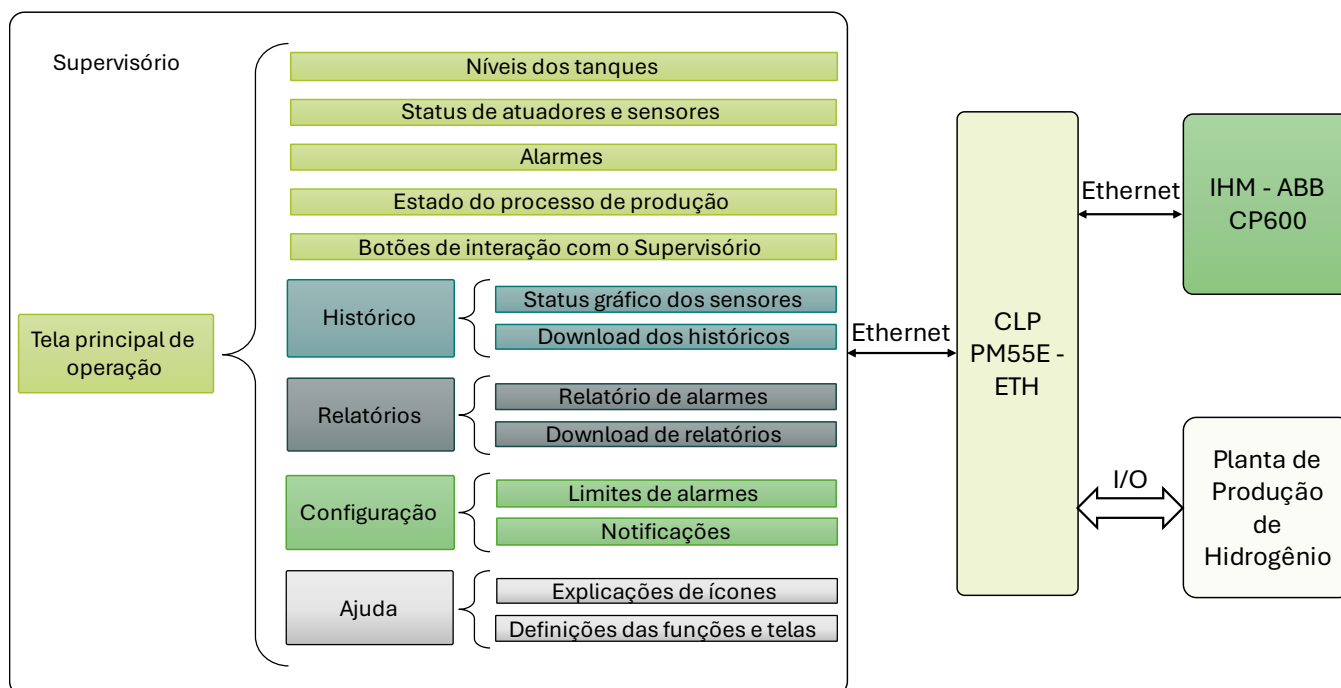
Para garantir uma interação eficaz com o operador do sistema da PPH, o supervisório deve apresentar telas amigáveis e exibir as informações com clareza. Com o intuito de oferecer uma visão geral das telas, o diagrama presente na Figura 14 ilustra as conexões entre elas e os demais equipamentos.

As telas mencionadas na Figura 14 são divididas em cinco categorias tendo suas funções definidas no diagrama. Nas subseções seguintes essas funções são explicadas em detalhes.

3.3.1 Tela principal de operação

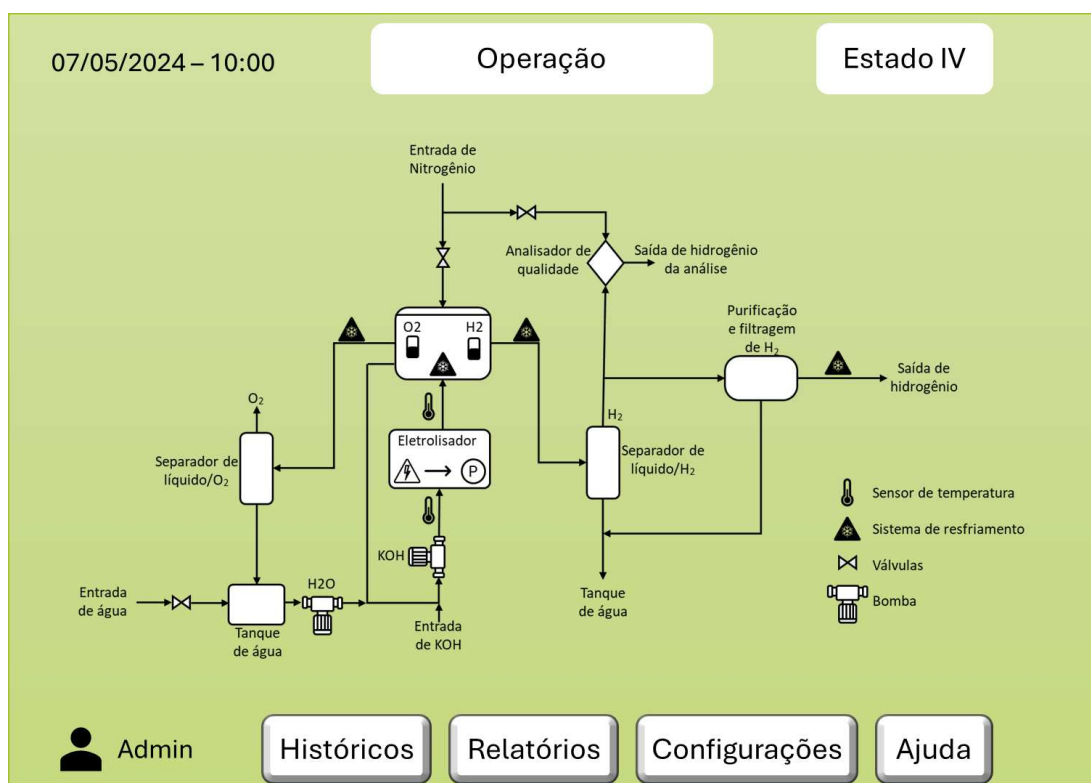
Um protótipo de design do sistema supervisório foi desenvolvido para auxiliar na disposição dos componentes em cada etapa. Inicialmente, será apresentada a tela principal de operação, conforme ilustrado na Erro! Fonte de referência não e ncontrada.. Nessa tela, optou-se por centralizar as informações mais relevantes, uma vez que ela será a mais utilizada pelo operador, pois o processo de produção será supervisionado principalmente por este ambiente.

Figura 14 - Diagrama do projeto com telas e equipamentos



Fonte: Autoria Própria (2024)

Figura 15 - Tela Principal de Operação



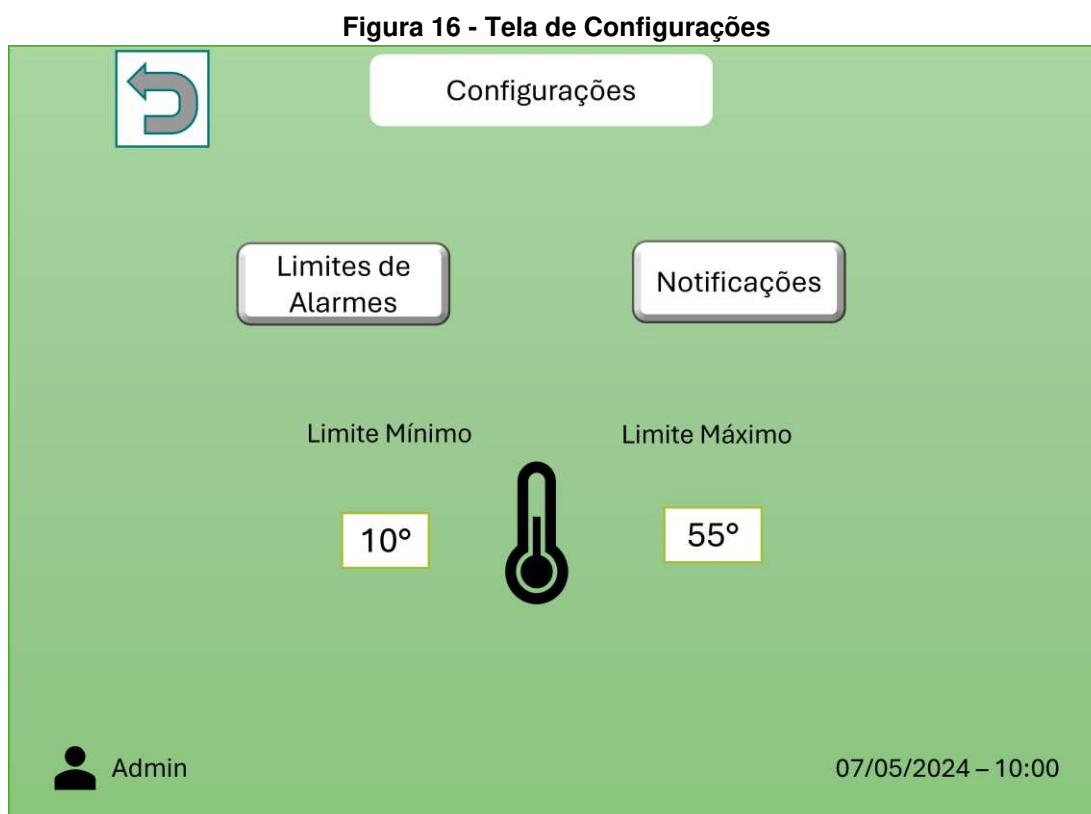
Fonte: Autoria Própria (2024)

Como tela inicial, ela contém botões para acesso a outras telas, além de mostrar o monitoramento dos status dos sensores e atuadores, como: sensores de

temperatura, pressão, fluxo e nível, e atuadores como bombas, válvulas e o eletrolisador. Os alarmes também são exibidos nesta tela, alertando o operador caso algo esteja fora dos parâmetros desejados, garantindo a segurança da produção do gás. Também será possível monitorar as etapas de produção, incluindo o carregamento inicial da planta, onde canos e reservatórios de líquido são abastecidos até os limites apropriados, permitindo que o ciclo de produção seja estabelecido.

