



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia Automotiva

MODELAGEM DE SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA PLANTA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM PEQUENA ESCALA

Autor: João Luiz Kaled Da Cás

Orientador: Prof. Dr. André Murilo de Almeida Pinto
Coorientadora: Profa. Dra. Patrícia Regina Sobral Braga

Brasília, DF

2017



João Luiz Kaled Da Cás

**MODELAGEM DE SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA
PLANTA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM
PEQUENA ESCALA**

Monografia submetida ao curso de graduação de Engenharia Automotivada Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. André Murilo de Almeida Pinto
Coorientador: Profa. Dra. Patrícia Regina Sobral Braga

Brasília, DF

2017

João Luiz Kaled Da Cás

MODELAGEM DE SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA PLANTA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM PEQUENA ESCALA/ João Luiz Kaled Da Cás. – Brasília, DF, 2017-

82 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. André Murilo de Almeida Pinto

Trabalho de conclusão de curso 2 – Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA , 2017.

1. Biodiesel. 2. Automação. I. Prof. Dr. André Murilo de Almeida Pinto.
II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. MODELAGEM DE SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA PLANTA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM PEQUENA ESCALA

CDU 02:141:005.6

João Luiz Kaled Da Cás

MODELAGEM DE SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA PLANTA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM PEQUENA ESCALA

Monografia submetida ao curso de graduação de Engenharia Automotivada Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 12 de dezembro de 2017:

**Prof. Dr. André Murilo de Almeida
Pinto**
Orientador

**Profa. Dra. Patrícia Regina Sobral
Braga**
Coorientadora

**Profa. Dra. Andréia Alves Costa,
UnB/FGA**
Convidado 1

**Prof. Dr. Daniel Mauricio Muñoz
Arboleda UnB/FGA**
Convidado 2

Brasília, DF
2017

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente aos meus pais, Liliana Licula Kaled e Luiz Emílio Da Cás por sempre me apoiarem durante o período de faculdade.

Agradeço principalmente ao meu irmão Pedro Luiz Kaled Da Cás que sempre foi minha inspiração de profissional, de engenheiro e de homem. À ele digo: *Ad Astra*.

Agradeço à minha companheira de aventuras Vivianne Vicino França pelo amor a mim dado em todos os momentos pelos quais passei com ela.

Agradeço também aos meus professores orientadores Professor Doutor André Murilo de Almeida Pinto e Professora Doutora Patrícia Regina Sobral Braga que apostaram e confiaram em mim durante todo o tempo de realização desta monografia.

Agradeço ainda aos membros do Laboratório de Hidráulica e Pneumática da FGA que contribuíram com parte da logística necessária para a realização dos testes presentes nesse trabalho.

Agradeço ao Programa de Apoio às Pessoas com Necessidades Especiais da Universidade de Brasília (PPNE UnB) pela presença e atenção durante a minha graduação.

Finalmente agradeço à Vinicius Acioli Alves pela contribuição pelo auxílio na realização de um vídeo presente nessa obra.

Fala Krishna: "Quando o homem renuncia a todas as intenções e não tem nenhum apego aos objetos sensíveis nem às suas obras, diz-se que atingiu a Yoga"

BHAGAVAD-GITA: CANTO VI, VERSO IV

Resumo

O presente trabalho apresenta primeiramente o processo químico da produção do biodiesel, seus reagentes; óleos vegetais e álcool; seus produtos, éster etílico (biodiesel), e glicerol. Em seguida serão apresentadas as características químicas e físicas destes componentes e o uso de catalisadores na reação química. Em seguida será mostrado um modelo de planta de produção de biodiesel em pequena escala. Será simulado em computador o processo de automatização da produção de biodiesel. Ou seja, serão estudados e aplicados, os vários sensores e atuadores que são necessários em uma planta doméstica de biodiesel: Sensores de temperatura, volume, pH, bem como atuadores eletromecânicos como válvulas de fluxo, misturadores mecânicos dentre outros. Cada sensor será devidamente entendido e apresentado e sua função inserida em um programa de automação industrial que irá simular como é produzido o biodiesel. E a lógica necessária para implementação em computador dessa automação. Haverá uma ênfase em sistema de segurança e emergência em processo de produção de produtos químicos. Após a programação do processo de automação do óleo será projetada (em computador) uma bancada de produção que servirá como base para possível construção da planta proposta.

Palavras-chaves: Biodiesel. Automação. Pequena Escala.

Abstract

This work initiates presenting the chemical production process of biodiesel; the reactants, vegetable and methanol. Proceeds explaining the resultant products; ethyl ester (Biodiesel) alongside its chemical and physical characteristics. And ends explaining the byproducts of the reaction; glycerol, as well as the use of catalysts in the chemical reaction. Next, in the work, it's explained the different scales at which biodiesel is currently produced in Brazil. industrial scale and small scale. With emphasis on the Brazilian situation: current market production and consumption of biodiesel. There will be greater emphasis on the production of plants on a small scale (home). The latter will work in order to implement an automation process by PLC that can be simulated in computer aimed at automating the production of biodiesel. Namely, they will study and apply various sensors and actuators that are necessary in a domestic biodiesel plant: temperature sensors, volume, pH, electromechanical actuators as well as flow valves, mechanical mixers and others. Each sensor will properly understood and presented and its function set in an industrial automation program that will simulate how it is produced biodiesel. Moreover, the logic required to implement this computer automation. There will be an emphasis on safety and emergency system in chemical production process. After programming the oil automation process will be designed (computer) a production bench that will serve as a basis for possible construction of the proposed plant.

Key-words: biodiesel. automation. small scale.

Lista de Figuras

Figura 1 – Pirâmide de automação com os três primeiros níveis detalhados, Fonte: próprio autor	8
Figura 2 – Bomba hidráulica acoplada a motor elétrico. Onde (1) é a bomba hidráulica e (2) é o motor elétrico. Os dois são ligados por um eixo em (3). (LOWARA, 2017).	9
Figura 3 – Válvula solenoide Fonte: cicsa-maxon.com.mx Acesso 2016	10
Figura 4 – Exemplo de dois termômetro industriais com hastes (ELECTRONICS, 2007).	11
Figura 5 – Medidor de nível Fonte: BBZ Automation equipment Co. LTD	11
Figura 6 – Painel de Reles sendo usado na indústria (WIKIMEDIA, 2017).	12
Figura 7 – Exemplo de CLP S7 1200 produzido pela Siemens (SIEMENS, 2011).	13
Figura 8 – Entradas digitais e analógicas de um CLP padrão. Imagem feita pelo próprio autor.	14
Figura 9 – Entrada e saídas genéricas de um CLP, (SENAI,).	15
Figura 10 – Exemplo de relê, (ECTRONICA, 2017b)	15
Figura 11 – Função 'OU' utilizando arranjos de reles A tabela verdade mostra todos os seus resultados.(CORY, 2006).	16
Figura 12 – Logica <i>ladder</i> com elementos eletrônicos: 'Out 1' e 'Out 2'. (ECTRONICA, 2017b).	17
Figura 13 – Função do tipo <i>normalmente fechada</i> (ECTRONICA, 2017a).	17
Figura 14 – Bloco de função, com função 'AND' (IEC, 1996).	18
Figura 15 – Estrutura de Memória em um <i>CLP</i> (WOOLLY, 2016).	18
Figura 16 – Exemplo de sistema SCADA para controle de caldeira (TECNOLOGIA, 2017).	20
Figura 17 – Exemplo de Diagrama de instrumentos de planta de biodiesel genérica. Adaptada pelo autor (BIOENERGI, 2016)	22
Figura 18 – <i>Layout</i> de chão de fábrica de planta de produção de biodiesel em Honk Kong, (ERM, 2008),Adaptada pelo autor	24
Figura 19 – Norma de produção do Fluxograma	24
Figura 20 – Tanques de criação de peixes automatizados. Fonte:(COBLESKILL, 2017)	25
Figura 21 – Esquema de reação de transesterificação mostrando os mecanismos de obtenção do éster etílico, biodiesel.(EMBRAPA, 2010)	27
Figura 22 – Planta de pequena escala de produção de biodiesel da UnB instalada no <i>campus</i> Gama.(FALLA, 2012)	29

Figura 23 – Fluxograma simplificado de produção de biodiesel com reaproveitamento do metanol.	31
Figura 24 – Fluxograma completo do processo de produção de biodiesel como descrito por (KEMP, 2006) em seu livro <i>Biodiesel: Basics and Beyond</i>	39
Figura 25 – Fluxograma completo do processo de produção de biodiesel como descrito por (KEMP, 2006) em seu livro <i>Biodiesel: Basics and Beyond</i>	41
Figura 26 – Trecho final do Fluxograma proposto por (KEMP, 2006) nessa etapa estão as válvulas corretas da planta que ele propõe	42
Figura 27 – Eventos onde são usadas as Bombas e Filtros presentes no Sistema.	42
Figura 28 – Eventos no fluxograma onde são usadas válvulas.	43
Figura 29 – Eventos de decisão onde termómetro são usado para ler temperaturas.	43
Figura 30 – Eventos onde são usadas as Bombas de circulação no Sistema.	44
Figura 31 – Eventos de decisão onde medidores de nível são usado para ler os volumes dos tanques	44
Figura 32 – Eventos de operação do tanque de <i>mixagem</i> de etanol	45
Figura 33 – Eventos de uso do condensador de etanol	45
Figura 34 – Eventos de uso dos aquecedores.	46
Figura 35 – Diagrama de instrumentos da planta de biodiesel.	47
Figura 36 – <i>layout</i> de chão de fábrica da planta de biodiesel.	48
Figura 37 – Função <i>INC</i> no programa <i>LADDER</i>	50
Figura 38 – Função <i>DEC</i> no programa <i>LADDER</i>	50
Figura 39 – Função <i>INC</i> e <i>CALCULATE</i> no programa <i>LADDER</i>	51
Figura 40 – Função de variação de valor de <i>INC</i> por tempo	52
Figura 41 – Função <i>CONV</i> (<i>conversion</i>)	52
Figura 42 – Funções <i>MOVE</i> referentes ao tanque de de álcool	53
Figura 43 – Funções <i>DEC</i> e <i>CALCULATE</i> do tanque de alcool	53
Figura 44 – Conjunto de várias Funções <i>MOVE</i>	54
Figura 45 – Função <i>TON Generate on-delay</i>	54
Figura 46 – Lógica presente no fluxograma.	55
Figura 47 – Lógica do fluxograma transformada em lógica <i>Ladder</i>	55
Figura 48 – Exemplo de bobina de comando de atuador	56
Figura 49 – Bloco de função <i>DECO</i> associado a uma válvula.	57
Figura 50 – Função <i>DECO</i> em uma válvula	58
Figura 51 – Função <i>CALCULATE</i>	59
Figura 52 – Aba Mprot do driver M-prot, fonte: próprio autor	60
Figura 53 – Aba setup do M-prot, fonte: próprio autor	60
Figura 54 – Aba Ethernet do Mprot, fonte: próprio autor	61
Figura 55 – Aba propriedade do CLP abérta no TIA	61
Figura 56 – Visão geral da planta proposta por (KEMP, 2006).	63

Figura 57 – Tela individual do tanque de reação	64
Figura 58 – Tela com os gráficos do sistema: Temperatura e Volume dos três tanques.	65
Figura 59 – Valores das penas na tela de gráficos.	65
Figura 60 – Tanque usado na planta com líquido na cor amarela.	66
Figura 61 – Dutos transporte de fluido.	66
Figura 62 – Tanque de etanol	67
Figura 63 – Tanque de limpeza do biodiesel	68
Figura 64 – As figuras usadas na planta e os exemplos nos quais elas foram baseadas.	69
Figura 65 – Quadro de alarme presente na tela do Tanque 1.	70
Figura 66 – Propriedade dos alarmes	70
Figura 67 – Medidor de pressão e temperatura na biblioteca: <i>tcc kaled</i>	72
Figura 68 – <i>Tag's</i> de comunicação dentro do <i>Elipse Studio</i>	72
Figura 69 – Definição da função pelo <i>Studio E3</i>	73
Figura 70 – <i>Bit</i> de um ' <i>Byte</i> ' sendo usado	74
Figura 71 – Propriedade <i>Visible</i> sendo ativada pelo <i>Bit</i> do <i>Byte Pbyte</i>	75

Lista de tabelas

Tabela 1 – Operações lógicas e booleanas. (CORY, 2006).	16
Tabela 2 – Produção nacional de biodiesel em 2015 por região geográfica nacional, (ANP, 2016)	28
Tabela 3 – Regas de comunicação CLP-SCADA	62
Tabela 4 – Valores de alarmes de temperatura do sistema	71
Tabela 5 – Valores de alarmes de volume do sistema	71
Tabela 6 – Nome dos Bytes	73

Lista de abreviaturas e siglas

EIA	<i>Energy Information Agency</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
FAME	<i>Fatty Acid Methyl Ester</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
FGA - UnB	<i>Campus Gama da Universidade de Brasília.</i>
EEPROM	<i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ECE	<i>Energy Central Europa</i>
ANP	Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
SCADA	Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados
INCRA	Instituto Nacional de Reforma Agrária
m^3	Metro cúbico
<i>NaOH</i>	hidróxido de sódio
<i>OH</i>	hidroxila
pH	potencial hidrogeniônico
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISA	<i>International Society of Automation</i>
IHM	Interação Humano Máquina
°C	Grau Celsius
CPU	Unidade Central de Processamento

SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
<i>NOT</i>	função inversora
<i>AND</i>	função booleana 'E'
<i>NAND</i>	função negação de 'E'
<i>XOR</i>	função 'OU' exclusivo
<i>NOR</i>	função negação de 'OU'
NA	função Normalmente Aberta da lógica <i>ladder</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
<i>INC</i>	função incremento da lógica <i>ladder</i>
<i>DEC</i>	função decremento da lógica <i>ladder</i>
<i>CONV</i>	função conversão da lógica <i>ladder</i>
<i>TON</i>	função <i>time ON</i> da lógica <i>ladder</i>
<i>TIA V12</i>	<i>Totally Integrated Automation software</i> da Siemens
HiHi	tipo de alarme 'muito alto' do <i>software</i> SCADA
Hi	tipo de alarme 'alto' do <i>software</i> SCADA
LoLo	tipo de alarme 'muito baixo' do <i>software</i> SCADA
<i>DECO</i>	função decodificação da lógica <i>ladder</i>
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>

Sumário

	Lista de Figuras	xiii
	Lista de tabelas	xvii
	Sumário	xxi
1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Descrição do problema	2
1.3	Justificativa e contribuição	2
2	OBJETIVOS	5
2.1	Objetivo Geral	5
2.2	Objetivos Específicos	5
2.3	Organização do Manuscrito	5
3	REFERENCIAL TEÓRICO	7
3.1	Conceitos em Automação	7
3.1.1	Pirâmide de Automação	7
3.1.2	Sensores e Atuadores usados em plantas de biodiesel	9
3.1.2.1	Bombas Hidráulicas	9
3.1.2.2	Válvulas Solenóides	9
3.1.2.3	Sensores de Temperatura e Medidores de Nível	10
3.1.3	Controladores Lógico-Programáveis	11
3.1.4	Lógica booleana e lógica <i>Ladder</i>	16
3.1.4.1	Tipos de dados	18
3.2	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i> ou SCADA	19
3.3	Diagramas	21
3.3.1	Diagrama de fluxo de processo	21
3.3.2	Diagrama de Instrumentos	21
3.3.3	Norma de Elaboração de Diagrama de Instrumentos	22
3.3.4	Documentação dos Instrumentos	23
3.3.5	<i>Layout</i> de Chão de fábrica	23
3.3.6	Fluxogramas	24
3.4	Vantagens em Automação	25
3.5	Biodiesel	26
3.5.1	Produção de Biodiesel no Brasil	28

3.5.2	Produção em Pequena Escala	28
3.5.3	Fluxograma do Processo de Produção de Biodiesel	30
3.5.4	Estado da Arte em automação de produção de biodiesel em planta de pequena escala	31
4	METODOLOGIA	35
5	PROJETO DE AUTOMAÇÃO	39
5.1	Fluxograma do Processo	39
5.1.1	Diagrama de instrumentos	46
5.1.2	<i>Layout</i> de chão de fábrica da planta	47
5.2	Programação de CLP	49
5.2.1	Simulação de Variáveis	49
5.2.2	Controle do processo	53
5.2.2.1	Atuadores Digitais	56
5.2.2.2	Trasferência de dados do CLP para o Supervisório	57
5.2.3	Comunicação CLP SCADA	59
5.3	Projeto do Sistema Supervisório	62
5.3.1	Visão externa do supervisório	63
5.3.2	Telas Sinóticas	63
5.3.3	Gráficos	64
5.3.4	Tanques	65
5.3.5	Dutos	66
5.3.6	Tanque de etanol	67
5.3.7	Tanque de Limpeza	67
5.3.8	Imagens e figuras	68
5.3.9	Alarmes	70
5.3.10	Biblioteca de imagens	71
5.3.11	Usos dos <i>tag's</i> de comunicação	72
5.3.12	<i>Tag Demos</i>	74
5.3.13	Surgimento de imagens	74
5.4	Vídeo de funcionamento da planta	75
6	CONCLUSÕES	77
	REFERÊNCIAS	79

1 Introdução

1.1 Contextualização

Atualmente existe uma grande preocupação com a quase total dependência dos transportes com os combustíveis fósseis líquidos como a gasolina, o diesel ou outros derivados do petróleo. Além disso, o petróleo só é extraído em certas regiões do planeta, onde muitas delas estão em situação de conflito. Informações fornecidas pela (EIA, 2017) (*Energy Information Administration*) forneceram gráficos que apresentam que o máximo da produção de petróleo se encontra entre os anos de 1996 e 2035. Ou seja, nos anos vindouros, essas informações indicam somente queda da produção de petróleo sem observação de crescimento. Com a queda da disponibilidade dos combustíveis fósseis no mercado, pesquisas em combustíveis alternativos podem vir a ajudar a dar continuidade ao uso de combustíveis líquidos pelos meios de transportes.

Dentre os combustíveis líquidos alternativos se destacam os biocombustíveis. O termo biocombustível ou combustível biorrenovável se refere aos sólidos, líquidos ou gases que são predominantemente produzidos de biomassa. Os biocombustíveis líquidos possuem três categorias: bioálcoois, óleos vegetais e biodiesel (ECE, 2015)

Biodiesel é um combustível renovável derivado de óleos vegetais equivalente em uso ao diesel combustível. O nome do combustível é dividido em duas partes *Bio*, que significa vida em grego, com *Diesel*(MA, 1990). A definição técnica do biodiesel é um composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa produzido pela reação de transesterificação (BIODIESELBR, 2017). O biodiesel é normalmente produzido em três escalas diferentes: industrial, média e pequena. A produção em pequena escala gera até 38.000 litros por batelada e o processo químico utilizado é o mesmo, se não muito similar, aos outros níveis (KEMP, 2006).

A produção em pequena escala é feita de modo artesanal geralmente nas residências dos produtores da matéria-prima utilizada. O biodiesel produzido por eles comumente é de baixa qualidade, não chegando a alcançar o padrão de qualidade exigido pelos agentes normalizadores de produção de combustíveis nacional e internacional, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (ANP, 2008) e *American Society for Testing and Materials* (ASTM), respectivamente (MA, 1990). Existem várias propostas de plantas de produção de biodiesel, algumas delas produzidas em série outras sobre encomenda. Dentre as plantas de pequena escala existentes no mercado destacou-se a planta de produção de biodiesel em pequena escala projetadas por H Kemp em seu livro *Biodiesel: Basics and Beyond*. Nesse livro o autor escreve sobre a trajetória do biodiesel desde

o início das pesquisas sobre o uso de biodiesel como combustível para veículo, passando pelos problemas que o uso excessivo de combustíveis fósseis pode gerar culminando no capítulo onde ele descreve a sua planta de produção de biodiesel.

1.2 Descrição do problema

O processo de produção de biodiesel pode ser dividido em cinco principais partes: secagem da matéria-prima, adição dos reagentes, transesterificação (reação química), retirada do glicerol e purificação do produto final (MA, 1990) Essas etapas são realizadas manualmente no nível artesanal. Esse nível de produção afeta a qualidade do produto final gerando baixa produtividade e gastos durante a produção, o que torna o processo de fabricação lento e com baixo controle. Para melhorar esses aspectos, a automação de algumas dessas etapas seria uma forma de proporcionar benfeitorias ao processo. Assim, das cinco etapas mencionadas quatro terão seus processos automatizados, são elas: secagem da matéria-prima, transesterificação, retirada do glicerol e purificação do produto final. O processo de adição do reagente, metanol com o catalisador, não será simulado. O catalisador é vendido comercialmente em forma sólida (em pó ou em pequenas pedras) e, como no sistema apenas serão usadas bombas hidráulicas, não é possível a automação da adição desses químicos no sistema.

1.3 Justificativa e contribuição

Um dos maiores avanços da industrialização foi a implementação e desenvolvimento da automação e controle em processos industriais. Acompanhar esses avanços tecnológicos é indispensável para estar atualizado em relação ao crescimento econômico do planeta. Logo envolver-se em trabalhos que propõem desenvolvimento de projetos de automação é passo importante para a carreira profissional do engenheiro. A automação industrial possui inúmeros campos de aplicação, desde, por exemplo, a indústria automotiva até a automação da produção de produtos químicos passando por vários outros setores da economia. Alguns elementos centrais em automação são comuns em projetos distintos fazendo com que o conhecimento de um projeto contribua para aplicação em outros. No presente trabalho será desenvolvido projeto de automação de planta de biodiesel em pequena escala, projeto na área de química mas que apresenta os elementos centrais da automação fazendo com que a conclusão do trabalho consolide os conhecimentos básicos em automação. Este trabalho justifica-se na meta de diminuir parcialmente as ineficiências no funcionamento de plantas manuais. Plantas manuais de biodiesel podem sim produzir combustível útil, porém a qualidade do produto final varia fortemente de batelada para batelada. Através da aplicação de projeto de automação, com atuadores, sensores e controladores é possível aumentar a qualidade de operação e conseqüentemente

a qualidade do produto final. Os sensores, válvulas e atuadores serão simulados assim como os valores dos volumes e de temperaturas de operação do sistema. O produto final será um programa que emulará o funcionamento de uma planta de biodiesel contribuindo no desenvolvimento futuro de um possível projeto completo de automação de planta de produção de biodiesel.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Projetar sistema de automação de planta de biodiesel de transesterificação metílica em pequenas escala em que os sensores, atuadores e as variáveis de volume e temperatura dos tanque são simuladas em CLP, eliminando assim a exigência das versões reais destes na planta.

2.2 Objetivos Específicos

Com o intuito de alcançar o objetivo principal, espera-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Construir fluxograma descrevendo o processo de produção de biodiesel proposto por Kemp em seu livro.
- Desenvolver código *Ladder* no *software* TIA V12 que simule em CLP o fluxograma apresentado no item anterior.
- Projetar sistema de supervisão e controle e aquisição de dados (*SCADA*) completo no *software Studio E3* da *Elipse*.
- Simular as variáveis de Temperatura e Volume do processo de produção de biodiesel dentro do CLP.
- Simular as válvulas, bombas hidráulicas, aquecedores, ou seja, todos os atuadores presentes no sistema.

2.3 Organização do Manuscrito

A organização deste trabalho dá-se na seguinte forma: No presente capítulo, capítulo dois, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos da obra. O capítulo dois contém a introdução do trabalho onde o leitor é atualizado sobre a situação do consumo e produção de combustíveis renováveis, com ênfase para a produção de biodiesel. O capítulo três abrange o referencial teórico necessário para a compreensão do manuscrito: Esse capítulo inicia-se através da apresentação de conceitos em automação industrial como: a pirâmide de automação, descreve alguns sensores e atuadores, que serão empregados na planta, descreve conceitos de organização industrial com ênfase em diagramas de

uso comercial e industrial. O mesmo capítulo segue apresentando as vantagens de aplicação correta de automação em processos industriais reais, com exemplos de sucesso. O capítulo termina com o referencial teórico em química da produção do biodiesel e são apresentadas as escalas de produção desse combustível. O capítulo quatro engloba a metodologia empregada no trabalho. No quinto trabalho são apresentados os resultados e discussão do material que foi produzido pelo autor. Nesse capítulo serão descritos os detalhes do projeto desenvolvido e também será apresentada a planta de produção de biodiesel em pequena escala que foi desenvolvida em computador e detalhes da programação a nível de controlador lógico programável (CLP). A obra termina no capítulo cinco onde são apresentados os resultados e as discussões extraídas do projeto da planta de produção de biodiesel.

3 Referencial teórico

O presente capítulo irá apresentar ao leitor os conhecimentos necessários para a compreensão técnica do manuscrito. O referencial teórico inicia-se com os conceitos em automação e organização industrial com ênfase em diagramas de processo e finda com o referencial em química de produção do biodiesel, alguns dos diagramas que serão descritos no início deste capítulo serão usados ao final do mesmo, em química do biodiesel, por esta razão a ordem escolhida foi a apresentada.

3.1 Conceitos em Automação

Automação, de acordo com (SHERIDAN, 1992), é o controle automático de operações ou sistemas realizados por dispositivo elétrico, eletrônico ou mecânico onde há substituição dos órgãos humano de visão, decisão ou esforço na operação. Existem inúmeros casos de aplicação de projeto de automação que obtiveram sucesso, seja na substituição parcial ou total da dependência humana na operação ou controle da atividade. Nos casos apresentados o controle automático de um processo conhecido gerou melhora na eficiência e na execução da atividade, bem como a redução de custo com o funcionalismo, pois é consequência da automação a redução do uso humano nas operações (HAIGHT, 2017).

3.1.1 Pirâmide de Automação

Durante o processo de desenvolvimento da automação houve crescente necessidade de integração entre o comando e a atuação em processos de manufatura, gerando, em consequência, uma hierarquia de comando de funções na automação dos processos industriais. Tal hierarquia pode ser visualizada na forma de uma pirâmide e a essa foi dado o nome de pirâmide de automação (SMC, 2017).

A pirâmide de automação organiza de maneira hierarquia os níveis de controle de informação dentro de um sistema de automação industrial. Quanto mais próximo do topo, maior a quantidade de informação e maior a quantidade de elementos controlados pelos equipamentos presentes naquele nível. As dimensões dos níveis da pirâmide são proporcionais à quantidade de elementos presentes no nível. A descrição feita por (CASSIOLATO, 2011) é apresentada a seguir em forma de lista onde cada nível da pirâmide é descrito.

1. **Nível um.** Na base se encontram também as máquinas de chão-de-fábrica, os componentes da planta e os equipamentos de execução de tarefas. Os atuadores nesse nível são apresentados individualmente. Para que seja possível se comunicar com o nível acima, é utilizada uma plataforma de comunicação.

