UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA PORTO ALEGRE
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

LUCAS LOPES PASZINSKI

SUPERVISÃO INTERATIVA DE UMA PLANTA INDUSTRIAL DE PROCESSO CONTÍNUO

PORTO ALEGRE
2017

LUCAS LOPES PASZINSKI

SUPERVISÃO INTERATIVA DE UMA PLANTA INDUSTRIAL DE PROCESSO CONTÍNUO

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

PORTO ALEGRE

2017

LUCAS LOPES PASZINSKI

SUPERVISÃO INTERATIVA DE UMA PLANTA INDUSTRIAL DE PROCESSO CONTÍNUO

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

Aprovado em: 14 / 07 / 2017

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

Prof. Msc Emerson Fernandes da Cunha
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

Prof. Dr. André Soares Borin
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

PORTO ALEGRE

2017

“A coisa mais indispensável a um homem é reconhecer o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento.” (Platão).

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Junior e Andrea, por terem me apoiado na jornada no meio acadêmico.

Agradeço a minha namorada Natália por ter suportado e entendido minha constante ausência.

Agradeço aos professores, em especial aos Professores João e André, que dedicaram seu tempo para tornar esse projeto possível.

Agradeço aos colegas de curso, em especial a primeira turma do Curso de Tecnologia em Automação Industrial de Porto Alegre, que se aventuraram junto comigo e tornaram suportáveis e até mesmo divertidos os momentos de dificuldade.

RESUMO

Processos contínuos industriais requerem uma supervisão mais sensível às variações por se tratarem, em sua maioria, de processos químicos ou físicos onde a mínima alteração de um parâmetro poderá levar a perda total de um lote produtivo ou a confecção de um produto muito diferente do pretendido. Tendo em vista que o analista químico é o responsável, muitas vezes, pelo monitoramento e análise dos dados coletados da planta e que muitos desses ensaios podem durar longos períodos, acaba por se criar um ambiente que favorece o erro humano. Este trabalho almeja elaborar um sistema supervisório que seja capaz de supervisionar uma planta de processo contínuo de maneira a simplificar a tarefa do analista químico de monitorar constantemente os parâmetros e que interaja com o usuário somente quando a intervenção do mesmo seja necessária. O objeto de estudo para a elaboração desse sistema foi a planta educacional de processo contínuo SMAR PD-3 que conta com um tanque de armazenamento, um de aquecimento e outro de mistura, além de duas válvulas com controle de abertura, duas bombas hidráulicas para enchimento dos tanques, sensores de nível, vazão e temperatura. A partir desta se definiram quais os parâmetros da planta os quais seriam controlados e supervisionados. Após essa definição, pela impossibilidade de realizar os testes na planta real devido a problemas de comunicação, foi elaborada uma maquete, a fim de simular os sensores e atuadores da planta, com algumas alterações devido ao número de entradas do Controlador Lógico Programável (CLP) utilizado. A maquete com seu conjunto de entradas e saídas foi conectada a um CLP que, depois de programado, foi capaz de reagir ao sistema produtivo. A comunicação do CLP com o sistema supervisório é realizada por meio de uma rede de comunicação usando um protocolo industrial Modbus RTU RS-232. Um sistema supervisório foi implementado para interação com o usuário e permitiu realizar o *setup* dos valores desejados na planta, configurando os alarmes, gerando gráficos de tendência, através de caixas de mensagem, interagindo com o usuário e informando-o quando algum possível erro for detectado. O trabalho prevê a atuação em projetos futuros, buscando a expansão da interação para ambientes mobile, possibilitando que o químico possa monitorar e controlar o processo remotamente, sendo notificado no caso de alguma eventualidade.

Palavras-chaves: Processo Contínuo. Sistemas Supervisórios. Controlador Lógico Programável. Interatividade.

ABSTRACT

Industrial continuous processes require more sensitive supervision to variations, because in most cases are dealing with chemical or physical process, which the minimum variation on the parameters can lead to a total loss of the productive lot or lead the production of a completely distinct product. Taking into account that the chemical analyst in many times is responsible for monitoring and analyzing the data collected from the plant, and these experiments can quite often last for long periods, it could create an environment that favors human error. This work aims to elaborate a supervisory system that is capable of monitoring a continuous process plant in a way that simplifies the task of the chemical analyst of constantly monitoring the parameters, and interact with the user only when the intervention of the same is needed. The study object for the elaboration of the system was the continuous process educational plant SMAR PD-3 that has a storage, a heating and a mixing tank, plus two valves with opening control, two hydraulic pumps for filling the tanks, level, flow and temperature sensors. From this the parameters of the plant which would be controlled and supervised where defined. After this definition, due to the impossibility of carrying out the tests in the real plant because of it's communication problems, a model was elaborated, in order to simulate the sensor actuators of the plant, but with alterations, because of the number of inputs available on the Programmable Logical Computer (PLC). The model, with is inputs and outputs, was connected on the PLC, which after programmed was able to react to the productive system. The PLC communication with the supervisory system, is made through a communication network in a Modbus RTU RS-232 industrial protocol. A supervisory system was implemented to create interactivity with the user. It enable to configure the desired setup values and alarms of the plant, generate trend graphs, and through message boxes that interact with the user, he is informed when a possible error has been detected. In future works, it is envisioned to expand this interaction for mobile environments, seeking to enable the chemist to control and monitor the process remotely and be notified in case of an eventual error that is detected.

Keywords: Continuos Process. Supervisory System. Programmable Logical Computer. Interactivity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de Controle e Supervisão da Planta.**Erro! Indicador não definido.**3
Figura 2 – Volume de Produção e Demanda em processo contínuo varaidos no tempo. .....**Erro! Indicador não definido.**6
Figura 3 – Controlador Lógico Programavel Duo .....**Erro! Indicador não definido.**7
Figura 4 – Exemplo de Protocolo Modbus aplicado entre SCADA, CLP e instrumentos. .....**Erro! Indicador não definido.**8
Figura 1 – Hipótese definida como solução 12
Figura 9 - Esquema Elétrico do Controlador Lógico Programável Duo. 30
Figura 10 - Tela do Sistema Supervisório Implementado.....31
Figura 11 - Maquete para Simulação da Planta. 35
Figura 12 - Programa de CLP em Ladder. 37
Figura 13 - Interface Homem Máquina Simples. 38
Figura 14 - Conversor Comm5 Serial DB9 RS-232 pra USB. 39
Figura 15 - Definição dos Endereços ModBus dentro do supervisório. 40
Figura 16 - Componentes elaborados para a sistema supervisório. 42
Figura 17 - Quadro de Alarmes 43
Figura 18 - Tela de Setup de Alarmes.....44
Figura 19 - Tela de Setup.....45
Figura 20 – Montagem da Maquete com o CLP.....46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Recursos materiais necessários ao projeto.....33
Quadro 2 - Recursos humanos necessários ao projeto 34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA	Corrente Alternada
CLP	Controlador Lógico Programável
DOL	Direct On Line
PID	Proporcional Integral Derivativo
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SCR	Silicon Controlled Retifier
UERGS	Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 PROBLEMÁTICA 11
1.2 HIPÓTESE 12
1.3 OBJETIVOS 13
2 REFERENCIAL TEÓRICO 14
2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 14
2.1.1 Processos Produtivos 14
2.1.2 Processo Contínuo 14
2.1.3 Controlador Lógico Programável 15
2.1.4 Protocolo de comunicação ModBus 16
2.1.5 Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) 18
2.2 PESQUISAS RELACIONADAS 19
2.2.1 Um sistema para monitoramento e controle de bombas hidráulicas 19
2.2.2 Monitoring and controlling of continue furnace line using PLC and SCADA 21
3 METODOLOGIA 25
3.1 TIPO DE PESQUISA 25
3.2 UNIVERSO DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA 25
3.3 MÉTODO APLICADO 25
3.4 INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS 27
3.5 PROCEDIMENTO PARA COLETA DE RESULTADOS 30
3.6 PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS 31
4 RESULTADOS 32
5 ANÁLISE 47
6 CONCLUSÃO 51
..... 53
REFERÊNCIAS 53

1 INTRODUÇÃO

Na manufatura industrial o processo contínuo é uma das alternativas para transformação de um produto, com diferencial de ocorrer de forma ininterrupta. O controle de um processo contínuo possui particularidades que o torna mais complexo que os demais. Segundo (TOLEDO; TRUZZI; FERRO, 1989) há uma indivisibilidade durante o processo contínuo, ou seja, após a inserção, os insumos se tornam indistinguíveis entre si e o produto final e essa diferença decorre das sucessivas transformações físico-químicas que se desencadeiam após a entrada.

Por conta desta indivisibilidade do processo existe um alto nível de integração entre todos os equipamentos envolvidos, o que torna interessante um controle centralizado de todo processo. O controle desse processo deve ser vigilante as oscilações, pois, por se tratar de reações químicas, são necessários parâmetros muito específicos e estáveis, por longos períodos de tempo, pois um erro pode levar a uma perda de produção em grande escala ou a transformação equivocada dos insumos.
Portanto, faz-se necessário sensoriar as variáveis de controle e manipular os dispositivos atuadores de forma contínua, seguindo valores desejáveis que são alterados conforme as receitas postas ao sistema. Não bastando ter um sistema sensoreado e controlado, este deve ser também monitorado continuamente. Esta supervisão é realizada pelo operador do sistema, que monitora em função do tempo cada variação ou estado das variáveis, importantes para o atingimento do produto final, pois por maior que seja o controle ainda existe margem para desvios e erros os quais se fazem necessárias a intervenção humana, direta ou indireta (NATALE, 2001).

1.1 PROBLEMÁTICA

Em processos contínuos, se faz necessária uma supervisão constante de processo, o que requer a atenção ininterrupta de um operador. Essa atenção fixa somada às longas durações dos ensaios acaba por aumentar os riscos de um erro, devido a fadiga do operador ou químico em questão.

Por absorver muitos cuidados o processo acaba por diminuir a eficiência do químico, ou seja, faz com que ele não possa atender um número maior de processos, pois, acaba tendo de gastar tempo em máquinas nas quais não existe necessidade

de intervenção humana.

Outro fator que dificulta esse controle é que uma mesma planta pode executar diferentes produtos e seus parâmetros mudam com o tempo, logo as intervenções do operador devem ocorrer em momentos diferentes.

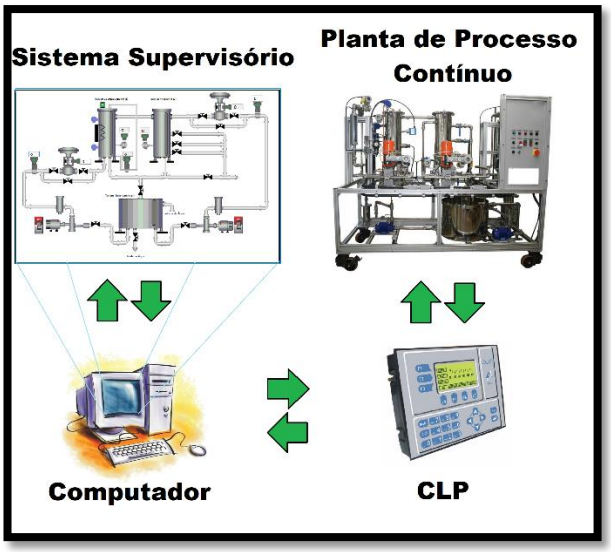
Atualmente o mercado necessita de processos com grau de autonomia que dispense a necessidade constante do analista químico monitorando o equipamento, principalmente nos processos contínuos, onde há necessidade de estabilidade por longos períodos de tempo.

1.2 HIPÓTESE

Assume-se como hipótese desse projeto, indica que um sistema de processo contínuo gerenciado por CLP e supervisionado por um sistema supervisório interativo que possibilita que o analista químico não necessite estar constantemente monitorando o processo, sendo ele instigado a interagir com a planta apenas quando sua presença for necessária.

O processo químico, controlado por CLP e monitorado por sistema supervisório que interage com o usuário, elencado aqui como hipótese, pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Hipótese definida como solução



Fonte: Autor (2017).

1.3 OBJETIVOS

Nesta seção trataremos do objetivo geral deste trabalho, bem como os objetivos específicos que serão necessários se cumprir para alcança-lo.

1.3.1 Objetivo Geral

Como objetivo principal o projeto visa implementar um sistema supervisório para uma planta de processo contínuo de cunho interativo capaz de, após configurado, interagir com o operador avisando-o, quando necessário, que sua presença é requisitada. Assim oportunizando-se ao operador uma maior liberdade, permitindo que o mesmo possa se ausentar com maior segurança. Essa ausência pode ser revertida também, em casos onde há várias plantas de processo, em maior produtividade, possibilitando atender a um maior número de equipamentos com maior segurança.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para alcançar tal objetivo geral torna-se necessário cumprir os objetivos específicos:

a) programar o CLP para que ele realize o controle da planta industrial e se comunique com o sistema supervisório;

b) realizar a comunicação entre os componentes da planta, o CLP, e Computador através da implementação de uma rede industrial ModBus;

c) implementar um sistema supervisório que traga as informações ao operador de maneira simples e que interaja com o operador quando a planta fugir da curva de controle.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para o presente trabalho foi elaborado, primeiramente, uma fundamentação teórica sobre os tópicos mais relevantes, para melhor entendimento do problema abordado.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste momento são apresentados os conceitos fundamentais, com base em trabalhos acadêmicos anteriores, sintetizando informações que serão pertinentes ao entendimento do que está sendo proposto pelo trabalho.

