



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO, DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENG. DE CONTROLE, AUTOMAÇÃO E COMPUTAÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Arthur Fey

**Projeto e construção de uma planta de precisão para sintetização de cola
fenólica para compensado**

Blumenau
2022

Arthur Fey

**Projeto e construção de uma planta de precisão para sintetização de cola
fenólica para compensado**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação do Centro Tecnológico, de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Leonardo Mejia Rincon, Dr.

Blumenau

2022

Ficha de identificação da obra

A ficha de identificação é elaborada pelo próprio autor.

Orientações em:

<http://portalbu.ufsc.br/ficha>

Arthur Fey

**Projeto e construção de uma planta de precisão para sintetização de cola
fenólica para compensado**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro de Controle e Automação” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

Blumenau, 07 de Dezembro de 2022.

Banca Examinadora:

Prof. Leonardo Mejia Rincon, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Daniel Alejandro Ponce Saldias, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Guilherme Brasil Pintarelli, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico esse trabalho a meu pai, que mesmo com todas as suas responsabilidades de empresário sempre encontrava tempo para me ajudar nos estudos. Todos estes anos dedicados em minha educação culminaram em minha graduação e naturalmente, no desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio nesta caminhada, ao meu professor e orientador Leonardo Mejia Rincon pela maneira excepcional que conduzia as aulas na universidade e pela orientação na escrita deste trabalho. Agradeço também aos colegas de profissão Jonas Vieira Machado e Tiago Felipe Bones, que há tempos me ensinaram a prática da teoria de sala de aula, ao Sr Wilson, Thomaz e toda equipe de mecânicos que transformaram números e linhas em estruturas e máquinas. Finalmente, gostaria de agradecer ao Eng. Edson Pinheiro, mestre em Eng. Industrial madeireira, que contemplou a equipe com toda sua bagagem dentro da indústria do compensado.

O aumento da produtividade dependerá cada vez menos de "homens fazendo" e mais de "homens pensando" - Diego Paladino

RESUMO

A inconsistência das variáveis de processo dentro de uma linha de produção manual ou semi-automática implica em produtos finais com características diferentes e, muitas vezes, de qualidade inferior. Com base nessa problemática o presente trabalho apresenta os principais aspectos relacionados com o desenvolvimento do projeto e construção de uma planta de precisão para sintetização de cola fenólica para compensado visando a homogeneidade na produção da mesma. Neste documento são também contemplados detalhes da manufatura do compensado, características físicas e mecânicas da máquina, diagramação e dimensionamento de componentes elétricos e de automação e também rotinas de execução do CLP.

Palavras-chave: Automação; Compensado; Misturador.

ABSTRACT

The inconsistency of process variables within a manual or semi-automatic production line results in final products with different characteristics and, often, of inferior quality. Based on this issue, the present work presents the main aspects related to the development of the project and construction of a precision plant for the synthesis of phenolic glue for plywood, aiming at homogeneity in its production. This paper also includes details of plywood manufacturing, physical and mechanical characteristics of the machine, diagramming and sizing of electrical and automation components, as well as PLC execution routines.

Keywords: Automation; Plywood ; Beater

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diferentes Mãos Medindo Um Palmo	18
Figura 2 – Distâncias de um Palmo de Diferentes Mãos	18
Figura 3 – Pirâmide da Automação	20
Figura 4 – Fim de curso utilizado em uma prensa quente	22
Figura 5 – Fim de curso utilizado em uma esquadrejadeira	22
Figura 6 – Relação de corrente em função da pressão no sensor PT5315	22
Figura 7 – Pistão pneumático utilizado em uma esquadrejadeira	23
Figura 8 – Motor com caixa de redução utilizado em uma rosca de grãos	23
Figura 9 – Exemplo de Acionamento de uma Válvula Pneumática	24
Figura 10 – Exemplo de Acionamento de uma Bomba via Boia de Nível	25
Figura 11 – CLP S7 1200 SIEMENS com um módulo de expansão	26
Figura 12 – IHM utilizada no projeto de planta de colagem estudada neste documento. Tela de Login.	29
Figura 13 – IHM utilizada no projeto de planta de colagem estudada neste documento. Tela de operação dos tanques de resina pura.	29
Figura 14 – Montagem das camadas de lâminas no compensado	30
Figura 15 – Modelo de Batedeira Manual	32
Figura 16 – Modelo de Batedeira Semi-automática	32
Figura 17 – Modelo de batedeira automática com tanque de agitação	33
Figura 18 – Lâmina logo após a saída do torno (RAUTE, 2020)	34
Figura 19 – Lado de entrada de lâminas no secador	35
Figura 20 – Lado de saída de lâminas no secador	35
Figura 21 – Prensa Fria	36
Figura 22 – Prensa quente Markuse 17 pratos e 16 gavetas	37
Figura 23 – Serra esquadrejadeira de compensados	37
Figura 24 – Diagrama de tubulação e instrumentação	42
Figura 25 – Lâmina Com Gramatura Baixa	43
Figura 26 – Lâmina Com Gramatura Média Baixa	43
Figura 27 – Lâmina Com Gramatura Média Alta	44
Figura 28 – Lâmina Com Gramatura Alta	44
Figura 29 – Local Projetado Para o Armazenamento do Pallet de Farinha	52
Figura 30 – Diagrama Pneumático	54
Figura 31 – Compressor de Ar da Empresa	55
Figura 32 – Registro Manual	55
Figura 33 – Válvula Eletropneumática	55
Figura 34 – Diagrama Pneumático do Solenoide Acoplado a Válvula	55
Figura 35 – Relações Entre Functions, Functions Block e Bancos de Dados	56