2. **Nível dois.** Nível onde se encontram os controladores lógico programáveis (CLP) e outros equipamentos de controles automáticos das atividades da planta. Esse nível é chamado de nível de controle.
3. **Nível três.** Esse nível é denominado nível de supervisão, é onde estão localizados os bancos de dados do processo e onde são aplicadas as otimizações do processo produtivo, além de produzidos e guardados os relatórios e estatísticas da produção. Através da intranet do local é possível chegar ao nível quatro da pirâmide de automação. É nesse nível que onde se encontra o *IHM* sigla para interação humano máquina (BARBOSA, 2011).
4. **Nível quatro.** Considerado nível da programação e planejamento de produção, são realizados o controle e a logística dos suprimentos.
5. **Nível cinco.** Por fim, o último nível, localizado no topo da pirâmide, estão os softwares de gestão e vendas da empresa. Deste nível se controla completamente o processo de automação da mesma.

A imagem da pirâmide de automação é mostrada na Figura 7 abaixo. A esquerda são apresentados os equipamentos eletrônicos que pertencem a cada nível. Sensores e atuadores no primeiro nível, CLP's no segundo e o supervisiono no terceiro. Esses três níveis iniciais são os níveis de foco do presente trabalho, por isso foram detalhados na imagem. A explicação para do foco ser nesses níveis será detalhada no capítulo sobre a metodologia empregada no projeto.

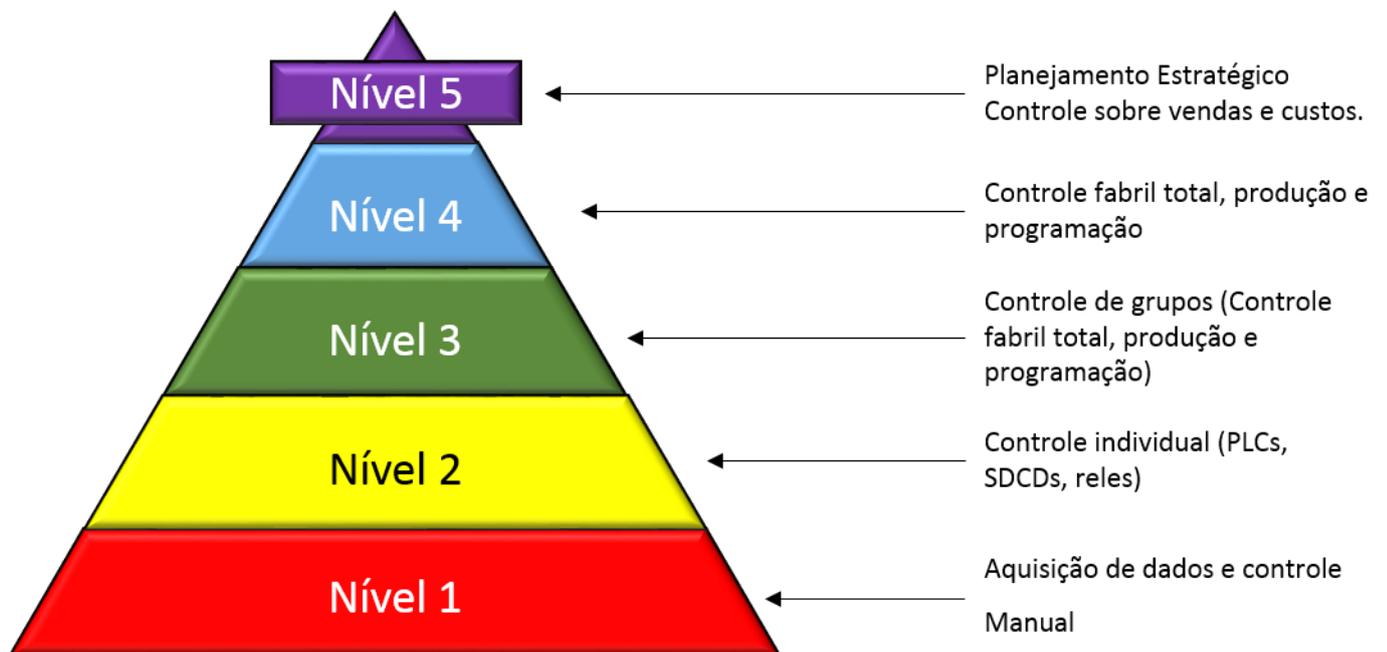


Figura 1 – Pirâmide de automação com os três primeiros níveis detalhados, Fonte: próprio autor

3.1.2 Sensores e Atuadores usados em plantas de biodiesel

Para a produção de biodiesel são utilizadas geralmente alguns de sensores e atuadores típicos das plantas químicas. Alguns deles serão apresentados a seguir.

3.1.2.1 Bombas Hidráulicas

Para a movimentação de qualquer líquido, seja óleo, água ou qualquer outro fluido dentro de um sistema, são usadas bombas de fluidos. Uma bomba consiste em um equipamento mecânico que converte torque proveniente de um motor elétrico em movimento de um fluido (AMANTHEA, 2008). O motor elétrico pode ser ligado e desligado com um interruptor de corrente elétrica. Na planta de biodiesel de (KEMP, 2006), que será apresentada no capítulo cinco, as bombas hidráulicas são elementos com grande importância dentro do processo pois atuam tanto na movimentação do fluido, entre os tanques, como na agitação dos reagentes durante a reação de transesterificação. Na Figura 8, abaixo é possível ver um motor elétrico acoplado a uma bomba hidráulica.



Figura 2 – Bomba hidráulica acoplada a motor elétrico. Onde (1) é a bomba hidráulica e (2) é o motor elétrico. Os dois são ligados por um eixo em (3). (LOWARA, 2017).

3.1.2.2 Válvulas Solenóides

As válvulas solenóides permitem a passagem de fluxo de fluido pelo seu interior, como no caso deste trabalho, o biodiesel. A passagem do fluido é feita graças à atuação de um solenóide em seu interior. O solenóide é um dispositivo eletromagnético com formato em espiral com núcleo ferroso protegido por uma capa metálica. Quando há passagem de corrente elétrica pela espiral, gera-se um campo magnético que levanta o núcleo ferroso, onde está presa uma membrana interna. A movimentação da membrana liga a saída com a entrada da válvula, permitindo a passagem do fluido pelo seu interior (NICHOL-

SON, 2017). Na planta de biodiesel do projeto, as válvulas solenóides usadas têm função de modificar o sentido do movimento do biodiesel.

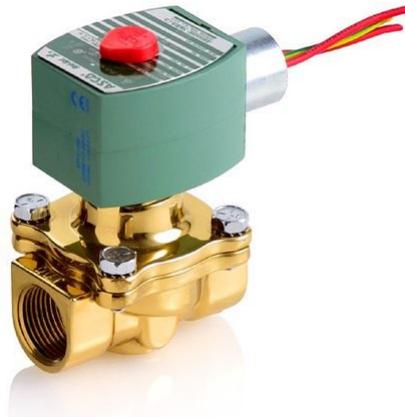


Figura 3 – Válvula solenoide Fonte: cicsa-maxon.com.mx Acesso 2016

3.1.2.3 Sensores de Temperatura e Medidores de Nível

De acordo com (SOLOMAN, 2010) em seu livro: temperatura é um parâmetro muito importantes a ser controlado em quase todo processo industrial químico, pois afeta diretamente algumas propriedades físicas dos materiais da planta e a qualidade dos produtos fabricados.

Com o avanço das tecnologias de medição de temperatura, vários sensores eletrônicos foram desenvolvidos para medição em sistemas químicos. Os dois tipos de termômetros principais são: de baixas temperaturas, com uma escala entre $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+400\text{ }^{\circ}\text{C}$, e de altas temperaturas, medindo de $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$. A tecnologia por trás dos termômetros de medição de baixa temperatura é o uso de sensores de fósforo junto com semicondutores ou cristais líquidos. A medição feita por esse tipo de termômetro dá-se pelo contato de uma haste sensível nos lugares onde se quer medir a temperatura. Já os termômetros de alta temperatura funcionam por meio de efeitos quânticos relacionados à radiação de corpo negro. Um exemplo de termômetro de medição de baixa temperatura pode ser visto na Figura 10, abaixo. Na medição de óleos em tanques são geralmente usados os termômetros usados os de baixa temperatura pois a maioria dos óleos evapora (CHU, 2004).



Figura 4 – Exemplo de dois termômetro industriais com hastes (ELECTRONICS, 2007).

Medidores de nível aferem a quantidade de líquido dentro de um recipiente de geometria conhecida, como um tanque, por exemplo, medindo a altura da superfície em relação ao fundo do tanque. Assim como no caso dos termômetros, existem também dois principais tipos de medidores de nível, medidores mecânicos e ultrassônicos. Medidores mecânicos são compostos de dois componentes: uma haste que se move com a presença do fluido e um disjuntor que fecha e abre um contato elétrico. A haste é acoplada ao disjuntor, ou seja, quando o fluido toca a haste, ela muda o estado do disjuntor. O medidor mecânico permite apenas o conhecimento de valores fixos de volume, ou seja o volume no qual o aparelho está localizado dentro do recipiente (LIPTAK, 1995).



Figura 5 – Medidor de nível Fonte: BBZ Automation equipment Co. LTD

3.1.3 Controladores Lógico-Programáveis

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a definição de CLP é: "é um equipamento eletrônico digital com *hardware* e *software* compatíveis com aplicações industriais". E, segundo a Nema (*National Electrical Manufacturers Association*), a definição traduzida de CLP é "Aparelho eletrônico digital que utiliza memória programável para o armazenamento interno de instruções para implementações específicas". As instruções podem ser algoritmos, sequenciamentos, temporizações, contagem e aritmética, para controlar, através de módulos de entradas e saídas, vários tipos de atu-

adores ou processos. Apesar de diferentes todas as definições indicam que o CLP é uma central programável de comando de processos industriais que recebe informações e delega comandos por meio de equipamentos conectados a ele (DIRECT, 2011). Na Figura 12 é mostrado um exemplo de CLP, controlado lógico programável, nome S7-1200, feito pela (SIEMENS, 2011) .

o CLP foi inventado em 1969 pela Modicon em função da alta demanda do mercado automotivo em mudar os parâmetros de controle de suas plantas, que eram controladas por lógica de relês. As alterações lógicas durante o período onde quando eram usadas os painéis de relês, como mostrado na Figura 12 abaixo, demandavam muito tempo pois era necessária a mudança física dos equipamentos na fábrica. Esse problema originou o movimento que desenvolveu o que viria a ser o CLP atual. O CLP utiliza a mesma lógica em sequencia ladder que os painéis de relês porem, virtualmente (LOPES, 2009).

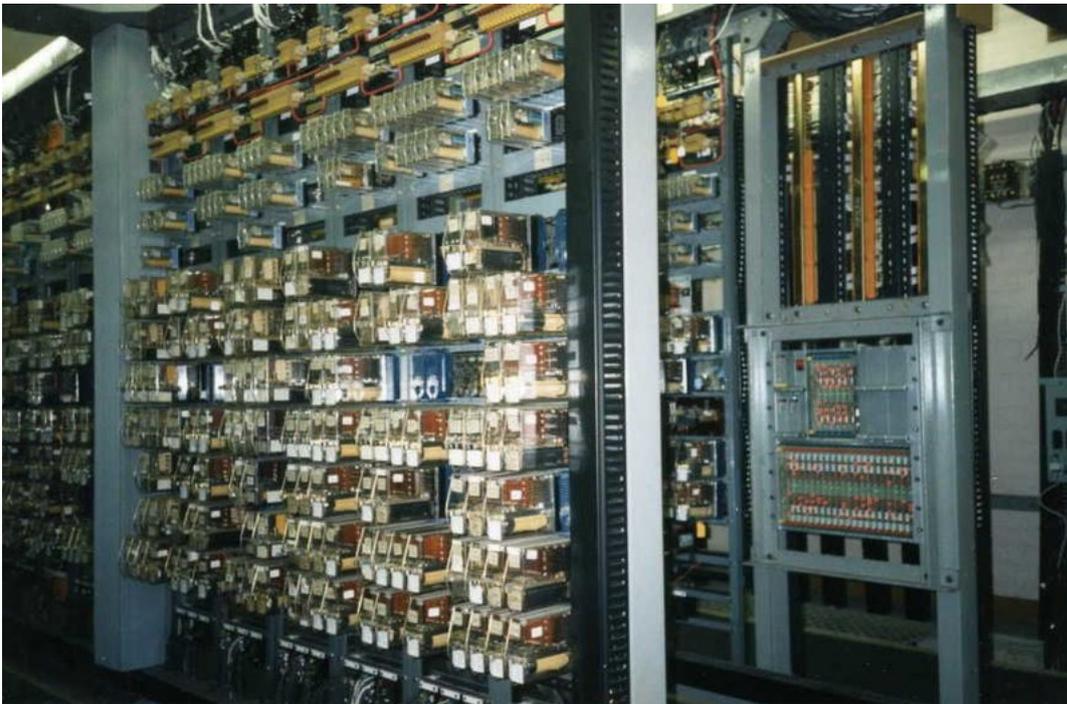


Figura 6 – Painel de Relés sendo usado na indústria (WIKIMEDIA, 2017).

A grande diferença de um CLP para um computador comum é que este é uma equipamento projetado para funcionar em ambientes com demanda pesada de horas de uso e condições intemperes, além de ter uma larga conectividade que pode ser visto pela grande quantidade de entradas e saídas presentes no CLP. É um equipamento modular expansível até o limite de entradas e saídas permitido para cada modelo. Por ser modular, geralmente é montado em um *racks*, onde podem ser adicionados os módulos necessários a aplicação pretendida, como pode ser visto na Figura 13 a seguir.



Figura 7 – Exemplo de CLP S7 1200 produzido pela Siemens (SIEMENS, 2011).

Um CLP típico é dividido basicamente em duas partes: uma CPU (*central processing unit*), para processamento, e uma interface de entrada e saída, além de um circuito para sua alimentação (Automation Direct, 2011). Dentro do CPU existem dois tipos de memória: a memória EEPROM (do inglês *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*), que preserva seu conteúdo mesmo quando o CLP está desligado, salvando comando como o endereço dos sensores nas entradas e saídas do dispositivo. Também é na EEPROM que são guardados os comandos que o CLP irá reproduzir, qual entrada será lida (digital ou analógica), e em qual ordem. A memória RAM, (do inglês *Random Access Memory*), memória de acesso randômico se apaga uma vez que a alimentação do CLP é desligada, é nessa memória que são salvos dados de estados de um sensor durante o funcionamento do CLP e os valores das variáveis obtidos durante o funcionamento do CLP (DIRECT, 2011). As entradas e saídas de um CLP são removíveis, isso faz com que um mesmo controlador possa ser utilizado em diversas situações e se adapte à demanda de um número variado de sensores ou atuadores dependendo do projeto (STANLEY, 2017).

As entradas do CLP se dividem em analógicas e digitais. As entradas digitais recebem apenas dois estados, binários, ou um, ou zeros. As entradas analógicas recebem uma faixa de estados distintos variados por isso as entradas analógicas são utilizadas para receber sensores de volume ou nível de líquidos, pois devem ler uma faixa grande de valores, enquanto que as entradas digitais recebem botões de ligar e desligar ou sensores de fim de curso, onde apenas existem dois estados. As saídas do controlador se dividem em digitais ou analógicas e também são inseridas no CLP por meio de cartucho. Nos

contatos eletrônicos, são acoplados os atuadores que serão comandados por ele, tais como motores, diodos luminescentes, resistências térmicas e bombas hidráulicas. Um exemplo da arquitetura interna de um CLP é mostrado abaixo na Figura 14, em imagem feita pelo próprio autor.

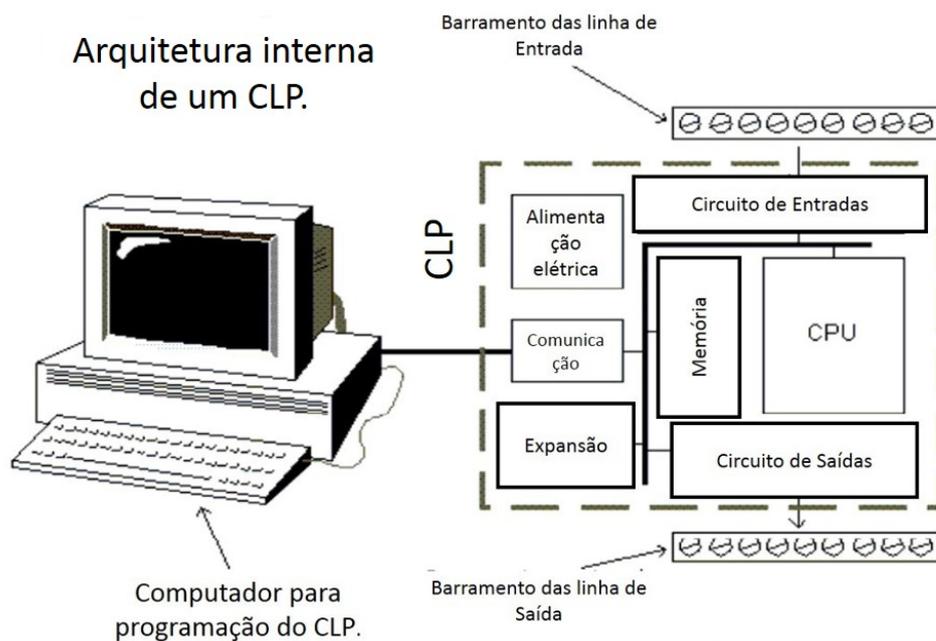


Figura 8 – Entradas digitais e analógicas de um CLP padrão. Imagem feita pelo próprio autor.

Os CLP são aplicados em vários processos industriais de manufatura e também em linhas de montagem, além de serem usados em controle de automação predial ou de linhas de energia elétrica, na medicina, na manufatura em geral. O uso do CLP ainda é vasto e diversificado, e esta é a sua principal vantagem (YONEYAMA, 2000). A Figura 145 mostra genericamente um CLP ligado a diferentes dispositivos em suas entradas e saídas.

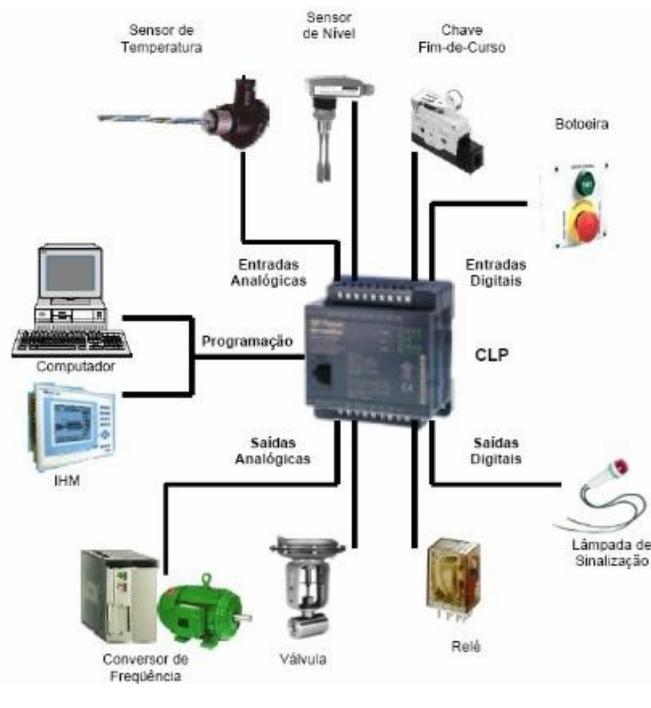


Figura 9 – Entrada e saídas genéricas de um CLP, (SENAI,).

Como explicado anteriormente o CLP substitui o uso dos antigos painéis de relês na indústria. Um relê é uma chave eletromecânica operada por uma bobina elétrica a imagem externa como é apresentado na Figura 16. Quando a bobina é eletrificada ela gera um campo magnético que move o contato da chave eletromecânica, mudando seu estado, de ligado para desligado, tornando-o um atuador digital. Com isso é possível criar funções de funções de álgebra booleana, pois a álgebra booleana calcula somente equações com 1 e 0.

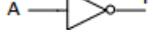


Figura 10 – Exemplo de relê, (ELECTRONICA, 2017b)

3.1.4 Lógica booleana e lógica *Ladder*

A álgebra booleana é uma simbologia matemática usada para realizar operações lógicas. Na álgebra booleana somente são permitidos dois valores, 1 ou 0. As operações lógicas e suas correspondentes booleanas são mostradas na tabela a seguir. As variáveis A e B são as entradas das funções e podem assumir os valores de 0 ou 1. A variável Y, como mostra a tabela abaixo, representa a saída da operação lógica, seu valor também só pode ser 1 ou 0. Unido reles com a lógica e a álgebra booleana é possível escrever sequências lógicas com arranjos de reles, como pode ser observado na imagem após a tabela. Nessa imagem a função 'OR' ('OU' em português) é feita utilizando-se somente reles, (CORY, 2006). Um exemplo de função 'OU' feita com arranjo de relês é mostrada na Figura 17, logo abaixo da tabela com as funções lógicas.

Tabela 1 – Operações lógicas e booleanas. (CORY, 2006).

Operação Lógica	Representação Booleana	Simbologia
NOT	$Y = \bar{A}$	
AND	$Y = A \bullet B = AB$	
OR	$Y = A + B$	
NAND	$Y = \overline{A \bullet B} = \overline{AB}$	
NOR	$Y = \overline{A + B}$	

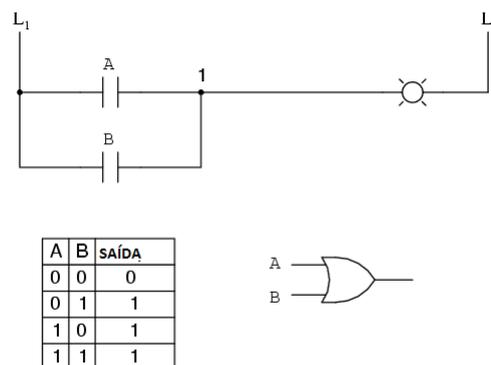


Figura 11 – Função 'OU' utilizando arranjos de reles A tabela verdade mostra todos os seus resultados. (CORY, 2006).

O uso de relês para criar um conjunto de funções lógicas dentro de um sistema obrigou usuários a desenvolverem uma linguagem própria de programação que facilitou a construção de programas de automação. A essa linguagem deu-se o nome de Ladder. A linguagem gráfica *Ladder* é a lógica existente entre as entradas e saídas que executam as funções desejadas de acordo com seu estado (ELECTRONICA, 2017b). Os elementos

eletrônicos são representados por meio de símbolos, como mostrado a seguir, na Figura 18.

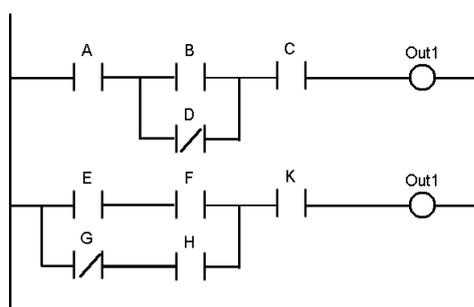


Figura 12 – Lógica *ladder* com elementos eletrônicos: 'Out 1' e 'Out 2'. (ECTRONICA, 2017b).

Além das funções de relês a lógica *ladder* utiliza as chaves de circuito. Elas podem ser, normalmente fechadas ou normalmente abertas. As chaves *normalmente fechadas* permitem passagem de corrente elétrica quando desligadas, assim que são ligadas elas bloqueiam a passagem de corrente. As chaves *normalmente abertas* não permitem passagem de corrente até serem ligadas, funcionam de modo oposto as chaves *normalmente fechadas*. Um exemplo de chave *normalmente fechada* (ou 'NA') é apresentado a seguir na Figura 19.

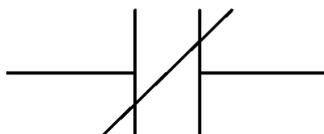


Figura 13 – Função do tipo *normalmente fechada* (ECTRONICA, 2017a).

A padronização dos elementos e funções que podem ser usadas por um CLP foram unidas na norma 61131 feita pela IEC *International Electrotechnical Commission*. Essa norma estabelece que a linguagem *ladder* é uma das linguagens gráfica padrão que o CLP pode receber. Além da linguagem *ladder* a norma 61131 também estabeleceu que é padrão para o CLP trabalhar com blocos de função (IEC, 1996).

Blocos de função, ou diagramas funcionais, são uma forma gráfica de representação de intrução ou comando a serem executados dentro da lógica *Ladder*. São exemplos de blocos de função: *timers*, função incrementação (função que a cada ciclo do CLP soma

uma unidade a um número conhecido), função decremento (similar a função incremento mas, ao invés de somar, subtrai). Blocos de função também podem conter funções booleanas diminuindo a quantidade de elementos dentro do código. Na Figura 20, abaixo, é possível ver um bloco de função que contém a função *AND*. As estradas 'E00' e 'E01' são associadas pela função 'AND' e geram a saída S80 (IEC, 1996).



Figura 14 – Bloco de função, com função 'AND' (IEC, 1996).

3.1.4.1 Tipos de dados

Um CLP, assim como qualquer outro computador, realiza operações matemáticas com vários tipos de dados binários: *Bits*, *Bytes* e *Words*. Os *Bits* são a menor unidade binária que existe, eles possuem apenas dois valores 0 ou 1. Um conjunto conjunto de 8 *Bits* torna-se um *Byte*. Dois *Bytes* formam um *Word*, com isso a *Word* possui 16 *Bits* ($8\text{Bits} + 8\text{bits} = 16\text{Bits}$, ou seja, uma *Word*). Essa estrutura de hierarquia pode ser vista na Figura 21, abaixo. A posição dos *Bits* dentro de um *Byte*, ou de um *Word*, é importante, pois influencia a ordem de leitura e escrita da informação gerando vantagens na comunicação do CLP com qualquer outro dispositivo a ele conectado. A vantagem da comunicação utilizando um *Word* ao invés de dois *Bytes* dá-se pois a densidade de informação transmitida entre as partes é maior. Ou seja, em uma unidade de informação foram enviados 16 dados. Se fossem enviados dois *bytes* (totalizando, igualmente 16, *bits*) seriam duas unidades de informação. À 'unidade de informação' dá-se o nome de *Tag* (WOOLLY, 2016).

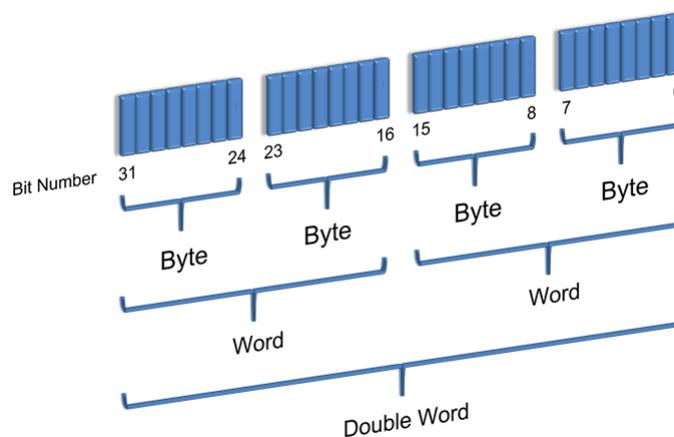


Figura 15 – Estrutura de Memória em um CLP (WOOLLY, 2016).