2.1.1 Processos Produtivos

Segundo Menita (2011), os processos industriais clássicos de manufatura podem ser classificados nas seguintes categorias:

a) Processos de projeto: produtos muito específicos, customizados e, por vezes, únicos que demandam grande esforço produtivo;

b) Processo de *Jobbing*: que tem suas similaridades com o item anterior, mas com maior volume, apesar de ainda ser considerado baixo para padrões industriais;

c) Processo em Lotes: há menor customização, pois uma vez que feito o *setup* do meio produtivo, se produz um lote de produtos idênticos;

d) Processos de produção em massa ou linha: possuem um alto volume com baixa variedade, alterações dos produtos só ocorrem se forem comportadas pelo processo básico;

e) Processo em fluxo contínuo: por estar em foco neste trabalho será detalhado no item 2.1.2 a seguir.

2.1.2 Processo Contínuo

Segundo Toledo (1989) e Borges (2002), as Indústrias de processo contínuo são aquelas que agregam valor aos materiais através de mistura, separação, conformação ou reações químicas, que se desencadeiam em processo constante,

desde o momento da entrada do insumo até sua finalização. E para que isso ocorra de maneira eficaz é necessário um rígido controle do processo e alto investimento de capital.

As principais características deste meio produtivo são:

a) a habilidade de manter a estabilidade das variáveis de estado, enquanto esta transita pelos módulos do sistema;

b) alto, mas constante volume produtivo, conforme Figura 2;

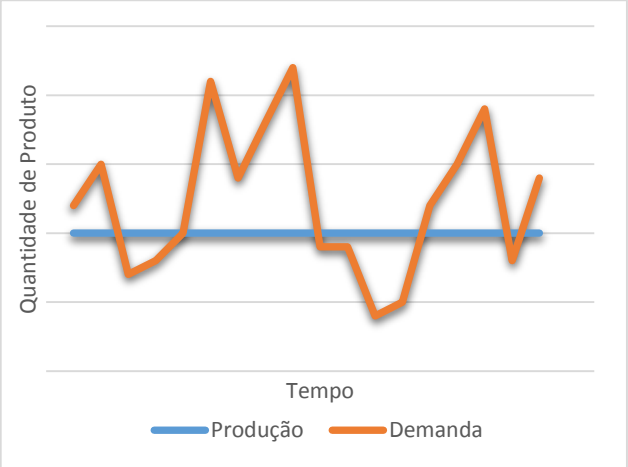
c) imensurabilidade do produto durante o processo;

d) processo realizado de forma ininterrupta;

e) pouca customização de produtos, pois os equipamentos são, em grande parte, de uso específico.

A Figura 2 apresenta o volume da produção em função da demanda, onde é possível perceber que a produção constante do processo continuo torna-o independente da flutuação demanda de mercado.

Figura 2 – Volume de Produção e Demanda variados no tempo



Fonte: Autor (2017).

2.1.3 Controlador Lógico Programável

O Controlador Lógico Programável surge como uma ferramenta de controle de processo, altamente confiável e robusta. Conforme Ribeiro (2001), o CLP surgiu para atender uma necessidade da indústria, trazendo um sistema que modernizava os painéis de relé. Facilmente programável e reprogramável, tirando a incumbência do

programador, podendo ser feita por um instrumentista ou eletricista.

Com a fácil utilização e programação, o CLP se torna uma ferramenta acessível e didática para realização dos ensaios e futuras atualizações. De acordo com Ribeiro (2001, 336 p.), o CLP pode ser definido como:

> Um CLP consiste basicamente de: 1. Módulos de entrada e saída (I/O) que são a interface com o processo a ser controlado. 2. Unidade de Processamento Central com memória para escrever e ler. 3. Fonte de alimentação para suprir potência para todos os componentes do sistema. 4. Programador onde o usuário final desenvolve o programa e depois carrega no CLP

Através do CLP, Figura 3, é possível realizar o acionamento dos componentes e estabelecer a lógica sequencial da planta, tornando o procedimento seguro.

Figura 3 - Controlador Lógico Programável Duo

Fonte: Altus (2017).

O CLP funciona realizando as leituras cíclicas do processo e gera saídas através de uma lógica gerando saídas pré-programada, baseada nos sinais de entrada, para atuação no processo. Possuindo também em seu repertório portas lógicas booleanas, contadores, temporizadores, comparadores, entre outras funções.

2.1.4 Protocolo de comunicação ModBus

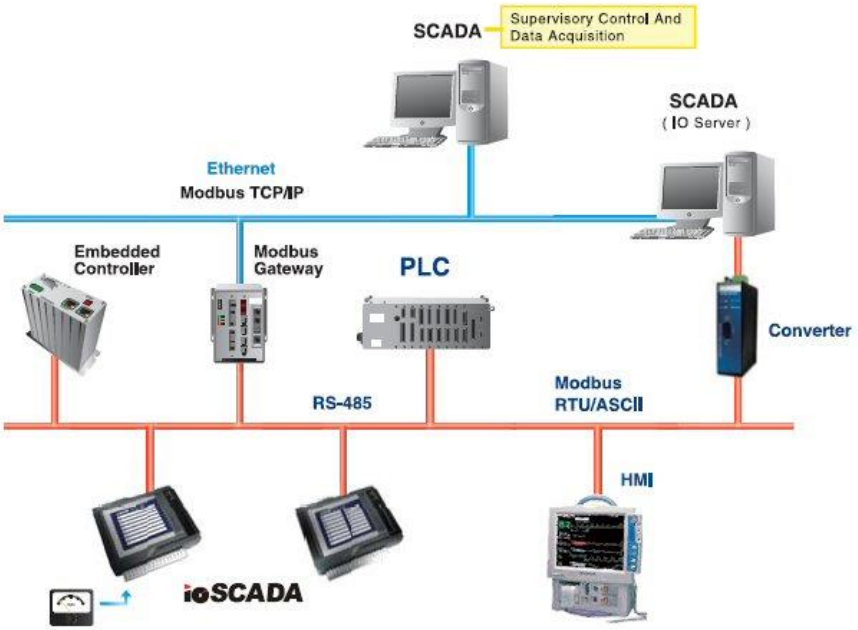
Para transmissão de dados em ambientes industriais com muitos ruídos, ou seja, com grande interferência elétrica como indústrias, se faz necessário a

implementação de protocolos de rede robustos conhecidos como redes industriais.

Dentre inúmeros protocolos existentes um dos mais conhecidos e comumente aplicados é o protocolo ModBus, por ser um protocolo aberto, relativamente simples e poder se comunicar em uma variedade de formas de transmissão.

No meio industrial se difundiu a ponto de se tornar um modelo (PENG et al., 2008) (GOLDENBERG; WOOL, 2013), pois consegue realizar a conexão entre sensores e atuadores de diversos fabricantes, sendo usado amplamente para comunicação de CLPs e sistemas supervisórios SCADA, como na Figura 4. O protocolo inclui, ASCII, RTU e TCP/IP como modos de transmissão, e suporta os tradicionais RS-232, RS422, RS-485. A Figura 4 apresenta a estrutura de uma rede no protocolo Modbus.

Figura 4 - Exemplo de Protocolo Modbus aplicado entre SCADA, CLP e instrumentos



Fonte: Indianmart (2017).

O ModBus pode ser definido (GOLDENBERG; WOOL, 2013) como o emprego de uma comunicação simples mestre-escravo. Sendo assim o mestre inicia a transação requisitando os dados, e os escravos respondem conforme são solicitados, evitando conflitos na rede.

O protocolo ainda realiza uma verificação dos dados, por meio de um bit de paridade, sendo que os modos ASCII e RTU realizam uma checagem adicional

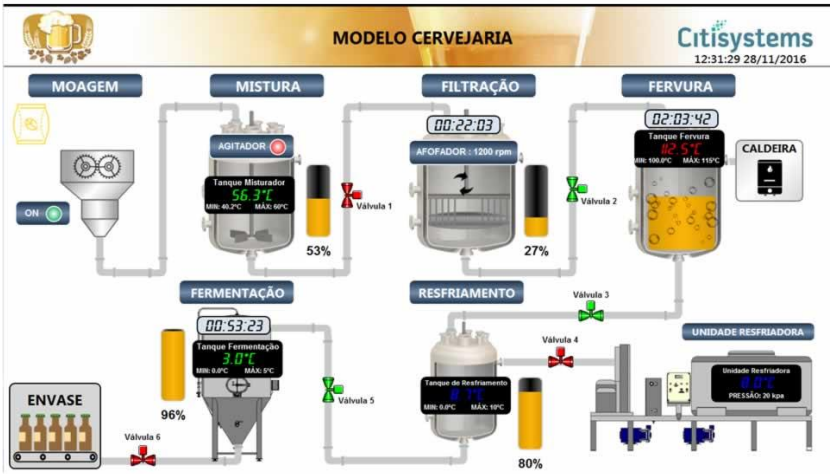
(PENG *et al*.; 2008). Outra característica é que se um componente escravo for separado da planta, o mestre pode identificar e depois que o problema for reparado o escravo será automaticamente reconectado a rede. Assim pode-se dizer que se trata de uma comunicação especialmente desenvolvida para um meio industrial.

2.1.5 Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)

Com o avanço da integração da tecnologia e a necessidade de monitorar de maneira remota, simples e intuitiva máquinas individuais ou linhas produtivas, surge o conceito de sistema supervisório SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), como o exemplo da Figura 5. Esse sistema que consiste de monitoramento e, até mesmo, o controle de uma determinada planta.

Outra funcionalidade a ser exaltada do sistema supervisório é a de executar ações baseado nos parâmetros informados, fazendo que o usuário participe do processo somente quando houver necessidade de intervenção humana.

Figura 5 - Tela do Sistema Supervisório Implementado de uma Cervejaria



Fonte: City Systems (2017).

Para isso são usadas *TAGs*[1], que são todas as variáveis numéricas ou alfanuméricas envolvidas na aplicação, podendo executar funções computacionais e

[1] TAG é como é chamada uma variável dentro de um sistema supervisório. Esta pode ser do tipo booleana, inteira, real, dentre outras.

representar pontos de entrada e saída de dados do processo controlado, tais como, temperatura, vazão, nível, entre outros. (ARAUJO; BECKER; PEREIRA, 2001). Com base nestas TAGs que os dados coletados são apresentados nas telas do supervisório para quem o utilizar.

A apresentação destas TAGs deverá ocorrer da forma mais clara e acessível, revelando apenas as informações que ajudarão o operador a compreender o processo com o qual está lidando. Essa acessibilidade deve se estender aos alarmes gerados, ajudando o operador na tomada de decisão corretiva sempre que possível. Os alarmes se dividem em 4 categorias, ou seja, quatro faixas de valores, sendo estas: altíssimo (*High-High*), alto (*High*), baixo (*Low*) e baixíssimo (*Low-Low*).

A funcionalidade de usar padrões pré-estabelecidos a serem seguidos para execução de um produto é conhecida como receita. Esses padrões podem ser criados e salvos, para serem acessados posteriormente, facilitando para indústrias onde uma máquina é usada para diversos propósitos, algo que vemos em indústria de processos contínuos, pois uma mudança sutil dos parâmetros pode gerar um produto diferente do original.

2.2 PESQUISAS RELACIONADAS

Para uma melhor comparação, foram selecionados alguns trabalhos relacionados ao tema aqui abordado, assim é possível entender melhor a relevância do tema escolhido, bem como a razão para os métodos escolhidos e aplicados.