3.3.2 Telas de configurações e ajuda

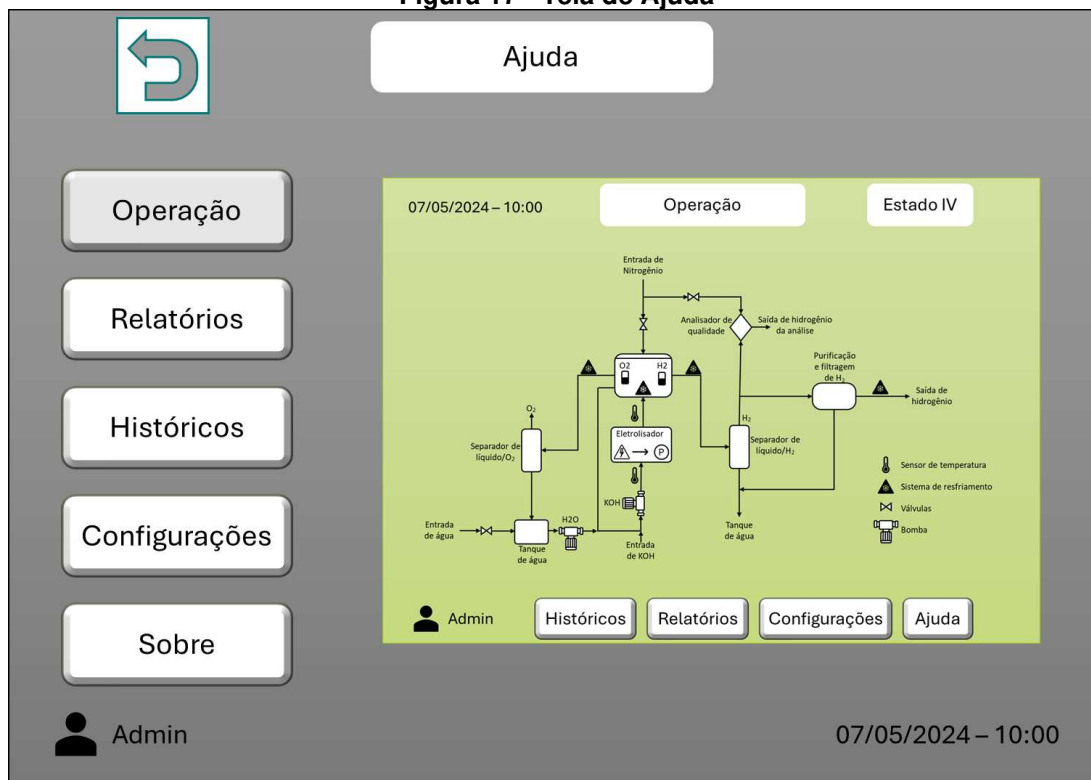
A tela de configurações é o ambiente onde será possível ajustar os limites de segurança dos sensores. Nela, o usuário poderá modificar os valores máximos e mínimos dos seguintes sensores analógicos: temperatura, pressão, fluxo e análise de pureza, além das variáveis do eletrolisador, como tensão, corrente e potência elétrica. Após a configuração de novos limites, as notificações são automaticamente sincronizadas com esses novos parâmetros, gerando novos gatilhos para os alarmes. A Figura 16 apresenta o protótipo da tela de configuração.



Fonte: Autoria Própria (2024)

Por fim, há a tela de ajuda, destinada a esclarecer possíveis dúvidas do operador sobre as funcionalidades do supervisório. Nessa tela, serão exibidas miniaturas das telas anteriores, permitindo ao usuário selecionar o ícone ou a seção que possa estar gerando dúvida. O protótipo dessa tela está ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Tela de Ajuda



Fonte: Autoria Própria (2024)

3.3.3 Telas de relatórios e históricos

Na tela de relatório, será possível gerar relatórios dos alarmes. Esses relatórios devem criar um arquivo externo ao supervisório, permitindo acesso aos dados de operação e a verificação das últimas notificações, conforme ilustrado na Figura 18.

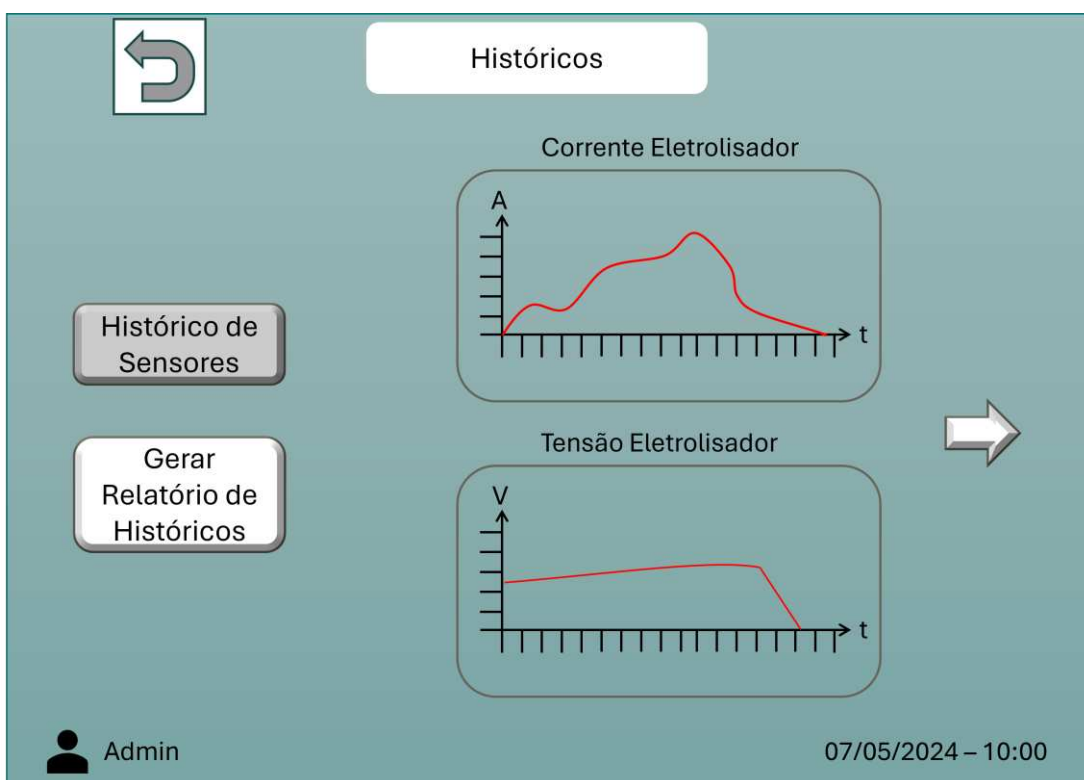
Na tela de históricos, serão exibidos gráficos que mostram a evolução das variáveis analógicas ao longo de um intervalo de tempo. Também será possível gerar um arquivo externo contendo os dados periódicos dos sensores. O protótipo desta tela pode ser visto na Figura 19.

Figura 18 - Tela de Relatórios



Fonte: Autoria Própria (2024)

Figura 19 – Tela de Históricos



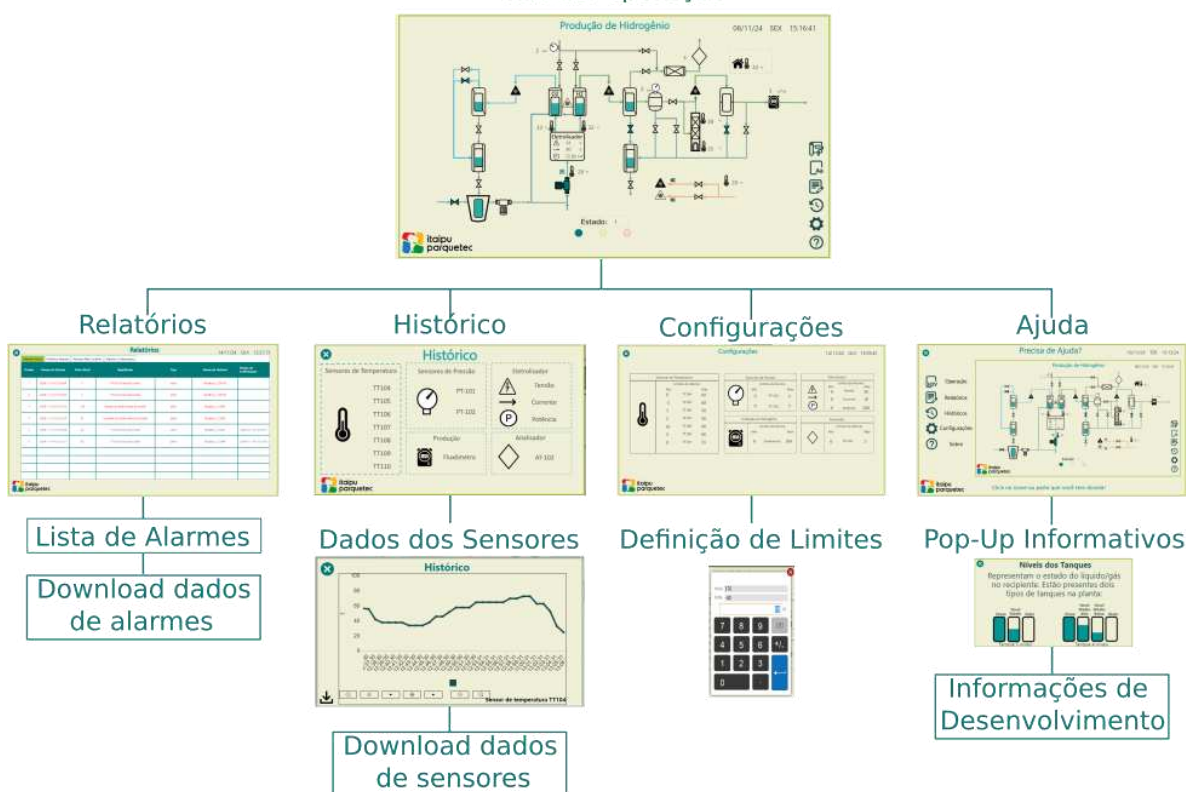
Fonte: Autoria Própria (2024)

4 RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos com o desenvolvimento do sistema supervisor. Para garantir uma leitura mais fluida, as imagens detalhadas do supervisor foram organizadas no Apêndice A. Assim, recomenda-se fortemente que os leitores consultem os apêndices durante a descrição das funcionalidades implementadas, a fim de complementar as informações apresentadas.

O supervisor da planta de produção de hidrogênio verde foi estruturado com uma hierarquia de telas, característica comum em sistemas que apresentam diversas interfaces de interação com o usuário. A Figura 20 ilustra essa estrutura hierárquica.

**Figura 20 – Hierarquia do Supervisor
Tela de Operação**















Fonte: Autoria Própria (2024)

A hierarquia apresentada na Figura 20 fornece uma visão geral da composição do supervisor. Observa-se que a tela principal, denominada "tela de operação", está posicionada no topo, enquanto as demais telas se ramificam a partir dela. Essa disposição reflete a importância da tela principal, que serve como ponto inicial do software. Por meio dessa interface, é possível acessar as demais funções e monitorar a operação da planta, cuja estrutura do diagrama representa as conexões

físicas do sistema de produção de hidrogênio verde. O Quadro 2 mostra o significado dos ícones.