3.2 Supervisory Control And Data Acquisition ou SCADA

Supervisory Control And Data Acquisition, ou SCADA, é um sistema de *software* que controla e supervisiona sistemas industriais através da aquisição de dados do sistema e com envio de comandos para o sistema, em um sistema de trocas. (GOULD, 2016).

Sistemas SCADA são normalmente divididos em dois módulos com características e funcionalidades distintas:

1. O módulo de desenvolvimento
2. Módulo de execução ou *runtime*, que, como o próprio nome diz, executa o sistema desenvolvido.

Os módulos de desenvolvimento de todos os *softwares* SCADA possuem uma interface gráfica, com o objetivo de criação de objetos com ou sem animações para a representação do processo cujo objetivo é monitoramento.

Para monitorar e controlar os sistemas industriais o software SCADA deve possuir a capacidade de se comunicar com os equipamentos. Para isso, os aplicativos fornecem módulos de comunicação, que são fornecidos com uma grande quantidade de drivers, de modo que seja permitida a troca de informações com equipamentos entre diferentes companhias fabricantes. A comunicação de dados ser eficiente é o ponto crítico desse tipo de sistema. É dessa maneira podem-se realizar comandos para acionamento de motores elétricos, válvulas, sistemas pneumáticos e hidráulicos, bombas hidráulicas e uma infinidade de elementos. É também desse modo que podemos visualizar os valores medidos através de sensores (WOOLLY, 2016).

Um ponto de atenção no entanto, está para o fato de que o supervisório não realiza nenhum tipo de tomada de decisão que permita realizar controle automático. Este tipo de controle é, normalmente, realizado via CLPs. Os sistemas SCADA também possuem ferramentas para rastrear as atividades realizadas por usuários do sistema, bem como para exibir diagnósticos de falhas em equipamentos ou etapas do processo de produção.

As principais informações recebidas pelo supervisório são armazenadas em banco de dados, de modo que estejam disponíveis para consulta posterior pelo usuário. Essas informações são utilizadas para a geração de alarmes indicadores de falhas ou de mau funcionamento do sistema, além de eventos, para indicar algum acontecimento relevante para a operação do sistema. No caso da planta de biodiesel os alarmes são os valões de temperatura e volume dos tanques. A possibilidade de visualizar a sequência em que os eventos ocorreram no sistema é uma importante ferramenta para diagnosticar a causa raiz de problemas em uma planta industrial.

Com as informações recebidas em tempo real, é possível verificar como elas se comportam graficamente ao longo do tempo, o que permite realizar uma análise de tendências das informações e prever o comportamento do sistema em situações futuras, ou mesmo identificar pontos de falha acontecidos no passado. Com essas informações disponíveis e armazenadas pelo sistema SCADA também podem ser usadas para gerar relatórios. Muitos aplicativos dispõem de funções para a criação de relatórios customizados, onde é possível criar um arquivo em PDF com as informações (WOOLLY, 2016).

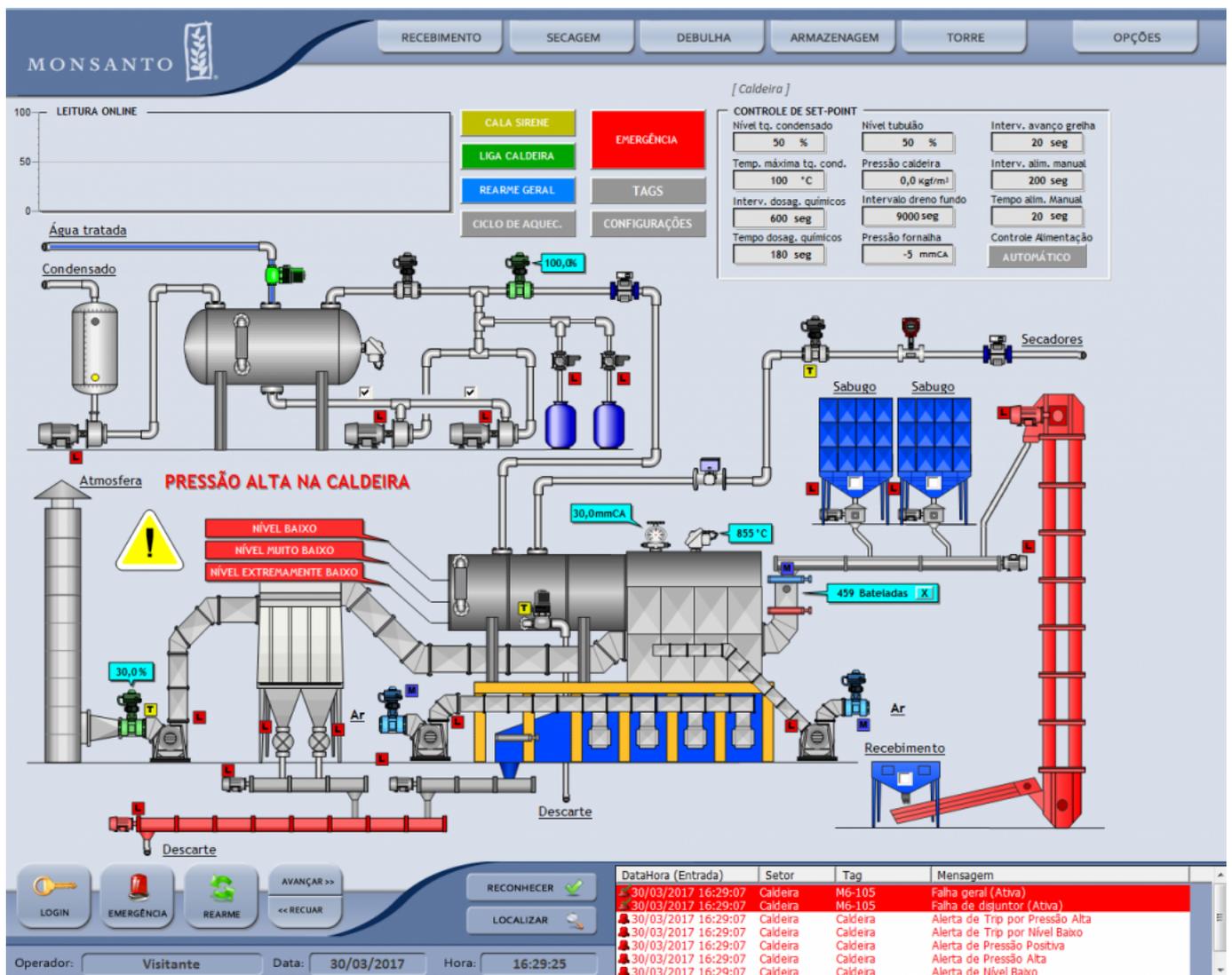


Figura 16 – Exemplo de sistema SCADA para controle de caldeira (TECLOGIA, 2017).

3.3 Diagramas

3.3.1 Diagrama de fluxo de processo

Conforme Frank Gilbreth (1921) - o criador do primeiro diagrama de processo – a definição consiste numa ferramenta de organização visual dos elementos dentro de um projeto. Antes da execução de qualquer evento em um projeto, é necessário organizar a ordem em que eles serão usados. Para que isso ocorra, recorre-se a um diagrama de processo, didático, que permite a visualização da tarefa e do componente que a executa. Referido diagrama é, também, uma representação visual da sequência de tarefas que devem ser seguidas até o final do processo, muito similar a um fluxograma (GILBRETH, 1921).

Esses diagramas podem ser utilizados tanto em atividades acadêmicas, quanto em industriais. Em programação de computadores, a exemplo dos casos de linguagem orientada a objeto, sua utilização se dá para organizar os blocos de funções que o código precisa executar antes do algoritmo ser programado na máquina. Já em processos industriais químicos, por exemplo, os diagramas de processo são utilizados para organizar a sequência de componentes e reações químicas de cada fase de produção, possibilitando uma visão dos atuadores necessários em cada etapas e onde serão usados(SCANLAN, 1989).

Suas etapas devem ser bem claras, pois normalmente ocorrem erros comuns gerados pela tradução direta da expressão do inglês para o português. No inglês, o termo *flowchart* foi traduzido dividindo a palavra nas duas parte que a compõe: *flow*, que significa fluxo e *chart*, diagrama. Traduzindo em português, "diagrama de fluxo". Dessa forma, a definição de *flowchart* e *datachart* escrita na norma ISO 5807-1985 pode ser traduzida como diagrama de fluxo e diagrama de fluxo de dados, para diferenciar as duas expressões (WATSON, 1981).

3.3.2 Diagrama de Instrumentos

O diagrama de instrumentos fornece uma representação gráfica dos instrumentos usados em um processo. Isso inclui tubulações, tanques, atuadores, sensores e controladores, ou seja, todos os equipamentos que atuam ou leem o sistema com o objetivo de descrever o processo executado. O diagrama cobre: entradas, saídas, quantidades de cada instrumento e composição no sistema. O diagrama de instrumentos mostra, também, informações importantes e necessárias para operar e construir o sistema, a exemplo das dimensões físicas dos aparelhos usados e da dimensão geral do sistema. O diagrama de instrumentos possui ainda a descrição literal de cada componente e do diagrama de blocos dos sistema, além do diagrama elétrico (cabos e fios de cada equipamento) e a lógica de comando, tudo em uma só figura. Suas informações são transmitidas através da sua

imagens e por isso eles contêm poucos textos. Na indústria, o diagrama de instrumentos é usado como o principal documento para localizar os componentes dentro dos ambientes da fábrica, além de possuir informações sobre a segurança do local. (MCMILLAN, 2000)

Na figura abaixo, Figura 4, é apresentado um exemplo diagrama de instrumentos de uma planta de produção de biodiesel genérica, com: válvulas, tanques, bombas e setas. As direções por onde os reagentes químicos percorrem durante o processo de funcionamento são representados pelas pontas das setas. As válvulas e bombas possuem um desenho próprio normalizado pela ISO (*International Organization for Standardization*) na norma ISO 14617-1:2005 que estabelece as normas para padronização de símbolos e figuras de organização industrial (ISO, 2005).

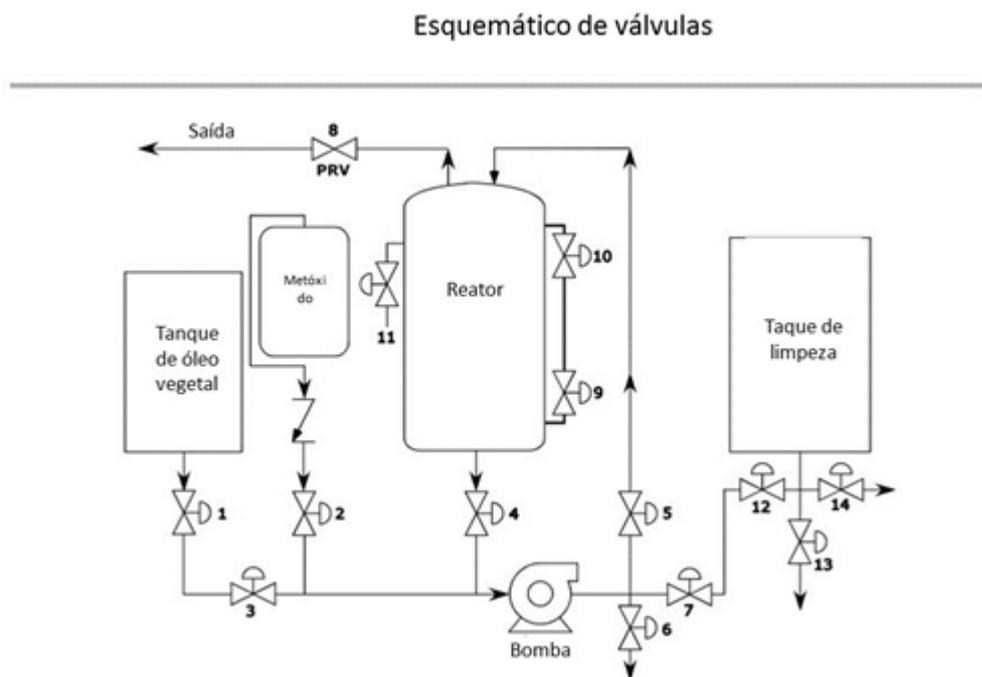


Figura 17 – Exemplo de Diagrama de instrumentos de planta de biodiesel genérica. Adaptada pelo autor (BIOENERGI, 2016)

3.3.3 Norma de Elaboração de Diagrama de Instrumentos

Antes do diagrama de instrumento ser elaborado é necessário seguir certas normas. A norma S51 da ISA *International Society of Automation* (ISA, 2008), antiga *Instrumentation Society of America*, estabelece os símbolos gráficos para identificação dos instrumentos e dos sistemas de instrumentação usados para medição e controle, de modo a apresentar um sistema de designação que inclui um código de identificação. Esses padrões definem o formato de cada elemento do diagrama de instrumentos. Eles são:

- os elementos mecânicos;
- a numeração de equipamento;
- o número de válvulas;
- o número de dutos de transporte; e
- a numeração desses dutos.

3.3.4 Documentação dos Instrumentos

A documentação é constituída de imagens, diagramas e tabelas que mostram as características dos equipamentos que compõem o sistema. Essa documentação possui vários propósitos tais como: construção, manutenção e reprodução. Esse documento é o mais elaborado porém possui um alto nível de controle (ORA, 2014).

De forma geral é uma lista, que deve conter as seguintes informações:

- design;
- especificações (gasto consumo valor);
- instrução de consumo;
- modos de operação; e
- manutenção.

3.3.5 *Layout* de Chão de fábrica

O *layout* de chão de fábrica descreve a posição que os equipamentos irão ocupar na fábrica. Tais plantas são muito parecidas com as que os arquitetos usam. A Figura 5 mostra um exemplo em larga escala de uma fábrica de produção de biodiesel. Independente da escala, o conceito é o mesmo; sendo em última instância um mapa das posições de localização de cada elemento da planta.(KUMAR, 2011).

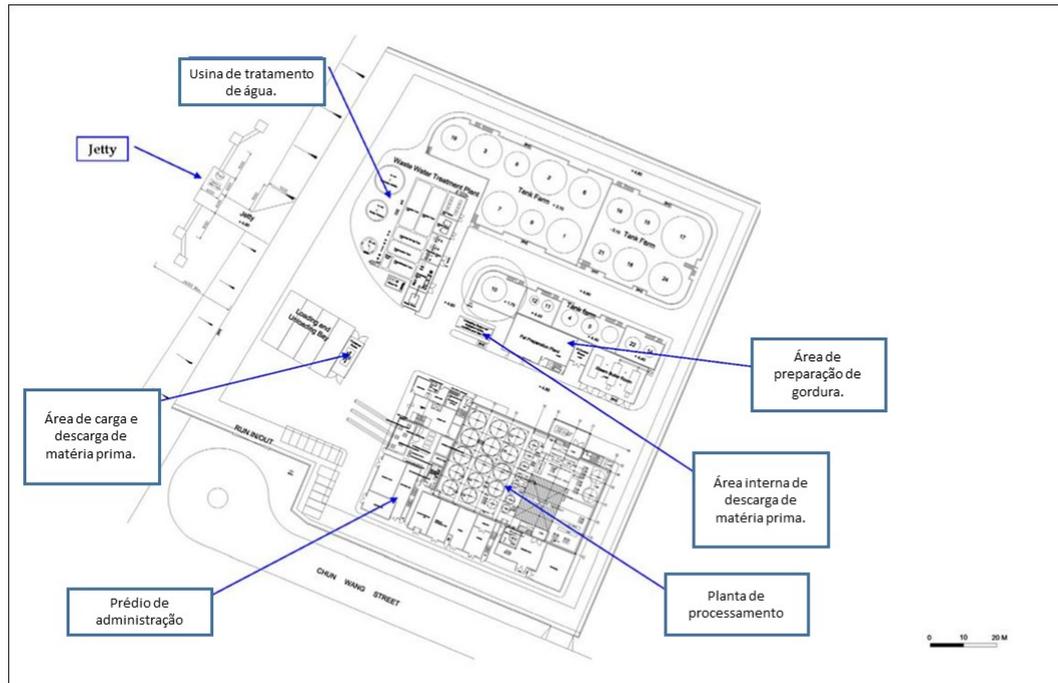


Figura 18 – *Layout* de chão de fábrica de planta de produção de biodiesel em Honk Kong, (ERM, 2008), Adaptada pelo autor

3.3.6 Fluxogramas

Fluxogramas são diagramas que apresentam a progressão passo-a-passo de um processo ou sistema, utilizando para isso linhas e símbolos específicos (J.L., 1999). A norma de definição dos símbolos é ISO 5807. Os fluxogramas são muito utilizados na indústria química para apresentar as etapas de um processo químico na criação de um produto. Os símbolos de um fluxograma são apresentado a seguir na Figura 6.



Figura 19 – Norma de produção do Fluxograma

3.4 Vantagens em Automação

Casos de sucesso de aplicação de automação estão presentes em inúmeros setores do mercado. Na agricultura destaca-se projetos de aplicação de automação que focaram reduzir a necessidade de pessoas operarem um sistema ou equipamento. O projeto de (HOY, 1985) consistiu em um sistema de automação, controlado por computador, de alimentação e controle de temperatura em uma chocadeira de ovos de peixe. Com isso foi possível aumentar a eficiência do criadouro de peixes onde o projeto de automação foi aplicado. Otimizando horas e uso e minimizando erros humanos



Figura 20 – Tanques de criação de peixes automatizados. Fonte:(COBLESKILL, 2017)

Também oriundo da agricultura é o exemplo de criação de vegetais pela aquaponia. Aquaponia é a combinação de cultura e criação de peixes e hidroponia, que é a criação de plantas sem o uso de substrato ou seja, solo, (SOURCE, 2017). Nesse método de criação de plantas presume-se um ciclo de geração e consumo de nutrientes: O material orgânico produzido pelos peixes e consumido por bactérias presentes na água que despejam nutrientes que são então utilizados para regar plantas. Essa por sua vez geram resíduos químicos que alimentam os peixes (SOURCE, 2017). Fazendeiros na Austrália estão utilizando automação para monitorar e operar os grande sistema de criação de peixes e vegetais pelo método da aquaponia (SCATTINI, 2017).

Um dos exemplos clássicos de aplicação de automação é o braço eletromecânico da onibus espacial da NASA, como pode ser observado na Figura 19, abaixo. Feito por uma companhia canadense o braço, *Canadarm*(junção de Canada com *arm*, braço em

inglês) consegue retirar completamente cargas-úteis de dentro da espaçonave facilitando muito as operações de carga e colocação de satélites em órbita em ambientes de gravidade mínima.

Com a certeza de aumento de eficiência, redução de erro humano na atividade, e barateamento geral da atividade, associado a realidade de uso cada vez maior de combustíveis em automóveis será apresentado, a partir do próxima sessão, um projeto de automação de planta de biodiesel em pequena escala, manual, de uso doméstico, proposta por um entusiasta do biodiesel.

3.5 Biodiesel

O biodiesel é um combustível de que pode ser misturado ao diesel comum em automóveis ou usado puro para aquecimento de ambientes (MACOR, 2009). Óleos de origem vegetal como, canola, girasol ou amendoim, Apesar de serem muito semelhante ao diesel de petróleo, não pode ser diretamente aplicado em motores automotivos por serem mais viscosos, Por isso esses óleos devem ter sua viscosidade alterada para que seja possível seu uso em motores de ciclo diesel (PRYDE; SCHWAB, 1983). Contudo, apresenta baixo índice de enxofre e pode ser considerado biodegradável. Quando misturado em proporções com o diesel comum se torna mais facilmente aceito pelos motores a combustão e a viscosidade de misturas diesel/biodiesel cresce quanto maior a proporção de biodiesel em relação ao diesel (INCRA, 2004)

O interesse pelo biodiesel tem crescido recentemente por ser de fácil produção e mais ecológico que o diesel comum.

Para que o biodiesel seja obtido é necessário haver uma reação de transesterificação, método mais comumente utilizado. Nessa reação, ácidos graxos presentes em óleos vegetais ou gordura animal reagem com álcoois de cadeia carbônica pequena (etanol, metanol ou propanol) junto com um catalisador de modo a formar um éster de diferente tamanho (biodiesel) e glicerol como mostrado no esquema da Figura 1 (LEUNG, 2006)

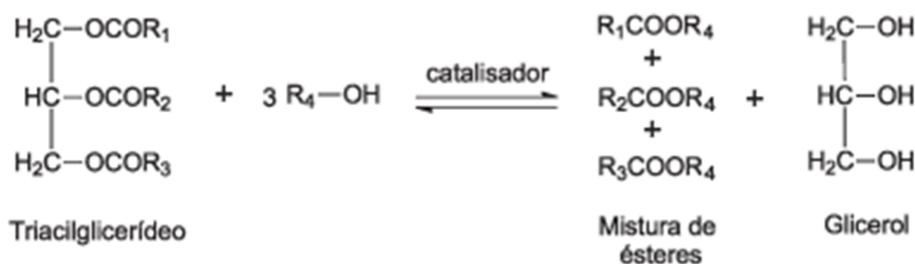


Figura 21 – Esquema de reação de transesterificação mostrando os mecanismos de obtenção do éster etílico, biodiesel. (EMBRAPA, 2010)

A catálise empregada na reação de transesterificação mostrada na Figura 1 pode ocorrer em meio alcalino, ácido ou enzimático. A razão estequiométrica da reação de produção do biodiesel é de três partes de álcool para uma parte de do triacilglicerídeo presente no óleo vegetal, preservando assim o Princípio da *Le Chatelier*). O catalisador que será aplicado e estudado na modelagem da planta de biodiesel neste trabalho é hidróxido de sódio, uma base forte (FELTRE, 1997). Porém, há uma ressalva em relação ao uso da reação básica, pois esta apresenta sensibilidade à água presente nos óleos, que podem reagir para formar sabão e água ao invés de biodiesel (reação de saponificação). Por isso, o (FEASIBILITYREPORT..., 2006) relata que óleos vegetais contendo menos de 5% de ácidos graxos são mais indicados para a obtenção de biodiesel. Outro ponto interessante para a produção de biodiesel é diminuir a quantidade de água na reação, pois esta pode afetar a eficiência do catalisador e reduzir a conversão da reação (FREEDMAN, 1986).

Pesquisas têm mostrado que o uso de zeólitas e/ou catalisadores obtidos de compostos naturais como glicose e cinza da casca de arroz, são catalisadores que, ao final da reação, podem ser recuperados e por isso são classificados como catalisadores heterogêneos (BORGES; OTERO, 2007). Os catalisadores mais largamente utilizados na indústria são catalisadores homogêneos (reagentes e catalisador na mesma fase), como hidróxidos de sódio e potássio. Nesse contexto de plantas de pequena escala, a aplicação da catálise homogênea básica tem sido empregada, pois a catálise homogênea apresenta grandes atividades catalíticas se comparada a heterogênea, custo baixo e condições simples de reação (RASHID FAROOQ ANWARS, 2010).

Plantas de pequena escala, em sua maioria, acomodam melhor a química da transesterificação homogênea, por ser menos custosa e por ter reagentes facilmente encontrados no mercado. Assim, o preço da reação diminui principalmente por causa do baixo custo do catalisador. Dessa forma, para este trabalho o será usada à catálise homogênea básica. (RASHID FAROOQ ANWARS, 2010).

Como é possível observar um dos subprodutos da reação de transesterificação é o glicerol (MERCK; CO, 1940). O glicerol é álcool obtido pela reação em

3.5.1 Produção de Biodiesel no Brasil

A produção nacional de biodiesel tem aumentando na última década. Segundo a ANP, é possível observar que a maior parte do biodiesel nacional é produzido na região Centro-Oeste do Brasil (ANP, 2008), principalmente nos estados de Goiás com a produção de cerca 700 mil m^3 (43,3% da produção nacional). Mas o estado brasileiro que mais produz biodiesel é o Rio Grande do Sul, com cerca de 1,1 milhões de m^3 e a Região Sul do país participa com a produção de 1,5 milhões de m^3 , seguidas pelas regiões Nordeste, Sudeste e Norte. A Tabela 1 abaixo mostra os dados de produção de biodiesel de cada Região brasileiras seguido do estado da mesma região com maior produção (ANP, 2016).

Tabela 2 – Produção nacional de biodiesel em 2015 por região geográfica nacional, (ANP, 2016)

Região	
Principal Estado Produtor de biodiesel	Produção (m^3)
Norte	66.225
Tocantins	62.085
Sul	1.512.484
Rio Grande do Sul	1.114.307
Sudeste	295.436
São Paulo	184.473
Centro Oeste	1.748.407
Goiás	695.252

Os principais fatores para a maior produção de biodiesel estar concentrada na Região Centro Oeste devem-se ao fato de a região ser a principal região produtora de soja no país, matéria prima responsável por 77,7% do total da produção de biodiesel no país (ANP, 2016). Já a soja cresce bem nessa região pois as temperaturas médias são altas durante o ano todo, além da grande disponibilidade hídrica da região e de chuvas sazonais no decorrer do ano, todos esses fatores facilitam ainda mais a produção da oleaginosa e, por conseguinte a produção de biodiesel (EMBRAPA, 2010).

3.5.2 Produção em Pequena Escala

A atenção pela produção de biodiesel em pequena escala tem crescido muito nos ultimamente. Não somente amadores ou interessados no assunto, mas também muitas universidades usam plantas pequenas de produção de biodiesel para fins específicos. Sendo o processo químico o mesmo que em escala industrial, experimentos e pesquisas podem

ser realizados em escala reduzida para validar estudos. Tem se feito muitas pesquisas com diferentes tipos de matéria-prima, ou pequenas alterações nos passos da produção de biodiesel em planta pequenas. Como, por exemplo, o estudo de (THANH, 2010) onde o autor modifica uma planta desse porte adicionando um agitador ultrassônico no tanque de reação com o objetivo de acelerar a transesterificação. Também o estudo de (SKARLIS E. KONDILI, 2012), que apresenta os aspectos economicos relacionados com aplicação de uma planta pequena de biodiesel em meio rural, na ilha grega de Creta. Ou o trabalho de (FORE PAUL PORTER, 2011) onde os autores estudam o balanço energético geral de uma planta de biodiesel de pequenas escala a base de óleo de canola. Esses são apenas uma amostra do que pode ser feito com essas plantas.

Para a produção em pequena escala pode-se utilizar plantas semi-automatizadas, onde o óleo é misturado ao álcool em condições controladas em um sistema onde um computador opera os processos e onde outros processos de produção ainda são realizados manualmente.