2.2.1 Um sistema para monitoramento e controle de bombas hidráulicas

Bombas hidráulicas são os componentes mais custosos em um sistema hidráulico, levando em consideração ao seu preço de aquisição e manutenção, assim sua má utilização acarreta em uma manutenção mais custosa que a necessária. O principal objetivo do trabalho desenvolvido na Universidade Federal do Amazonas, por Oliveira *et al.* (2016), foi a construção de um sistema que fosse capaz de garantir que a bomba hidráulica operasse dentro de seus parâmetros recomendados, visando preservar a integridade desta. E para tal este deveria:

a) identificar as situações onde o equipamento sai de seu regime ideal e entra em uma

zona prejudicial ao equipamento;

b) monitorar as variáveis interessantes ao sistema;

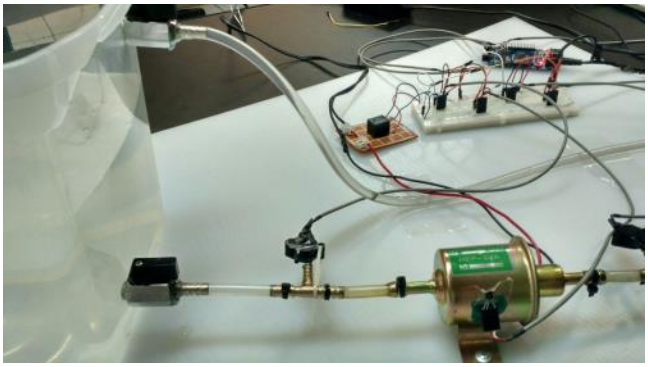
c) identificar em tempo real as condições irregulares da bomba hidráulica;

d) controlar o acionamento da bomba hidráulica;

e) exibir o estado das variáveis e da bomba, em tempo real, em um sistema supervisório.

Para alcançar os objetivos primeiramente os autores realizaram um estudo das grandezas que deveriam ser monitoradas para poder precisar um funcionamento dentro dos parâmetros fornecidos pelos fabricantes, então descobriram os meios de realizar a leitura dessas grandezas físicas. Após determinar como seriam feitas as leituras, fez-se necessário o desenvolvimento do projeto elétrico, validando o funcionamento dos sensores de pressão, vazão e temperatura individualmente e então implementando o controle por CLP. Para poder realizar a validação dos ensaios foi montado um circuito hidráulico onde fosse possível verificar se o sistema reagiria como desejado. Finalmente foi usado um sistema supervisório, para trazer ao usuário de forma simples e intuitiva a situação do sistema de controle da bomba. A Figura 6 apresenta o modelo utilizado pelos autores pesquisados.

Figura 6 – Sistema completo, com controle e supervisão



Fonte: Oliveira (2016).

Com o sistema montado, foi necessário à validação de sua eficácia. Para obter estes resultados o autor desenvolveu cenários testes para coleta de dados. Em outras palavras, foram introduzidos cenários fora do esperado, visando ver a reação do sistema frente às situações adversas. Após a primeira fase de testes foi necessário a

adição de um filtro de *debouncing*[2], pois algumas leituras equivocas interrompiam o sistema. Finalmente, o sistema foi capaz de interpretar os dados recebidos, constatar o problema, interromper o funcionamento da bomba em alguma faixa de risco e indicar através da tela do supervisório, que o sistema foi interrompido e qual a causa. Isso não só diminuiu os riscos da bomba hidráulica, mas também facilitou sua resolução, pois a detecção do erro já encaminhava a fonte da parada. O sistema gerou ambiguidades em alguns erros de natureza bastante semelhante, acusando erros diferentes do testado.

A partir dos experimentos, detectou-se a eficácia do sistema em identificar os cenários propostos e agir no desligamento da bomba, quando necessário, atendendo aos requisitos propostos, exceto em dois parâmetros, onde apesar de conseguir identificar um erro “x” e agir sobre a planta, não conseguiu identificar corretamente a origem do mesmo.

2.2.2 Monitoring and controlling of continue furnace line using PLC and SCADA

Kaur e Bansal (2016) da Punjabi Univesity na busca de aprimorar o monitoramento e o controle de um forno continuo em linha[3], que realiza tratamentos térmicos para melhoria nas características dos metais, implementaram um *upgrade* através do acréscimo de um CLP, controladores Proporcional-Integral-Derivativo (PID), para controle da planta, esteiras transportadoras, *Drivers* CA, Contactoras e um *software* supervisório baseado em SCADA.

As esteiras transportadoras são usadas para mover o material que se encontra sobre bandejas, de uma estação a outra, até chegar a fornalha, onde sofrerá o aquecimento. As esteiras são operadas com ajuda de Drivers variadores de frequência e DOL[4] (*Direct on Line*) para acionamento dos motores.

Na fornalha existem 3 zonas, com suas malhas de controle individuais PID de

---

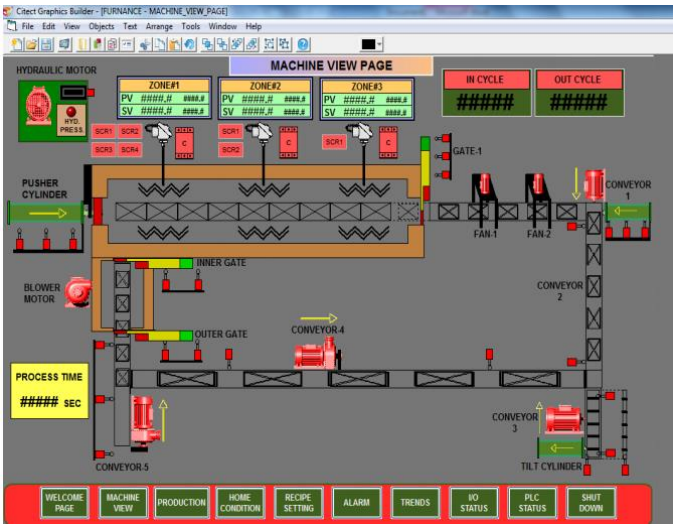
[2] D*ebouncing* é um filtro que serve para minimizar o efeito de Bouncing, que são as oscilações indevidas de um sinal de entrada.

[3] Forno de Linha Continua é um forno onde o insumo entra em um dos lados, normalmente através de uma esteira, e o atravessa lentamente enquanto sofre o aquecimento, até chegar no outro lado.

[4] Direct On Line é um tipo de acionamento de motores a indução, que consiste da ligação direta do motor na rede

temperatura e termopares. As zonas, com suas temperaturas distintas, realizam adequações ao material, sendo que o forno comporta o número máximo de 15 bandejas. A Figura 7 apresenta uma ilustração deste processo.

Figura 7 - Sistema Supervisório de um forno de linha contínua



Fonte: Kaur ; Bansal (2016).

O controle do processo é feito por um CLP cuja programação é descrita na linguagem *ladder*. Para monitoramento em tempo real de informação, histórico, registro de falhas, alarmes e controle de acesso, foi elaborado um sistema supervisório no conceito SCADA, para visualizar e controlar o processo. A comunicação entre o CLP e o sistema supervisório é realizada por uma conexão *Ethernet* e *Modbus Nework* via *Ethernet gateway*. Algumas implementações do projeto estão em destaque, devido sua importância, sendo elas:

A implementação de um sistema de controle energético, os medidores de energia leem e mostram em display integrado, o que facilita e torna a captação de dados mais rápida, valores de tensão (V), corrente (A) e consumo (kW). Todos esses leitores inteligentes de energia estão em comunicação com CLP;

a) Unidades controladoras de temperatura, são os principais equipamentos do forno. Para verificar a temperatura um foram usados termopares do tipo K, conectando-o ao controlador PID por um fio de Teflon, pois o mesmo possui boa tolerância a temperaturas altas. Os parâmetros do PID são inicialmente programados pelo usuário. Os três controladores PID para as três variáveis ficam em zonas distintas, sendo limitados por isoladores de sinal. Os aquecedores são controlados por

SCRs[5] e caso haja falha de controle, as contactoras assumem essa função. Na primeira zona do aquecedor, quatro SCRs controlam doze aquecedores, obtendo 850°C, na segunda zona dois SCRs controlam seis aquecedores elevando a temperatura até 750°C e finalmente na zona três um SCR controla três aquecedores gerando 650°C a 700°C. Todos as referências são realizados de acordo com o material, pelo sistema supervisório SCADA;

b) Drivers AC são usados para regular a velocidade das esteiras e também precisão. São usados DOLs para realizar o acionamento;

c) SCADA, *Supervisory Control and Data Acquisition,* é usado para recolher, analisar e monitorar em tempo real os dados do processo. Esse tipo de sistema propicia um melhor monitoramento dos resultados obtidos, visualizando-os facilmente. Todos os valores podem ser ajustados do supervisório. O sistema supervisório mostra uma visão ampla da máquina em questão, gráficos de tendência, status do CLP, alarmes e as variáveis monitoradas.

A metodologia adotada pelo autor para alcançar os resultados foram, inicialmente, um estudo de todos os parâmetros e maquinários da planta, e posteriormente, uma seleção de materiais e preços. Feito isso, se realiza o design da arquitetura do sistema e os arranjos para sua alocação. Na sequência vem a instalação dos painéis elétricos, que culminaram nos testes da planta, mas sem provocar o aquecimento dos fornos. Uma vez aprovados os testes, segue o aquecimento do forno, o que leva em torno de 2 a 3 dias. No caso de teste não aprovado, detecta se é de origem elétrica ou mecânica, e retorna aos testes. Na sequência se realiza o teste completo com o aquecimento ligado e o teste final de funcionamento.

Após a realização dos testes, averiguou-se que com implementação de um sistema baseado em SCADA, o sistema não foi somente monitorado, mas também controlado remotamente. Caso se apresentasse qualquer erro ou desvio da malha de controle, um alarme surgia na tela. Assim o usuário pode encontrar a origem da falha e como pode ser resolvida, fazer o ajuste dos valores de controle nos PIDs, e gerar receitas e gráficos de tendência, isolados de cada área.

---

[5] Silicon controlled rectifier ou semiconductor-controlled rectifier é um controlador de corrente de estado sólido. É um tipo de tiristor, mas desenvolvido para acionamentos de cargas que demandam alta corrente, e normalmente acompanhadas de alta tensão.

A desempenho gerado pela implementação de diferentes tecnologias, implicou em uma facilidade e agilidade para quem opera a máquina, diminuindo trabalho manual de verificação e acionamentos. O fácil mapeamento de erros levou, não somente, a um tempo melhor de resolução como, em conjunto com as implementações, a uma melhor qualidade final do produto, elevando os padrões e a eficiência da planta.

3 METODOLOGIA

Nesta seção será exposto a maneira com que foram conduzidos os experimentos, de forma a obter os resultados, dando ênfase na sequência com que se desenvolveu a pesquisa. Será também exposto o tipo de pesquisa realizada.

Também serão delimitados o universo o qual a pesquisa abrange, ajudando posteriormente a definir a relevância dos resultados encontrados.

3.1 TIPO DE PESQUISA

O trabalho realizou uma pesquisa qualitativa, buscando implementar um sistema que visa facilitar o trabalho do químico, e permitir ao mesmo, um grau maior de liberdade.

Para a obtenção dos resultados será implementado um controle por CLP e um sistema supervisório que agiram sobre uma maquete, assim realizando a simulação dos mais diversos cenários, entendendo como o controle a supervisão interativa reagem a tais eventos. Com isso serão gerados os resultados para verificar a relevância e a eficácia do método escolhido e aplicado.

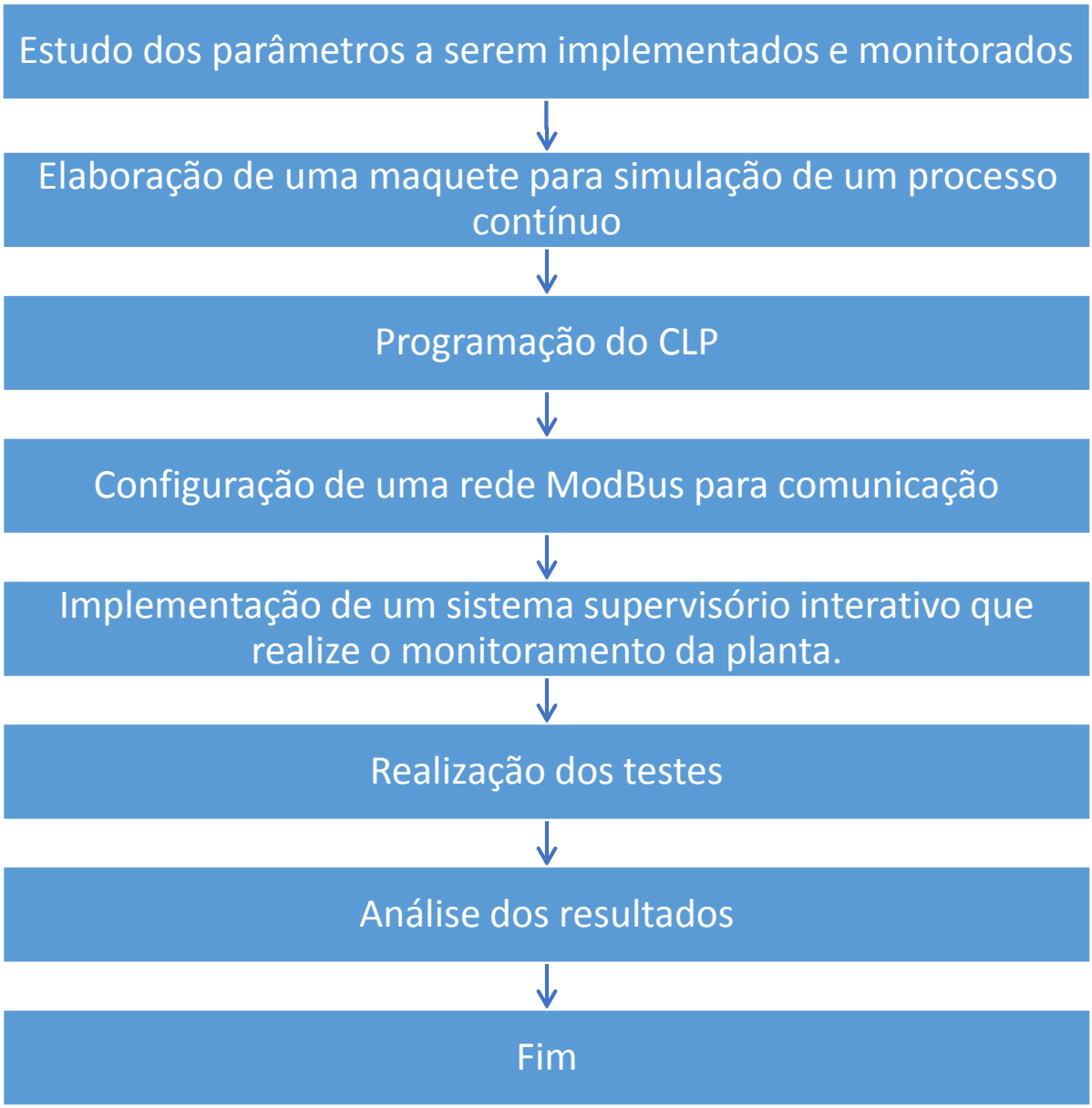
3.2 UNIVERSO DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA

Abrange aplicação de sistemas supervisórios em conjunto com um CLP em processos contínuos de produção, estes simulados através de uma maquete, facilitando a manipulação das entradas para obtenção dos resultados, mas que possivelmente podem ser replicados em maior escala.