Quadro 2 - Legenda do diagrama da planta

Foto	Nome e Descrição
	Tanque de água: Armazena a água residual do processo de tratamento de gases e mistura com a água destilada de alimentação, para depois ser bombeada para o eletrolisador.
	Bomba de água: Responsável por bombear o fluido após ele sair do tanque de água. Bomba de Eletrólitos (KOH): Responsável por transportar água e eletrólito do tanque de armazenamento para o eletrolisador.
	Eletrolisador: Bipolar alcalino, possui células compactadas entre placas anódica e catódica, alimentadas por energia elétrica. Água destilada e eletrólito são fornecidos continuamente, separando a molécula de água em oxigênio e hidrogênio.
	Separadores horizontais de gás: Um para H ₂ e outro para O ₂ , responsáveis por separar o gás do líquido (eletrólito) após a eletrólise.
	Indicadores de pressão.
	Trocadores de Calor: Reduzem a temperatura da água e do eletrólito após saírem do separador vertical.
	Separadores verticais: Tem uma função parecida com os separadores horizontais, separando o gás residual do líquido saturado.
	Separador de Líquido: Armazena a água e os resíduos eletrolíticos. Após, a água é direcionada ao tanque de água, retroalimentando o processo.
	Filtro de H ₂ : Responsável por retirar a umidade residual do H ₂ .
	Buffer: Armazena hidrogênio com impurezas para estabilizar a pressão na entrada do reator oxidante.
	Válvulas: Controlam o fluxo dos tanques.
	Sensor de Fluxo

Fonte: Autoria Própria (2024)

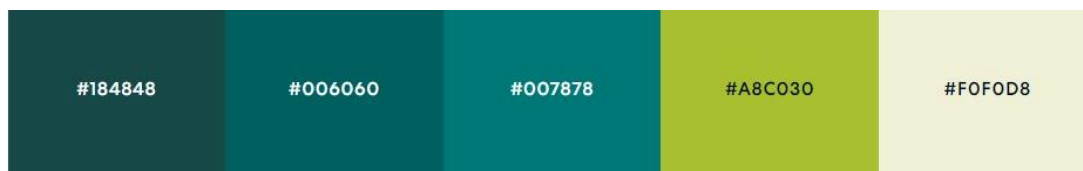
4.1 Sistema de Monitoramento e Supervisão

Conforme destacado na seção anterior, a tela de operação tem como principal objetivo proporcionar o monitoramento em tempo real do processo produtivo. Uma visão detalhada dessa tela pode ser consultada no Apêndice A.

O desenvolvimento do software foi cuidadosamente planejado para atender às diretrizes da norma ISA 101, que enfatiza a necessidade de destacar as informações mais relevantes, minimizando a interferência de elementos visuais secundários. Essa abordagem visa evitar que informações cruciais sejam difíceis de serem identificadas (ISA, 2016).

Outro aspecto fundamental do projeto foi a escolha e disposição das cores e ícones visuais. A paleta de cores adotada foi aplicada de maneira consistente nos diferentes objetos das telas, garantindo uma interface agradável ao olhar, veja a paleta de cores usadas na Figura 21, gerada a partir do site “Paleta de Cores” (NUVEMSHOP, 2024). Cores fora dessa paleta foram evitadas, promovendo uma experiência de operação mais fluida, amigável e com maior clareza na visualização e aquisição dos dados essenciais, já a escolha dos ícones segue uma diretriz minimalista, evitando detalhamentos gráficos desnecessários (ISA, 2016).

Figura 21 - Paleta de cores usadas no supervisório SCADA



Fonte: Adaptado de NUVEMSHOP (2024)

A tela de monitoramento exibe um diagrama detalhado que representa os elementos da estrutura física da planta. Nesse diagrama, os componentes principais estão interligados por setas que simbolizam os encanamentos que os conectam fisicamente. A escolha das cores dessas setas foi planejada para distinguir as diferentes regiões do sistema, conforme descrito a seguir:

- Azul claro: Região correspondente ao gás oxigênio;
- Azul escuro: Área predominada por água e eletrólito;
- Cinza: Sistema destinado à limpeza de tanques e encanamentos utilizando nitrogênio;
- Verde: Região onde o hidrogênio é o principal elemento presente;

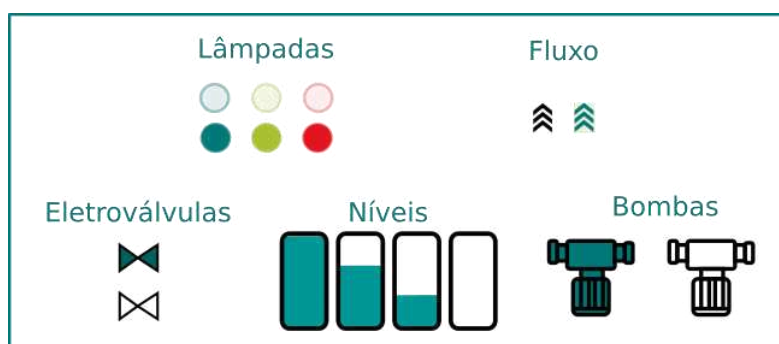
- Laranja: Sistema de refrigeração.

As cores foram cuidadosamente escolhidas para diferenciar visualmente os líquidos e gases presentes em cada região do sistema de produção, facilitando tanto a compreensão quanto o monitoramento do processo.

4.1.1 Variáveis digitais

As variáveis descritas nesta seção e implementadas no supervisório estão listadas no Apêndice B, onde são apresentados os endereços e os significados de cada variável implementada no SCADA. Entre as variáveis digitais temos os níveis dos tanques. No total, há oito tanques equipados com sensores de nível, divididos em dois tipos: tanques com quatro níveis e tanques com três níveis. Quando um sensor indica sinal alto, representando que o nível está preenchido, o supervisório exibe graficamente a presença do líquido ou gás no recipiente. Isso permite ao operador monitorar, em uma única tela, o nível de todos os tanques envolvidos na produção, veja na Figura 22 detalhes dos ícones desenvolvidos para as variáveis digitais.

Figura 22 - Variáveis Digitais



Fonte: Autoria Própria (2024)

Além disso, o controle do fluxo de gases e líquidos é gerenciado por eletroválvulas distribuídas por toda a estrutura da planta. No total, são monitoradas dezoito válvulas. Quando uma válvula está ativa, o supervisório indica que a passagem está liberada, permitindo ao operador visualizar os diferentes caminhos disponíveis em cada etapa do processo de produção. Essa funcionalidade possibilita a verificação, em tempo real, de que o sistema está operando conforme as instruções definidas pelo controlador.

O sistema também conta com duas bombas essenciais para o transporte do insumo utilizado na produção, composto por uma mistura de água e eletrólito. A

primeira, denominada bomba de água, é responsável por transferir o líquido do tanque de água para a etapa de mistura com o hidróxido de potássio. Já a segunda bomba realiza o bombeamento da mistura formada entre os dois líquidos até o eletrolisador. O funcionamento de ambas pode ser monitorado em tempo real no supervisório, que indica graficamente quando as bombas estão em operação.

As lâmpadas de aviso também são parte das variáveis digitais, desempenhando, porém, um papel distinto em relação aos alarmes do sistema. Enquanto as lâmpadas indicam avisos internos gerados pelo CLP, os alarmes do supervisório estão diretamente associados aos limites configurados no software SCADA, refletindo situações críticas ou fora dos parâmetros estabelecidos.

As lâmpadas sinalizam que o controlador está acionando uma saída em função de sua programação interna. Elas estão organizadas em três categorias, cada uma com uma cor específica:

- Verde: Indica que o processo de produção está ativo;
- Amarela: Sinaliza a necessidade de atenção a algum parâmetro do processo;
- Vermelha: Representa um alerta mais importante, demandando ação prioritária conforme a programação do controlador.

As lâmpadas de aviso estão posicionadas na parte inferior da tela de operação, conforme pode ser observado no Apêndice A. É importante destacar que essas lâmpadas não são apenas representações virtuais no supervisório, mas também atuadores físicos presentes na planta, alocadas no painel de controle. Essa dupla função permite que o operador tenha um feedback visual tanto na interface digital quanto diretamente no ambiente físico da planta, garantindo maior confiabilidade no monitoramento e controle do sistema.

Para finalizar o conjunto de variáveis digitais, há os sensores de fluxo. Esses sensores são de natureza digital e sua função é indicar a presença de fluxo nos encanamentos onde estão instalados. A Figura 22 apresenta a representação gráfica utilizada na tela de operação principal para todas as variáveis digitais mencionadas.

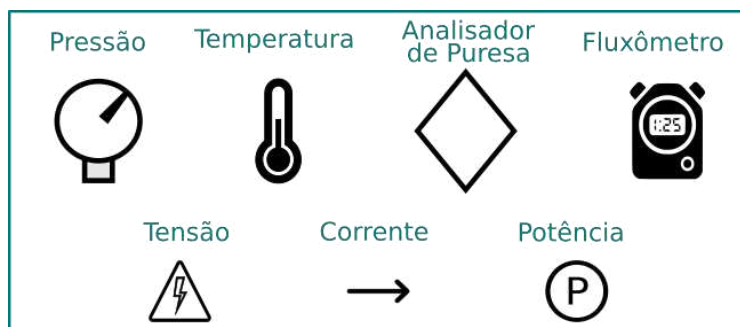
4.1.2 Variáveis analógicas

Para compreender o endereçamento, o significado e as funções das variáveis presentes no supervísório, consulte o Apêndice B, onde essas informações estão organizadas em uma tabela.

As variáveis analógicas têm como objetivo o monitoramento de grandezas como: temperatura, pressão, vazão, pureza, tensão, corrente e potência. A Figura 23 apresenta os ícones gráficos criados para representar essas variáveis. Para uma melhor compreensão da explicação, recomenda-se consultar o Apêndice A, onde está disponível a imagem da tela de operação principal, permitindo visualizar os ícones posicionados em seus respectivos locais.

Para esse tipo de variável, foram implementados recursos, no supervísório, que tornam a produção mais robusta e segura. Ao clicar em qualquer um dos ícones mencionados, o operador tem acesso ao histórico recente do sensor, exibido na forma de um gráfico com os últimos trinta minutos de operação e seus respectivos valores. Além disso, as informações dos sensores analógicos podem ser exportadas para um arquivo externo ao supervísório, permitindo uma aquisição de dados eficiente e flexível.

Figura 23 - Variáveis Analógicas



Fonte: Autoria Própria (2024)

No total, existem dois sensores de pressão instalados na planta. O primeiro está localizado próximo à entrada de nitrogênio, monitorando a pressão nessa linha. O segundo sensor encontra-se no buffer de hidrogênio, responsável por armazenar hidrogênio com impurezas para estabilizar a pressão na entrada do reator oxidante. Para ambos os sensores de pressão, a unidade de medida é o bar.

Os sensores de temperatura estão presentes em maior número na planta, com um total de sete unidades distribuídas ao longo da estrutura. A unidade de medida para esses sensores é graus Celsius.

Para monitorar a pureza do gás produzido, a planta conta com um analisador de pureza, cuja função é medir a porcentagem de oxigênio presente no hidrogênio no final do processo. Como mostra o diagrama do supervisório, fisicamente esse equipamento está posicionado em um caminho alternativo para a saída do produto, de modo que o hidrogênio que passa pelo analisador não é contabilizado nem armazenado.

O equipamento responsável por registrar a quantidade de gás produzido é o fluxômetro. Diferente dos sensores de fluxo digitais, este sensor é analógico e realiza a medição em metros cúbicos por hora de gás produzido. O fluxômetro é o último dispositivo na linha, antes da saída final do produto para o armazenamento.

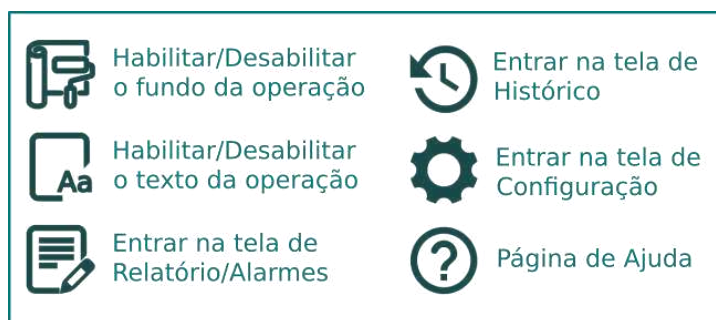
Acima das lâmpadas de aviso, há um visor que informa o estado atual de operação do sistema. Esse visor exibe o estado de funcionamento, que pode alternar entre as opções mostradas no Quadro 1.