Um exemplo de produção manual é a planta piloto de biodiesel existente na Universidade de Brasília *campus* Gama (FGA - UnB). Esta planta possui capacidade de produção entre 50 e 200 litros por dia, quando em funcionamento, e é utilizada para ensinar os alunos da faculdade sobre produção de biodiesel em disciplinas do curso de Engenharias. A Figura 2, abaixo, mostra a parte externa da planta no *campus* da universidade. (FALLA, 2012)



Figura 22 – Planta de pequena escala de produção de biodiesel da UnB instalada no *campus* Gama.(FALLA, 2012)

O processo utilizado nessa planta para obtenção do biodiesel é a transesterificação de óleo cru ou de fritura coletado na cidade do Gama. O processo se baseia em algumas etapas, as quais podem ser descritas a seguir:

- Primeiramente, o óleo não filtrado é inserido no tanque de captação, onde é filtrado para a retirada de partículas grandes, geralmente pedaços de alimentos presentes no óleo.
- Em seguida, é aquecido para a retirada de traços de água que podem estar presentes nele.
- O álcool é misturado com o catalisador básico NaOH em um tanque próprio e essa mistura é colocada então no tanque do óleo filtrado e agitada por pás.
- Após a reação ocorrer, a mistura é levada para um tanque decantador (último tanque da planta), onde a glicerina, que é mais densa, se deposita no fundo e posteriormente é retirada por decantação e armazenada.
- Os vapores de álcool são reaproveitados no processo por meio de condensação. O álcool líquido é armazenado em um tanque próprio podendo ser reutilizado.
- No tanque reator, o biodiesel recém formado e sem a glicerina, é levado para processos finais de limpeza com água, onde os tanques de limpeza: "ácida", "básica" e "neutra" são utilizados para purificação do produto final. No tanque "ácido", as bases existentes no produto são neutralizadas. O banho "básico" faz o mesmo, porém com ácidos. A limpeza "neutra" dilui substâncias solúveis ainda restantes. As águas dos banhos são retiradas por decantação devido a diferença de densidade entre elas e o biodiesel.

3.5.3 Fluxograma do Processo de Produção de Biodiesel

O fluxograma abaixo apresenta um exemplo dos passos mencionados na subseção anterior. Os reagentes e produtos estão em amarelo, as setas indicam o avanço do processo, e as etapas estão em azul. Esse fluxograma não segue a norma de construção de fluxogramas que será apresentada mais adiante no trabalho. Isso não altera a capacidade de o fluxograma ser compreendido na sua totalidade.

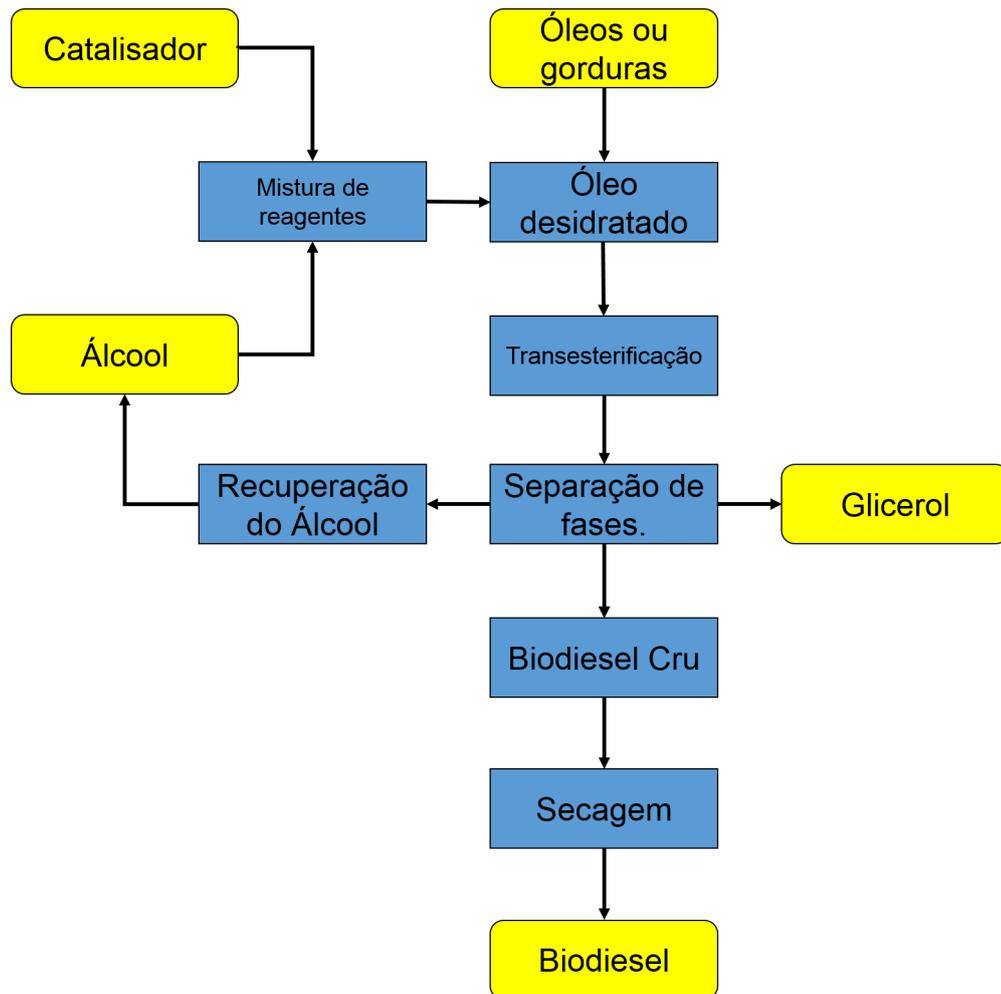


Figura 23 – Fluxograma simplificado de produção de biodiesel com reaproveitamento do metanol.

Atualmente os processos da planta piloto da UnB-FGA são manuais e podem ser automatizados para melhorar a qualidade e diminuir o custo de operação e produção de biodiesel. O projeto segue o mesmo processo de produção apresentado e, através da simulação de válvulas, medidores e atuadores foi possível elaborar, em computador, uma planta que apresente comportamento comparável ao realizado manualmente.

3.5.4 Estado da Arte em automação de produção de biodiesel em planta de pequena escala

Na tese de mestrado de (WORM, 2012), o autor elaborou projeto de automação em uma planta de produção manual existente em sua universidade. A planta que ele usou em seu projeto também utilizou a rota metílica para produção de biodiesel e, como reagente, óleo vegetal. Porém, essa planta dispunha de um duplo processo de transesterificação, ou seja, o óleo vegetal passa duas vezes pelo tanque de reação química e isso aumenta a quantidade de combustível produzido. O projeto de (WORM, 2012) não possui sistema

supervisório bem desenvolvido, apenas uma pequena tela para monitorar o funcionamento acoplada a um computador de uso industrial (CLP, esse equipamento será melhor descrito adiante no trabalho) que informa em qual etapa está o processo, além de alguns alarmes. Em seu projeto, os atuadores são somente as bombas e aquecedores. As válvulas, porém, continuam sendo operadas manualmente, possuindo apenas um sensor acoplado que informa ao CLP a posição em que se encontram, fechada ou aberta.

No artigo de (BIRCHAL, 2013), os autores tiveram acesso a uma planta semi-automática de produção de biodiesel em quantidade laboratoriais de produção. A planta foi originalmente usada em pesquisas para descobrir potencial de produção de biodiesel, utilizando diferentes reagentes, óleos ou catalisadores. No trabalho dos autores foi elaborado um sistema supervisório de controle do processo programado para modificar as condição de reação, tempo e temperatura. A planta dos autores é usada em pesquisas e o usuário pode, através do supervisório, modificar o tempo e as temperaturas de reação para cada tipo de óleo usado.

No artigo dos americanos (ELSAWY, 2012), os autores, professores universitários, propuzeram aos seus alunos de graduação o projeto e montagem de uma planta automatizada de produção de biodiesel para aprovação na disciplina. A planta é muito parecida com a que será apresentada nesta obra, quase em sua totalidade. Porém, nos requisitos de automação, é previsto que o controle da reação de transesterificação seja adaptável para cada tipo de óleo usado. Para isso é necessário ser realizado processo de titulação do óleo antes mesmo de sua inserção na planta. Os valores de pH são comparados com uma tabela e as temperaturas de reação, inseridas no sistema. Apenas o processo de colocação do metanol em contato com óleo é manual, feito por meio de sifão manual. Todos os outros transportes são feitos por bombas hidráulicas.

O trabalho de (MALONE MATTHEW HOLMAN, 2014) foi criar uma planta de produção de biodiesel por rota metálica com apenas um passo de transesterificação. O processo não possui sistema supervisório e todo o comando da automação é realizado pelo CLP. Os atuadores são bombas, aquecedores e válvulas. Nessa planta o biodiesel é agitado durante a reação. A mixagem é feita por meio de um agitador ultrassônico operado pelo CLP.

Flournoy Green Tech (FLOURNOY, 2017) possui o mais próximo do estado da arte da produção automatizada em pequenas escala de biodiesel. Sua planta é totalmente controlada por um CLP e sistema supervisório montados na planta. A planta é móvel, por meio de rodas de carro em sua estrutura, a planta necessita apenas ser conectada aos reservatórios de óleo vegetal, metanol, e a tanques de saída de glicerol e biodiesel para funcionar. Após o processo de titulação do óleo vegetal ser feito, o usuário aperta o botão de início do processo e todo o restante é operado pelo CLP. O nível de automação é tal que o evento de parada do processo de extração de glicerol formado no tanque de reação,

é feito por meio de sensor ótico que ativa quando a coloração do líquido no tubo muda na fronteira da fase entre os líquidos.

Além disso, muitos estudiosos da produção autônoma de biodiesel propõem projetos de plantas de biodiesel em livros de produção caseira de combustível. Esse é caso da planta que será usada neste trabalho onde será examinada e trabalhada a proposta de (KEMP, 2006).

Para isso geralmente as plantas possuem dois tanques um para limpeza do óleo que será utilizado e outro para ocorrer a reação de transesterificação. Algumas plantas mais elaboradas propõem outro tanque onde o catalisador é misturado com o álcool antes de entrar em contato com o óleo no tanque de reação. Outras até apresentam dispositivo para recepção do álcool que não reagiu com o óleo (KEMP, 2006).

4 Metodologia

Foi escolhido o livro *Biodiesel Basics and Beyond* de autoria de H.R. Kemp (KEMP, 2006) para o aprofundamento dos conhecimentos em projeto de plantas de biodiesel em pequena escala. Na obra, o autor descreve minuciosamente o seu projeto de planta de produção de biodiesel construído em sua residência. Do passo-a-passo de produção de biodiesel descritos no livro foi extraído o fluxograma, que foi apresentado em capítulos anteriores. O fluxograma é, como explicado, uma ferramenta de organização de etapas de um processo que permite que ele possa ser realizado sem erros, se as etapas forem corretamente seguidas. Com o fluxograma foi possível identificar em quais etapas são necessários sensores e atuadores e que tipo de sensores e atuadores foram usados.

Para a planta de biodiesel proposta por (KEMP, 2006), foi feito também o diagrama de instrumentos utilizando as regras apresentadas no início deste documento. Os reagentes e produtos estão apresentados na coloração semelhante à cor da substância original.

Em paralelo com o desenvolvimento do fluxograma, foram realizadas pesquisas teóricas em química sobre produção de biodiesel por meio de *papers* publicados em periódicos de renome, pois o livro de (KEMP, 2006) não apresenta base acadêmica suficiente. Com os resultados das pesquisas, foram elaborados os capítulos iniciais deste documento, contendo informações embasadas sobre a produção de biodiesel garantindo respaldo acadêmico necessário para esta publicação.

O mesmo fluxograma foi transformando em lógica *ladder*, usando o software **TIA V12** da *Siemens*. Cada passo foi traduzido em linhas de código do programa orientando o software a cumprir perfeitamente o que (KEMP, 2006) descreveu em seu livro. Cada sensor e atuador descrito foi implementado no algoritmo transformado as etapas manuais em ações de atuadores digitais que foram simulados. Para o *software* desenvolvido foram estipulados os seguintes requisitos:

- bombear o óleo vegetal para o tanque de evaporação;
- circular o óleo dentro do tanque;
- bombear o óleo para fora do tanque;
- coordenar o funcionamento das válvulas relacionadas;
- medir o nível do óleo dentro do tanque de secagem;
- conferir se as válvulas do sistema reação estão nas posições corretas;

- conferir a temperatura durante todo o processo;

Após o processo de secagem, o óleo, purificado, segue para o tanque de reação. No segundo tanque do planta ocorre a reação de transesterificação onde o biodiesel surge no processo. Os requisitos do tanque de reação são

- verificar volume do óleo do tanque;
- verificar posição das válvulas;
- bombear o metanol para dentro do tanque;
- verificar volume de metanol;
- monitorar temperatura de reação;
- realizar o bombeamento de reação;
- operara o aquecedor para atingir os valores de temperaturas estabelecidos para esse tanque
- verificar posição das válvulas para retirada do glicerol;
- monitorar volume final de biodiesel produzido, sem glicerol;
- verificar se o condensador de metanol está ligado;
- bombear o biodiesel para o tanque de filtragem;

O biodiesel bruto segue finalmente para o tanque de filtragem onde é purificado para uso. Antes de entrar no tanque o biodiesel atravessa um processo de limpeza com água e bolhas de ar. Os requisitos dos reservatórios de todos o processo final de filtragem e limpeza são apresentados abaixo.

- Operar o compressor de ar (para fazer bolhas de ar);
- Operara o aspersor de água;
- Conferir temperatura do tanque de filtragem;
- Operar a circulação do biodiesel.
- Verificar o volume do tanque de filtragem.
- Operar o aquecedor de ar do terceiro tanque.
- Bombeamento de saída do biodiesel.

O programa feito em CLP da planta contou com simulação das variáveis de temperatura e volume, a implementação feita em um código que emulou a variação dessas grandezas. Para cumprir este requisito, foi necessário o uso de diferentes blocos de funções no programa, de modo que, quando associados, simulam valores de volume e temperatura dentro dos tanques da planta. As variáveis foram simuladas individualmente, não havendo relação qualquer entre elas. As variações dos valores máximos e mínimos das variáveis geradas foram dentro de patamares de valores máximos e mínimos preestabelecidos. Em seguida foi feito o sistema *SCADA* no software **Studio E3** da *Elipse*. Nessa etapa todos os elementos visuais planta de (KEMP, 2006) tanques, válvulas, tubos, dentre outros, foram construídos dentro do programa.

Além da estética visual da planta foram simuladas as movimentações de funcionamento da planta: movimento do biodiesel e reagentes pelos tubos, aumento e diminuição dos volumes dos tanques, pás do agitador mecânico, etc. Também foram implementados alarmes úteis para a planta (alarmes de temperatura e volume) além de telas com gráficos do sistema e telas sinóticas de cada tanque.

5 Projeto de Automação

Nessa seção serão apresentados os componentes da planta de produção de biodiesel que não necessitaram de implementação em computador para existirem. Estão aqui contidos os requisitos do sistema, o fluxograma final e detalhado da planta bem como os diagramas de instrumentos e diagrama de chão de fábrica próprios do projeto.

5.1 Fluxograma do Processo

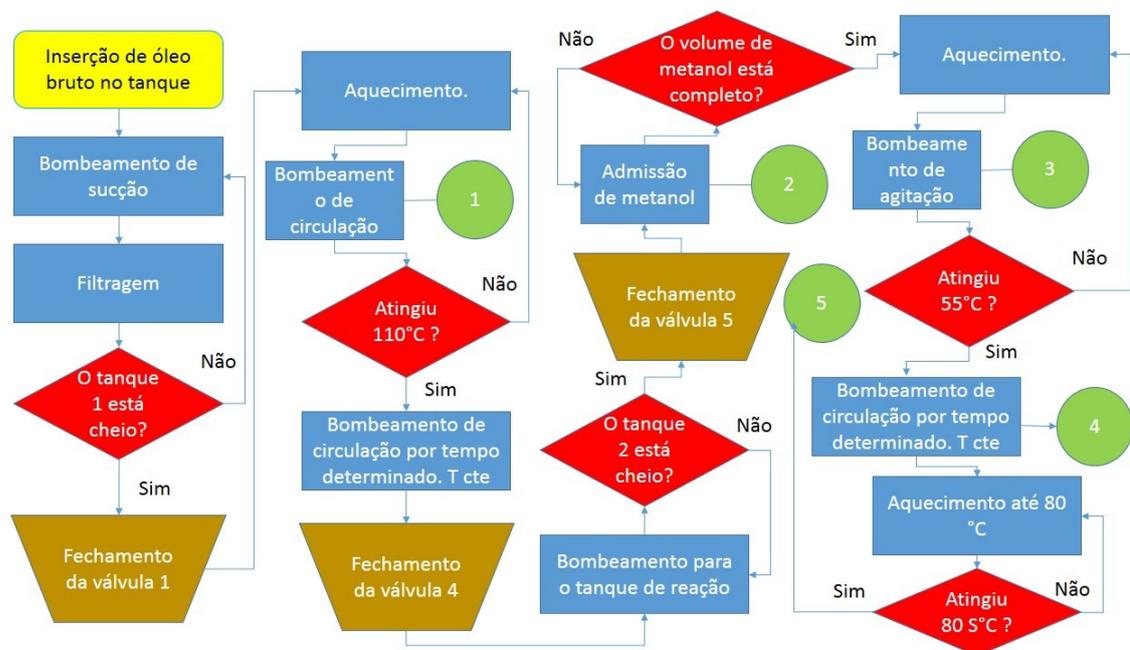


Figura 24 – Fluxograma completo do processo de produção de biodiesel como descrito por (KEMP, 2006) em seu livro *Biodiesel: Basics and Beyond*.

As etapas que são mostradas na Figura 23 são descritas e enumeradas a seguir.

Etapa 1 a 3: O óleo bruto é inserido na planta por meio de sucção da bomba um. Essa bomba é acoplada em filtro de óleo automotivo para purificação da matéria prima.

Etapa 4: Um bloco pergunta para saber se o primeiro tanque está cheio.

Etapa 5: Um bloco de operação manual mostra que é necessário fechar a primeira valvular, isolando o primeiro tanque para o aquecimento.

Etapa 6 a 9: Ciclo de aquecimento: com a válvula 3 e 4 abertas. O tanque 1, com uso de aquecedores elétricos aquece o óleo vegetal até 110 °C para evaporação de água.

Um bloco de tomada de decisão existe para o sistema atingir a temperatura desejada sem avançar pela lógica.

Etapa 10: Ciclo de bombeamento. Após atingida a temperatura estabelecida, o sistema continua com o ciclo de bombeamento mantendo a temperatura constante. O limitador agora é a massa do sistema. Ou seja, até que a massa de água seja reduzida até um terço.

Etapa 11 a 15: Fechamento da válvula 4. A válvula que permite que o óleo permaneça dentro do primeiro tanque é fechada e, dessa forma, o óleo pode ir para o segundo tanque. A condição existe até que os sensores do segundo tanque confirmem que o volume está completo no segundo tanque.

Etapa 16 e 17: Correspondem à admissão de metanol com catalisador no sistema para a reação de transesterificação ocorrer. O processo não é todo descrito somente através dessas duas etapas. Existe o processo de adição do catalisador ao metanol. Esse processo é feito manualmente. Ele está descrito através do "círculo" de número 2. Círculo nº2: Descrição do processo de adição do metanol. Nesse conjunto de etapas, o metano é colocado em um tanque próprio, diferente do tanque de reação e junto com o catalisador. Os dois são misturados por um agitador mecânicos com pás para depois serem inseridos no tanque de reação.

Parte 18 a 20: Entre a parte 18 e 20 está a reação de transesterificação propriamente dita. Aqui são fechadas as válvulas necessárias para haver a ciclagem dos reagentes. Para ocorrer a reação, as válvulas abertas ou fechadas estão descritas no círculo de número 3. A reação ocorre com temperatura conhecida de 55 °C.

Parte 21 a 25: Reobtenção do metanol. Após o fim da reação de transesterificação, o metanol que restou pode ser condensado e reutilizado. Para isso o volume interno do tanque de reação é novamente aquecido, agora para 80 °C. A temperatura de ebulição do metanol, de acordo com a IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) é de cerca de 78 °C. Elevando para além dessa temperatura podemos reaver a parte do metanol que não reagiu com o óleo vegetal. Através do uso de um condensador, os vapores de metanol elevam-se do tanque de reação e são condensados e armazenados em tanque próprio.

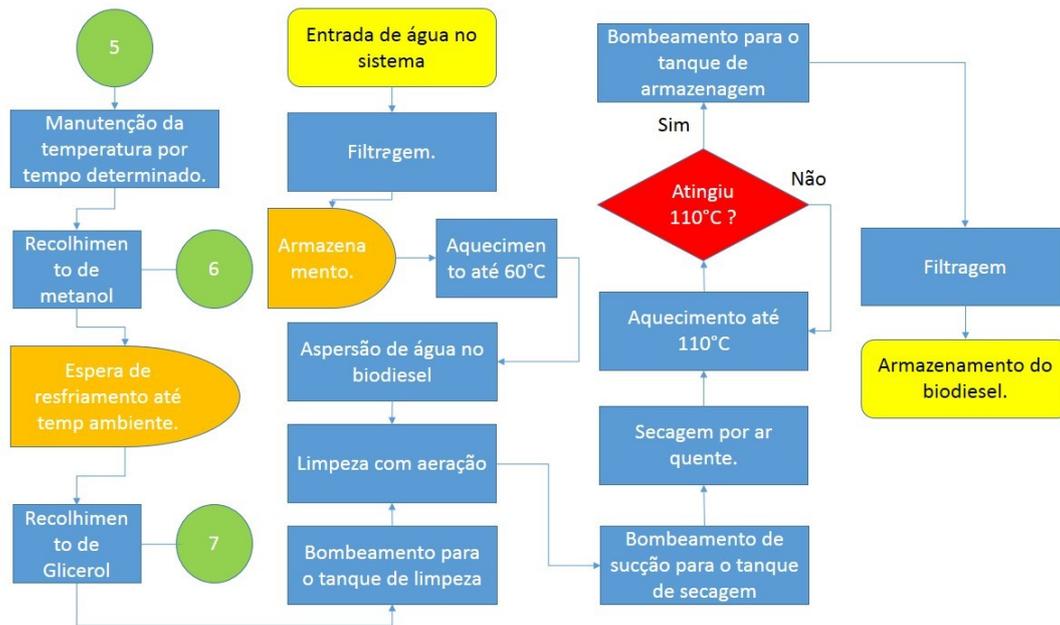


Figura 25 – Fluxograma completo do processo de produção de biodiesel como descrito por (KEMP, 2006) em seu livro *Biodiesel: Basics and Beyond*.

As etapas que são mostradas na Figura 24 são descritas e enumeradas a seguir, dando continuidade ao fluxograma iniciado.

Etapa 26: Etapa de espera até os termômetros do tanque de reação informarem que o mesmo se encontra na temperatura ambiente.

Etapa 27 a 30: Etapa de limpeza do biodiesel. Após a retirada do glicerol, o restante do biodiesel é encaminhado para o penúltimo tanque do processo, o tanque de limpeza. Nesse tanque, o biodiesel é limpo com bolhas de ar e vapor de água. Com ajuda de uma "borbulhador" tocado por um compressor, o ar é injetado no biodiesel. Ao mesmo tempo jatos de água são aspergidos na superfície do volume de biodiesel. Esse processo serve para limpar o biodiesel de impurezas solúveis presentes no produto.

Etapa 31 a 32: Aquecimento de secagem. Um ciclo de aquecimento é realizado para que haja evaporação de água que entrou no sistema durante o processo de lavagem. Esse processo é feito por tempo pré-determinado utilizando-se um ventilador com resistências elétricas.

Etapa de 33 a 35: Armazenamento final. O biodiesel é bombeado para o tanque onde ficará armazenado até o uso.

Na Figura 25, abaixo é possível observar informações adicionais ao fluxograma de (KEMP, 2006). Nesse adendo são expostas as diversas válvulas que são operadas durante o funcionamento da planta desenhada por ele.

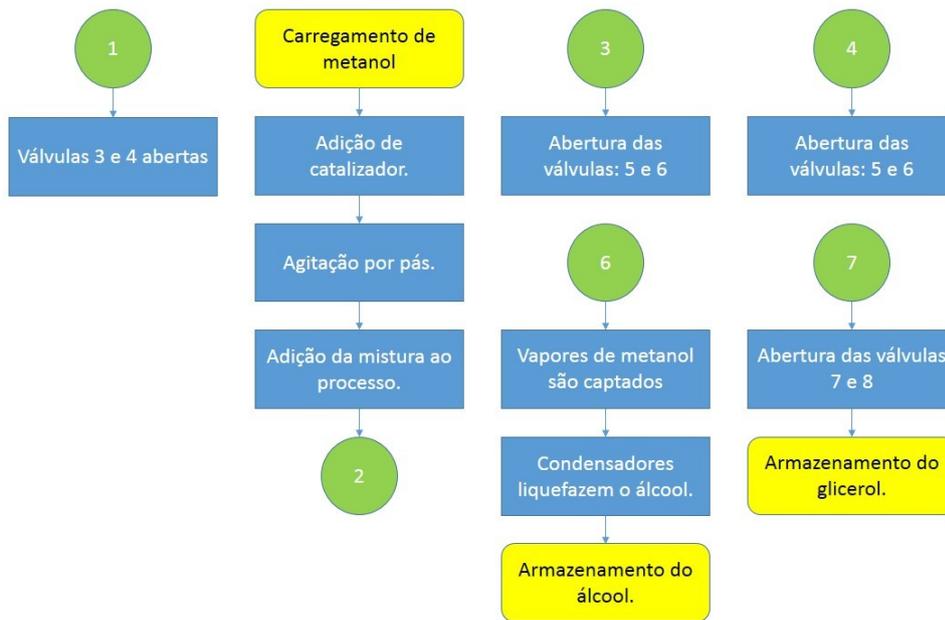


Figura 26 – Trecho final do Fluxograma proposto por (KEMP, 2006) nessa etapa estão as válvulas corretas da planta que ele propõe

Da Figura 26 até a Figura 33 são mostrados os trechos do fluxograma onde cada sensor ou atuador é usado. O intuito dessas figuras é associar o sensor correto com a função correta contribuindo assim para melhor entender o fluxograma anteriormente exposto.