3.3 MÉTODO APLICADO

O fluxograma abaixo, figura 8, ilustra os passos aos quais este projeto seguiu, expandindo-os em tópicos mais abaixo e explicando como ocorreu a evolução da pesquisa.

Figura 8 - Diagrama da Metodologia



Fonte: Autor (2017).

Como ponto de partida, foi realizado o estudo de como ocorria um processo contínuo, em especial os que realizam o aquecimento e mistura de reagentes, e quais seriam os dados necessários de captação para execução de controle e supervisão do projeto. Tendo como molde a planta didática de processo contínuo da empresa SMAR, a PD-3 onde deu-se a investigação de todos os sensores e atuadores desta planta didática.

Para comprovação da hipótese foi realizada a implementação do controle por

CLP em uma maquete que simula uma planta de processo contínuo, seus sensores e atuadores. Para realizar esse controle é necessário desenvolver a comunicação entre os componentes e sensores, a fim de se obter as informações dos mesmos, e para tal fim será implementada uma rede *ModBus*.

Está rede irá conectar o CLP ao sistema supervisório, que deverá ser capaz de interagir com o usuário quando o sistema fugir de suas curvas de controle, mas capaz de agir de maneira independente nas demais ocasiões.

Depois que todos os parâmetros estiverem sendo monitorados corretamente pelo sistema supervisório, se dará início aos testes onde serão realizadas as simulações de múltiplos cenários a fim de verificar o comportamento da planta frente a estes.

Finalmente, serão analisados os resultados verificando se a planta em conjunto com o CLP e o sistema supervisório reagiram de maneira coerente frentes às situações as quais foram submetidos. Desta forma será verificada a eficácia do que foi proposto e se será um caminho interessante para resolução da problemática.

3.4 INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Aqui são apresentados os principais componentes utilizados na execução deste trabalho e uma breve introdução dos mesmos e suas especificações.

3.4.1 Controlador Lógico Programável ALTUS DUO 350

Para realização do controle da planta será utilizado um CLP DUO da empresa Altus, concedido para a realização deste projeto. Esse CLP conta com:

a) Programador MasterTool IEC com 6 linguagens de programação, sendo 5 definidas pela norma IEC 61131-3 e uma linguagem adicional;

b) 20 entradas digitais isoladas, sendo 6 pontos rápidos configuráveis para 2 contadores bidirecionais, 4 contadores unidirecionais ou para funções de posicionamento;

c) 14 saídas digitais (Relé ou Transistor) isoladas;

d) 2 saídas digitais isoladas a transistor configuráveis como 2 pontos de saídas rápidas – PTO, PWM/VFO ou para funções de posicionamento;

e) 4 entradas analógicas – configuráveis para 0 a 10V, 0 a 20 mA ou 4 a 20 mA;

f) 2 saídas analógicas – configuráveis para 0 a 10V ou 0 a 20mA ou para funções de posicionamento;

g) visor gráfico 128 x 64 – Configurável pelo programador MasterTool IEC;

h) teclado membrana com 25 teclas;

i) relógio de Tempo Real;

j) 1 porta serial RS-232 para programação, protocolo MODBUS mestre e escravo e protocolo genérico;

k) 1 porta serial RS-485 protocolo MODBUS mestre e escravo e protocolo genérico;

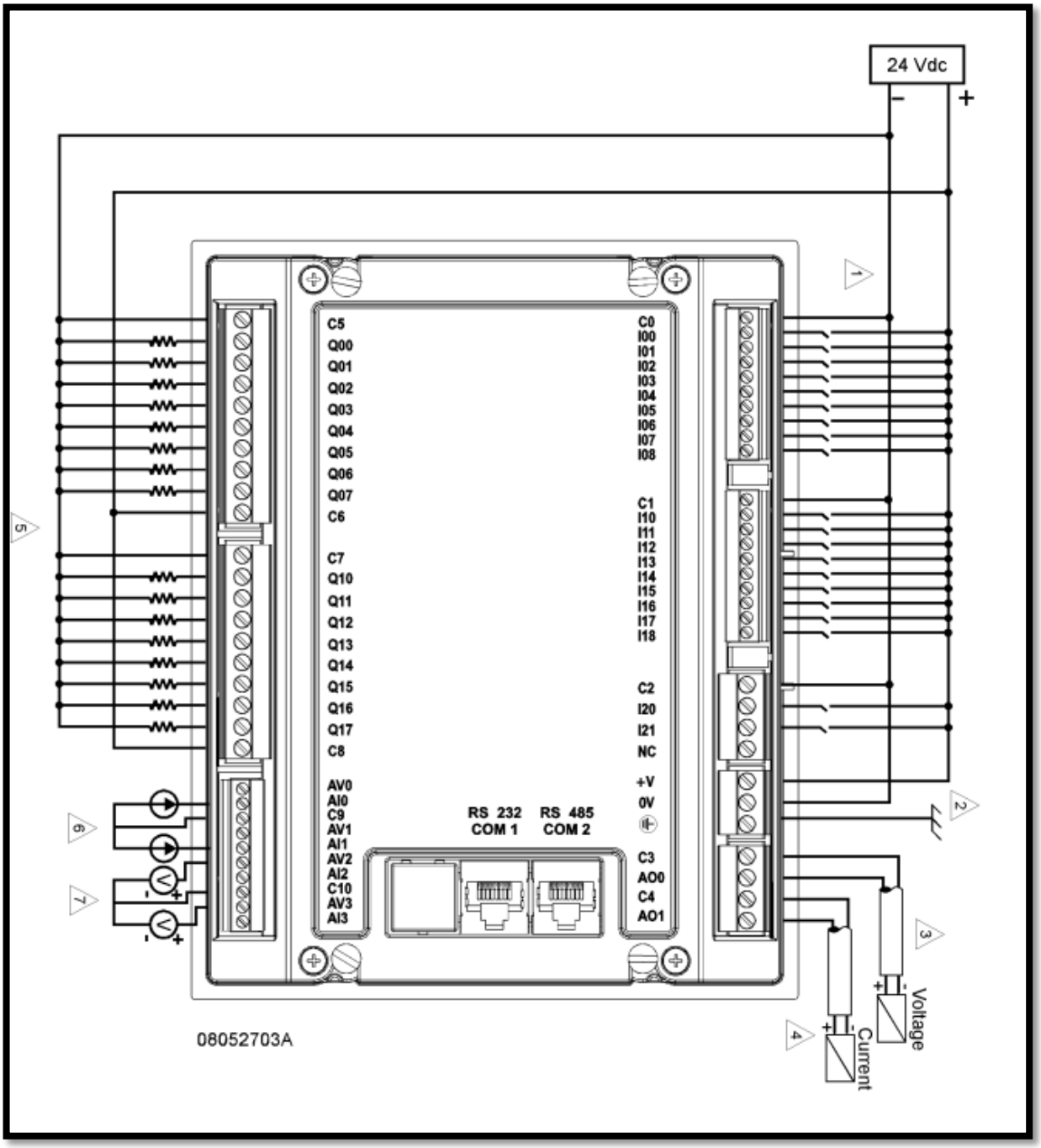
l) fonte 24Vdc isolada;

m) memória de aplicação de 256kbytes;

n) capacidade de até 1250 bytes de memória retentiva sem necessidade de bateria;

No trabalho se pode verificar as informações citadas sobre as entradas e saídas no esquema elétrico apresentado na Figura 9 seguinte.

Figura 9 - Esquema Elétrico do Controlador Lógico Programável Duo



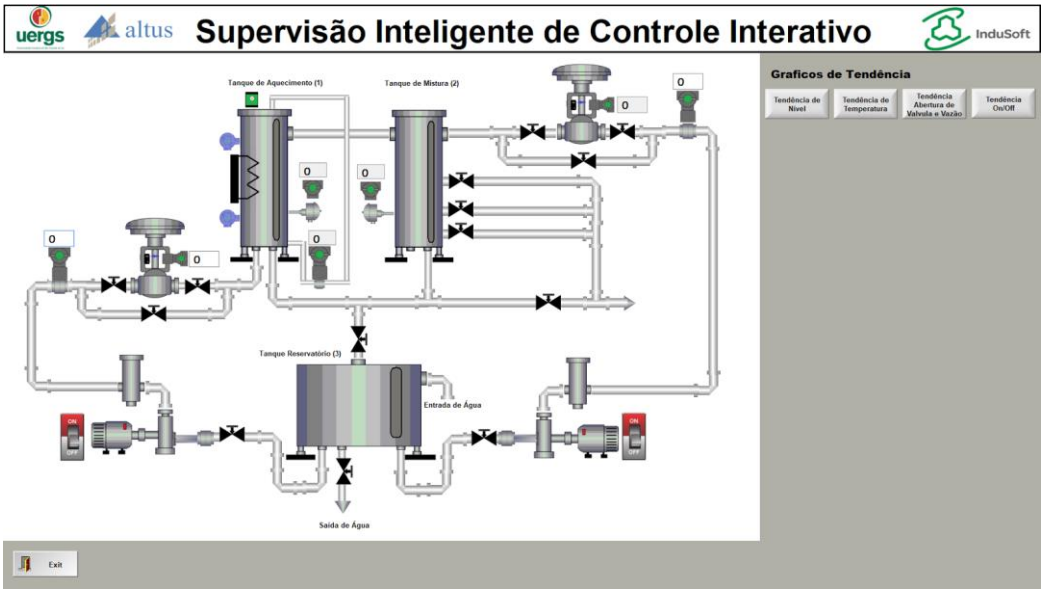
Fonte: Altus (2017).

3.4.2 Sistema Supervisório Indusoft

Buscando monitorar o que ocorre na planta, é utilizado um sistema supervisório, neste caso Indusoft. Essas informações serão primeiramente coletadas pelo CLP e então transmitidas ao computador via rede *ModBus*.

Ao executar o software, primeiramente se depara com a área de criação de telas, como visto na Figura 10. De maneira intuitiva e simples é possível construir um sistema que atenda às necessidades e às particularidades de cada caso, neste uma planta de processo contínuo.

Figura 10 - Tela do Sistema Supervisório Implementado



Fonte: Autor (2017).

Outra funcionalidade similar ao alarme, mas mais discreta é o registro de eventos, sendo que este pode ser qualquer alteração em uma *TAG.* Essas informações podem ser armazenadas e utilizadas futuramente para melhorias.

O Indusoft além de possuir todas as funcionalidades citadas, possui diversos *drivers* integrados disponíveis, facilitando assim a comunicação com outros sistemas.

3.5 PROCEDIMENTO PARA COLETA DE RESULTADOS

Os dados primeiramente serão coletados pelo Controlador Lógico Programável, em seguida serão enviados ao sistema supervisório, onde ficam de fácil visualização, assim então obtendo os dados através de gráficos de tendência, banco de dados, registro de eventos e alarmes.