Por fim, tem-se as variáveis analógicas relacionadas ao eletrolisador, que é o coração do sistema. Essas variáveis representam grandezas contínuas no tempo, incluindo tensão em volts, corrente em amperes e potência em quilowatts.

4.1.3 Outras funções da tela de operação principal

Além do monitoramento em tempo real das variáveis digitais e analógicas, existem outras funções na tela de operação. Essas funções são internas ao supervisório, como por exemplo a data e hora do sistema, que também está presente nas demais telas e está interligado com a data e hora do computador onde o supervisório está instalado. As alterações desses dados são feitas diretamente no computador e espelhadas para o software.

Um menu com seis botões funcionais está disponível no canto inferior direito. Veja no Apêndice A sua localização na tela. A Figura 24 mostra o significado deles.

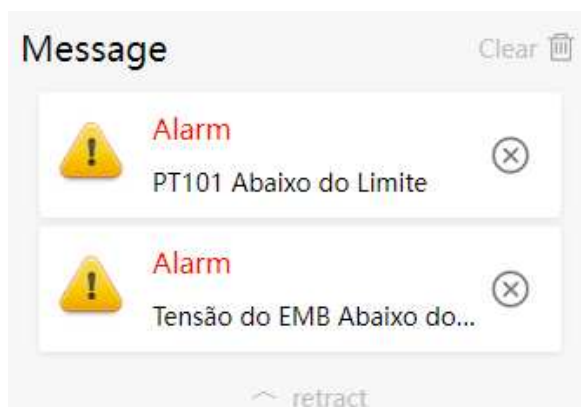
Figura 24 - Botões do Menu

Fonte: Autoria Própria (2024)

Os dois primeiros botões têm uma ação direta na visualização do diagrama geral da planta. O primeiro botão tem a função de aumentar a transparência da imagem de fundo, destacando assim apenas os atuadores e sensores. Já o segundo botão torna visíveis os nomes de cada equipamento que compõe a planta. Essas opções combinadas permitem ao operador customizar a tela principal conforme necessário. Os quatro últimos botões levam o operador para outras páginas que serão detalhadas posteriormente.

4.2 Aquisição de dados

Uma das ferramentas de aquisição de dados mais importantes no supervisão da planta de hidrogênio é a página de relatórios de alarmes, projetada para monitorar os limites de sensores analógicos e registrar o início e o término do processo de produção. Alarmes disparados pelo supervisão acionam notificações de aviso na tela de operação, além de registrar os dados do alarme no relatório, essa é uma das ferramentas que interagem com o operador oferecendo maior segurança ao processo de produção. Um exemplo de notificação de alarme é demonstrado na Figura 25.

Figura 25 - Exemplo de Mensagem de Alarme

Fonte: Autoria Própria (2024)

A página de relatórios de alarmes apresenta uma tabela dinâmica dividida em quatro abas distintas, cada uma representando um tipo de alarme:

- Alarmes Ativos: Exibe os alarmes que estão ativos no momento.
- Histórico de Alarmes: Contém todos os alarmes registrados durante o processo.
- Alarmes Não Confirmados: Lista os alarmes cujo conhecimento ainda não foi confirmado pelo operador.
- Alarmes Confirmados: Mostra os alarmes para os quais o operador já confirmou ciência.

Essa divisão está diretamente relacionada à ação do operador em confirmar o reconhecimento de um alarme. Ao clicar em um alarme na tabela, o operador registra o horário da confirmação, permitindo um acompanhamento detalhado.

As informações apresentadas na tabela incluem:

- Tempo do alarme (momento de início);
- Valor atual da variável monitorada;
- Significado do alarme;
- Tipo de alarme;
- Nome da variável associada;
- Tempo de confirmação (quando aplicável).

Todas as abas da página de relatórios compartilham o mesmo formato de divisão em colunas, garantindo uniformidade na visualização e análise dos dados.

Para assegurar uma aquisição de dados eficiente, a tabela conta com um botão de exportação. Ao clicar nesse botão, o operador pode escolher o local de

armazenamento dos dados coletados, que são exportados em um arquivo no formato CSV (valores separados por vírgula). Esse arquivo pode ser aberto no Excel ou em qualquer outro software de planilhas eletrônicas, facilitando a análise externa e o arquivamento das informações.

Todos os alarmes referentes aos sensores analógicos estão associados aos limites definidos na tela de configuração. Esses limites podem ser ajustados de acordo com as condições específicas de produção, garantindo flexibilidade para diferentes cenários operacionais. A tela de configuração, ilustrada no Apêndice A, permite ao operador modificar os limites inferior e superior dos quatorze sensores analógicos presentes na planta.

4.2.1 Dados dos sensores analógicos

Outra funcionalidade implementada no supervisório da planta de produção de hidrogênio é a aquisição de dados dos sensores analógicos, acessível por meio da tela de histórico. Ao selecionar um sensor, é exibido um gráfico em tempo real com os dados correspondentes. Como mencionado anteriormente, ao lado desse gráfico há um botão de download, permitindo a exportação dos dados registrados. Um exemplo dessa tela pode ser consultado no Apêndice A.

Por exemplo, é possível baixar o registro de um sensor de temperatura com uma taxa de amostragem de trinta segundos, abrangendo todo o processo de produção, o que facilita a análise detalhada e o armazenamento dos dados para fins de controle e documentação.

4.3 Ajudas do supervisório

Seguindo as diretrizes de boas práticas no desenvolvimento de software, foi criada uma página de ajuda voltada exclusivamente para esclarecer possíveis dúvidas do operador. Essa página oferece uma breve explicação de cada função abordada, além de descrições detalhadas para cada ícone disponível no supervisório, visando proporcionar um ambiente intuitivo e funcional.

As informações são apresentadas por meio de pop-ups, acionados ao clicar em um ícone específico. As explicações abrangem todas as telas do sistema, incluindo:

- Tela de operação principal;
- Relatórios de alarmes;
- Histórico de sensores;
- Configuração de alarmes.

Além disso, a página de ajuda inclui uma seção dedicada a informações sobre o supervisório, onde são apresentados detalhes como software utilizado para o desenvolvimento, autores do projeto, entidades envolvidas no desenvolvimento, contato com o desenvolvedor.

Essa funcionalidade visa melhorar a experiência do operador, garantindo suporte prático e fácil acesso às informações necessárias.

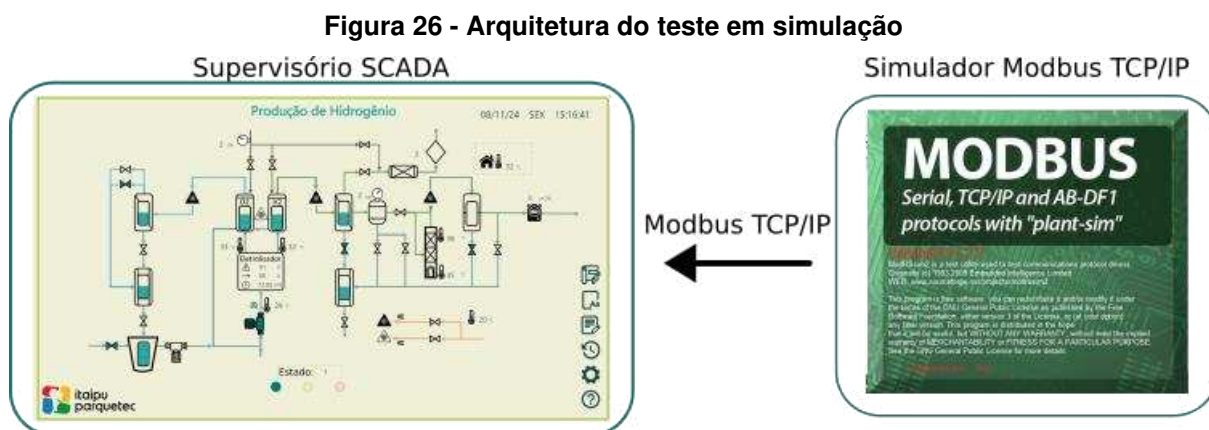
4.4 Testes de funcionamento

Com o objetivo de validar o correto funcionamento do sistema supervisório desenvolvido para a planta de produção de hidrogênio, foram realizados dois processos de teste. O primeiro processo consistiu em uma simulação de funcionamento utilizando o software de simulação de redes ModRSsim2, versão 8.21.2.7. Esse software foi configurado para simular a comunicação entre o supervisório e o CLP, assumindo o papel do segundo durante os testes.

O segundo processo de teste foi realizado diretamente na planta de produção real, conectando o supervisório ao CLP físico. Durante esse teste, a planta de hidrogênio estava em modo desligado (sem produção de gás), pois passava por modificações de instalação que temporariamente impediam sua operação. Apesar disso, foi possível verificar a comunicação com alguns sensores, garantindo a funcionalidade básica do sistema supervisório nesse ambiente real.

4.4.1 Teste do supervisório em simulações

O diagrama apresentado na Figura 26 ilustra a arquitetura de conexão utilizada para o teste de simulação.



Fonte: Autoria Própria (2024)

Durante a simulação, alguns parâmetros específicos foram definidos para validar o funcionamento correto do sistema e garantir resultados satisfatórios. Os principais aspectos analisados foram:

- Fluidez na navegação entre as páginas do software;
- Resposta instantânea às mudanças de valores nas variáveis digitais e analógicas;
- Sincronização dos alarmes do supervisório com a ultrapassagem dos limites configurados;
- Registro preciso dos alarmes no relatório de alarmes;
- Monitoramento eficiente do histórico dos últimos valores dos sensores;
- Aquisição de dados confiável, abrangendo tanto o histórico dos sensores quanto os registros de alarmes;
- Estabilidade de comunicação em rede industrial.

Esses critérios foram definidos como fundamentais para avaliar a funcionalidade e a robustez do supervisório. Além disso, o teste foi conduzido ao longo de um período predeterminado de uma hora, garantindo a coleta de dados suficientes para a análise dos resultados.

4.4.2 Teste do supervisório na planta física real

Um teste na planta física real foi realizado no dia 27/09/2024, às 14h. Neste período, porém, a planta encontrava-se sem produção devido às manutenções programadas até o final do ano de 2024, de forma que não foi possível realizar testes com a planta em operação plena.

Apesar das condições, foi possível ligar o CLP ao supervisório e constatar uma comunicação eficaz entre os equipamentos. O destaque ficou por conta do desempenho dos sensores de temperatura, que apresentaram valores condizentes com as condições observadas no momento do teste, ressaltando que a frequência de coleta e comunicação foi configurada para 300 ms.

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a temperatura ambiente na cidade de Foz do Iguaçu – PR, local onde a planta está instalada, era de 27°C na ocasião (INMET, 2024). Considerando que a planta de hidrogênio está alocada em um galpão industrial metálico que permaneceu fechado por um período considerável, a temperatura interna apresentou valores mais elevados em pontos específicos. Os sensores de temperatura TT104, TT107 e TT108 registraram 31°C, 31°C e 34°C, respectivamente, nos locais monitorados. Esses dados confirmam a comunicação funcional entre o supervisório e o controlador da planta, visto que não foram apresentados erros durante um período de 15 minutos, bem como atestado a integração adequada com os sensores instalados.