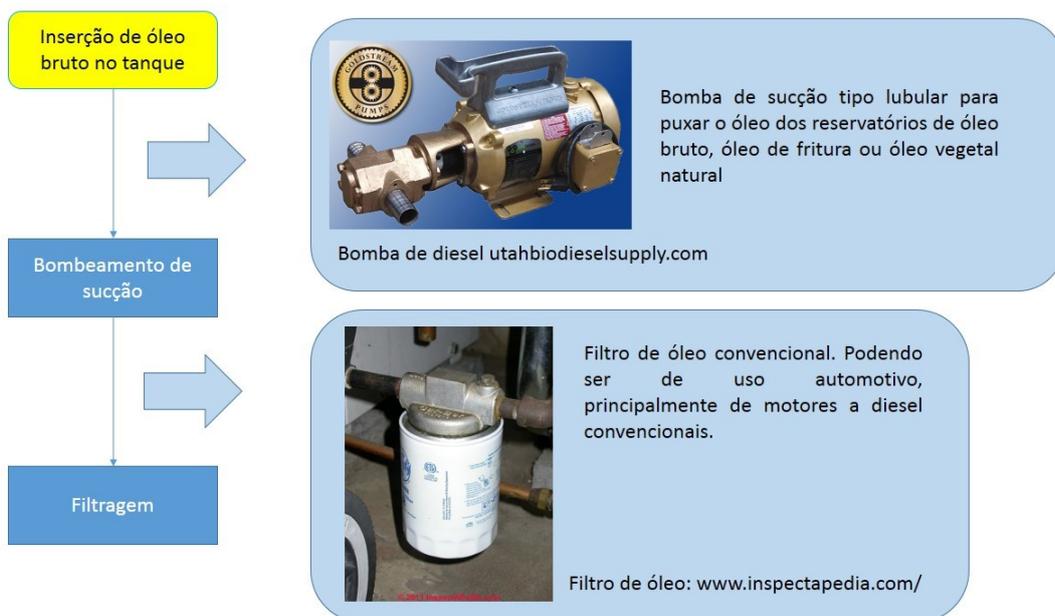


Figura 27 – Eventos onde são usadas as Bombas e Filtros presentes no Sistema.

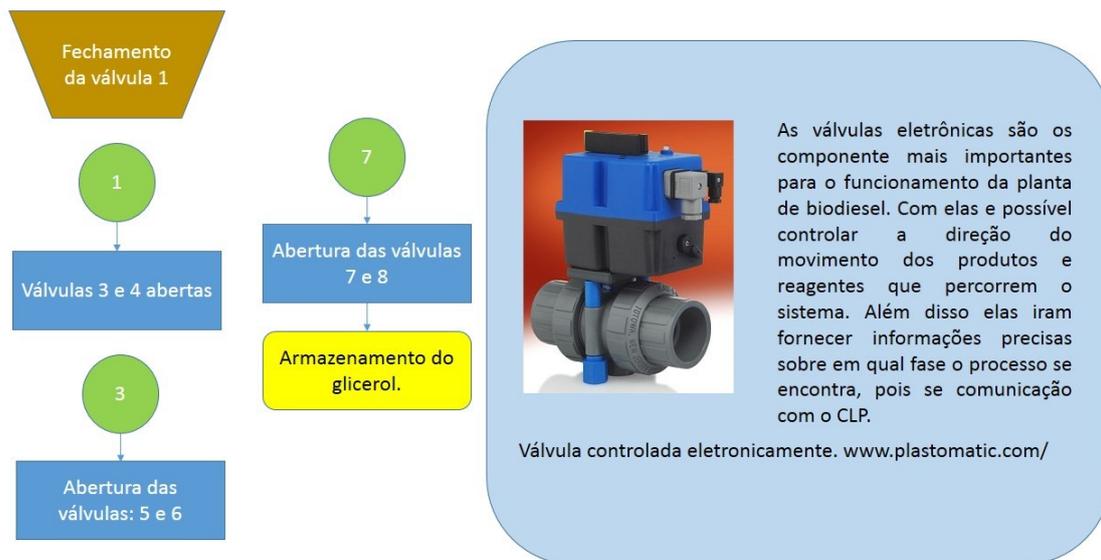


Figura 28 – Eventos no fluxograma onde são usadas válvulas.



Figura 29 – Eventos de decisão onde termómetro são usado para ler temperaturas.

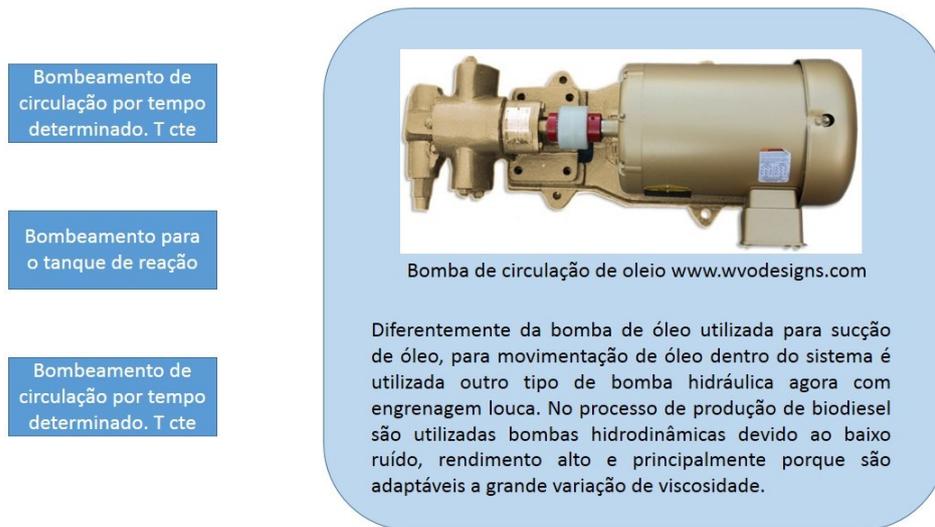


Figura 30 – Eventos onde são usadas as Bombas de circulação no Sistema.



Figura 31 – Eventos de decisão onde medidores de nível são usado para ler os volumes dos tanques



Figura 32 – Eventos de operação do tanque de *mixagem* de etanol

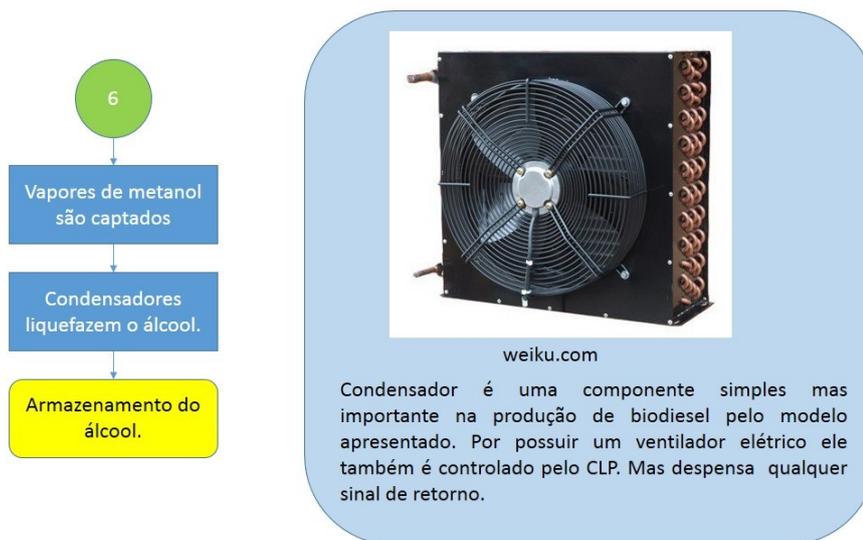


Figura 33 – Eventos de uso do condensador de etanol



Figura 34 – Eventos de uso dos aquecedores.

5.1.1 Diagrama de instrumentos

As siglas são: FAME, *Fat Acid Methyl Ester* ou seja biodiesel; OH e *NaOH*, metanol mais o catalisador básico; GLOL, glicerol; WVO *Waste Vegetable Oil*, óleo vegetal Bruto e finalmente, água. Os tanques estão numerados na ordem de uso: Tanque 1, tanque de purificação; Tanque 2, tanque de reação; Tanque 3, tanque de filtragem. As válvulas são simbolizadas pelas borboletas, símbolo comumente usado em diagramas de instrumentos para representar válvulas. As linhas presente no diagrama possuem setas que representam o sentido percorrido pelos líquidos dentro da planta. Dentro dos tanque 1 e 2 estão presentes os elementos de aquecimento e, no tanque 2, por fora, é possível ver o condensador de metanol. Os cilindros azuis com hastes pretas representam as bombas hidráulicas, como mostrado na figura abaixo:

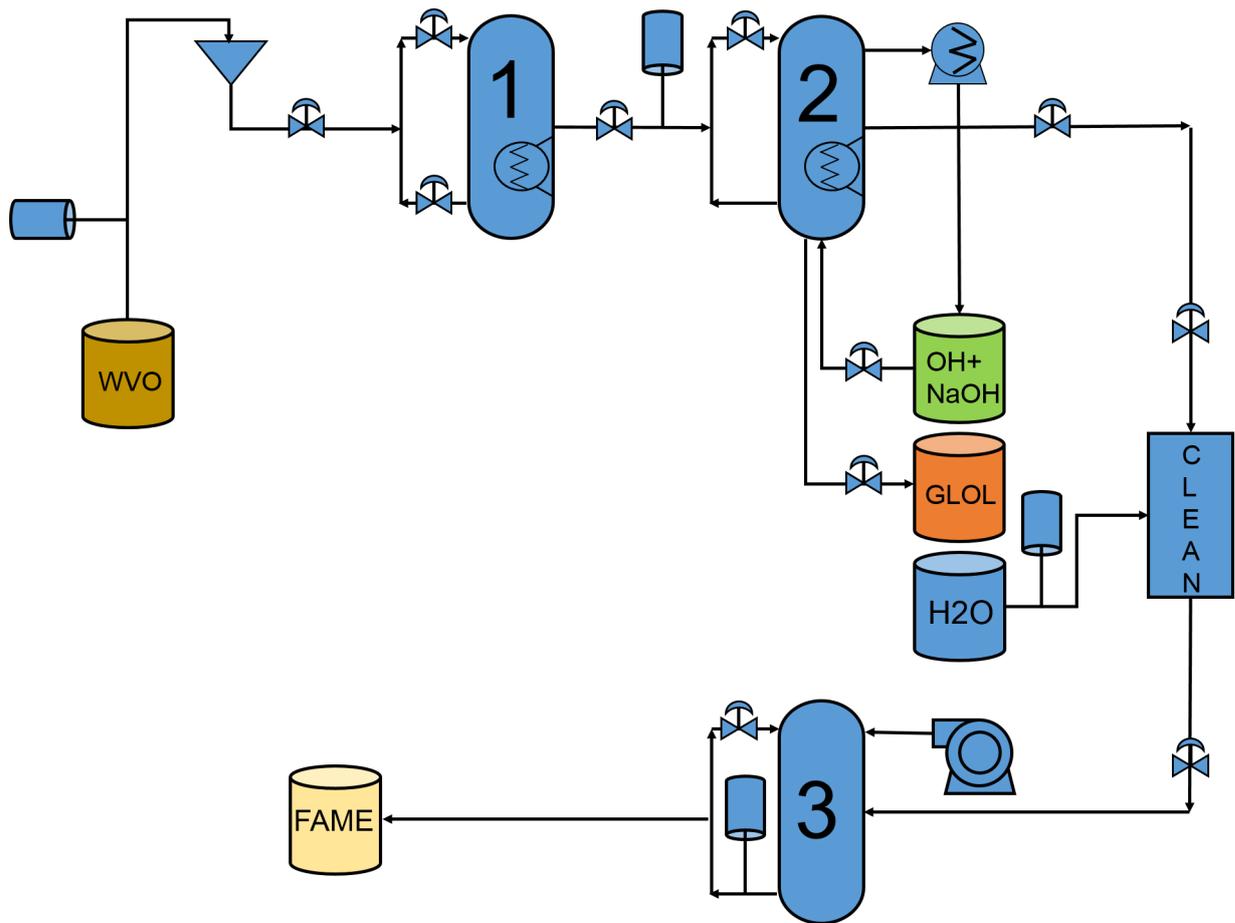


Figura 35 – Diagrama de instrumentos da planta de biodiesel.

5.1.2 Layout de chão de fábrica da planta

Seguindo as normas apresentadas anteriormente o autor fez, também, um *Layout* de chão de fábrica, preliminar, da planta desenvolvida por (KEMP, 2006).

O espaço é uma sala retangular de de 5 metros de comprimento por 4 metros de largura. Ao fundo há um tablado onde estão apoiados os três principais tanques da planta. O óleo vegetal bruto fica em um recipiente no chão da sala. Na parte externa da sala existe um ambiente onde fica armazenada a água de limpeza do biodiesel e esse local é conectado à sala principal por meio de um cano de água. O condensador de álcool fica preso na parede atrás da planta e, finalmente, o biodiesel produzido fica armazenado em tanque similar ao de óleo bruto no chão da sala. O *layout* é mostrado a seguir.

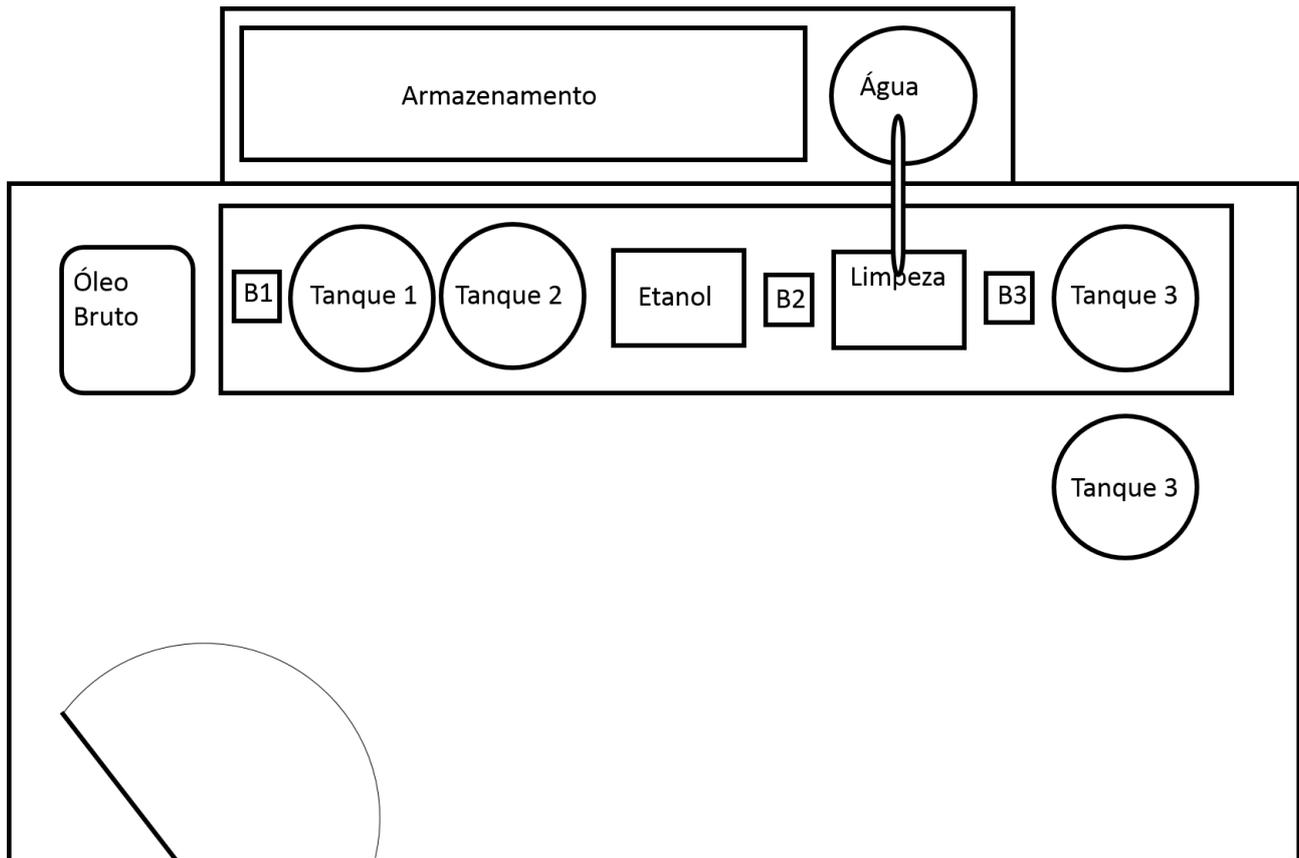


Figura 36 – *layout* de chão de fábrica da planta de biodiesel.

Nas sessões seguintes serão apresentadas as implementações em computador e em CLP do sistema simulador do processo de produção de biodiesel. Inicialmente será apresentado o projeto e desenvolvimento do sistema supervisorio SCADA desenvolvido para a planta. Nas sessões seguintes está contida a parte visual do processo de produção, sinótico, os alarmes e mostradores úteis para a operação da planta além dos gráficos do sistema.

Será apresentado em seguida como foi feita a comunicação entre o CLP e o supervisorio do sistema. Como foram ajustadas os *tags* de comunicação e como foi *setado* o *M-Prot*, *software* de comunicação entre o CLP e SCADA. Por último será mostrado o projeto e desenvolvimento da programação do sistema de simulação em linguagem ladder feito no *software* TIA V12 da *Siemens*, esse sistema simula todas as variáveis presentes no projeto, como temperatura e volume dos tanques e, também, avança cada etapa do processo automaticamente.

5.2 Programação de CLP

Nessa sessão do trabalho será apresentado como foi feita a programação em linguagem *Ladder* do Controlador Lógico Programável utilizando o *software* TIA V12 (*Totally Integrated Automation*). A sessão se divide em três sub-tópicos:

1. Simulador do processo, onde será explicado como foram simuladas as variáveis de temperatura e volume da planta
2. Controle do processo, onde será mostrado o código em *Ladder* feito para controlar a planta de biodiesel.
3. E Comunicação com o SCADA, onde será apresentado como foram feitos os ajustes de comunicação entre essas duas partes do processo.

5.2.1 Simulação de Variáveis

O núcleo principal da programação em linguagem *Ladder* da planta de biodiesel foi a simulação de variáveis analógicas. Um dos requisitos do projeto foi o CLP não possuir sensores analógicos na sua composição, ou seja, os valores de volume e temperatura seriam simulados virtualmente dentro do controlador, e não medidos. Pois não há planta física envolvida no processo.

Para cumprir o requisito, foi necessário o uso de diferentes blocos de funções no programa, de modo que, quando associados, simulam valores de volume e temperatura dentro dos tanques da planta. As variáveis foram simuladas individualmente, não havendo relação qualquer entre elas. Cada volume que aumenta, cada temperatura que varia, varia sem necessitar de dependência de valor de outra variável simulada no sistema.

Nas etapas de aumento de volume e temperatura foi usado o bloco de incremento: *INC*. O bloco *INC* possui função interna que quando ativada pelo barramento virtual do CLP gera valores inteiros crescentes. Esses valores são acrescidos de uma unidade a cada passo do relógio interno do CLP iniciando em, aproximadamente, -33000 indo até +33000 unidades. Quando o valor máximo é atingido, o contador retorna para o valor inicial, -32667 e continua repetindo o processo desta forma em *loop*, até o barramento ser desligado.

A figura abaixo onde é apresentado o bloco *INC* e, à esquerda, o barramento virtual.

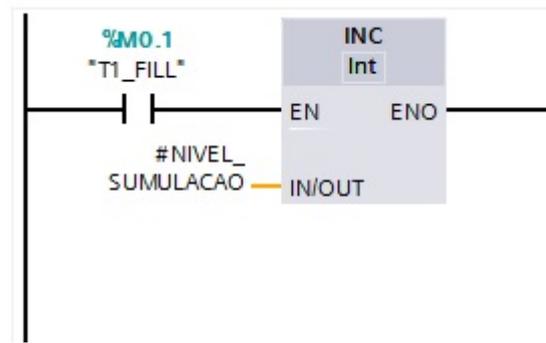


Figura 37 – Função *INC* no programa *LADDER*

Para funções de decremento de valores utilizou-se a função *DEC*. A função *DEC* opera exatamente igual a função *INC*, porém decrescendo o valor do *tag*. Ao alcançar o valor mínimo do *loop*: -32667, inverte o sinal do número e continua até o barramento ser desligado.

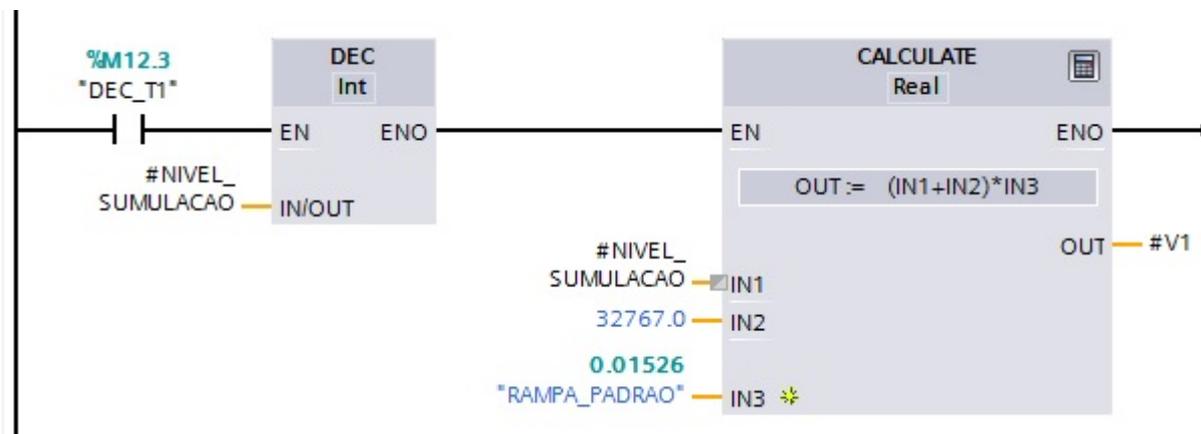


Figura 38 – Função *DEC* no programa *LADDER*

Os blocos *INC* ou *DEC*, funções do tipo contador, atribuem o valor gerado a um *tag* associada à eles. Como a variação interna das funções contador não representa valores reais de volume ou temperatura, é utilizada a função *CALCULATE* para transformar matematicamente o valor do *tag* em valores representativos das grandezas simuladas. A função *CALCULATE* realiza operações matemáticas com os valores de suas entradas: IN1, IN2, IN3, etc, como mostrado na figura abaixo.

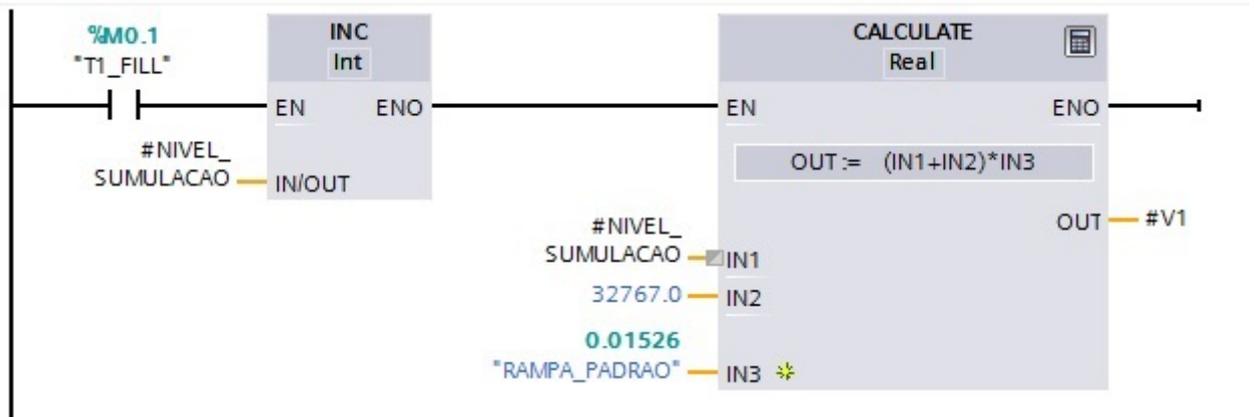


Figura 39 – Função *INC* e *CALCULATE* no programa *LADDER*

Exemplo: No primeiro tanque, o tanque de limpeza, o volume recebido de óleo vegetal é de 200 litros. Para simular o volume variando de 0 à 200 "litros", primeiramente adicionou-se o valor de +32767 ao tag '# NIVEL SIMULCAO', tag gerada pelo bloco *INC*. Dessa forma, o menor valor do tag passa de -32767 para 0. Conseqüentemente, seu maior valor também é alterado, valendo agora: 65534. Para o patamar superior ser 200, ao invés de 65534, é necessário criar uma função linear com variação conhecida.

A variação por tempo das funções dos blocos contador foi obtida através da medição do tempo total de um *loop* da função: o tempo necessário para reiniciar o contador interno. Utilizou-se o mesmo tempo do *loop* para criar uma função cujo valor máximo fosse 200, como mostrado na figura abaixo. Em posse das duas funções, original e ideal, obteve-se a razão entre seus coeficientes de variação. O resultado foi 0.01526, esse valor e os coeficientes de variação das funções são mostrados no gráfico abaixo. Esse valor foi atribuído a uma das entradas da função *CALCULATE*, com isso foi possível gerar a saída: '# V1' (Volume tanque 1) que varia de 0 à 200 litros, simulando um comportamento real de função de variação de volume. O mesmo procedimento foi utilizado para as variáveis de temperatura.

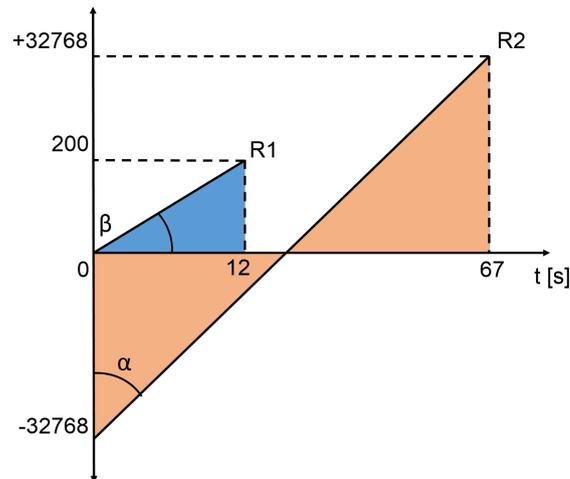


Figura 40 – Função de variação de valor de INC por tempo

As operações matemáticas de divisão feitas dentro da função CALCULATE geram números reais como resultado. Apesar dos valores calculados serem matematicamente corretos, é interessante para o usuário que a parte decimal seja eliminada. Quando a parte decimal for superior a 0.5 arredonda-se para cima, caso a parte decimal seja inferior a 0.5 o arredondamento é feito para baixo, ou seja para o número inteiro menos mais próximo. O sistema SCADA, que será apresentado mais adiante neste trabalho, não necessitou de muita precisão em seu funcionamento, já que o objetivo é realizar simulação geral do sistema de produção de biodiesel, utilizando tanques de 200 litros. Partes decimais de números próximos de 200 não fazem diferença alguma no funcionamento, representado erro na escala de 10^3 . Para realizar o arredondamento foi usado o bloco de função: *CONV* (*conversion*). O bloco *CONV* transforma entradas com valores reais em saídas do conjunto dos números inteiros. O *tag* de saída da função é o *tag* enviado ao *SCADA* para representar os valores de volume ou temperatura dos tanques. A função *CONV* é mostrada a seguir.