3.6 PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Para analisar os dados precisa-se saber se eles estão em conformidade, ou seja, se eles cumprem os objetivos propostos. Caso se cumpram, surge a necessidade de questionar se os resultados obtidos efetivam a hipótese de que um controle por CLP integrado a um sistema supervisório com cunho interativo realmente é funcional e pode resolver o problema ao qual se propõe, que é dispensar a atenção constante do químico industrial.

4 RESULTADOS

Neste tópico serão expostos os resultados da pesquisa, seguindo a ordem proposta na metodologia, dividindo-os em subtópicos, onde serão abordados os resultados de cada fase de implementação.

Para realização deste projeto foram usados os seguintes recursos materiais, descritos na Quadro 1.

Quadro 1 - Recursos materiais necessários ao projeto de implantação

Recursos	Disposição
CLP Altus Duo 350	Parceria com empresa Altus.
Potenciômetros	Autor
Sistema Supervisório Indusoft	Parceria com empresa Indusoft.
Conversor Serial RS-232 para USB	Orientador
Chaves Comutadoras	Autor

Fonte: Autor (2017).

Os materiais mais dispendiosos deste projeto foram obtidos oriundos de parcerias firmadas entre a Universidade Estadual do Rio Grande do Sul e empresas. O CLP Duo 350 foi destinado a UERGS por meio de uma doação para a realização de um projeto de pesquisa. O projeto SICI, Supervisão Inteligente de Controle Interativo, que deu origem a este trabalho. O sistema supervisório Indusoft foi adquirido por meio de parceria, onde foram doadas versões educacionais para a disciplina de Sistemas de Gerenciamento e Supervisão do Curso de Tecnologia em Automação Industrial.

Os recursos humanos para a elaboração deste projeto foram descritos na Quadro 2, assim como as funções exercidas pelos mesmos.

Quadro 2 - Recursos humanos necessários ao projeto

Recurso Humano	Formação	Disposição à pesquisa
Graduando em Automação Industrial	Graduando	Programação do CLP, criação do sistema supervisório, configuração, comunicação por rede com protocolo *ModBus* e confecção da maquete e implementação.
Engenheiro Eletricista com Ênfase em controle	Doutor	Conhecimentos na área de controle, elétrica e supervisão para auxílio na pesquisa.
Engenheiro Eletricista	Doutor	Conhecimentos na área de redes indústrias e auxilio na implementação da rede *ModBus*

Fonte: Autor (2017).

4.1 ESTUDO DA PLANTA DE PROCESSO CONTÍNUO, PARÂMETROS A SEREM IMPLEMENTADOS E MONITORADOS

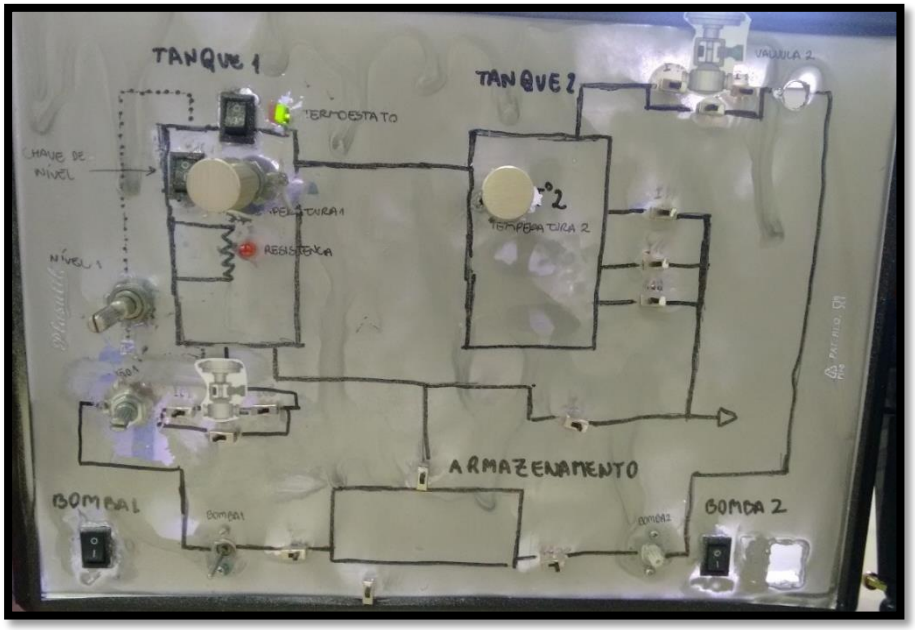
Inicialmente foi realizado o estudo de uma planta de processo contínuo didática da empresa SMAR, no qual foi possível planejar qual seria a melhor maneira de executar a supervisão de um processo contínuo. Com isso foi possível determinar quais seriam as variáveis de processo que deveriam ser simuladas através da maquete, determinando-se as entradas e saídas.

Já na escolha das variáveis para monitoramento foi necessário realizar adaptações, pois o CLP utilizado possui apenas quatro entradas analógicas e para execução plena dos sensores da planta seriam necessárias cinco entradas, portanto foi excluído o sensor que se acreditou que acarretaria na menor perda de processo, o sensor de vazão do segundo tanque.

4.2 ELABORAÇÃO DE UMA MAQUETE PARA SIMULAÇÃO DE UMA PLANTA DE PROCESSO CONTÍNUO

O primeiro passo para confecção da maquete para os futuros testes e simulações, foi a escolha de um leiaute, almejando uma proposta que facilitasse a visualização. Portanto, foi adotada a mesma disposição que viria a ser adotada no sistema supervisório, conforme a Figura 11 a seguir.

Figura 11 - Maquete para simulação da planta



Fonte: Autor (2017).

A confecção da maquete ocorreu com a simulação das entradas realizadas por componentes elétricos. O acionamento das bombas, sensor termostático e sensor capacitivo de chave de nível foram simulados por chaves interruptoras de dois estágios. As válvulas de fluxo da planta foram trocadas por chaves interruptoras de 3 estágios. Estas foram escolhidas pelo seu tamanho diminuto, que facilitou na disposição dos componentes de maneira a manter o visual esperado. Os valores de medição de nível, vazão e temperaturas do tanque de aquecimento e mistura, foram replicados através de potenciômetros, assim possibilitando variá-los e testar a resposta do supervisório e CLP até mesmo aos casos mais esdrúxulos.

Foi usada a mesma fonte de alimentação do CLP evitando problemas de diferença de tensão. Para as chaves interruptoras foi aplicada a tensão integral de 24

volts, sendo 24V o sinal de ligado, e sua interrupção, 0V, considerado desligado. Para a entrada analógica e saídas do CLP foi realizada a conversão da tensão de 24 volts para 12 volts através de circuito integrado regulador de tensão 7812. Foram adicionados resistores de segurança para os potenciômetros evitando que chegassem mais de 10 volts para as entradas analógicas, pois estas realizam a leitura de 0 a 10 volts. E para as saídas do CLP destinou-se os 12 volts de alimentação evitando problemas de alimentação inferior a mínima necessária que é 10V, obtendo assim uma margem de segurança para o funcionamento dos transistores de saída.

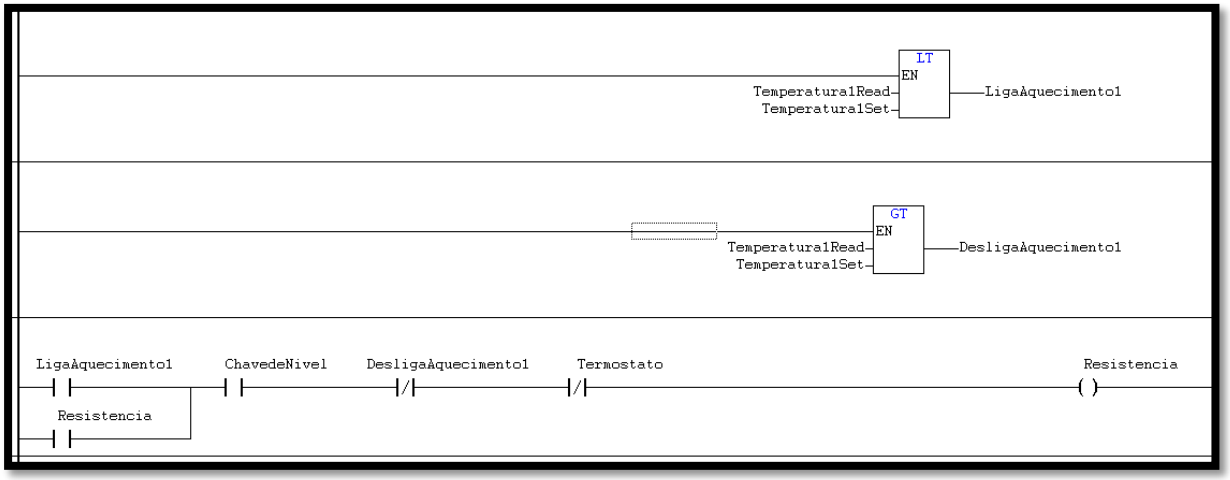
Devido ao número de fios e sua montagem diretamente nos componentes ocorreram problemas de mau contato durante a montagem. Por este motivo, foi substituída a alimentação direta dos fios pela alimentação através de uma placa de circuito impresso, acabando com os problemas de mau contato e também facilitando a visualização das conexões.

4.3 PROGRAMAÇÃO DO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Após a definição das entradas e saídas do processo é necessária programação do CLP para automatizar o processo. No entanto, a programação do mesmo deve ser realizada já pensando em como vai ocorrer a conexão com o supervisório.

Antes da implementação da lógica foi realizada a conexão de todos componentes da maquete com o CLP, a fim de verificar se funcionavam conforme esperado. Só então se deu sequência à programação do CLP. Foi escolhida a programação na linguagem *Ladder*, como na Figura 12 seguinte, pela simplicidade e funcionalidade da linguagem, que permite que demais usuários possam entender e alterar o programa futuramente caso haja necessidade.

Figura 12 - Programa de CLP em Ladder



Fonte: Autor (2017).

Foram utilizados os princípios da linguagem estruturada para facilitar o entendimento do programa. A esquerda, mantém-se como primeiro contato o de acionamento seguido pelo intertravamento, condicionamento, autoretenção e desacionamento, caso necessário. O programa e as variáveis foram comentados para facilitar o entendimento e aumentar a organização.

Também, para possibilitar uma visualização de parâmetros de maneira simplificada, foi implementada uma IHM, Interface Homem Máquina, simples, pois o CLP DUO 350 já vem com esta funcionalidade integrada. Devido ao tamanho da tela a quantidade de dados que pode se colocar é limitada, mas a possibilidade de se trabalhar com inúmeras telas supre essa necessidade. Optou-se por uma IHM simplificada, como a da Figura 13, pois funções do controle estão associadas ao sistema supervisório.

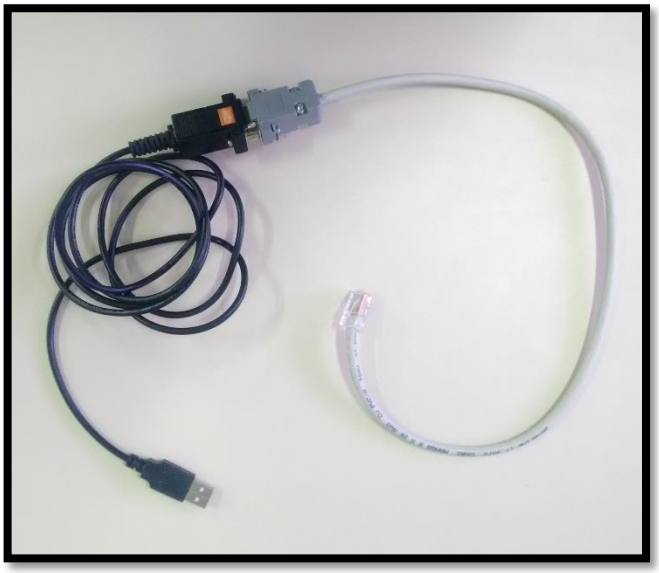
Figura 13 - Interface Homem Máquina Simples

Fonte: Autor (2017).

4.4 CONFIGURAÇÃO DE UMA REDE DE COMUNICAÇÃO MODBUS ENTRE O CLP E O SISTEMA SUPERVISÓRIO

Com a lógica de programação *Ladder* implementada no CLP, é necessário realizar a comunicação com o sistema supervisório em um computador. O CLP Duo da Altus se comunica em protocolo *ModBus* RTU e o meio físico RS-232, portanto é necessário convertê-lo para serial, via USB pela COM1, também é necessário sincronizar os *Baud Rates*, neste caso 115.200, e determinar *Stop Bits*, *Data Bits*, *Parity*, se é *singed* ou *unsinged* e se existe *Swap*. Estas informações devem ser declaradas igualmente não somente no CLP e Sistema Supervisório, mas também na serial do computador. Sai do CLP um cabo de rede, que é adaptado para uma porta serial DB9. Esta é conectada na porta DB9 do adaptador que converte o sinal do CLP em um sinal serial via USB para o computador, é possível ver o adaptador na Figura 14.