Cabe salientar que num sistema de comunicação Modbus, se os registradores acessados pelo sistema supervisório possuem o mesmo endereço e o mesmo formato do conteúdo, não importa o dispositivo onde a informação está contida, ou seja, o supervisório não é capaz de detectar se os dados lidos e exibidos em sua tela provem de um sistema de simulação de registradores (como o software ModRSsim2) ou da planta real, de forma que o teste de que trata esta subseção é mais relacionado à verificação de concordância dos endereços de registradores e formato do conteúdo do que de teste da comunicação em si.

5 CONCLUSÃO

No contexto desta pesquisa, foi proposta a criação de um supervisório SCADA para uma planta de produção de hidrogênio verde. Entre as diversas fontes possíveis de energia, o hidrogênio verde destaca-se como uma solução em crescimento, com grande potencial para auxiliar na descarbonização de fontes energéticas e no setor de transporte em escala global. A relevância do tema abordado reside na contribuição para a automação de processos industriais e no suporte a uma transição energética eficiente, alinhada às metas globais de sustentabilidade.

A produção de hidrogênio verde baseia-se em processos industriais criteriosos, envolvendo gases e líquidos em diferentes temperaturas e níveis de pressão, o que demanda atenção a esses parâmetros. No âmbito da automação industrial, o monitoramento desses processos exige uma combinação de ferramentas, incluindo sensores, atuadores, protocolos de comunicação e controladores programáveis. Esses elementos foram investigados e integrados ao desenvolvimento de um sistema capaz de assegurar maior segurança e confiabilidade na produção do gás.

Entre os métodos aplicados, destaca-se o projeto de um conjunto de telas interligadas, cada uma com funções bem definidas para compor um sistema abrangente. As funcionalidades implementadas incluem monitoramento, alarmes, notificações, relatórios e históricos de sensores, essenciais para garantir o controle eficiente do processo produtivo. Ferramentas como o histórico de sensores e o relatório de alarmes representam destaques do sistema, permitindo a exportação de dados para ambientes externos, possibilitando análises detalhadas e aprimoramento contínuo dos parâmetros operacionais.

Além das funcionalidades técnicas, houve um cuidado especial com a usabilidade do supervisório. Seguindo as diretrizes da norma ISA 101, o design priorizou a criação de interfaces minimalistas, sem poluição visual, com uso estratégico de cores, ícones e imagens. Funcionalidades específicas, como a opção de destacar informações principais na tela de operação ou habilitar textos descritivos de sensores e atuadores, reforçam a clareza e eficiência do ambiente de monitoramento, contribuindo para uma operação segura e sustentável da planta.

A validação do sistema foi realizada por meio de testes em simulação e in-loco, que demonstraram a eficiência do supervisório na comunicação com o

controlador e no funcionamento de suas principais ferramentas, como histórico de sensores, relatórios de alarmes e geração de notificações. Apesar das limitações impostas pela indisponibilidade de um ciclo completo de produção durante o período de manutenção, os testes confirmaram a coerência dos dados monitorados com as condições do ambiente, atestando a funcionalidade do sistema.

Como perspectivas futuras, sugere-se a inclusão de controle direto sobre os atuadores da planta, tornando o sistema mais integrado e fácil de ser operado. A implementação de análises preditivas de falhas, baseadas nos dados coletados, também pode agregar valor ao sistema, permitindo intervenções proativas. Além disso, recomenda-se a realização de testes aprofundados durante ciclos efetivos de produção, para ajustes finos nas configurações do processo e maior validação das funcionalidades.

Diante dos resultados obtidos, foi possível desenvolver um sistema supervisório SCADA que satisfaz com êxito os objetivos propostos, proporcionando um monitoramento eficiente e seguro da planta de produção de hidrogênio verde. As ferramentas de aquisição de dados ampliam significativamente as possibilidades de análise e registro, contribuindo para uma produção mais eficaz e alinhada às demandas por soluções energéticas sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ABB. **Data Sheet PM554, PM556, PM564, PM566**. [S.l.]. 2024.

ALFACOMP. Alfacom.net. **Haiwell Cloud SCADA – Software Supervisório Gratuito**, 2020. Disponível em: <<https://alfacom.net/produto/scada/>>. Acesso em: Abril 2024.

ALVARENGA, Paulo. EPBR. **O hidrogênio verde e a transição para uma economia de baixo carbono**, 2021. Disponível em: <https://epbr.com.br/o-hidrogenio-verde-e-a-transicao-para-uma-economia-de-baixo-carbono/?utm_source=Clipping&utm_campaign=fb6b173cee-EMAIL_CAMPAIGN_2021_05_28_08_01&utm_medium=email&utm_term=0_2cc57c6303-fb6b173cee-367011461>. Acesso em: 21 Abril 2024.

ALVARENGA, Paulo. **O hidrogênio verde e a transição para uma economia de baixo carbono**. EPBR, 2021. Disponível em: <https://epbr.com.br/o-hidrogenio-verde-e-a-transicao-para-uma-economia-de-baixo-carbono/?utm_source=Clipping&utm_campaign=fb6b173cee-EMAIL_CAMPAIGN_2021_05_28_08_01&utm_medium=email&utm_term=0_2cc57c6303-fb6b173cee-367011461>. Acesso em: 21 Abril 2024.

AMARAL, Allan F. F. **Redes de Computadores**, 2012.

BRASIL. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) para a Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília, p. 10. 2015.

BURTON, N. A. et al. **Increasing the efficiency of hydrogen production from solar powered water electrolysis**. Elsevier - Renewable and Sustainable Energy Reviews, Janeiro 2021.

CAPELLI, Alexandre. **Automação Industrial - Controle de Movimento e Processos Contínuos**, 2013.

CH2V. **O HIDROGÊNIO VERDE (H2V)**. CENTRO DE HIDROGÊNIO VERDE, 2019. Disponível em: <<https://ch2v.unifei.edu.br/o-hidrogenio-verde-h2v/>>. Acesso em: 22 Abril 2024.

CHI, Jun; YU, Hongmei. **Water electrolysis based on renewable energy for hydrogen production**. Chinese Journal of Catalysis, v. 39, n. 3, p. 390 - 394, 2018.

CORREIA, Adriano. **Hidrogênio verde e o futuro das matrizes energéticas**. [S.l.]. 2022.

EPE. **Bases para consolidação da estratégia brasileira do hidrogênio**. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília. 2021.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2023: Ano base 2022**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro. 2023.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **ABCDEnergia**, 2024. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia>>. Acesso em: 23 Abril 2024.

FERNANDES, Gláucia et al. **Panorama dos desafios do hidrogênio verde**. FGV. [S.l.], p. 14. 2023.

FRANCHI, Claiton M.; CAMARGO, Valter L. A. D. **Controladores Lógicos Programáveis**, 2020.

GIZ. **Mapeamento do setor de hidrogênio brasileiro**. GESILLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT. Brasília. 2021.

GOMI, Edson S. **Inteligência artificial e programação em lógica e suas aplicações nos sistemas de supervisão e controle de sistemas de potência**, 1990.

HYDROGEN COUNCIL. **How hydrogen empowers the energy transition**. [S.l.]. 2017.

IEA. **International Energy Agency. The Future of Hydrogen**, 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>>. Acesso em: 22 Abril 2024.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**, 2024. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/CondicoesRegistradas>>. Acesso em: 10 Novembro 2024.

IRENA. **Patent insight report. Innovation trends in electrolysers for hydrogen production**. EPO e IRENA. Vienna, p. 40. 2022.

ISA. ISA São Paulo Section. **Introdução à Norma ISA-101: Interfaces Homem-Máquina**, 2016. Disponível em: <<https://isasp.org.br/wp-content/uploads/2020/01/ISA-101-III-Simp%C3%B3sio-ISA-S%C3%A3o-Paulo-Sabesp-Nov2016.pdf>>. Acesso em: Junho 2024.

LUGLI, Alexandre B.; SANTOS, Max M. D. **Redes Industriais Para Automação Industrial**, 2019. 2^a. ed.

MODBUS ORGANIZATION. **Modbus Messaging On TCP/IP Implementation Guide. Modbus Organization**. [S.l.], p. 46. 2006.

NUVEMSHOP. **Paleta de Cores**. 2024. Disponível em: <<https://paletadecores.com/>>. Acesso em: 20 Agosto 2024.

PTI. Blog PTI - Parque Tecnológico de Itaipu. **PTI-BR participa da Missão Estratégica Hidrogênio Verde**, 2023. Disponível em: <<https://blog.pti.org.br/pti-br-missao-estrategica-hidrogenio-verde/>>. Acesso em: 20 Abril 2024.

QUISPE, Angel A. **Aplicação da teoria de controle supervisorio à planta de produção de hidrogênio do Parque Tecnológico Itaipu**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Foz do Iguaçu. 2020.

SANTOS, Max M. D. **Supervisão de Sistemas - Funcionalidades e Aplicações**, 2014.

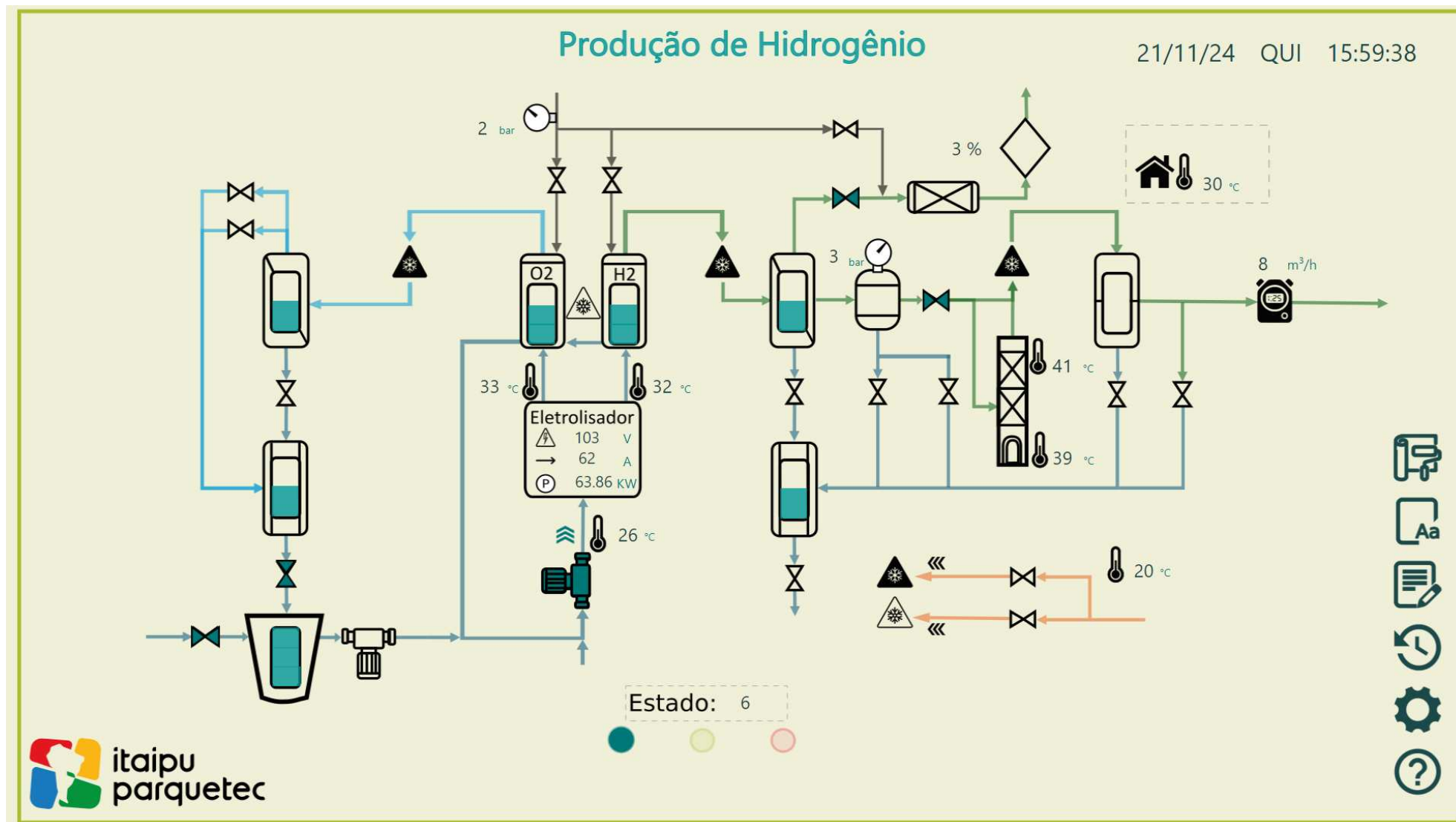
SILVA, Ennio P. D. **Introdução à tecnologia e economia do hidrogênio**, 1991.