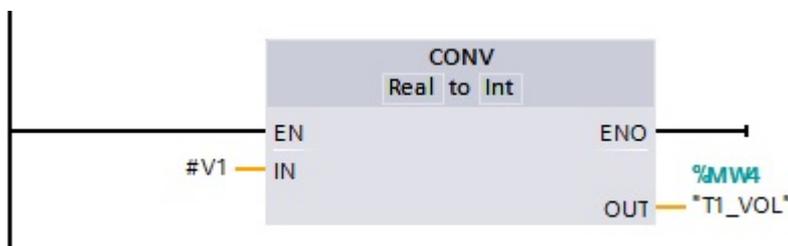


Figura 41 – Função *CONV* (*conversion*)

Dentre todos os tanques da planta de produção de biodiesel, um se destaca por sua individualidade, o tanque de etanol. O tanque de álcool é o único na planta que inicia com volume interno diferente de zero, o volume inicial de etanol é de 40 litros. A variável

MOVE atribui o valor do volume para o tanque assim que o programa é iniciado. Sendo assim, não há bloco *INC* associado a nenhum passo envolvendo o tanque de etanol, apenas *DEC*. As figuras a seguir apresentam, a função *MOVE* atribuindo duas vezes o valor inicial do reagente em 40 litros, a função *DEC* e *CALCULATE* relativas ao decréscimo do volume desse tanque e a imagem do tanque de álcool no supervisor.

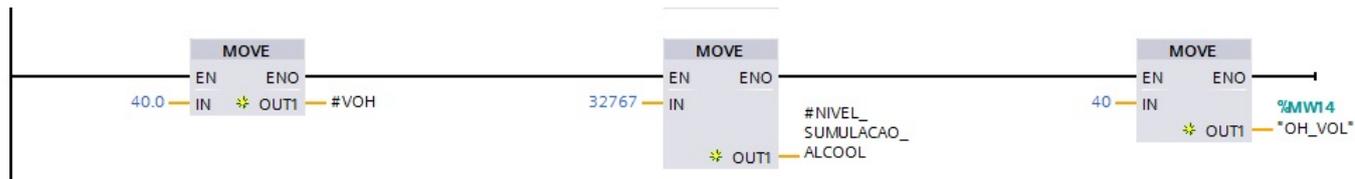


Figura 42 – Funções *MOVE* referentes ao tanque de de álcool

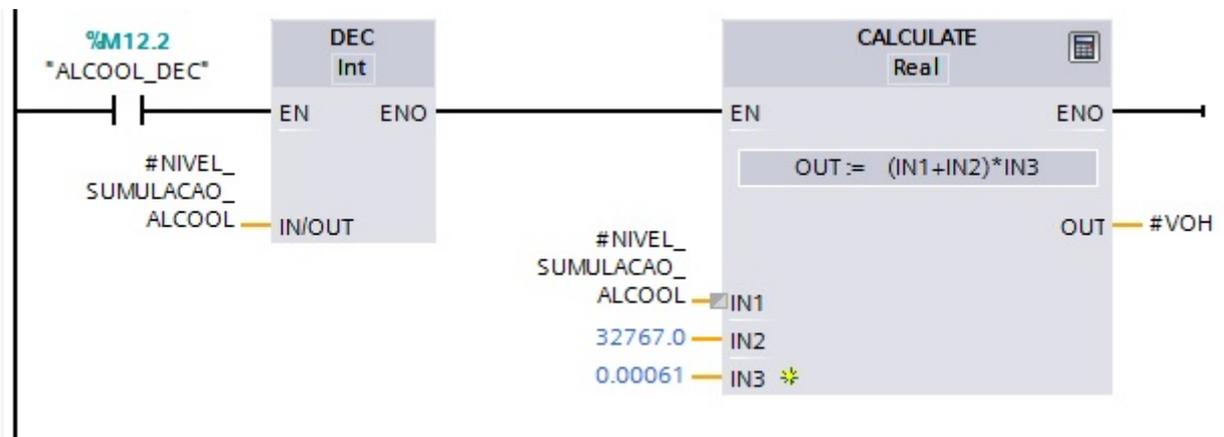


Figura 43 – Funções *DEC* e *CALCULATE* do tanque de alcool

5.2.2 Controle do processo

No início do programa *LADDER*, os valores iniciais das variáveis são declarados no sistema. Essas constantes podem ser utilizadas nas operações matemáticas da função *CALCULATE*, como a constante: 0.01526. Os valores mínimos de volume e temperatura (0.0 litros e 0 Graus, por exemplo) são atribuídos pela função *MOVE*, que atribui valores a uma constante interna do programa, ou *tag*, colocado em suas entrada.

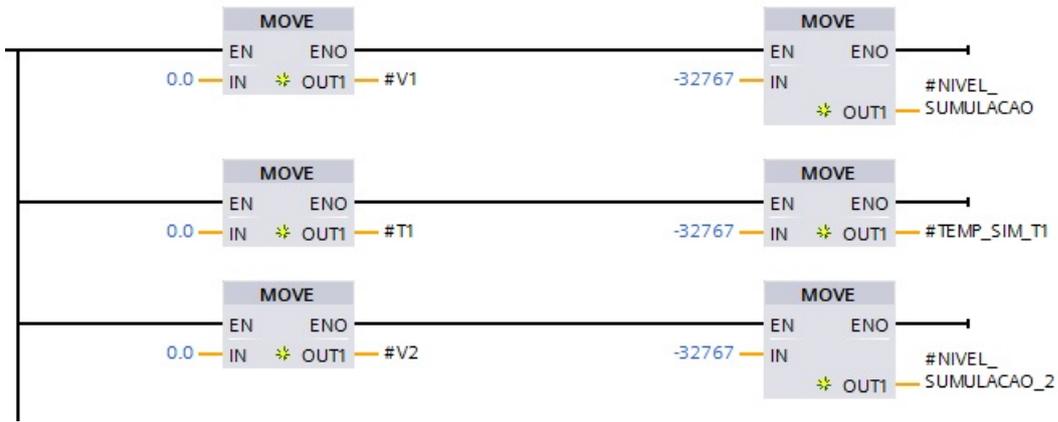


Figura 44 – Conjunto de várias Funções *MOVE*

As etapas da lógica *LADDER* são muito rápidas para serem observadas pelo usuário e duram cerca de frações de segundo devido ao *scan* do próprio *CLP*. Como explicado anteriormente, alguns passos que ocorrem dentro do programa simulam variáveis, porém, os passos onde não há simulação de variáveis são muito breves. Tais passos foram propositalmente atrasados para o usuário melhor apreciá-los. Com intuito de gerar atraso, é usado o bloco de função *TON* (*Generate on-delay*) que funciona ao ser ligado pelo barramento do *CLP*. Ele aguarda um valor de tempo conhecido e liga o barramento seguinte à ele. No caso mostrado na figura abaixo, o passo onde a temperatura do tanque de reação (tanque 2) chega a 50°C é atrasado em dez segundo para permitir o usuário observar o evento. Caso não houvesse atraso o da temperatura alcançaria 50°C e acionaria instantaneamente a próxima função, que eleva a temperatura para 80°C, e continuaria a execução do programa. O patamar de 50°C seria imperceptível, uma vez que tal passo é importante pois é a temperatura de reação do biodiesel.

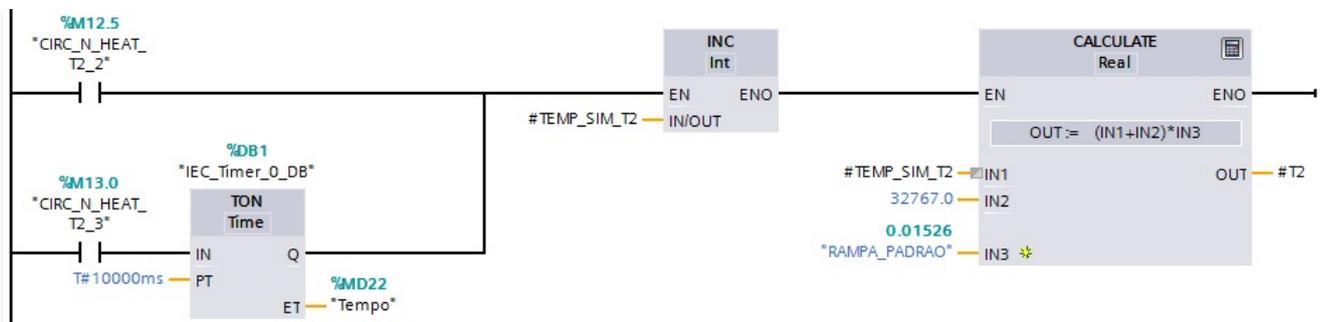


Figura 45 – Função *TON* *Generate on-delay*

O fluxograma de produção de biodiesel foi traduzido passo a passo em lógica *ladder* cada evento de decisão foi transformado em um degrau da lógica *ladder* como pode ser visto abaixo.

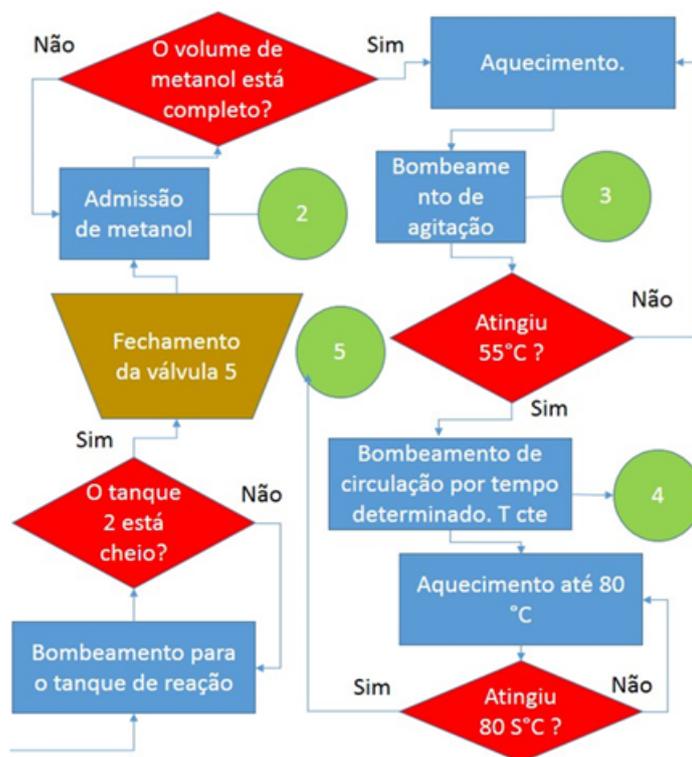


Figura 46 – Lógica presente no fluxograma.

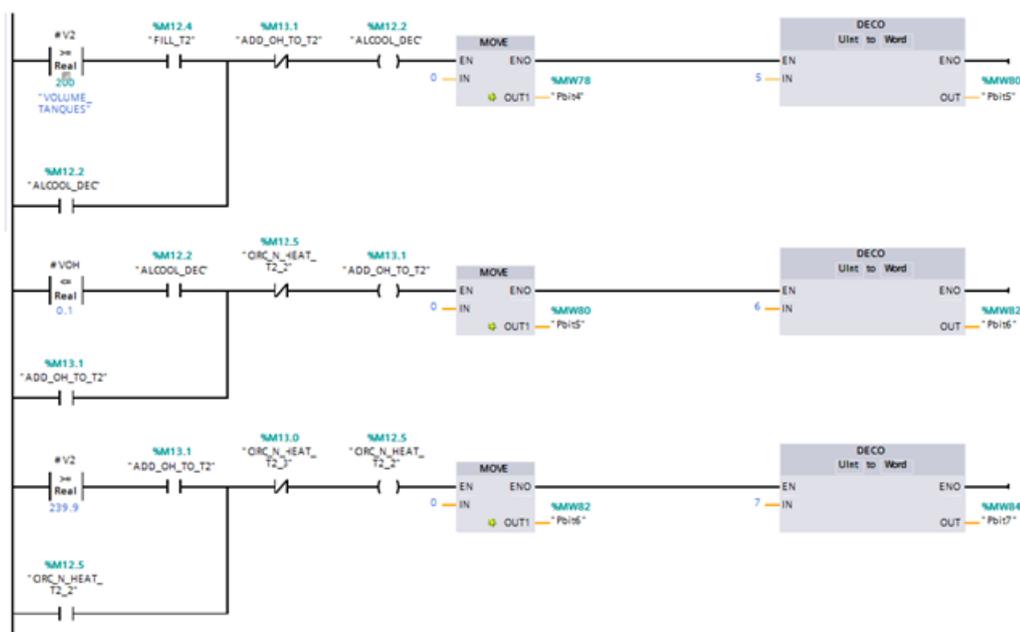


Figura 47 – Lógica do fluxograma transformada em lógica Ladder.

5.2.2.1 Atuadores Digitais

Apesar do programa consistir em um simulador de planta de produção de biodiesel, as bobinas de operação de cada atuador eletrônico do processo foram implementadas no código. Tal fato faz com que o sistema programado possa, em um cenário real, operar atuadores reais de uma planta. Esse cuidado foi tomado pois o código pode, em futuros trabalhos (não sendo o caso deste), ser usado em situação real de indústria de produção de biodiesel.

A bobina é um elemento digital que apenas permite dois estados: ligado e desligado. Não há passo algum no processo de produção de biodiesel que demande que um atuador opere analogicamente, ou seja, com vários níveis de tensão em sua entrada. Mesmo os motores elétricos das bombas são operados digitalmente, pois suas velocidades são iguais durante toda o uso da planta. Isso significa que, feito o ajuste de tensão necessária para atingir a velocidade almejada, pode-se apenas ligar o motor e o mesmo operará na velocidade desejada, tornando-o um atuador do tipo digital.

Como explicado no capítulo *Conceitos em Automação* os atuadores são: bombas hidráulicas, para movimentação do óleo dentro da planta; aquecedores elétricos; outros atuadores, como o compressor de ar e o assoprador de ar quente no terceiro tanque e, principalmente válvulas. Para operar cada um dos atuadores usa-se uma operação lógica de bobinas, como pode ser visto abaixo.

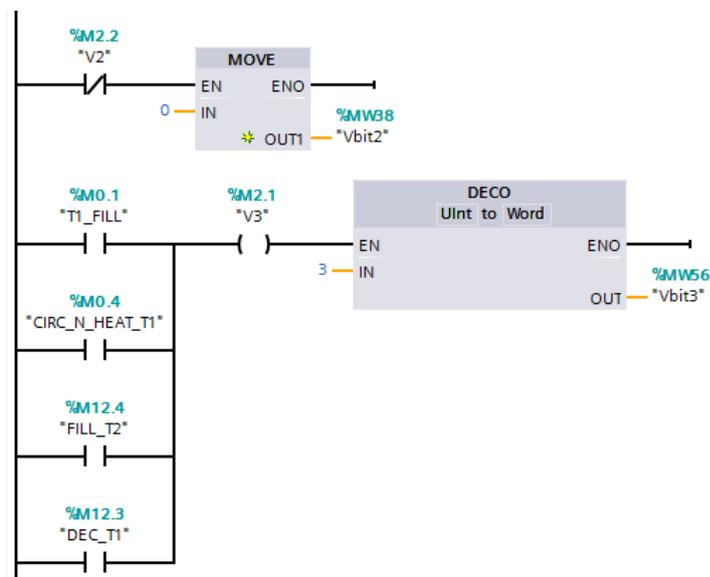


Figura 48 – Exemplo de bobina de comando de atuador

É possível observar que antes da bobina estão localizadas as condições de uso do atuador. No caso do exemplo utilizado, as condições são: Encher tanque 1, circular e aquecer tanque 1, encher tanque 2 e esvaziar tanque 2. Os nomes das condições são

simplificações das denominações inglesa dos passos de produção do biodiesel; *fill* significa *encher* em inglês, etc.

5.2.2.2 Transferência de dados do CLP para o Supervisório

Uma limitação da versão demonstração do *software* de criação de sistemas supervisórios, *Studio E3* da *Eclipse*, é a impossibilidade de criar um número maior que 20 *tags* de comunicação. Tal peculiaridade impede a criação dos mais simples sistemas supervisórios, pois é imprescindível que cada um dos atuadores ou válvulas no sistema *ladder* tenha um *tag* de comunicação associado à ele para a transmissão do seu estado de operação. Para o supervisório da planta de produção de biodiesel apresentada, 20 é um número muito pequeno de *tag's*.

Para contornar o problema foi elaborado um código que juntou as informações de vários *tag's* em um *tag* mais rico em informações. Foi necessário, no entanto, que todo atuador ou válvula gerasse durante seu uso um *bit* que pudesse passar o número do atuador (válvula número 3, por exemplo) e o seu estado de operação, 0 para inoperante e 1 para operante. Os códigos e funções usados para isso serão apresentados a seguir.

Para obter o *bit* foi usado a função *DECO* (*decode*) que gera uma *string* de 32 zeros e, na posição igual ao número inteiro inserido na sua entrada, muda o *bit* de 0 para 1, ou seja, com isso, é possível saber o estado e a posição da válvula ou atuador durante seu uso. A função *DECO* pode ser observada na imagem abaixo.

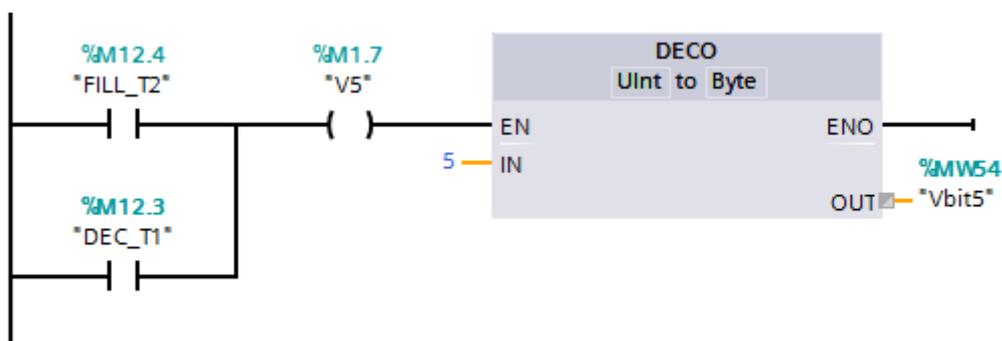


Figura 49 – Bloco de função *DECO* associado a uma válvula.

Na figura acima o número inteiro na entrada é 5, isso faz com que a função *DECO* mude o quinto número do seu *string* de 32 zeros, para 1. A contagem inicia na posição 0 do *string*.

Outra questão também teve de ser ajustada para que o uso do sistema de comunicação pudesse ser viável: uma vez gerado o *string* de comunicação ele preserva o seu valor até que outro valor seja impresso sobre o anterior. Ou seja, caso, por exemplo, uma válvula ative o seu *string*, informando seu modo de operação, ele ficará com o mesmo

valor para sempre durante o uso do programa, mesmo que a válvula mude de estado de operação. Para contornar isso foi usado o bloco *MOVE* para mover o valor do *string* do atuador de volta para uma *string* de zeros.

O bloco *MOVE* é ativado em todos os momentos nos quais a válvula ou atuador não está em uso por meio de uma operação *normalmente fechada* que precede o bloco, como pode ser observado na imagem abaixo. A imagem seguinte mostra a função *normalmente fechada*.

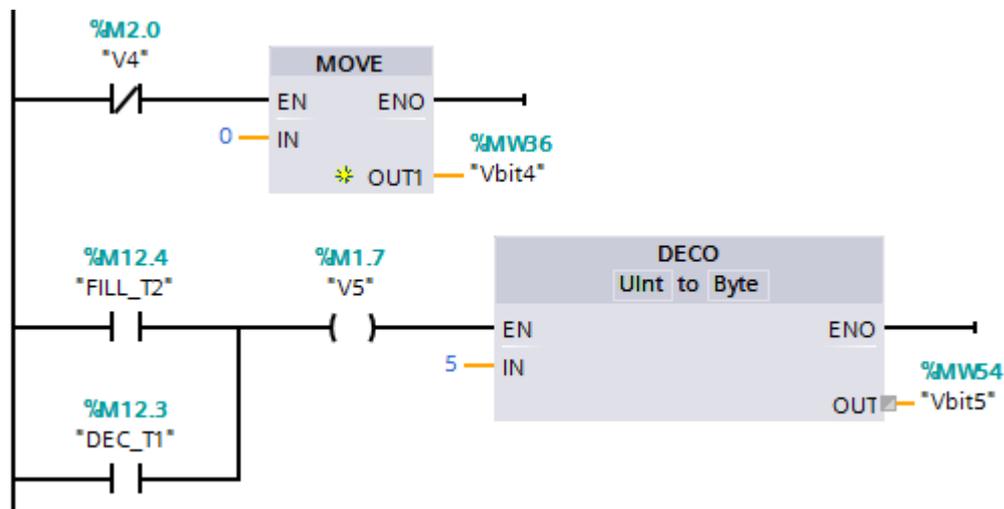
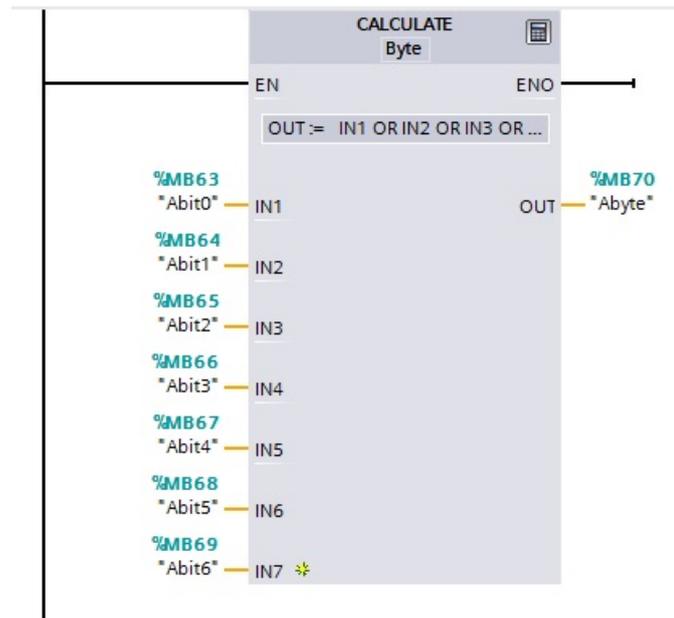


Figura 50 – Função *DECO* em uma válvula

Com os problemas de geração e cancelamento do *string* de comunicação solucionado o importante agora é transmiti-lo para o CLP através de apenas um *tag* de comunicação. Para realizar essa tarefa foi utilizado a função booleana *OU* (apresentada no capítulo de CLP's) dentro de um bloco *CALCULATE*, como pode ser observado abaixo. A função *CALCULATE* pode ser ajustada dependendo do tipo de número ou dado em suas entradas, nesse caso *bits* e *strings* são dados que somente podem ser calculados por meio de operações booleanas como: *OU*, *XOR*, *AND*, etc.

Figura 51 – Função *CALCULATE*

Essa estrutura de obtenção e associação de dados explicada foi utilizada para os atuadores do sistema: 3 bombas hidráulicas e uma d'água, para as válvulas, e para os atuadores.

5.2.3 Comunicação CLP SCADA

Com o objetivo de realizar uma comunicação entre o CLP *Siemens* e o Elipse E3 utilizou-se o Driver Siemens Multiprotocolo, ou simplesmente *M-prot*. Com este programa, os tags do CLP através do software TIA (*Totally Integrated Automation*), sistema de programação LADDER, podem se comunicar com os tags dentro do E3. O download do M-Prot pode ser feito diretamente pelo site da Elipse.

Após baixado o programa, é necessário modificar o Driver para que a comunicação entre o CLP e o SCADA seja feita via Ethernet pois é esta a via que o controlador usa para se comunicar com o SCADA. A configuração é feita abrindo a aba chamada MProt no driver, as lacunas devem ser preenchidas como mostrado na figura.

Na aba *Setup*, é necessário que a opção Ethernet esteja marcada. Dessa forma, na aba seguinte, a aba Ethernet fica habilitada para ajustes pois, do contrário, é impossível acessá-la. Aplicam-se as modificações apresentadas na figura abaixo e a comunicação está feita. É imprescindível que o número de IP na lacuna *Main* seja o mesmo que o do CLP em uso.

Para conferir o número do IP do CLP em uso deve-se abrir a aba com o nome do CLP dentro do TIA e acessar a opção "propriedades", como pode ser visto na terceira figura. Passo realizado, a comunicação está estabelecida.