Figura 14 - Cabo de conexão do CLP, conectado no Conversor Serial RS-232 para Serial USB



Fonte: Autor (2017).

Com os dados do CLP chegando no computador é preciso configurar o sistema supervisório para comunicar-se no protocolo *ModBus*. O Indusoft será configurado como Mestre *Modbus*, e irá interagir com o Escravo n°1, o CLP.

Dentro do CLP cada uma das variáveis recebe um endereço e é através deste que será realizado o vínculo do endereço do CLP com as TAGs do sistema supervisório conforme a Figura 15.

Figura 15 - Definição dos Endereços ModBus dentro do supervisório

Nome da Tag	Estação	Endereço I/O	Ação	Scan
Filtro de Texto	Filtro de T	Filtro de Texto	(Todos)	(Todos)
TermostatoOK	1	0X:4	Ler+Escrev...	Sempre
TermoestatoSuperAqu...	1	0X:5	Ler+Escrev...	Sempre
Resistencia	1	0X:6	Ler+Escrev...	Sempre
SetAberturaouVazao	1	0X:7	Ler+Escrev...	Sempre
ControleporTemperatura	1	0X:8	Ler+Escrev...	Sempre
ChaveBomba1	1	1X:1	Ler+Escrev...	Sempre
Val3	1	1X:17	Ler+Escrev...	Sempre
Val4	1	1X:18	Ler+Escrev...	Sempre
Val6	1	1X:19	Ler+Escrev...	Sempre
ChaveBomba2	1	1X:2	Ler+Escrev...	Sempre
Val7	1	1X:20	Ler+Escrev...	Sempre
Val8	1	1X:21	Ler+Escrev...	Sempre
Val9	1	1X:22	Ler+Escrev...	Sempre
Val10	1	1X:23	Ler+Escrev...	Sempre
Val11	1	1X:24	Ler+Escrev...	Sempre
Termoestato	1	1X:25	Ler+Escrev...	Sempre
ChavedeNivel	1	1X:3	Ler+Escrev...	Sempre
Val1	1	1X:4	Ler+Escrev...	Sempre
Val5	1	1X:5	Ler+Escrev...	Sempre
Val14	1	1X:6	Ler+Escrev...	Sempre
Val13	1	1X:7	Ler+Escrev...	Sempre
Val12	1	1X:8	Ler+Escrev...	Sempre
Val2	1	1X:9	Ler+Escrev...	Sempre
Temperatura1	1	4X:1	Ler+Escrev...	Sempre
Temperatura2Set	1	4X:11	Ler+Escrev...	Sempre
NivelSet	1	4X:13	Ler+Escrev...	Sempre
AberturadeValvula1Set	1	4X:15	Ler+Escrev...	Sempre
AberturadeValvula1Sup	1	4X:17	Ler+Escrev...	Sempre
AberturadeValvula2Sup	1	4X:19	Ler+Escrev...	Sempre
AberturadeValvula2Set	1	4X:20	Ler+Escrev...	Sempre
VazãoSet	1	4X:21	Ler+Escrev...	Sempre
Temperatura2	1	4X:3	Ler+Escrev...	Sempre
Vazão1	1	4X:5	Ler+Escrev...	Sempre
Nivel1	1	4X:7	Ler+Escrev...	Sempre
Temperatura1Set	1	4X:9	Ler+Escrev...	Sempre
			Ler+Escrev...	Sempre

Fonte: Autor (2017).

Primeiramente se endereçou as entradas digitais do CLP, no entanto o DUO 350 possui suas particularidades, pois as entradas são divididas em duas sequências de 9 bits, ao invés do usual 8 bits, endereçadas dentro do CLP de %IX0.0 até %IX0.8

e de %IX1.0 até %IX1.8. Dentro do supervisório estes endereços são formatados como o seguinte, 1x:n° para as portas de entrada digitais do CLP. As entradas digitais são endereçadas de 1x:1, que é o endereço %IX0.0 do CLP e se estende até o endereço 1x:9, que corresponde %IX0.8 para o CLP.

No entanto os endereços seguintes, mais precisamente de 1x:10 até 1x:16, não possuem nenhum valor ou pelo menos não correspondem as entradas seguintes do CLP. Isso acontece, pois existem as memórias %IX0.9 até %IX0.15, mas não são saídas físicas no CLP DUO 350. Somente no endereço 1x:17 retorna-se sequência de entradas digitais do CLP sendo este correspondente a %IX1.0 e segue a sequência até 1x:25, correspondente a %IX1.8, e então ocorre um novo espaço de memória que é destina às memórias que não possuem entradas efetivas, tendo que se pular 8 endereços no supervisório até encontrar os novos endereços válidos de entrada.

Sabendo da peculiaridade nos endereços do DUO, quando foi realizada a comunicação dos valores analógicos, tanto de entrada quanto de saída, se optou por movê-los para um *holding register*, pois desta forma se tem acesso ao endereço de maneira sequencial e contínua. Os valores analógicos foram transferidos, mas ainda assim o supervisório começa a contagem de *holding register* em 4x:1 que corresponde no CLP ao endereço %MW0. Apesar da variável ter sido declarada como tipo *WORD* ela não ocupará os dois próximos bytes, pois o *holding register* deste CLP é tal que cada posição endereçável pelo supervisório é um *holding register* de 2 bytes. Não foi necessário nenhum tipo de identificação diferente no supervisório que captou o dado tipo *WORD* completo. Assim o próximo endereço é %MW1 que corresponde a 4x:2.

Dentro do CLP é possível endereçar as memórias *holding register* por bits, mas não será possível endereçar somente o bit dentro do supervisório. Então caso se trate de uma variável booleana, deve endereçá-la no CLP como %MXn°.15 e no supervisório no endereço 4xn°+1. Desta forma, se terá o bit final que poderá ser usado como valor booleano no sistema supervisório e CLP.

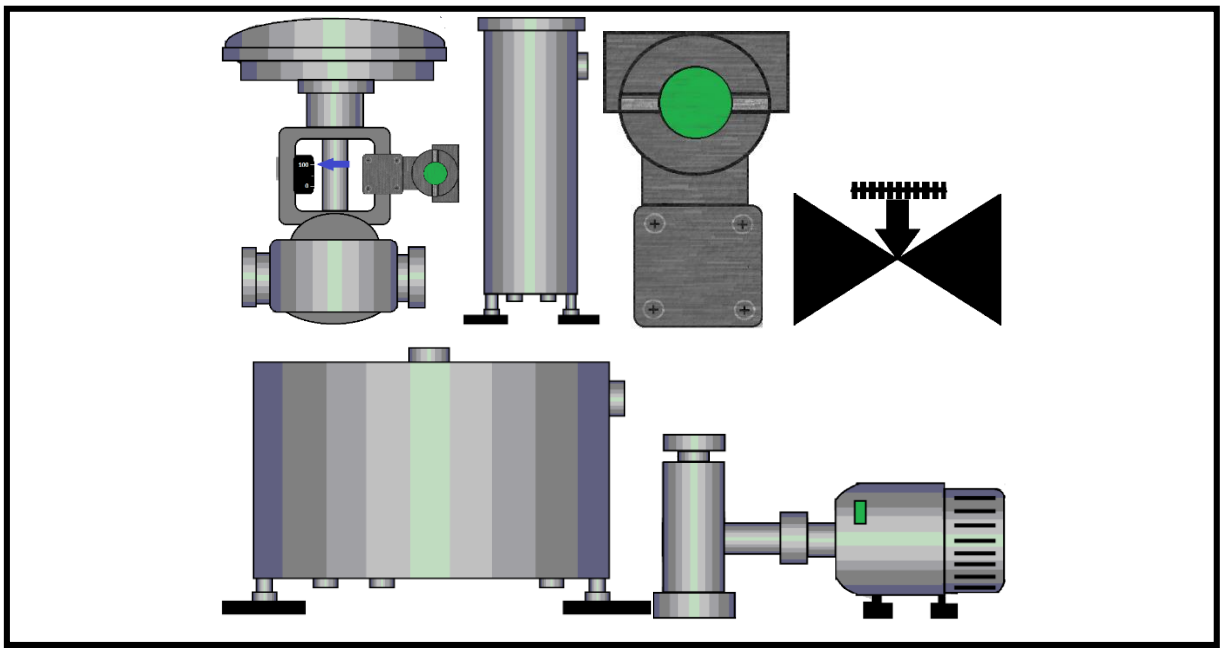
Para as saídas digitais foram identificadas no supervisório como 0x:1 que corresponde ao endereço %QX0.0, havendo as mesmas peculiaridades que nas entradas digitais, ou seja, os valores se estendem até %QX0.15 apesar das entradas efetivas irem até %QX0.8.

4.5 IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO INTERATIVO PARA MONITORAMENTO DA PLANTA

Com a comunicação entre o sistema supervisório Indusoft e CLP DUO 350 estabelecida se inicia a parte de programação das telas do supervisório. Para tal são necessárias imagens que se comuniquem de maneira visual da melhor forma possível com o usuário. Por isso baseado nas telas do supervisório da planta didática, os componentes e sua disposição na tela, foram elaboradas imagens que buscassem trazer de maneira clara e instrutiva as informações para a tela.

Inicialmente foi necessário fabricar as imagens por meio de softwares de edição e criação de imagem. Todos os componentes visuais do supervisório com exceção dos canos e conexões foram elaborados para este projeto. Alguns exemplos podem ser vistos na Figura 16.

Figura 16 - Componentes elaborados para a sistema supervisório



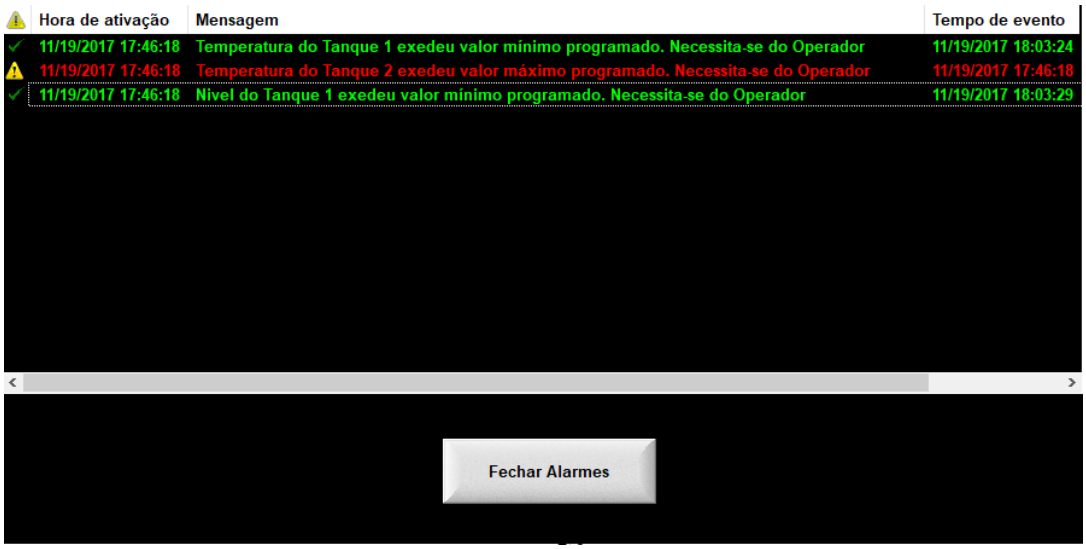
Fonte: Autor (2017).

Depois de concluídas as imagens, elas foram dispostas em uma tela de supervisório e foram adicionadas animações para facilitar o entendimento do que está sendo supervisionado. *Displays* mostram os dados fornecidos pela maquete.

Os dados recebidos são associados a uma TAG, que podem ser associadas a objetos, animações, sobreposições, receitas e alarmes, conforme convir ao programador. Com esse tipo de associações a TAGs é possível mostrar no supervisório não somente o valor do nível do tanque, mas também visualmente o tanque enchendo conforme o nível aumenta.

Outra função implementada foi a de alarmes, que permite que o usuário configure os limites de uma variável e então, caso esta esteja fora dos limites inferiores e superiores, um alarme é gerado, e deve ser reconhecido pelo operador. A dificuldade dos alarmes é que necessita de um quadro exclusivo para eles, como pode ser visto na Figura 17, tampouco é viável colocá-lo em todas as telas, pois o mesmo o normalmente ocupa um espaço considerável, ou seja, caso você esteja fora da tela de alarmes eles podem passar despercebidos o que não é interessante quando se busca que a interação da máquina com operador ocorra da maneira mais rápida e direta possível.