TSAI, David et al. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil**. SEEG. [S.l.], p. 34. 2023.

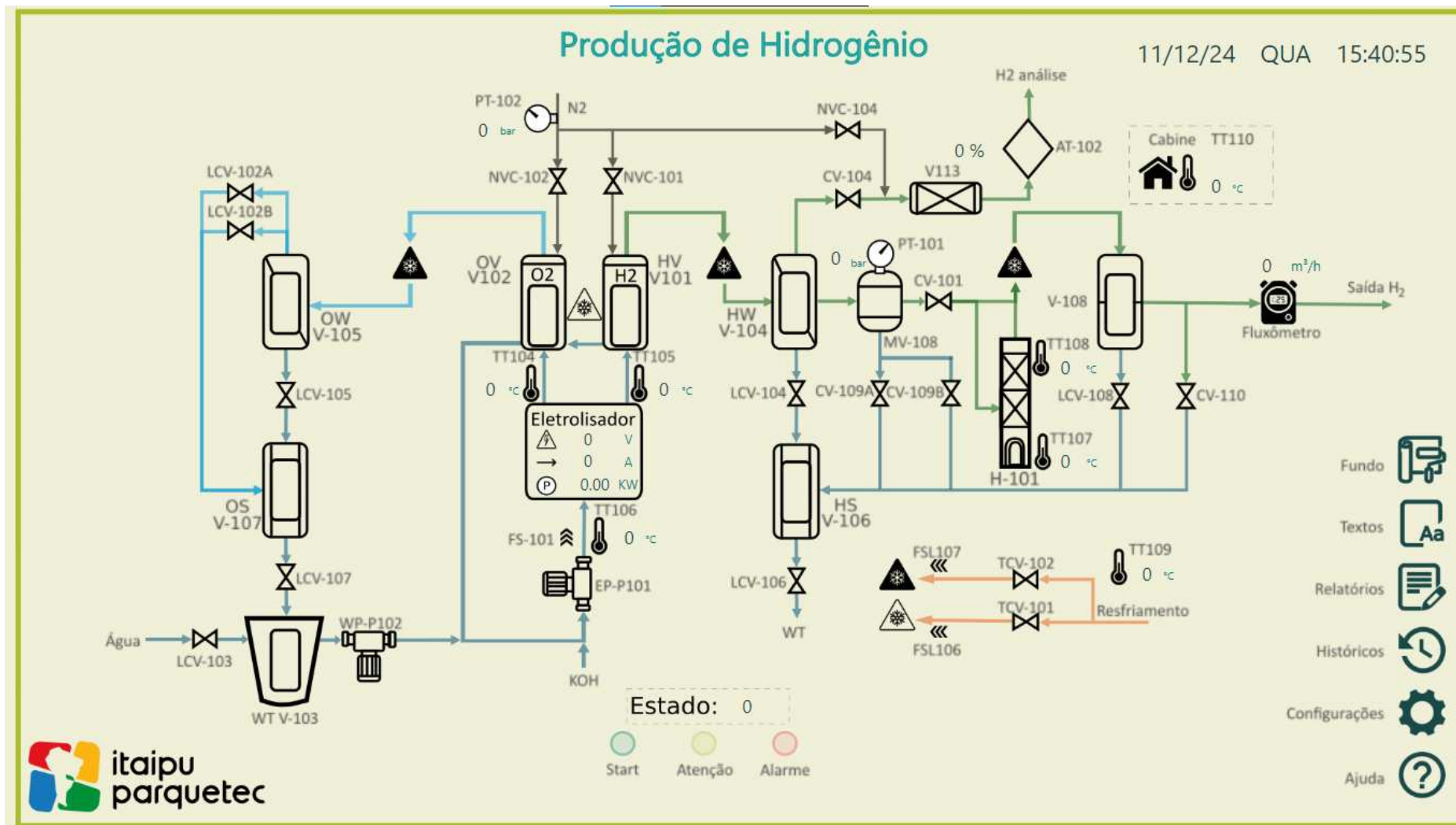
VAHID, Frank. **Sistemas digitais**: projeto, otimização e HDLs, 2008.

VOITIC, Gernot et al. **Hydrogen Production**. In: Fuel Cells and Hydrogen. Elsevier. [S.l.], p. 215-241. 2018.

APÊNDICE A – Imagens das telas do supervisor



Tela 1 - Tela principal do supervisório.




Tela 3 - Tela com opção de mostrar os nomes dos dispositivos.

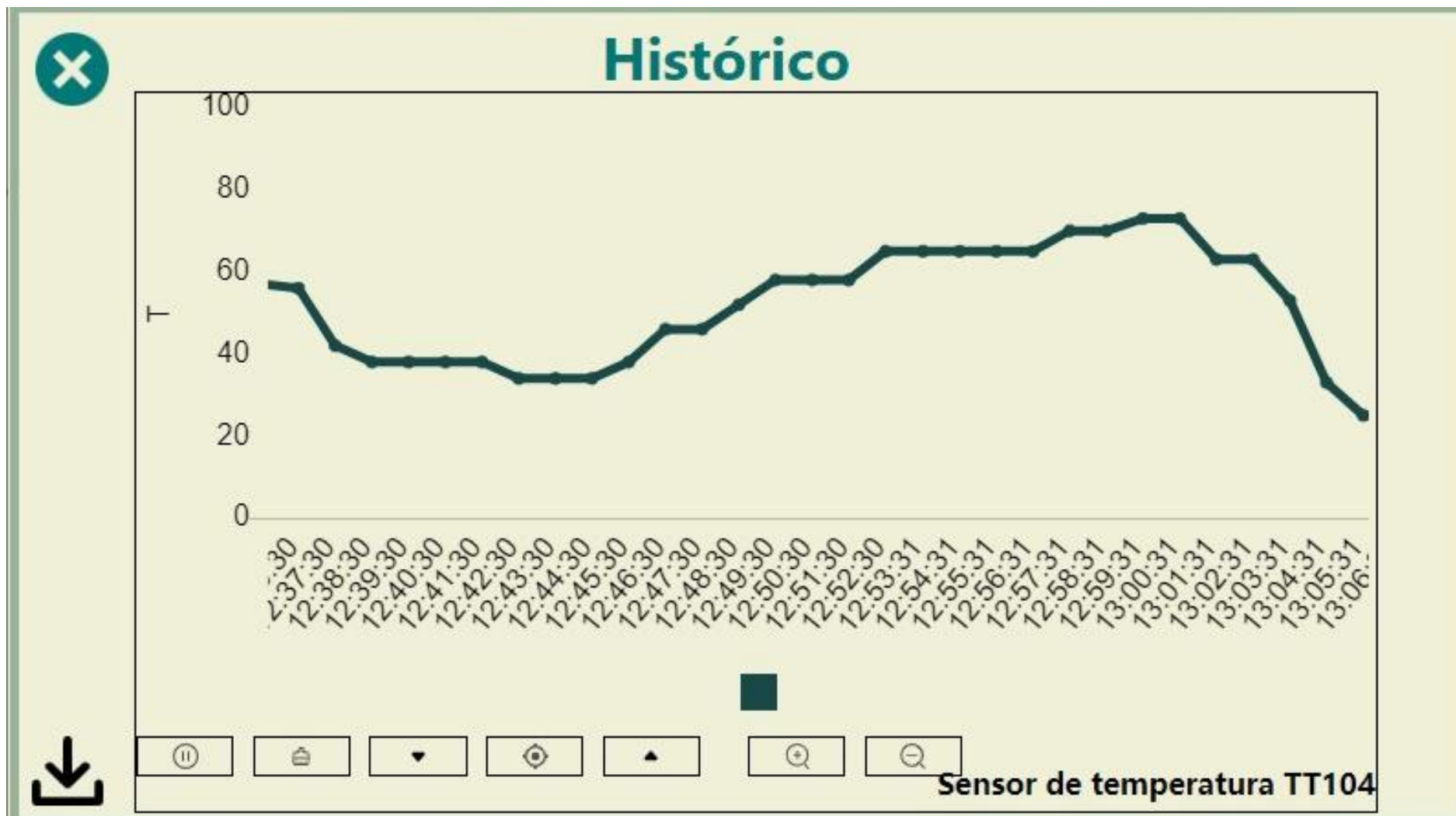
Relatórios
14/11/24 QUI 12:21:13

Alarmes Ativos
Histórico Alarmes
Alarmes Não Confirm.
Alarmes Confirmados

Ordem	Tempo do Alarme	Valor Atual	Significado	Tipo	Nome da Variável	Tempo da Confirmação
1	2024-11-14 12:18:40	5	PT102 Acima do Limite	alert	Modbus_1.3X108	
2	2024-11-14 12:18:34	5	PT101 Acima do Limite	alert	Modbus_1.3X106	
3	2024-11-14 12:17:52	120	Tensão do EMB Acima do Limite	alert	Modbus_1.3X93	
4	2024-11-14 12:17:24	81	Corrente do EMB Acima do Limite	alert	Modbus_1.3X92	
5	2024-11-14 12:16:50	62	TT104 Acima do Limite	alert	Modbus_1.3X43	2024-11-14 12:19:51
6	2024-11-14 12:16:31	82	TT105 Acima do Limite	alert	Modbus_1.3X44	2024-11-14 12:19:50










Tela 4 - Tela de relatório de alarmes




Tela 5 - Exemplo de um gráfico, que pode ser adquirido pressionando sobre qualquer sensor analógico na tela principal.