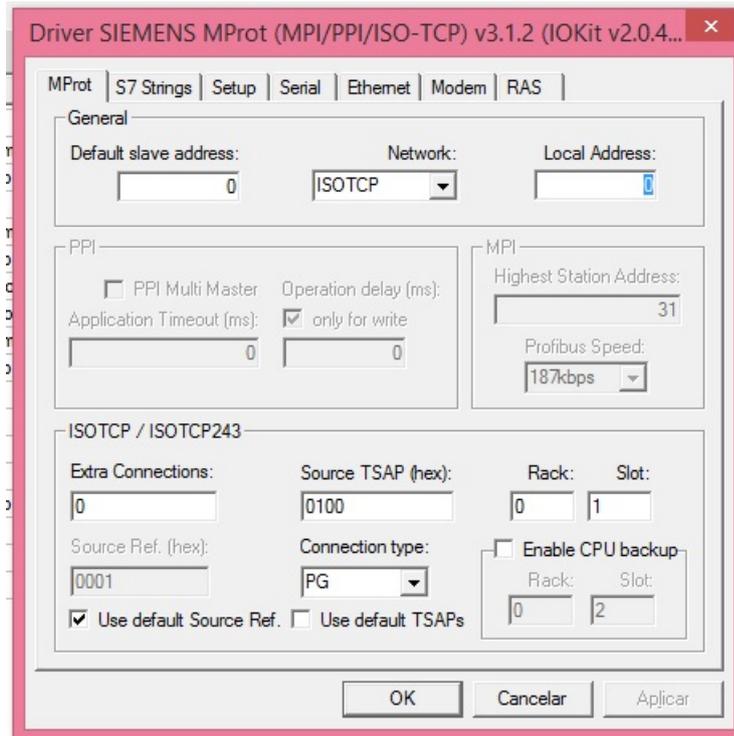


Figura 52 – Aba Mprot do driver M-prot, fonte: próprio autor

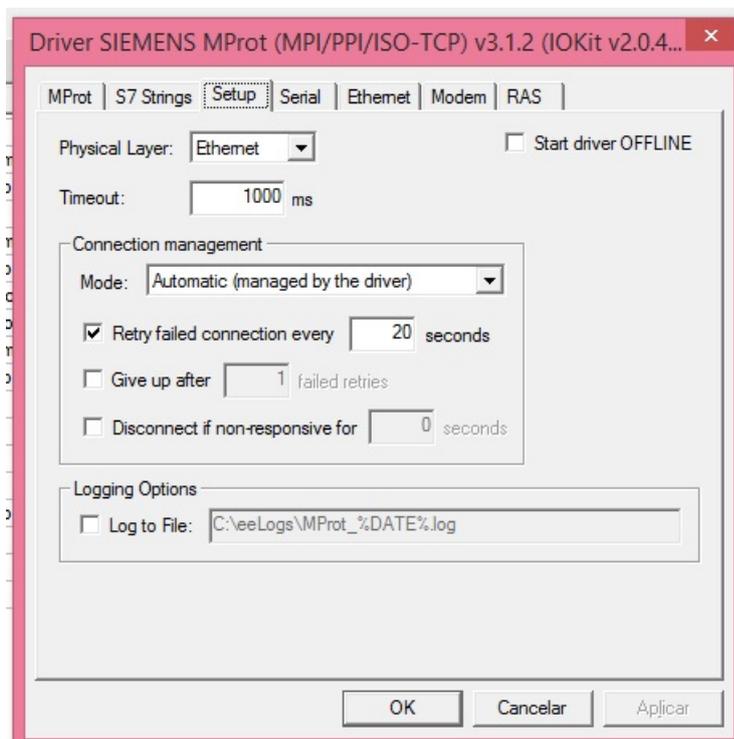


Figura 53 – Aba setup do M-prot, fonte: próprio autor

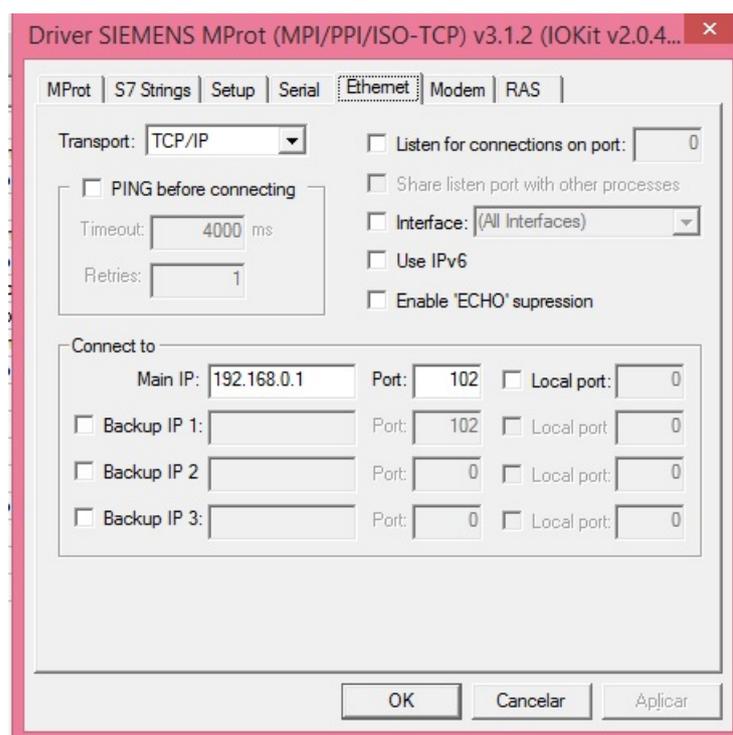


Figura 54 – Aba Ethernet do Mprot, fonte: próprio autor

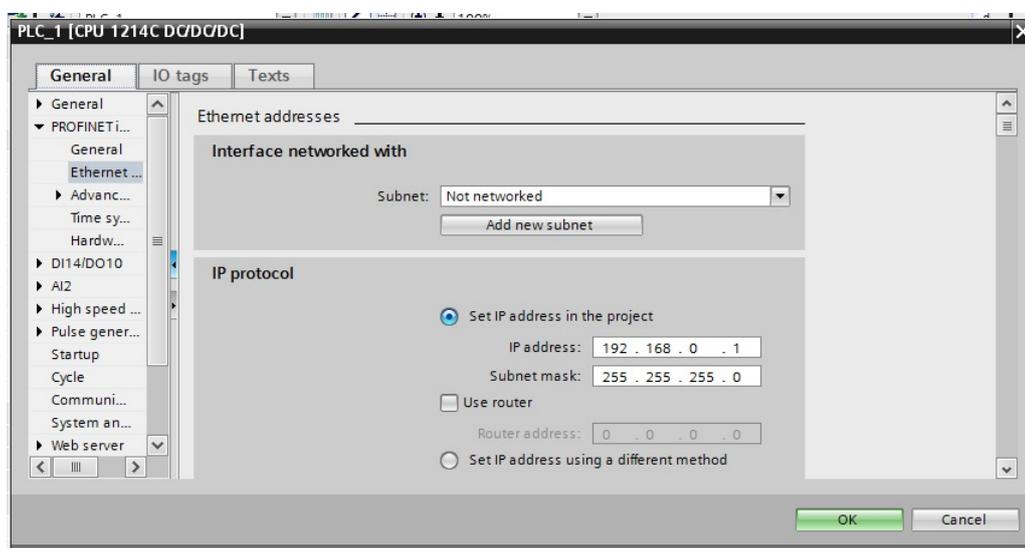


Figura 55 – Aba propriedade do CLP aberta no TIA

Junto com o *download* do *Driver M-prot* há um manual em PDF que deve ser usado para ajustar a comunicação do E3 com *tags* que contenham dados do tipo, *byte*, *WORD's*, números inteiros ou *strings debits*. Para cada tipo de dado recebido pelo CLP há uma combinação chave dos parâmetros P1/N1/B1 e P2/N2/B2. O ajuste desses parâmetros é feito no próprio E3 em "*Driver*", dentro do "*Organizer*".

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
N1/B1	Endereço do PLC. Se for igual a 0 (zero) e protocolo diferente de ISOTCP ou ISOTCP243, é substituído pelo Default Slave Address. Se for protocolo ISOTCP ou ISOTCP243, este valor deve ser deixado em 0 (zero).
N2/B2	Tipo de dado e Área (veja as tabelas a seguir). O valor deve ser composto pelo tipo de dado multiplicado por 100 mais a área (a fórmula é $N2/B2 = \text{TipoData} \times 100 + \text{Área}$).
N3/B3	Se a área selecionada for V (DB), preencha com o número do bloco DB. Caso contrário, deixe em 0 (zero). Caso a memória contenha um bloco DB único ou não especificado, preencha com o valor 1 (um).

Opções disponíveis para Áreas

ÁREA	SIGNIFICADO
0	S
1	SM
2	AI (Analog Input)
3	AQ (Analog Output)
4	C (Counter)
5	T (Timer)
6	I (Digital Input)
7	Q (Digital Output)
8	M (Memory)
9	V (DB)
10	HC (High Speed Counter)

Tabela 3 – Regas de comunicação CLP-SCADA

No supervisório feito para este trabalho, a maioria dos *tags* não necessitou de alteração nesses parâmetros. Porém, para os *tags* que contém dados do tipo *WORD* (conjunto de 16 *bits*), foi necessário o ajuste feito nos parâmetros P1/N1/B1 e P2/N2/B2. Para *WORD's*, foi feito como mostrado na figura abaixo.

Mais adiante nesse documento será apresentado o motivo e a estrutura de associação de dados que justifica o ajuste feito.

5.3 Projeto do Sistema Supervisório

Nesse capítulo será abordada a construção e uso do sistema supervisório projetado para a planta de produção de biodiesel. Inicialmente será mostrado um *overview* do sistema com seus tanques, válvulas e condutores para mostrar os detalhes da construção. Depois serão mostradas as principais decisões feitas para que o supervisório represente bem e didaticamente o funcionamento da planta. Haverá ênfase para os medidores de volume e temperatura presentes na planta e que foram salvos em biblioteca criada para trabalhos futuros.

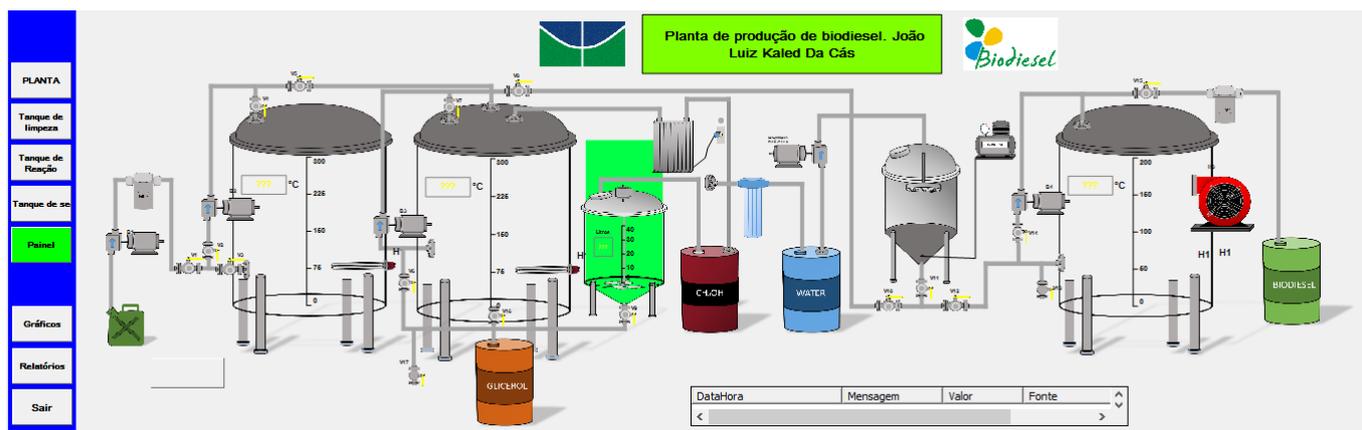


Figura 56 – Visão geral da planta proposta por (KEMP, 2006).

5.3.1 Visão externa do supervisório

A visão completa da planta pode ser vista na primeira imagem deste capítulo. Os três tanques: secagem, reação e purificação do óleo e do biodiesel. É possível ver também os dutos de transporte, o tanque de metanol (verde e com o agitador por pás) e com o agitador, os diversos barris dos reagentes e nome e logotipo da planta além da caixa de alarmes. Os barris coloridos com reagentes e produtos: Metanol, biodiesel, glicerol e água.

5.3.2 Telas Sinóticas

Para cada tanque foi feita uma tela que permite ao usuário ver detalhes e informações referentes ao próprio tanque. As telas dos tanques podem ser acessadas clicando na barra azul presente ao lado esquerdo de todas as telas. Nessa barra o nome de cada tanque possui botão com seu nome escrito. Quando abertas as telas apresentam visão aproximada do tanque que permite o usuário ter maior controle sobre o equipamento. As telas possuem quadro individual de alarme que mostram somente os alarmes referente ao tanque ao qual pertence a tela. Do lado direito fica localizado o mostrador de temperatura e volume, ele será detalhado em uma sessão a seguir nesse capítulo. A imagem a seguir mostra o tela sinótica do tanque de reação. Na parte superior se localiza o nome do tanque, em verde, ao lado de botões que, quando clicados levam o usuário para a próxima tela, acompanhado a reação. Esses botões piscam nas cores azul e verde quando o tanque seguinte começa a ser usado.

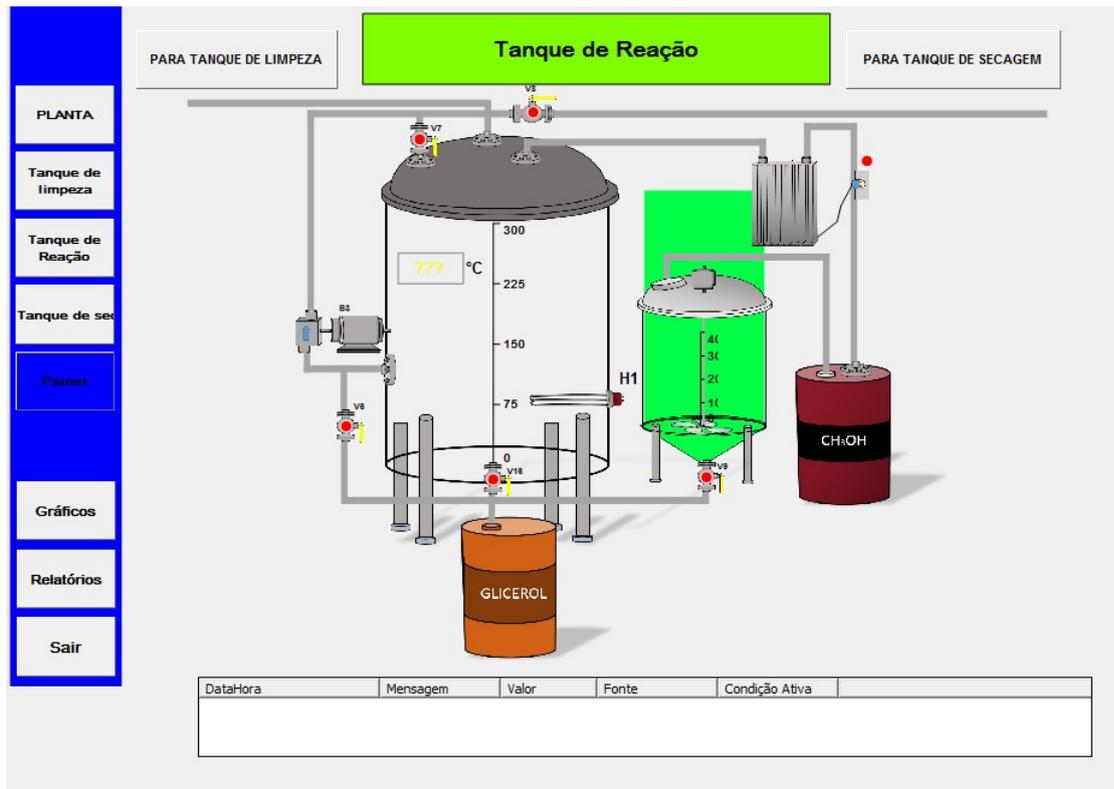


Figura 57 – Tela individual do tanque de reação

5.3.3 Gráficos

Como explicado anteriormente sistemas supervisórios apresentam gráficos sobre o seu funcionamento. Para a planta de biodiesel foi feita tela de gráficos que apresenta dois gráficos, um de temperatura e outro de volume. Os volumes dos três tanque são mostrados no mesmo gráfico intitulado **Volume dos Tanques** em litros e as temperaturas, de modo simular estão todas no segundo gráfico na tela sob o nome de **Temperatura Tanques**, a unidade é graus Celsius. A legenda da tela de gráficos mostra que cada cor de linha se refere ao mesmo tanque para os dois gráficos: Vermelho para o tanque de secagem, azul para o tanque de reação, amarelo para tanque de filtragem e, finalmente verde para o tanque de etanol. A tela de gráficos também possui a mesma barra azul de movimentação pelo sinótico.

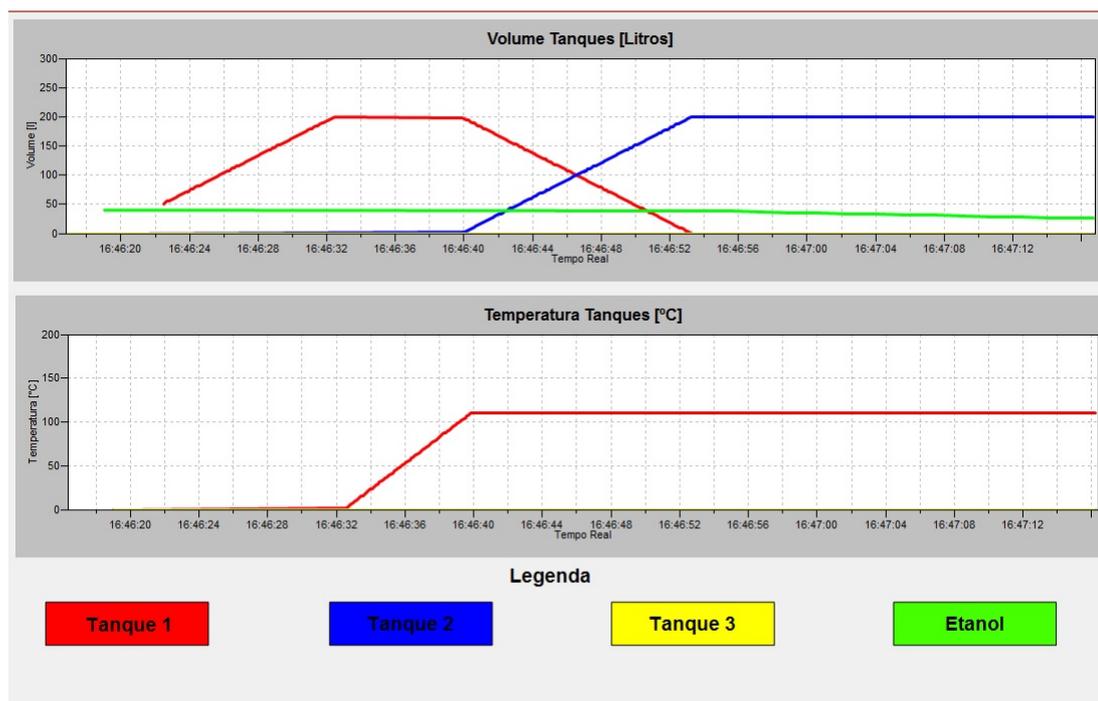


Figura 58 – Tela com os gráficos do sistema: Temperatura e Volume dos três tanques.

Os gráficos mostram em tempo real o valor das variáveis de temperatura e volume, como é mostrado a baixo na imagem. Recebe-se o nome de *pena* a variável que é mostrada no gráfico.



Figura 59 – Valores das penas na tela de gráficos.

5.3.4 Tanques

Os tanques receberam atenção especial por serem os principais componentes da planta. Durante o funcionamento da planta eles mostram o volume e cor do líquido dentro dele, além de ter movimento de elevação do líquido calibrado corretamente com o volume simulado.

Os tanques possuem ainda um visor com valores de temperatura do tanque. O valor da temperatura está seguido do sinal de 'graus centígrados'.

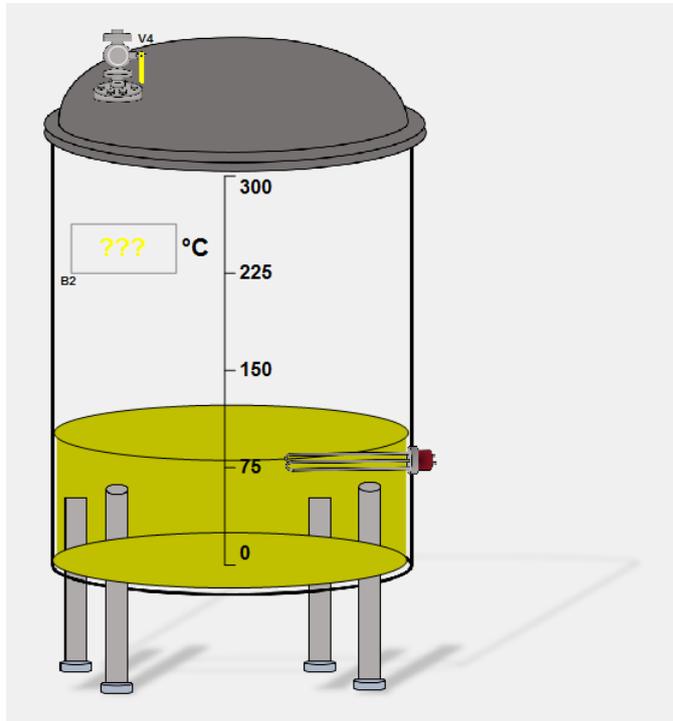


Figura 60 – Tanque usado na planta com líquido na cor amarela.

Os tanque foram desenhados como se fossem transparentes para que o usuário possa observar a mudança do volume dentro. Os tanques foram inseridos em um biblioteca feita para o projeto, facilitando o seu uso em projetos futuros que envolvam tanques para fluidos.

5.3.5 Dutos

Os dutos de simulação de transporte de fluidos foram desenhados como retângulos cinzas e o "fluido" consiste num pequeno quadrado de cor verde neon, para maior contraste.



Figura 61 – Dutos transporte de fluido.

As escolhas de cor e geometria do duto foram feitas para facilitar o a observação, pelo usuário, de melhor movimento do fluido.

5.3.6 Tanque de etanol

O tanque de etanol merece destaque pois ele é o único que já inicia o processo com volume. O tanque de etanol possui agitador mecânico com pás em seu interior. O motor do agitador elétrico possui um retângulo sob ele que muda de cor para mostrar estado do motor: Azul, funcionamento; Vermelho, inoperante.

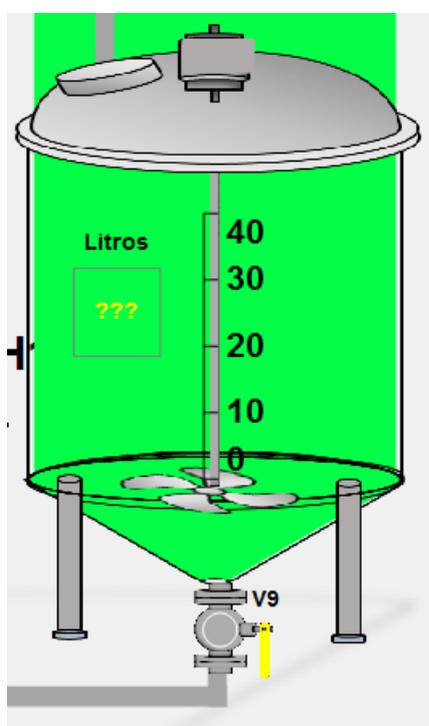


Figura 62 – Tanque de etanol

5.3.7 Tanque de Limpeza

Foi feito também o tanque de limpeza do biodiesel. Nele foram animados os funcionamento das bolhas de ar que são emitidas pelo compressor de ar, também em detalhe na figura, e a água que é aspergida na superfície do biodiesel.

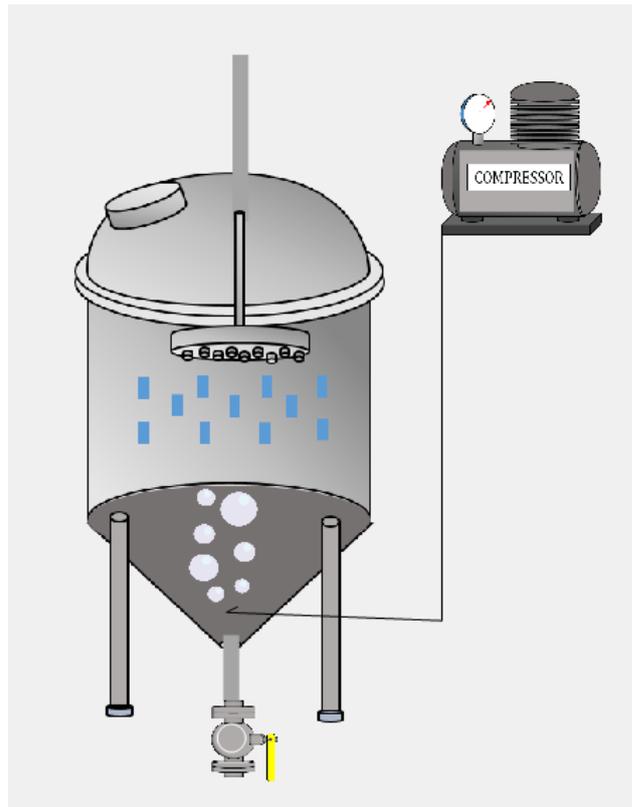


Figura 63 – Tanque de limpeza do biodiesel

5.3.8 Imagens e figuras

Todas as imagens e figuras utilizadas no projeto da planta foram feitas no *software* da *Microsoft Power Point*, tendo como inspiração Imagens reais do elementos que foram digitalizados. Na imagem abaixo é possível ver vários elementos que foram usados no projeto da planta, além das imagens que serviram como inspiração.



Figura 64 – As figuras usadas na planta e os exemplos nos quais elas foram baseadas.

5.3.9 Alarmes

Foi implementado para o supervisório quadro de alarme com alarmes de temperatura e volume para avisar o usuário sobre comportamentos anormais dessas variáveis durante o funcionamento. Os alarmes podem ser vistos em quadros presentes em todas as telas do sistema principalmente na tela onde a planta está completa. Os quadros se localizam no canto inferior direito.

DataHora	Mensagem	Valor	Fonte	Condição Ativa
29/09/2017 17:41:24	Volume OK	39	Driver.VOL_T1	Não
29/09/2017 17:40:40	Volume baixo tanq...1		Driver.VOL_T2	Sim
29/09/2017 17:41:09	Volume baixo tanq...0		Driver.VOL_T3	Sim
29/09/2017 17:41:22			Driver.TEMP_T1	Sim

Figura 65 – Quadro de alarme presente na tela do Tanque 1.

Cada alarme está associado à uma variável analógica do sistema, como pode ser observado no quadro de propriedades de alarmes a seguir. Nas imagens é possível ver que os alarmes informam quando a temperatura ou volume saem de valores ou patamares estabelecido pelo usuário. O patamar *HiHi*, que remete a 'muito alto' em inglês, quando ultrapassado, dispara um alarme que informa para o usuário essa informação. *LoLo*, 'muito baixo' informa valores muito baixo da variável associada. Para patamares de valores intermediários as opções *Lo* e *Hi* podem ser implementadas. A severidade do alarme também ajustável podendo ser: alta, média ou baixa. A severidade é associada com a cor que o alarme aparece no quadro de alarmes.

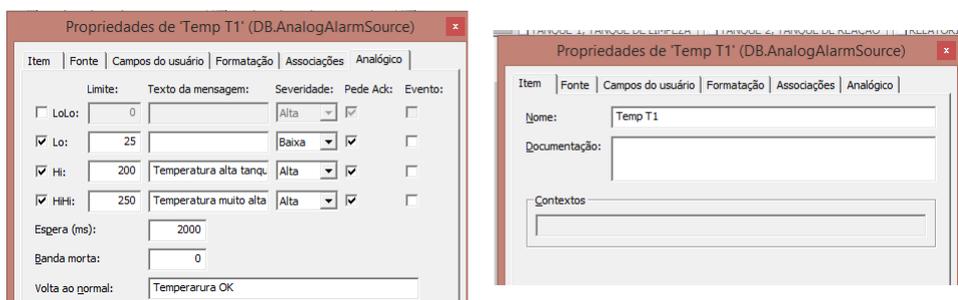


Figura 66 – Propriedade dos alarmes

Os alarmes inseridos no sistema foram para valores de temperatura e volume dos três tanques, secagem, reação são listado na tabela a seguir em duas tabelas, uma para alarmes de temperatura outra para alarmes de volume.