Figura 17 - Quadro de Alarmes

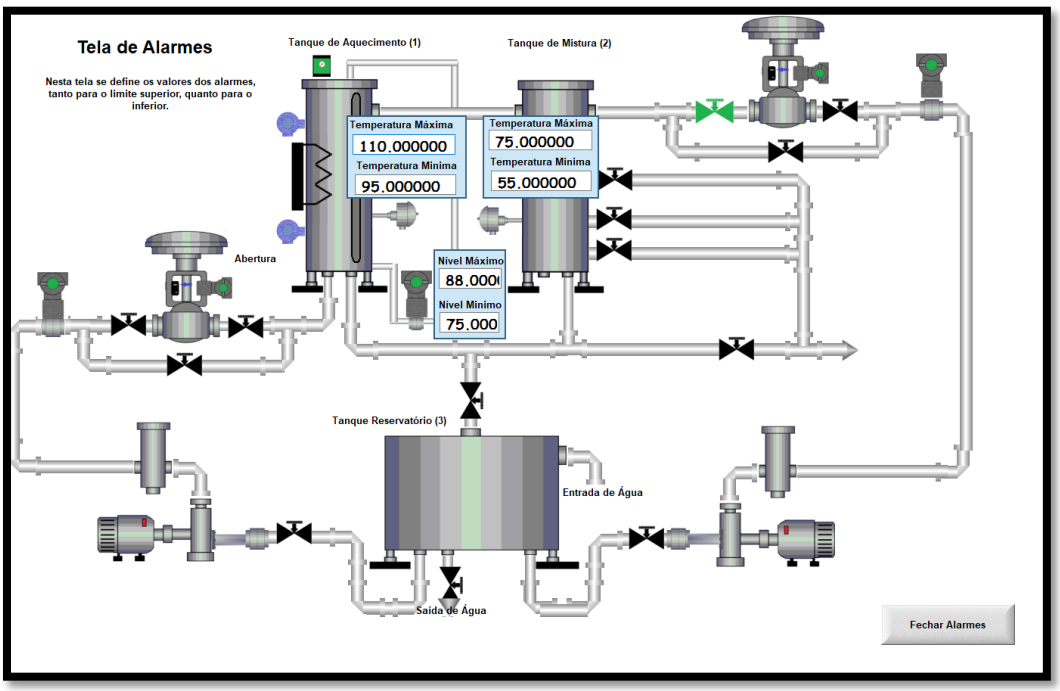


Fonte: Autor(2017).

Um outro fator complicador é que os valores definidos para os alarmes são pré-fixados e definidos no momento de programação do software, e estes não podem ser associados a uma TAG. Para conseguir alterá-los dinamicamente deve se fazer uso de outros métodos. Para conseguir alterar os valores de alarme de uma TAG de maneira dinâmica e completamente dentro do supervisório, a TAG, deve ser declarada como “TAGExemplo->HiHiLimit”. Esse é um parâmetro interno da TAG que abre a

possibilidade de ser associado a um objeto, permitindo que usuário dentro da tela de supervisório decida o valor superior e inferior dos alarmes para cada operação, como pode ser visto na Figura 18. Valores que quando desrespeitados geram um alarme, que deve ser identificado pelo operador, mostrando que está ciente do ocorrido.

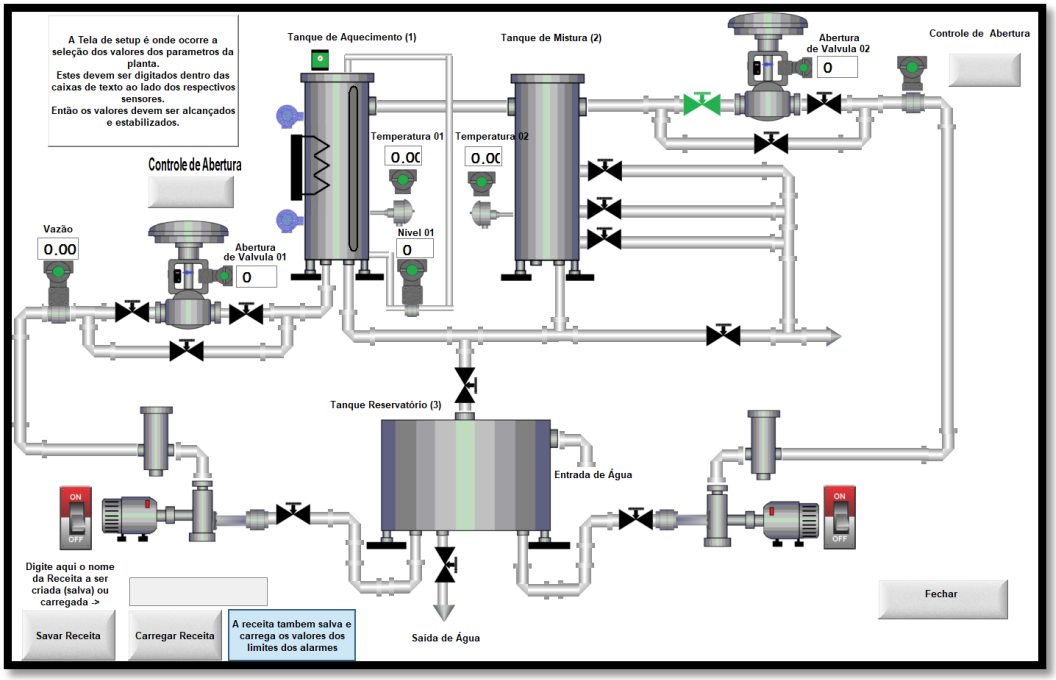
Figura 18 - Tela de Setup de Alarmes



Fonte: Autor (2017).

Outra tela importante é a tela de *setup,* Figura 19, onde é realizada a programação dos valores desejados na planta. Existem algumas escolhas a serem feitas, como se os controles de vazão serão diretos, dando o a porcentagem de abertura, ou se serão controlados automaticamente por outra variável.

Figura 19 - Tela de *Setup*



Fonte: Autor (2017).

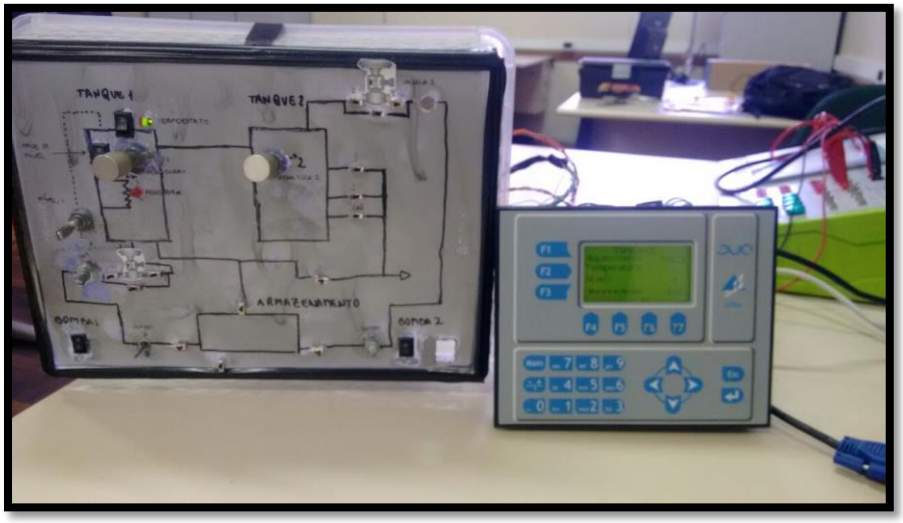
Depois de realizados todos os *setups*, caso isso seja uma receita a ser seguida diversas vezes, é possível salvar os parâmetros em uma receita, e carrega-los depois. A receita também irá salvar os valores escolhidos para os alarmes.

Na lateral, o supervisório possui uma barra de navegação onde é possível acessar as demais telas. Na barra lateral caso sejam acessadas as opções de gráfico de tendência é possível visualizar como se comportam as variáveis ao longo do tempo, facilitando a percepção de uma ineficiência de ação do controle e a visualização de parâmetros que burlaram as linhas preestabelecidas.

4.6 TESTES FINAIS

Com todas as partes implementadas e integradas, temos o ambiente para testar e aprimorar a ferramenta, a montagem física pode ser vista na Figura 20. Foram realizados testes para verificar quais as reações do supervisório.

Figura 20 – Montagem da Maquete com CLP



Fonte: Autor (2017).

O primeiro teste foi a atribuição dos valores de *setup*, ou seja, os valores cuja planta deveria alcançar e manter. Essas atribuições ocorrem nos valores de nível, temperatura e abertura de válvula proporcional, no tanque de aquecimento e temperatura e abertura de válvula, no tanque de mistura. Os valores foram recebidos pelo CLP, que com os valores desejados, pode começa a agir para alcançá-los.

O programa permite acionamento e desacionamento das bombas hidráulicas e ainda desativa as mesmas caso elas estejam operando com fluxo interrompido e as válvulas estiverem fechadas de forma a impedir que a água chegue nos tanques.

Para que ocorra o aquecimento no tanque é necessário que a temperatura desejada seja menor que a lida pelo sensor de temperatura. Também precisa haver uma quantidade de fluido no tanque suficiente para realizar o acionamento da chave de nível, que é capacitiva, portanto o fluido precisa ser condutor. O terceiro e último fator é que o sensor termostático não pode estar acionado, pois isso indica que a temperatura muito mais alta que deveria. O acionamento da resistência só ocorreu quando estes três fatores se comprovaram, ou seja, acontecendo somente quando pretendido. Esta redundância pode vir a evitar danos ao equipamento físico, evitando que aqueça mais que o devido e que aqueça sem ter fluido para dissipar o calor. Com a resistência ligada ocorre o aquecimento, e quando a temperatura alcançar o valor estipulado a resistência é desligada.

Para a variável de nível se aplica a mesma lógica, mas sem a mesma

redundância. Caso o controle de abertura da válvula proporcional seja indicado como controlado em função do nível, é realizado um controle proporcional, verificando a diferença entre o *setpoint* do nível e o nível atual, essa diferença, ou erro, é multiplicado pelo fator proporcional, e então em função deste erro é feita a abertura da válvula. Conforme o erro diminui, a abertura da válvula diminui, até fechar. No entanto se for escolhido o controle de abertura de válvula, se seleciona o percentual de abertura da válvula e o tanque se enche até que o nível almejado seja cumprido. Em ambos os casos no momento que o nível desejado e o real são iguais a abertura de válvula passa a ser zero, impedindo completamente a passagem de fluido.

No tanque de mistura, não há aquecimento direto. Ele ocorre pela entrada de fluido aquecido do primeiro tanque. Sendo assim, o sensor de temperatura acaba servindo para controlar a taxa de abertura da válvula, assim os fluidos são misturados até alcançarem a temperatura ideal. Outra opção é o controle da abertura direta da válvula, mas esse tanque não possui sensoriamento de nível, e sua desativação deve ser realizada pelo operador o que oferece riscos de erro humano.

Em seguida, para monitorar a eficiência do controle, e evitar que ocorram perdas por oscilações significativas no mensurando, pode e recomenda-se a configuração dos valores de alarme, superiores e inferiores, que depois de aferidos, detectam as variações fora de seus respectivos limites, desde as mais abruptas as mais sutis. O único problema encontrado foi a taxa de transmissão entre CLP e supervisório, neste caso por se tratar de uma maquete podem ser simuladas alterações abruptas, que normalizam também abruptamente. Caso a normalização ocorra mais rápido que o supervisório possa identificar é possível perceber que o alarme não é gerado. Mesmo assim, ao ser implementado tal ocorrido seria altamente improvável, pois a variação em um sistema real ocorre de maneira mais lenta, principalmente quando se trata de sistemas térmicos e enchimentos de tanque, que são sistemas de primeira ordem e com uma curva de controle bastante estável e previsível.

Outra função adicionada foi a de avisos por meio de caixas de mensagem, que aparecem à medida que possíveis erros são detectados. Estas mensagens além de indicar que há um possível erro, buscam sinalizar o caminho de resolução do mesmo. Por fim, ainda aparecem caso as condições de alarme sejam cumpridas, fazendo com que o alarme não tenha como passar despercebido.

5 ANÁLISE

Neste tópico do trabalho serão analisados os resultados obtidos a fim de entender melhor o significado dos mesmos e sua relevância para o projeto. A análise estará dividida nos mesmos subtópicos que os resultados, finalizando com uma análise geral.

5.1 ESTUDO DA PLANTA DE PROCESSO CONTÍNUO, PARÂMETROS A SEREM IMPLEMENTADOS E MONITORADOS

Através do estudo da planta de processo contínuo foi possível obter as informações necessárias para dar avançar ao presente trabalho. Pois, por meio da análise dos componentes e sua interação foi possibilitado encontrar um caminho para replicar de maneira que fosse interessante para a alcançar o principal objetivo do trabalho: um supervisório capaz de interagir com o químico quando necessário.

A necessidade de remover uma das variáveis de processo acarretou em perdas na parte de controle, mas dentro das perdas, foi escolhida a que seria menos relevante, pois o tanque de aquecimento é onde ocorre a maior parte das reações e remover qualquer variável deste tornaria o controle de aquecimento contínuo inviável.