✕

Histórico

<p style="text-align: center;">Sensores de Temperatura</p> <div style="text-align: center; font-size: 48px; margin-bottom: 20px;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li style="text-align: right; padding-right: 20px;">TT104 <li style="text-align: right; padding-right: 20px;">TT105 <li style="text-align: right; padding-right: 20px;">TT106 <li style="text-align: right; padding-right: 20px;">TT107 <li style="text-align: right; padding-right: 20px;">TT108 <li style="text-align: right; padding-right: 20px;">TT109 <li style="text-align: right; padding-right: 20px;">TT110 	<p style="text-align: center;">Sensores de Pressão</p> <div style="text-align: center; font-size: 48px; margin-bottom: 20px;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li style="text-align: right; padding-right: 20px;">PT-101 <li style="text-align: right; padding-right: 20px;">PT-102 	<p style="text-align: center;">Eletrolisador</p> <div style="text-align: center; font-size: 48px; margin-bottom: 20px;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li style="text-align: right; padding-right: 20px;">Tensão <div style="text-align: center; font-size: 48px; margin-bottom: 20px;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li style="text-align: right; padding-right: 20px;">Corrente <div style="text-align: center; font-size: 48px; margin-bottom: 20px;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li style="text-align: right; padding-right: 20px;">Potência
<p style="text-align: center;">Produção</p> <div style="text-align: center; font-size: 48px; margin-bottom: 20px;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li style="text-align: right; padding-right: 20px;">Fluxômetro 	<p style="text-align: center;">Analisador</p> <div style="text-align: center; font-size: 48px; margin-bottom: 20px;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li style="text-align: right; padding-right: 20px;">AT-102 	





Tela 6 - Tela de histórico, que concentra todos os sensores de forma organizada para visualização de seus gráficos ao longo do tempo.


✕


Configurações


14/11/24 QUI 13:59:43


Sensores de Temperatura			
	Limites de Alarme		
	Mín		Máx
	0	TT104	60
	-2	TT105	60
	5	TT106	50
	5	TT107	50
	10	TT108	80
	5	TT109	90
0	TT110	55	

Sensores de Pressão			
	Limites de Alarme		
	Mín		Máx
	0	PT-101	4
	0	PT-102	3

Eletrolisador			
	Limites de Alarme		
	Mín		Máx
	0	Tensão	50
	0	Corrente	10
0	Potência	500	

Produção de Hidrogênio			
	Limites de Alarme		
	Mín		Máx
	0	Fluxômetro	100

Analisador			
	Limites de Alarme		
	Mín		Máx
	0	AT-102	5



Tela 7 - Tela de configurações, onde é possível modificar os limites mínimos e máximos para geração dos alarmes.

 Precisa de Ajuda? 21/11/24 QUI 14:45:38

Supervisório da Planta de Produção de Hidrogênio. Versão 1.0

Supervisório Desenvolvido no Software:
Haiwell Cloud Scada 3, Versão: 3.39.0.24
em 11/2024





UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS MEDIANEIRA

Este supervisório é resultado do Trabalho de Conclusão de Curso do Bacharelado em Engenharia Elétrica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Medianeira, em parceria com a Itaipu Parquetec.

Autores: Jakson Felix da Silva Araujo
Alex Lemes Guedes
Contato: jaksonfelix@gmail.com



**itaipu
parquetec**



**itaipu
parquetec**

 Operação


















 Relatórios








 Históricos

 Configurações

 Sobre

Telas auxiliares

<p>Eletroválvulas</p> <p>Essas são as Eletroválvulas presentes na Planta de Produção de Hidrogênio. Veja seus possíveis estados:</p> <p>1  Acionada</p> <p>0  Desacionada</p>	<p>Níveis dos Tanques</p> <p>Representam o estado do líquido/gás no recipiente. Estão presentes dois tipos de tanques na planta:</p> <p>Tanque 3 níveis: Cheio, Nível Médio, Vazio</p> <p>Tanque 4 níveis: Cheio, Nível Alto, Nível Médio, Nível Baixo, Vazio</p>	<p>Lâmpadas</p> <p>Lâmpadas de aviso: Verde (Produção Ativa), Amarela (Alerta), Vermelha (Alarme).</p> <p>Desacionada    0</p> <p>Acionada    1</p>
<p>Sistema de Resfrieração</p> <p>Sistema de Resfrieração: quando seus sensores de fluxo estiverem acionados, a resfrieração estará em funcionamento.</p> <p> Tanques OV e HV</p> <p> Sistema Geral</p>	<p>Bombas</p> <p>Essas são as Bombas presentes na Planta de Produção de Hidrogênio. Veja seus possíveis estados:</p> <p>1  Acionada</p> <p>0  Desacionada</p>	<p>Estados de Produção</p> <p>Esses são os estados da produção de Hidrogênio, vão de 1 a 9 e seus significados são:</p> <p>1 - Desligado 2 - Stand-By 3 - Pre-Start 4 - Purga 5 - Pressurização 6 - Produção 7 - Espera 8 - Despressurização 9 - Inertização.</p>
<p>Sensores de Pressão</p> <p>Sensores de Pressão presentes na Planta de Produção de Hidrogênio. Clicando em seu símbolo, é possível abrir o histórico em tempo real e baixar os dados do sensor durante a produção.</p> <p></p>	<p>Sensores de Temperatura</p> <p>Sensores de Temperatura presentes na Planta de Produção de Hidrogênio. Clicando em seu símbolo, é possível abrir o histórico em tempo real e baixar os dados do sensor durante a produção.</p> <p></p>	<p>Eletrolisador</p> <p> Tensão em Volts</p> <p> Corrente em Amperes</p> <p> Potência em KW</p>

<p>Entrada de Água Pura</p> <p>Aqui é a entrada de água pura para o tanque WT (Water Tank). Antes de iniciar a produção deve ser abastecido o sistema com água.</p>	<p>Entrada de KOH</p> <p>Esta é a entrada de KOH (hidróxido de potássio). Este eletrólito deve ser adicionado à água, formando uma mistura mais condutiva para o processo eletroquímico. Antes da produção, os tanques e canos devem ser carregados com essa mistura para um funcionamento correto.</p>	<p>Saída de H₂V</p> <p>Esta é a principal saída do gás hidrogênio. Após a etapa de produção, ele é comprimido e armazenado para os seus devidos fins.</p>
<p>Entrada de N₂</p> <p>Aqui é a entrada de Nitrogênio, esse é o sistema de limpeza dos encanamentos e gases a fim de retirar resíduos ou restos, permitindo mudanças e manutenções mais seguras. Denomina sistema de purga por N₂.</p>	<p>Saída de H₂ para análise</p> <p>Esta saída de hidrogênio é destinada à verificação da pureza do gás produzido. Apesar de passar por processos de separação do gás oxigênio, uma pequena parte ainda pode estar presente no produto final. O analisador indica qual é a porcentagem de oxigênio presente no hidrogênio.</p>	<p>Botões do Menu</p> <ul style="list-style-type: none"> <li style="width: 50%;"> Habilitar/Desabilitar o fundo da operação. <li style="width: 50%;"> Entrar na tela de Histórico. <li style="width: 50%;"> Habilitar/Desabilitar o texto da operação. <li style="width: 50%;"> Entrar na tela de Configurações de Limites <li style="width: 50%;"> Entrar na tela de Relatório/Alarmes. <li style="width: 50%;"> Página de Ajuda
<p>Analisador</p> <p>Analisador de pureza do gás, que verifica a porcentagem de O₂ presente no H₂. Clicando em seu símbolo, é possível abrir o histórico em tempo real e baixar seus dados durante a produção.</p> <p style="text-align: center;">3% </p>	<p>Data e Hora</p> <p>Essa é a data e as horas do sistema, estão ligadas com a data e hora do computador onde o supervisor está instalado. Para alterar, altere a data/hora do computador.</p> <p style="text-align: center;">21/11/24 QUI 14:59:47</p>	<p>Entrada da Refrigeração</p> <p>Essa é a entrada do líquido de refrigeração do sistema.</p>

Fluxometro

Fluxômetro do gás, registra a quantidade de produção de hidrogênio. Clicando em seu símbolo, é possível abrir o histórico em tempo real e baixar seus dados durante a produção.

m3/h 

Sensor de Fluxo

Os sensores de fluxo indicam se há fluxo de líquido/gás pelos canos. Seus estados são:

1  Acionado

0  Desacionado

Saída para o tanque de água

Parte da água residual do processo é realimentada no tanque de água (water tank). Esta saída representa uma dessas realimentações.

Alarmes Confirmados



Nesta aba do relatório, é possível visualizar os alarmes confirmados pelo operador. Também é possível baixar as informações dos alarmes confirmados.

 Ícone de download, disponível no canto superior direito.

Alarmes Ativos



Nesta aba do relatório, é possível visualizar quais alarmes estão ativos no momento e seus respectivos valores, permitindo que o operador confirme o conhecimento do alarme (clicando no alarme). Alarmes confirmados ficam na cor verde, enquanto os não confirmados permanecem em vermelho.

Histórico de Alarmes



Nesta aba do relatório, é possível visualizar o histórico de todos os alarmes, ativos ou inativos, confirmados ou não. Aqui também é possível baixar um arquivo com os dados dos alarmes.

 Ícone de download, disponível no canto superior direito.

Alarmes Não Confirmados



Nesta aba do relatório, é possível visualizar os alarmes ainda não confirmados pelo operador. Também é possível baixar as informações dos alarmes não confirmados.

 Ícone de download, disponível no canto superior direito.

Baixar Dados de Alarmes



Ícone de download, disponível no canto superior direito, nas páginas de Histórico de Alarmes, Alarmes Confirmados e Alarmes não Confirmados. Tipo de arquivo: Extensão de arquivos de valores separados por vírgulas (CSV), pode ser aberto com Excel ou similares. Você deve escolher qual local deseja guardar esses dados.

Histórico de Sensores

É possível visualizar os valores dos sensores analógicos clicando em seu nome na página de históricos. O gráfico exibirá os últimos 30 minutos de operação, contendo o valor do sensor escolhido. Os dados de operação dos sensores estão disponíveis para download.

✕ Botões de Operação para Gráficos

Usando esses botões, você poderá interagir com o gráfico. O primeiro botão pausa/inicia a visualização em tempo real, o segundo limpa os dados anteriores, e o terceiro, quarto e quinto são usados para movimentação do gráfico. Já os últimos dois servem para zoom in e zoom out.



✕ Alarme e Lâmpada de Alarme

Quando o supervisor apresenta um alarme de algum sensor, trata-se de um alarme interno ao supervisor, cujos limites podem ser configurados na página de configuração. Já a lâmpada de alarme indica um alarme proveniente da programação do CLP, ou seja, alarmes internos ao controlador, que são apenas sinalizados pelo acionamento da lâmpada.

✕ Baixar Dados de Sensor

Para baixar os dados dos sensores, click no ícone de download para dados serem baixados no computador onde o supervisor está instalado, você deve escolher o local para guardar o arquivo. Tipo de arquivo: Extensão de arquivos de valores separados por vírgulas (CSV), pode ser aberto com Excel ou similares. Taxa de amostragem de um valor a cada 30 segundos de operação.