Tipo de Alarme	Tanque de secagem	Tanque de reação	Tanque de filtragem
LoLo	Não necessitou	Não necessitou	Não necessitou
Lo	25°C	25°C	25°C
Hi	200°C	200°C	200°C
HiHi	250°C	250°C	250°C

Tabela 4 – Valores de alarmes de temperatura do sistema

Tipo de Alarme	Tanque de secagem	Tanque de reação	Tanque de filtragem
LoLo	Não necessitou	Não necessitou	Não necessitou
Lo	10l	10l	10l
Hi	200l	200l	200l
HiHi	250l	250l	250l

Tabela 5 – Valores de alarmes de volume do sistema

O módulo dos valores dos alarmes de temperatura e volume são similares, a exemplo do alarme **Hi** tanto para volume quanto para temperatura possui módulo de 200 unidades. Os valores são próximos dos valores medidos em situação real. De fato os tanques da planta estudada tem o volume de 200 litros e, de fato uma temperatura alta, valor que possui alarme, para o caso de óleo vegetal sendo transformado em biodiesel é de 200°C.

No caso do segundo tanque, o tanque de reação de transesterificação, mais precisamente, no evento de condensação do metanol excedente existe aumento da pressão neste tanque. Um alarme de pressão seria interessante um um possível projeto real da planta similar. Mas como o variável pressão não foi simulada não foi possível criar tal alarme.

5.3.10 Biblioteca de imagens

Foi feita junto com o projeto do supervisório uma biblioteca contendo elementos que podem ser úteis para projetos futuros. Para essa biblioteca foi dado o nome de **tcc kaled**. Os elementos que foram para a biblioteca são: Os medidores de volume e temperatura; os tanques; tubos e válvulas.

Os medidores de volume e temperatura podem ter sua escala ajustada para diversos outros usos. Eles são apresentados a seguir.

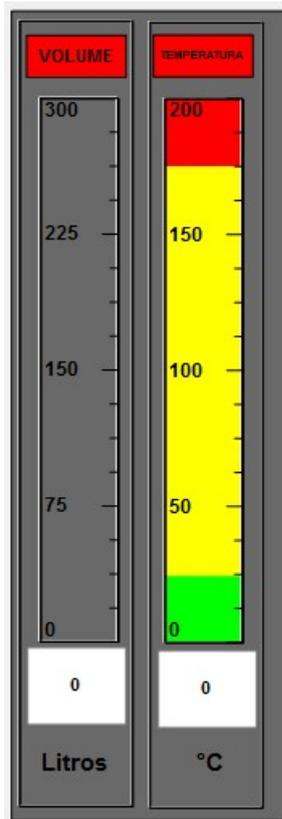


Figura 67 – Medidor de pressão e temperatura na biblioteca: *tcc kaled*

5.3.11 Usos dos *tag's* de comunicação

Os *tag's* de comunicação usados no projeto se dividem em dois grupos: analógicos, *tag's* que transmitem dados de temperatura e volume e '*Bytes*' que são os *tags* que transportam conjuntos de *bits*. Os *Bytes* necessitam das regras de comunicação para serem lidos pelo *software Studio E3*. Aqui podem ser vistos todos os *tag's* de comunicação usado na planta no *E3*.

Nome	Dispo...	Item	P1/N1/B1	P2/N2/B2	P3/N3...	P4/N4...	Ta...	Var...	Leitura?	Escrita?	Escala?	Min. UE	Máx. UE	UE	Min. E/S	Máx
Driver			0	0	0	0										
• VOL_T1		0:MW4	0	0	0	0		100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000			0
• TEMP_T1		0:MW8	0	0	0	0		100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000			0
• VOL_T2		0:MW10	0	0	0	0		100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000			0
• VOL_ALCOOL		0:MW14	0	0	0	0		100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000			0
• START		0:M0.0	0	0	0	0		100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000			0
• Vbyte		0:MW42	0	306	0	0		100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000			0
• Bbyte		0:MB62	0	508	0	0		100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000			0
• Abyte		0:MB70	0	508	0	0		100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000			0
• VOL_T3		0:MW16	0	0	0	0		100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000			0
• TEMP_T3		0:MW20	0	0	0	0		100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000			0
• TEMP_T2		0:MW18	0	0	0	0		100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000			0
• Pbyte		0:MW100	0	508	0	0		100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000			0

Figura 68 – *Tag's* de comunicação dentro do *Eclipse Studio*.

Os nome dos '*Bytes*' foi feito da seguinte forma:

Bytes	Nome
Abyte	A = Atuadores
Bbyte	B = Bombas
Pbyte	P = Passos do processo
Vbyte	V = Válvulas

Tabela 6 – Nome dos Bytes

Como explicado no capítulo anterior, vários estados de atuadores foram "aglutinados" em um *tag* com mais informação para ser transportado para o supervisório evitando o problema da versão demo do *Studio E3*. Agora no supervisório é necessário lê-lo de maneira correta para que cada parte da informação contida chegue no atuador correto.

Para isso foi necessário usar a função **UseBitFields** do *Studio E3*. Essa função lê um por um os *bit's* da *string* e cada *bit* pode ser acessado lido e escrito individualmente preservando sua posição de *string*. Cada *bit* recebe um endereço, de 00 à 32, específico para poder ser acessado e modificado. Abaixo é mostrada a definição da função **UseBitFields** pelo próprio *Studio E3*.

UseBitFields

☑ Caso a propriedade **UseBitFields** esteja configurada para Verdadeiro, toda vez que o valor da propriedade **Value** é modificado, ele atualiza os bits referentes às propriedades **Bit00 até Bit31**. Da mesma forma, atualiza o valor de **Value** toda vez que alguma das propriedades **Bit00 até Bit31** mudar de valor e posteriormente envia para o equipamento ou para o dispositivo, se a propriedade **AllowWrite** estiver configurada para Verdadeiro. Caso contrário, os bits não sofrem nem acarretam qualquer mudança. Esta propriedade pode ser atualizada após ter sido iniciada a comunicação.

Figura 69 – Definição da função pelo *Studio E3*.

Utilizada a função de cada elemento, ou ação dentro do supervisório que esteja associado a um *bit* específico, deve aderessar esse *bit* para o correto funcionamento da função.

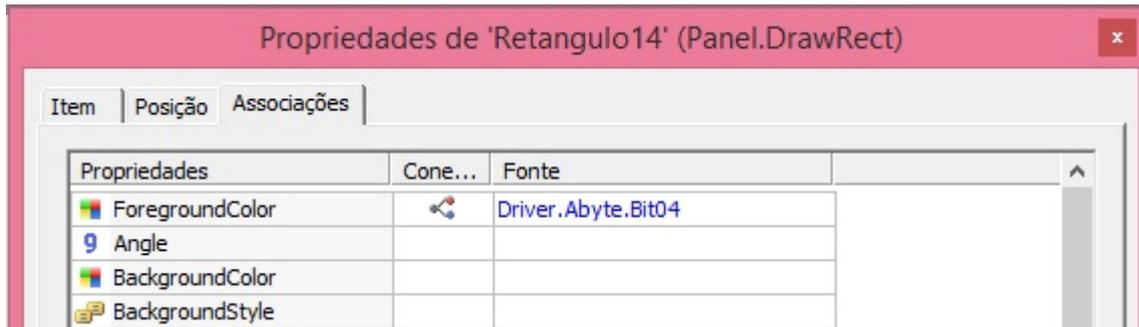


Figura 70 – *Bit* de um '*Byte*' sendo usado

Na figura acima, pode-se observar que o **bit 04** do *Byte Abyte* foi utilizado para ativar a cor, (*ForegroundColor*), do elemento "Retangulo14". Com isso, toda vez que o *bit* na posição 4 do *Abyte* é 1 a cor do Retangulo14 muda para uma cor selecionada.

5.3.12 Tag Demos

Para simular os movimentos presente durante o funcionamento da planta, movimentos não relacionados à nenhuma variável analógica, por exemplo o movimento do nível de líquidos nos tanques (que é proporcional ao volume simulado) utilizou-se os *Tag's Demo*. *Tag's Demos* são, de acordo com o manual para iniciantes do *Eclipse Studio E3*, (ELIPSE, 2014):

"Objeto que gera valores de acordo com a forma de onda. É utilizado para simulação de valores. Permite gerar curvas definidas ou valores aleatórios."

Com o uso desses *tag's* foi possível simular os movimentos de várias imagens na planta que contribuíram para formar um sistema SCADA com visual muito mais representativo do que está ocorrendo em tempo real com a planta, com isso tornou-se mais eficiente de modo geral.

5.3.13 Surgimento de imagens

Uma das decisões foi fazer com que alguns elementos "surgissem" apenas quando fossem utilizados. Esse é o caso do fluido presente nos tanques. Quando o volume é 0 dentro do tanque ao quadrado que representa, o fluido não existe até o momento que o volume seja maior que 0. Para realizar tal tarefa foi utilizada a propriedade *Visible* do *Studio E3*. Essa propriedade, quando associada ao *Bit*, permite o surgimento e desaparecimento da imagem.

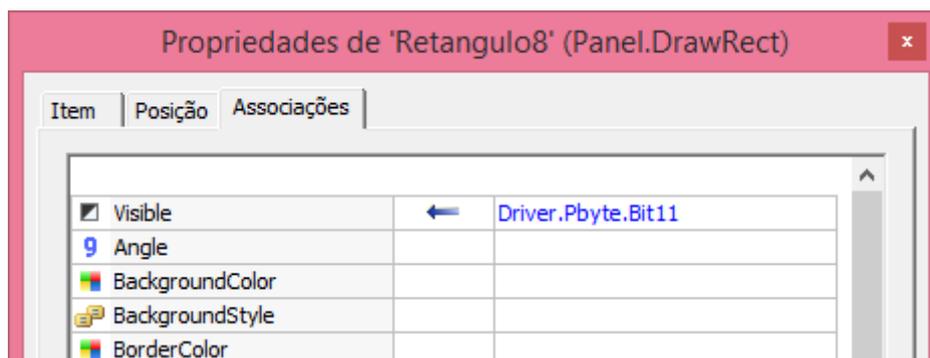


Figura 71 – Propriedade *Visible* sendo ativada pelo *Bit* do *Byte Pbyte*.

Com a opção mostrada na a imagem anterior o objeto surge no momento que a propriedade *Visible* é ativada. Esse recuso foi usado principalmente na tubulação, quanto os elementos verdes que representam o fluido surgem somente quando estão em uso.

5.4 Vídeo de funcionamento da planta

Juntamente com a elaboração do projeto do simulador de automação para planta de produção de biodiesel em pequena escala foi feito um vídeo no *site YouTube.com* que apresenta o funcionamento completo do simulador. O vídeo possui 8 minutos e 33 segundos e inicia mostrando o sistema supervisorio da planta em funcionamento. Há ênfase para os detalhes feitos no *design* do projeto, como o tanque e etanol e o condensador de álcool no tanque de reação. Em seguida são apresentados os detalhes do algoritmo elaborado em linguagem *LADDER* que simula o funcionamento das variáveis analógicas, de volume e temperatura, presentes no sistema. O vídeo pode ser acessado pela URL apresentada abaixo:

<https://www.youtube.com/watch?v=vZiRaVgxab0&t=243s>

Inserindo na barra de pesquisas do *site YouTube.com* o seguinte termo a seguir o mesmo vídeo pode ser encontrado no *site*:

"MODELAGEM DE SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA PLANTA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM PEQUENA ESCALA"

A edição e montagem do vídeo foi feita pelo Produtor áudio visual Vinicius Acioli Alves, ex-aluno da Universidade de Brasília e amigo do autor deste trabalho. A narração é feita pela voz do próprio autor.

6 Conclusões e trabalhos futuros

A projeto desenvolvido no presente trabalho apresenta uma proposta de sistema supervisorio e de controle do processo químico de produção de biodiesel. E, como foi mostrado inicialmente na obra, plantas de produção de combustível em pequenas escala são uma resposta à presente situação de início de declínio de extração de combustíveis fósseis para uso automotivo ou para aquecimento doméstico. Plantas de produção em pequena escala são muito menos custosas e mais simples de ser operadas do que seus similares em grande escala, que executam o mesmo processo químico. Mas a qualidade do combustível produzida pelo tipo menor de planta é, em sua maioria questionável, principalmente devido ao baixo nível de controle do processo. Logo necessita-se de propostas de projeto de sistema de controle e automação para controle fino de tais equipamentos. O algoritmo e o sistema supervisorio desenvolvidos nesta obra apresentam uma solução para o problema da qualidade existente. Pois o programa controla os principais parâmetros necessários para a produção do biodiesel e apresenta para o usuário, através de gráficos e mostradores digitais, os detalhes do processo além de informações de temperatura e volume em cada um dos três estágios da produção do combustível: purificação, reação e secagem.

O algoritmo desenvolvido em linguagem *ladder* controla todos os atuadores utilizados no processo químico incluído as três bombas hidráulicas de movimentação do óleo dentro do sistema, todas as dezesseis válvulas nos tubos de transporte dos reagentes, os aquecedores elétricos presentes nos tanques, o compressor de ar, o assoprador de ar quente e o borbulhador de limpeza do combustível pronto. O controle permite que o CLP opere os atuadores, emita e receba informações para a planta e apresente pra o sistema supervisorio os dados de temperatura a volume dos tanques. Além de controlar os atuadores o código percorre os passos de produção do combustível na ordem correta: captação do óleo vegetal bruto, purificação, reação, limpeza e secagem produto final. Permitindo que a produção seja concluída corretamente e, ao final de uma batelada, o processo possa ser repetido perfeitamente. A repetitividade dos processos de controle é uma característica da linguagem *ladder* útil para situações como a de produção de biodiesel.

Como o projeto desenvolvido no presente trabalho simula a produção de biodiesel, os dados das variáveis, volume e temperatura, foram emulados dentro do código ladder. A simulação permitiu validar o código sem a necessidade de aplicação em situação real em bancada. A validação dos resultados simulados deu-se através da comparação com dados verdadeiros presentes no livro de (KEMP, 2006). A simulação das variáveis foi feita inteiramente utilizando-se funções pré-existentes no portal *TIA-V12* da *Siemens*, software onde o algoritmo foi desenvolvido. Não necessitou a uso de outros softwares em paralelo facilitando o desenvolvimento completo do algoritmo evitando erros de comunicação ou

compatibilidade.

O sistema supervisório desenvolvido apresentou interface ideal para a amostragem dos dados gerados pela simulação, para o usuário. O resultado foi um meio claro e eficiente de apresentação de informações sobre o estado do sistema em todos os momentos de operação. Contendo telas de cada um dos três tanques, cores vivas de fácil visualização, alarmes com patamares reais de alerta, animação de toda a movimentação dos reagentes no sistema, que permitiu que o usuário saiba o que acontece em tempo real na planta. Além da geração de gráficos úteis com informações de temperatura e volume dos tanques para cada batelada executada.

O projeto desenvolvido nesta obra contemplou a grande maioria dos os elemento de um sistema completo de controle automação e supervisão de uma planta de produção de biodiesel em pequena escala. Seria de grande contribuição para o aperfeiçoamento e ajunte dos programas desenvolvido que o algoritmo fosse empregado em situação de bancada validando para situações de uso real de produção de biodiesel. Outra contribuição seria a adição de dois tanques de transesterificação contemplando assim os projetos mais atuais de plantas que possuem dois tanques de reação. Também é útil que seja inserido tanto no código *ladder*, quanto no supervisório, dois tanque de limpeza, um para limpeza ácida outro para limpeza básica, neutralizando assim os dois tipos de impurezas geradas na produção do combustível.

Referências

- AMANTHEA, N. R. *Bombas Hidraulicas*. [S.l.], 2008. Disponível em: <ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM120/APOSTILA_MH/bombas_hidraulicas-1.pdf>. Citado na página 9.
- ANP. *Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis*. 2008. Disponível em: <www.anp.gov.br>. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 28.
- ANP. *Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis*. [S.l.], 2016. Citado 2 vezes nas páginas xvii e 28.
- BARBOSA, B. S. S. *Interacao Humano Computador*. [S.l.]: Campus, 2011. v. 1. Citado na página 8.
- BIODIESELBR. *O que é biodiesel*. 2017. Disponível em: <www.biodieselbr.com/biodiesel/definicao/o-que-e-biodiesel>. Citado na página 1.
- BIOENERGI, R. *Diagrama de Instrumentos*. 2016. Disponível em: <rumahbioenergi.blogspot.com.br>. Citado 2 vezes nas páginas xiii e 22.
- BIRCHAL, M. A. de Souza Birchal e V. S. Automação de uma planta de produção de biodiesel. 2013. Citado na página 32.
- BORGES, A. B. M. E.; OTERO, N. Zeolite y as a heterogeneous catalyst in biodiesel fuel. *Energy and Fuels*, 2007. Citado na página 27.
- CASSIOLATO, C. Sistemas de supervisão e aquisição de dados. *Eletrônica Industrial*, 2011. Citado na página 7.
- CHU, M. *Smoke Points of Various Fats*. 2004. Disponível em: <www.cookingforengineers.com/article/50/Smoke-Points-of-Various-Fats>. Citado na página 10.
- COBLESKILL, S. *Tanques de criação de peixes*. 2017. Disponível em: <<http://www.cobleskill.edu/academics/schools/agriculture-and-natural-resources/fisheries-wildlife/fisheries-and-aquaculture/coldwater-hatchery.asp>>. Citado 2 vezes nas páginas xiii e 25.
- CORY, C. e. Introduction to digital: Combinational logic and systems design. *Massachusetts Institute of Technology*, 2006. Citado 3 vezes nas páginas xiii, xvii e 16.
- DIRECT, A. *PLC Handbook*. [S.l.]: Automation Direct, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- ECE. *Energy Central Europa*. Belgica, Europa, 2015. Citado na página 1.
- ECTRONICA yahikoel. *Normaly close*. 2017. Disponível em: <www.plcademy.com>. Citado 2 vezes nas páginas xiii e 17.
- ECTRONICA yahikoel. *Relê*. 2017. Disponível em: <yahikoelectronica.com.br>. Citado 4 vezes nas páginas xiii, 15, 16 e 17.
- EIA. *Short-Term Energy Outlook*. Estados Unidos, 2017. Citado na página 1.

- ELECTRONICS, P. *TQS3 Datasheet*. [S.l.], 2007. Citado 2 vezes nas páginas [xiii](#) e [11](#).
- ELIPSE. *Tutorial do E Tres para Iniciantes*. 2014. Citado na página [74](#).
- ELSAWY, M. B. A. Automation of a biodiesel processor from waste vegetable oil using programmable logic controller. *American Society for Engineering Education*, 2012. Citado na página [32](#).
- EMBRAPA. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*. [S.l.], 2010. Citado 3 vezes nas páginas [xiii](#), [27](#) e [28](#).
- ERM. *Development of a Biodiesel Plant at Tseung Kwan O Industrial Estate: Environmental impact assessment report -executive summary*. 2008. Disponível em: [<www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_1562008/>](http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_1562008/). Citado 2 vezes nas páginas [xiii](#) e [24](#).
- FALLA, M. D. P. H. Avaliação do biodiesel produzido na planta piloto da faculdade do gama/unb. *Congresso Internacional de Bio Energia*, 2012. Citado 2 vezes nas páginas [xiii](#) e [29](#).
- FEASIBILITYREPORT Small Scale Biodiesel Production. [S.l.], 2006. Citado na página [27](#).
- FELTRE, R. *Química, Físico-Química*. [S.l.]: Moderna, 1997. Citado na página [27](#).
- FLOURNOY, S. *Flournoy Green Tech*. 2017. Disponível em: [<flournoygreentech.com>](http://flournoygreentech.com). Citado na página [32](#).
- FORE PAUL PORTER, W. L. S. R. Net energy balance of small-scale on-farm biodiesel production from canola and soybean. *Biomass and Bioenergy*, p. 2234 a 2244, 2011. Citado na página [29](#).
- FREEDMAN, B. Transesterification kinetics of soybean oil. *Journal of the American Oil Chemists Society*, v. 63, n. 10, p. 1375–1380, 1986. Citado na página [27](#).
- GILBRETH, L. M. G. F. B. *Process Charts*. [S.l.]: ASME, 1921. Citado na página [21](#).
- GOULD, C. *SCADA Explained*. 2016. Disponível em: [<inductiveautomation.com/what-is-scada>](http://inductiveautomation.com/what-is-scada). Citado na página [19](#).
- HAIGHT, J. M. *Automation vs Human Intervention What is the Best Fit for the Best Performance*. 2017. Disponível em: [<http://www.asse.org/practicespecialties/management/automation_human_intervention/>](http://www.asse.org/practicespecialties/management/automation_human_intervention/). Citado na página [7](#).
- HOY, J. A microcomputer-based system for feed control, temperature control and temperature recording in an experimental fish hatchery. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 1, p. 105– 10, 1985. Citado na página [25](#).
- IEC. *Norma IEC 61131-3*. [S.l.], 1996. Citado 3 vezes nas páginas [xiii](#), [17](#) e [18](#).
- INCRA. *BIODIESEL À BASE DE ÓLEO DE SOJA É A MELHOR ALTERNATIVA PARA O BRASIL?* São Paulo, Brasil, 2004. 75 p. Citado na página [26](#).
- ISA. *Simbolos e Identificação de Instrumentacao*. [S.l.], 2008. Citado na página [22](#).

- ISO. *Graphical symbols for diagrams*. [S.l.], 2005. Citado na página 22.
- J.L., K. L. M. *Mecânica Dinâmica e Estática*. [S.l.: s.n.], 1999. v. 1. Citado na página 24.
- KEMP, W. H. *Biodiesel Basics and Beyond*. [S.l.]: Aztec Press, 2006. Citado 12 vezes nas páginas xiv, 1, 9, 33, 35, 37, 39, 41, 42, 47, 63 e 77.
- KUMAR, S. Potential non-edible oil resources as biodiesel feedstock: an indian perspective. *Renew Sustain Energy Rev*, 2011. Citado na página 23.
- LEUNG, Y. G. D. Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production. *Fuel Process Technol*, 2006. Citado na página 26.
- LIPTAK, B. G. *Process/Industrial Instrumentation and Control Handbook*. [S.l.]: CRC Press, 1995. v. 1. Citado na página 11.
- LOPES, M. A. M. A importancia dos sistemas supervisórios no controle de processos industriais. *Monografia de graduação em engenharia de controle e automação*, 2009. Citado na página 12.
- LOWARA. *e-NSC Cast iron end suction pumps*. 2017. Disponível em: <lowara.com/pumps-circulators/end-suction-pumps/e-nsc-cast-iron-end-suction-pumps/>. Citado 2 vezes nas páginas xiii e 9.
- MA, M. A. H. F. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 1990. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 2.
- MACOR, P. P. A. Performance and emissions of biodiesel in a boiler for residential heating. *Energy*, 2009. Citado na página 26.
- MALONE MATTHEW HOLMAN, B. K. e. A. E. C. Automation of biodiesel reactor for the production of biodiesel from wvo using plc e small scale continuous ultrasonic processor. *IAJC/ISAM Joint International Conference*, 2014. Citado na página 32.
- MCMILLAN, B. T. Advanced control unleashed, isa. *The Instrumentation, Systems, and Automation Society*, 2000. Citado na página 22.
- MERCK; CO, I. *Merck Index*. 1940. Citado na página 28.
- NICHOLSON, J. *How Does a Solenoid Work?* 2017. Disponível em: <sciencing.com/a-solenoid-work-4567178.html>. Citado na página 10.
- ORA. Instrument and equipment documentation and records. In: *ORA LAB.5.5.1*. [S.l.: s.n.], 2014. Citado na página 23.
- PRYDE, E. H.; SCHWAB, A. W. Cooperative work on engine evaluation of hybrid fuels. *Vegetable Oil as Diesel Fuel*, p. 90, 1983. Citado na página 26.
- RASHID FAROOQ ANWARS, A. J. U. Jatropha curcas seed oil as a viable source for biodiesel. *Biodiesel Journal*, n. 42, p. 575–582, 2010. Citado na página 27.
- SCANLAN, D. A. Structured flowcharts outperform pseudocode an experimental comparison. *IEEE Softw.*, 1989. Citado na página 21.

- SCATTINI, S. P. M. N. Aquaponic integration and automation – a critical evaluation. *Modern Applied Science*, 2017. Citado na página 25.
- SENAI. *Entra das e saídas de um CLP*. Material Didático SENAI. Citado 2 vezes nas páginas xiii e 15.
- SHERIDAN, T. B. *Telerobotics, automation, and human supervisory control*. primeira. [S.l.: s.n.], 1992. Citado na página 7.
- SIEMENS. *CLP Siemens S3*. 2011. Disponível em: <www.siemens.com>. Citado 3 vezes nas páginas xiii, 12 e 13.
- SKARLIS E. KONDILI, J. K. S. Small-scale biodiesel production economics: a case study focus on crete island. *Journal of Cleaner Production*, p. 20 a 26, 2012. Citado na página 29.
- SMC. *SMC International Training: Automation*. 2017. Disponível em: <www.smctraining.com>. Citado na página 7.
- SOLOMAN, S. *Sensors and Control Systems in Manufacturing*. Segunda edição. McGraw-Hill Education, Columbus, OH 43218: [s.n.], 2010. Citado na página 10.
- SOURCE, T. aquaponics. *What is aquaponics*. 2017. Disponível em: <<https://www.theaquaponicsource.com/what-is-aquaponics/>>. Citado na página 25.
- STANLEY, C. *Creating an Integrator Function Block in Modicon Concept*. 2017. Disponível em: <<http://www.plcdev.com/>>. Citado na página 13.
- TECNOLOGIA, S. *Soluzione Tecnologia*. 2017. Disponível em: <<http://soluzionetecnologia.com.br>>. Citado 2 vezes nas páginas xiii e 20.
- THANH, K. O. L. T. Ultrasound-assisted production of biodiesel fuel from vegetable oils in a small scale circulation process. *Bioresource Technology* 101, 2010. Citado na página 29.
- WATSON, K. Iso flow chart. *Industrial Normalization Chatz*, 1981. Citado na página 21.
- WIKIMEDIA. *Painel de Relê*. 2017. Disponível em: <en.wikipedia.org/wiki/Relay>. Citado 2 vezes nas páginas xiii e 12.
- WOOLLY. *Ladder Logic Programming*. 2016. Disponível em: <<http://ladderlogicworld.com/index.php/2016/10/05/ladder-logic-programming/>>. Citado 4 vezes nas páginas xiii, 18, 19 e 20.
- WORM, H. *Estudo da automação de uma planta piloto para produção de biodiesel*. Dicação de Mestrado — Universidade de Santa Cruz do Sul, 2012. Citado na página 31.
- YONEYAMA, T. M. A. L. Controle e automação. *Universidade Federal do Rio Grande do Norte*, 2000. Citado na página 14.