5.2 ELABORAÇÃO DE UMA MAQUETE PARA SIMULAÇÃO DE UMA PLANTA DE PROCESSO CONTÍNUO

A elaboração da maquete trouxe inúmeros benefícios, principalmente na rapidez com que se pode testar o sistema e como ele reage às mudanças. Inclusive nela foi possível testar os casos que seriam inviáveis de testar numa planta real. Por meio da maquete foi possível testar a eficácia real do sistema supervisório interativo de maneira integral. Sendo assim, ela serviu em sua plenitude para o objetivo ao qual foi confeccionada.

No entanto a maquete não possui tanques, bombas e válvulas reais. A acurácia de qualquer tentativa de controle foi dificultada pela inexistência de uma planta com parâmetros definidos. Entretanto, mesmo que os parâmetros estivessem definidos, ainda assim não seria possível testar sua precisão, pois não é viável a simulação de

distúrbios.

A realização da troca da alimentação direta dos componentes, por uma alimentação passando por uma placa de circuito impresso, tornou mais simples de visualizar as ligações de cada componente e eliminou as perdas por mau contato. Além disso a diminuição no número de fios tornou melhor a organização a maquete.

A escolha de um leiaute semelhante ao sistema supervisório facilitou a visualização dos processos pois há possibilidade de comparar visualmente a maquete e o supervisório. Com isso se trona simples de visualizar qual dos componentes correspondente ao que se quer alterar no supervisório.

5.3 PROGRAMAÇÃO DO CLP

Durante esta etapa é onde se pode ver a alteração mais significativa no processo de automação, onde acionamentos deixam de ser feitos manualmente e passam ocorrer como eventos encadeados. A utilização de uma linguagem *Ladder* facilitou o entendimento da operação e tornou dinâmicos os eventuais ajustes. Também por se tratar de uma linguagem simples que busca aproximar a programação do profissional eletricista. Mas, por se tratar de processo contínuo, onde os acontecimentos não estão necessariamente ligados ao estado anterior, não se pode usar a linguagem estruturada Grafset, convertida para *Ladder.* Durante a programação as variáveis foram todas comentadas e nomeadas de modo a tornar o mais intuitivo possível o entendimento do programa.

A implementação da IHM facilitou num primeiro momento a visualização dos parâmetros da maquete, enquanto a mesma ainda não estava conectada ao sistema supervisório. No entanto, pela simplicidade da mesma não foi possível passar uma noção otimizada do que é cada parâmetro ali descrito, o que para usuários sem conhecimento prévio pode gerar dúvidas. Contudo, a função mais notável da IHM surgiu na configuração da rede MODBUS, entre o Sistema supervisório e o CLP, pois foi através dela que se certificou que as informações que eram enviadas pelo mestre realmente encontravam seu destino no escravo na posição devida de memória.

5.4 CONFIGURAÇÃO DE UMA REDE MODBUS RS-232 ENTRE CLP E SISTEMA

SUPERVISÓRIO

A comunicação realizada entre o CLP e o supervisório não acontece de forma intuitiva, sendo necessário, muitas vezes, desvendar por métodos empíricos a forma com que interagem. Talvez pela falta de material indicativo de como proceder ou pela padronização diferente de endereçamento de memória de ambos, criou-se uma lacuna informativa que se traduz em poucos ou nenhum material que os relacione e explique como sua comunicação ocorre.

Apesar da falta de padronização foi possível estabelecer uma comunicação de dados via MODBUS por meio físico RS-232, mesmo o sinal sendo convertido, e isso ocorreu sem nenhum prejuízo aos dados.

A escolha de trabalhar com o sistema supervisório mestre e CLP escravo também se mostrou útil, pois assim pode se configurar o CLP através do supervisório, mas se ocorrer um problema na comunicação após sua configuração, o CLP é capaz de operar de maneira independente, contudo a funções de supervisão ficam comprometidas.

5.5 IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA SUPERVISÓRIO INTERATIVO PARA MONITORAMENTO DA PLANTA

O primeiro impacto da implementação do supervisório é o visual, pois se passa a ver cada componente em seu lugar, o que facilita o entendimento geral do processo. O segundo impacto é a facilidade de aquisição de dados, que passa a ser centralizada em um ponto, ou seja, abre a possibilidade de ser realizado o controle simultâneo de vários processos, principalmente, quando se leva em conta que o sistema pode identificar quando o operador é necessário e avisá-lo por alarmes e caixas de mensagem exibindo avisos na tela, indicando o ocorrido e, quando possível, o que deve ser feito.

A viabilidade de escolher o valor de alarme para cada caso dentro do próprio supervisório facilita alteração de maneira dinâmica, algo que pode ser interessante para quem realiza processos com diversos reagentes, pois pode alterar esses parâmetros sem mexer em configurações dentro do supervisório.

Mas, a geração de alarmes em por si só, não apresentou um resultado tão

interessante, pois a mesma ainda dependia do operador verificá-la e, caso este não acessasse a tela de alarmes, o erro passaria despercebido.

Portanto, a implementação das caixas de mensagens que aparecem na medida que os alarmes são gerados foi a solução encontrada que melhor satisfez a situação, não poluindo a tela inicial com o quadro de alarmes. O químico é avisado com um *pop up,* que aparece no momento em que o erro é detectado, independente de qual tela o usuário esteja acessando. Assim foi possível criar a interatividade com operador, que é informado dos fatos importantes e que precisam de sua atenção sem ter de acessar a tela de alarmes. Apesar desta última continuar funcional, passa a ser secundária, pois não interage com o usuário diretamente.

No que diz respeito aos processos recorrentes, a geração de receitas se mostrou uma ótima ferramenta, capaz de facilitar o processo de *setup* da máquina, pois guarda os valores, que podem ser carregados quando necessários. Isso pode vir a ser interessante para quem não possui conhecimentos técnicos dos parâmetros, pois o mesmo pode realizar a inicialização da planta através da receita padrão cujos parâmetros já estão definidos.

5.6 TESTES FINAIS

Analisando o sistema final, já funcional e integrado, se pode verificar que as funcionalidades propostas foram alcançadas. O sistema é capaz de realizar o monitoramento da planta e predefinição dos valores desejados, os quais a planta irá tentar alcançar e estabilizar.

Outro resultado interessante foi condicionar a abertura de válvula baseado em outro parâmetro, assim não há necessidade de controlá-la diretamente, o que traz mais autonomia ao processo, que é justamente o que se busca com a implementação do CLP e de um sistema supervisório.

A interação alcançada satisfez o que foi proposto, interagindo com usuário quando necessário, não tomando mais tempo do mesmo, que passa a poder dedicar-se a outras tarefas ou atender a vários processos simultaneamente, pois não necessita mais checar parâmetros manualmente e ainda assim pode ter acesso a um histórico detalha caso deseje.

6 CONCLUSÃO

Durante o desenvolvimento buscou-se implementar um sistema supervisório que fosse capaz de monitorar e comandar um CLP, interagindo quando necessário com o usuário a fim de notificar um erro, ou um provável erro e, se possível, sugerir um caminho para resolução.

De fato, foi possível desenvolver tal sistema que se comunica com um CLP através de um protocolo *Modbus* RTU, este com capacidade de identificar erros e informar ao operador. Assim o usuário não precisa checar os valores constantemente e tem sua atenção requisitada em momentos chave.

A maior diferença entre o projeto idealizado e o executado, foi a limitação de entradas do CLP, que não permitiu um sensoriamento mais amplo da planta, como sensor de vazão nos dutos que levam ao tanque de mistura e sensoriamento de nível para todos os tanques o que resultaria no desenvolvimento de um sistema mais preciso.

Uma das principais dificuldades encontradas durante a execução do projeto foi a comunicação via *Modbus*, entre o sistema supervisório Indusoft e CLP Duo 350. Isso ocorre pelas diferenças de endereçamentos e particularidades dos endereços de memória do CLP. Estas dificuldades e as soluções encontradas foram detalhadas na seção de resultados e busca servir de suporte para futuros trabalhos que decidirem realizar esta mesma comunicação.

As funcionalidades previstas foram implementadas e se mostraram ferramentas úteis, que podem vir a ser interessantes ao analista químico, apesar de não ser possível determinar o grau de utilidade, foram desenvolvidas pensando em facilitar a tarefa que executam e permitir maior flexibilidade e autonomia para os mesmos.

O fator mais determinante nos experimentos foi a impossibilidade de testes em uma planta real[6], onde poderia ser desenvolvido um controle real para a planta, além disso seria possível vivenciar as necessidades reais do químico, desenvolvendo uma solução ainda mais pontual.

---

[6] Não foi possível realizar os experimentos na planta real devido aos problemas de comunicação que a mesma apresenta.

Mas, comparado aos sistemas químicos em pequena escala, normalmente usados para experimentos, ou até mesmo em grande escala onde o sistema supervisório é um sistema passivo, este método agrega a vantagem da adição do elemento interativo, que são exibidos na tela, indicando um evento potencialmente indesejado e requisitando a atenção do operador.

Infelizmente, ainda fica necessária a presença física do operador. Uma possibilidade de melhoria futura seria a integração com um sistema *mobile*, podendo proporcionar um monitoramento e controle remoto de operações em uma interface customizável, gerando notificações em casos de eventuais problemas que necessitem de intervenção, direta ou indireta do operador.

REFERÊNCIAS

ALTUS, CLP Altus DUO. Disponível em: http://www.altus.com.br. Acesso em: 25 nov. 2017.

ARAUJO, Jair Jonko; BECKER, Leandro Buss; PEREIRA, Carlos Eduardo**. Interface de Comunicação entre Ambiente de Modelagem Orientado a Objetos e Sistemas Supervisórios**. Porto Alegre: [s.n.], 2001. Disponível em: http://fei.edu.br/sbai/SBAI2001/vsbai/artigos/1082.pdf. Acesso em: 25 nov. 2017.

BORGES, F. H.; DALCOL, P. R. T. Indústria de Processo: comparações e caracterizações. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitíba. **Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção.** Curitíba: Abepro, 2002. p. 1 - 9. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR12_0657.pdf. Acesso em: 01 dez. 2017.

CITI SYSTEM, Supervisório Cervejaria Imperatriz. Disponível em: https://www.citisystems.com.br/portfolio-items/supervisorio-cervejaria-imperatriz/. Acesso em: 25 nov. 2017.

GOLDENBERG, Niv; WOOL, Avishai. Accurate modeling of Modbus/TCP for intrusion detection in SCADA systems. **International Journal Of Critical Infrastructure Protection**, [s.l.], v. 6, n. 2, p.63-75, jun. 2013. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcip.2013.05.001. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874548213000243. Acesso em: 1 dez. 2017.

INDIAMART, Esquema de Comunicação CLP com uso de Protocolo *Modbus*. Disponível em: https://www.indiamart.com/neosis-academy/services.html. Acesso em: 25 nov. 2017.

KAUR, Amandeep; BANSAL, Dipti. Monitoring and controlling of continue furnace line using PLC and SCADA. 2016. In: 5th International Conference On Wireless Networks And Embedded Systems (wecon), [s.l.], p.1-5, out. 2016. IEEE. http://dx.doi.org/10.1109/wecon.2016.7993429. Disponível em: http://ieeexplore.ieee.org/document/7993429/. Acesso em: 01 dez. 2017.

MENITA, P. R. et al. Fatores determinantes para o desempenho dos processos de produção de fluxo contínuo: estudo de caso na indústria de biscoitos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31., Belo Horizonte, 2011 **Anais...** Belo Horizonte, 2011.

NATALE, F. **Automação industrial**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2001. 256 p.

OLIVEIRA, Alexandre Caldas de et al. Um sistema para monitoramento e controle de bombas hidráulicas. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2., 2016, Campina Grande. **Anais II CONEPETRO**. Campina Grande: Realize, 2016. Disponível em: http://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/TRABALHO_EV052_MD1_SA16_ID2117_06072016124607.pdf. Acesso em: 01 dez. 2017.

PENG, Dao-gang et al. Design and Realization of Modbus Protocol Based on Embedded Linux System. In: 2008 INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMBEDDED SOFTWARE AND SYSTEMS SYMPOSIA, [s.l.: s.n.], 2008. p.275-280, Disponível em: http://ieeexplore.ieee.org/document/4627171/. Acesso em: 01 dez. 2017.

RIBEIRO, M. **Automação Industrial**, 4º edição. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria Ltda., 2001. Disponível em: http://www.academia.edu/download/45282151/16247325-Automacao-Industrial·Livro.pdf. Acesso em 25 de novembro de 2017.

TOLEDO, José Carlos de; FERRO, José Roberto; TRUZZI, Oswaldo Mário Serra. Indústrias de processo contínuo: novos rumos para a organização do trabalho. **Revista de Administração de Empresas**, [s.l.], v. 26, n. 1, p.103-105, mar. 1986. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75901986000100011. Acesso em: 01 dez. 2017.