Download



✕ Configuração dos Limites de Alarme

Nesta página é possível alterar o limite para os alarmes de todos os sensores analógicos, possibilitante a configuração das notificações que aparecem no canto superior direito do supervisor. Use o teclado numérico para alterar os limites máximos e mínimos.



APÊNDICE B - Tabela de variáveis do supervisorío

Nº	Nome	Variável Variável de Saída	Endereço (Decimal)	Endereçamento	Função	Significado	Alarme Lim. Inf.	Alarme Lim. Sup.	Range	
1	MO_TOutH2_EMB	TT104 SAIDATT104	43	%MW0.43	INT Analog Input (04)	Sensor de Temperatura na entrada do HV-V101	0	80	-40	370
2	MO_TOutO2_EMB	TT105 SAIDATT105	44	%MW0.44		Sensor de Temperatura na entrada do OV-V102	0	80	-40	370
3	MO_TInKOH_EMB	TT106 SAIDATT106	45	%MW0.45		Sensor de Temperatura na entrada do OV-V102	0	80	-40	370
4	MO_TIn_DO	TT107 SAIDATT107	68	%MW0.68		Sensor de Temperatura na saída do HDO H-101	0	80	-40	370
5	MO_TOut_DO	TT108 SAIDATT108	69	%MW0.69		Sensor de Temperatura na entrada do HDO H-101	0	80	-40	370
6	MO_TinCool	TT109 SAIDATT109	59	%MW0.59		Sensor de Temperatura na entrada de refrigeração	0	80	-40	370
7	MO_Tcabinet	TT110 SAIDATT110	64	%MW0.64		Sensor de Temperatura na entrada de refrigeração	0	80	-40	370
8	MO_I_EMB	TA2 SAIDATA2	92	%MW0.92		Sensor de Corrente do Eletrolisador B - (0 - 10V) O sensor é de 0-4V.	0	80	0	144
9	MO_V_EMB	AI_V_EMB SAIDATENSAOB	93	%MW0.93		Sensor de tensão do eletrolisador B - (0-10V)	0	80	0	150
10	MO_PressH2	PT101 SAIDAPT101	106	%MW0.106		Sensor de Pressão do buffer de Hidrogênio MV-108 (4-20mA)	0	80	0	40
11	MO_PressN	PT102 SAIDAPT102	108	%MW0.108		Sensor de Pressão da linha de nitrogênio (4-20mA)	0	80	0	40
12	MO_AnalyzerH2InO2	AT102 SAIDAAT102	130	%MW0.130		Sensor Analisador de O2 no H2 - AT-102	0	80	0	5
13	MO_Flux	Flux SAIDAFLUX	228	%MW0.228		Fluxômetro, Medida do volume de hidrogênio Produzido	0	100	0	150
14	MO_State	ihmEstado ihmEstado	224	%MW0.224		Estado de Operação da produção	0	80	1	3
15	MO_H_Level_HV	LSH101 LSH101	0	%MX0.0.0	BOL Digital Input (02)	Sensor de Nível alto do tanque HV-V101 (Separação de hidrogênio)	-	-	0	1
16	MO_L_Level_HV	LSL101 LSL101	1	%MX0.0.1		Sensor de Nível baixo do tanque HV-V101 (Separação de hidrogênio)	-	-	0	1
17	MO_LL_Level_HV	LSLL101 LSLL101	2	%MX0.0.2		Sensor de Nível muito baixo do tanque HV-V101 (Separação de hidrogênio)	-	-	0	1
18	MO_H_Level_OV	LSH102 LSH102	3	%MX0.0.3		Sensor de Nível alto do tanque OV-V102 (Separação de oxigênio)	-	-	0	1
19	MO_L_Level_OV	LSL102 LSL102	4	%MX0.0.4		Sensor de Nível baixo do tanque OV-V102 (Separação de oxigênio)	-	-	0	1
20	MO_LL_Level_OV	LSLL102 LSLL102	5	%MX0.0.5		Sensor de Nível muito baixo do tanque OV-V102 (Separação de oxigênio)	-	-	0	1
21	MO_H_Level_WT	LSH103 LSH103	6	%MX0.0.6		Sensor de Nível alto do tanque WT-V103 (Tanque de água)	-	-	0	1
22	MO_L_Level_WT	LSL103 LSL103	7	%MX0.0.7		Sensor de Nível baixo do tanque WT-V103 (Tanque de água)	-	-	0	1

Nº	Nome	Variável Variável de Saída	Endereço	Endereçamento	Função	Significado	Alarme Lim. Inf.	Alarme Lim. Sup.	Range	
23	MO_LL_Level_WT	LSLL103 LSLL103	8	%MX0.1.0	BOL Digital Input (02)	Sensor de Nível muito baixo do tanque WT-V103 (Tanque de água)	-	-	0	1
24	MO_H_Level_HW	LSH104 LSH104	10	%MX0.1.2		Sensor de Nível alto do tanque HW-V104 (Purificador de hidrogênio)	-	-	0	1
25	MO_L_Level_HW	LSL104 LSL104	11	%MX0.1.3		Sensor de Nível baixo do tanque HW-V104 (Purificador de hidrogênio)	-	-	0	1
26	MO_H_Level_OW	LSH105 LSH105	13	%MX0.1.5		Sensor de Nível alto do tanque OW-V105 (Purificador de oxigênio)	-	-	0	1
27	MO_L_Level_OW	LSL105 LSL105	14	%MX0.1.6		Sensor de Nível baixo do tanque OW-V105 (Purificador de oxigênio)	-	-	0	1
28	MO_H_Level_HS	LSH106 LSH106	15	%MX0.1.7		Sensor de Nível alto do tanque HS-V106 (Separador de líquido/H2)	-	-	0	1
29	MO_L_Level_HS	LSL106 LSL106	16	%MX0.2.0		Sensor de Nível baixo do tanque HS-V106 (Separador de líquido/H2)	-	-	0	1
30	MO_H_Level_OS	LSH107 LSH107	18	%MX0.2.2		Sensor de Nível alto do tanque OS-V107 (Separador de líquido/oxigênio)	-	-	0	1
31	MO_L_Level_OS	LSL107 LSL107	17	%MX0.2.1		Sensor de Nível baixo do tanque OS-V107 (Separador de líquido/oxigênio)	-	-	0	1
32	MO_H_Level_HF	LSH108 LSH108	19	%MX0.2.3		Sensor de Nível baixo do tanque HF-108 (Filtro de hidrogênio)	-	-	0	1
33	MO_L_Level_HF	LSL108 LSL108	20	%MX0.2.4		Sensor de Nível baixo do tanque HF-V108 (Filtro de hidrogênio)	-	-	0	1
34	MO_FlussCool_Purify	FSL106 FSL106	52	%MX0.6.4		Sensor de Fluxo da entrada da refrigeração	-	-	0	1
35	MO_Fluss_EMB	FlussKOH_EMB FlussKOH_EMB	54	%MX0.6.6		Sensor de Fluxo do eletrolisador B - EMB	-	-	0	1
36	MO_Start_EP	P101 P101	128	%MX0.16.0		Bomba de KOH	-	-	0	1
37	MO_Start_WP	P102 P102	129	%MX0.16.1		Bomba de H2O	-	-	0	1
38	MO_EvInH2O_WT	LCV103 LCV103	68	%MX0.8.4		Válvula de Controle de Líquido para abastecimento do tanque de água	-	-	0	1
39	MO_EvDrain_HW	LCV104 LCV104	70	%MX0.8.6		Válvula de Controle de Líquido de Drenagem do tanque HW-104	-	-	0	1
40	MO_EvDrain_OW	LCV105 LCV105	69	%MX0.8.5		Válvula de Controle de Líquido de Drenagem do tanque OW-105	-	-	0	1
41	MO_EvDrain_HS	LCV106 LCV106	71	%MX0.8.7		Válvula de Controle de Líquido de Drenagem do tanque HS-106	-	-	0	1
42	MO_EvDrain_OS	LCV107 LCV107	72	%MX0.9.0		Válvula de Controle de Líquido de Drenagem do tanque OS-107	-	-	0	1
43	MO_EvDrain_HF	LCV108 LCV108	73	%MX0.9.1	Válvula de Controle de Líquido de Drenagem do tanque HF-108	-	-	0	1	
44	MO_EvInN_HV	NCV101 NCV101	77	%MX0.9.5	Válvula de controle de nitrogênio do H2 NCV 101	-	-	0	1	

Nº	Nome	Variável Variável de Saída	Endereço	Endereçamento	Função	Significado	Alarme Lim. Inf.	Alarme Lim. Sup.	Range	
45	MO_EvTempControl_HV	TCV101 TCV101	86	%MX0.10.6	BOL Digital Input (02)	Válvula da água de refrigeração TCV101	-	-	0	1
46	MO_EvTempControl_OV	TCV102 TCV102	87	%MX0.10.7		Válvula da água de refrigeraçãoTCV102	-	-	0	1
48	MO_EvInH2_O2InH2Analyzer	CV104 CV104	80	%MX0.10.0		Válvula de Controle de H2 para a análise no AT102	-	-	0	1
50	MO_EvVentH2LP	CV109B CV109B	65	%MX0.8.1		Válvula de Controle de H2 CV109B	-	-	0	1
51	EVProductionH2_HB	CV110 CV110	92	%MX0.11.4		Válvula de Controle de produção de H2 CV110	-	-	0	1
52	MO_EvInN_OV	NCV102 NCV102	76	%MX0.9.4		Válvula de Controle de Nitrogênio do O2 NCV 102	-	-	0	1
53	MO_EvInN_O2InH2Analyzer	NCV104 NCV104	78	%MX0.9.6		Válvula de Controle de Nitrogênio para o analisador NCV 104	-	-	0	1
54	MO_EvVentO2HP	LCV102A LCV102A	66	%MX0.8.2		Válvula de Controle de Líquido para O2 LVC102A	-	-	0	1
55	MO_EvVentO2LP	LCV102B LCV102B	67	%MX0.8.3		Válvula de Controle de Líquido para O2 LVC102B	-	-	0	1
56	MO_LpStart	LpStart LpStart	130	%MX0.16.2		Lâmpada de Sinalização de Start (Processo de Produção em Andamento)	-	-	0	1
57	MO_LpAlarm	LpAlarm LpAlarm	131	%MX0.16.3	Lâmpada de Sinalização Warning (Atenção)	-	-	0	1	
58	MO_LpWarning	LpWarning LpWarning	132	%MX0.16.4	Lâmpada de Sinalização Alerta	-	-	0	1	

Legenda:

Nome: Nome atribuído a variável dentro da programação do CLP;

Variável: Interna a programação do CLP;

Variável de Saída: Interna a programação do CLP, que foram endereçada para registradores especificados em “Endereçamento”;

Endereço: Endereço de registrador em decimal;

Endereçamento: Atribuição de endereço de registrador para as variáveis de saída, processo interno a programação do CLP;

Função: Função Modbus para leitura da variável, varia conforme o tipo: BOL – Booleana e INT – Inteiro;

Significado: Breve explicação sobre a função da variável;

Alarme Limite Inferior: Valor de limite inferior para os alarmes do supervisório, valores padrões iniciais, podem ser alterados;

Alarme Limite Superior: Valor de limite superior para os alarmes do supervisório, valores padrões iniciais, podem ser alterados;

Range: Limites de valores que a variável pode apresentar.