Figura 36 – Raute Plywood Lay-up Line R3	61
Figura 37 – Diagrama de Montagem do conjunto CLP e Módulo de Expansão	63
Figura 38 – Diagrama elétrico do relé de interface	66
Figura 39 – Banco de dados	69
Figura 40 – Etapa 1 - Verifica condições de dosagem combobox	70
Figura 41 – Etapa 4 - Habilita dosagem da resina	71
Figura 42 – Etapa 5 - Dosar Resina	72
Figura 43 – Etapa 6 - Inicia Batedor	73
Figura 44 – Etapa 7 - Habilita dosagem de água	73
Figura 45 – Etapa 8 - Dosar Agua	74
Figura 46 – Etapa 9 - Habillita dosagem de trigo	74
Figura 47 – Etapa 10 - Dosar Trigo	75
Figura 48 – Etapa 11 - Mistura no final da dosagem	76
Figura 49 – Etapa 12 - Verifica se o reservatório tem espaço para descarregar batedeira	76
Figura 50 – Implementação em Ladder do Tratamento do Sinal Analógico	77
Figura 51 – Tela 1 IHM	78
Figura 52 – Tela 2 IHM	78
Figura 53 – Tela 3 IHM	78
Figura 54 – Tela 4 IHM	78
Figura 55 – Visão geral da planta	86
Figura 56 – Passarelas	86
Figura 57 – Vista interna do painel elétrico	86
Figura 58 – Vista externa do painel elétrico	86
Figura 59 – Vista externa do agitador	87
Figura 60 – Vista interna do agitador	87
Figura 61 – Vista externa da caixa de farinha	87
Figura 62 – Vista interna da caixa de farinha	87
Figura 63 – Batedeira de cola	88
Figura 64 – Celula de carga sustentando a batedeira	88
Figura 65 – Diagrama em Ladder do funcionamento dos cálculos Secção 1	103
Figura 66 – Diagrama em Ladder do funcionamento dos cálculos Secção 2	104
Figura 67 – Diagrama em Ladder do funcionamento dos cálculos Secção 3	105
Figura 68 – Diagrama em Ladder do funcionamento dos cálculos Secção 4	106
Figura 69 – Diagrama Elétrico da Planta Secção 1	107
Figura 70 – Diagrama Elétrico da Planta Secção 2	107
Figura 71 – Diagrama Elétrico da Planta Secção 3	108
Figura 72 – Diagrama Elétrico da Planta Secção 4	108
Figura 73 – Diagrama Elétrico da Planta Secção 5	109
Figura 74 – Diagrama Elétrico da Planta Secção 6	109

Figura 75 – Diagrama Elétrico da Planta Secção 7	110
Figura 76 – Orçamento do Controlador	111
Figura 77 – Orçamento dos Contatores	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição Dos Tipos de Lâmina em Compensados Com Diferentes Números de Camadas	45
Tabela 2 – Lista de Válvulas Utilizadas	62
Tabela 3 – Lista de Entradas Digitais	64
Tabela 4 – Lista de Entradas Analógicas	64
Tabela 5 – Lista de Saídas Digitais	65
Tabela 6 – Densidade dos Compostos da Mistura de Cola	67
Tabela 7 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 0	79
Tabela 8 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 1	79
Tabela 9 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 2	80
Tabela 10 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 3	80
Tabela 11 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 4	80
Tabela 12 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 5	81
Tabela 13 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 6	81
Tabela 14 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 7	81
Tabela 15 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 8	82
Tabela 16 – Tabela de Informações Técnicas - Disjuntor Motor	83
Tabela 17 – Tabela de Condutores	84
Tabela 18 – Tabela de Bornes	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Central Processing Unit
IHM	Interface homem-máquina
LVL	laminated veneer lumber
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	GENERALIDADES DA AUTOMAÇÃO	17
1.2	OBJETIVO GERAL	19
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.4	ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	PIRÂMIDE DA AUTOMAÇÃO	20
2.2	SENSORES	21
2.3	ATUADORES	22
2.3.1	Válvulas de vias	23
2.4	COMANDOS ELÉTRICOS	24
2.5	CLP'S	25
2.6	PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO	27
2.7	INTERFACE HOMEM-MÁQUINA	28
2.8	RESINAS DE FENOL-FORMALDEÍDO E UREIA FORMOL	29
2.8.1	Ureia-formaldeído	30
2.8.2	Fenol-formaldeído	30
2.9	PLANTAS DE COLAGEM EXISTENTES	31
3	ENGENHARIA DO PROCESSO	34
3.1	MANUFATURA DO COMPENSADO	34
3.1.1	Laminação	34
3.1.2	Secagem	35
3.1.3	Colagem	35
3.1.4	Prensagem Fria	36
3.1.5	Prensagem quente	36
3.2	PRODUÇÃO DA COLA	37
3.2.1	Composição da Cola	38
3.2.2	Produção de Cola nas Indústrias Brasileiras de Compensado	38
3.3	IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	39
3.4	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE COLA MANUAL	40
3.5	SOLUÇÃO PROPOSTA	40
4	METODOLOGIA	42
4.1	DEMANDA DE PRODUÇÃO	42
<i>4.1.0.1</i>	<i>Consumo de Cola por Chapa de Compensado</i>	<i>44</i>
4.1.1	Gramatura Superficial de cola no Compensado	45
4.1.2	Modelo Adotado de Produção de Cola	46
<i>4.1.2.1</i>	<i>Especificidades de Funcionamento</i>	<i>47</i>

4.2	DIMENSIONAMENTO MECÂNICO	48
4.2.1	Tanques de Resina Pura	48
4.2.2	Caixa de água	49
4.2.3	Batedeira	49
4.2.3.1	<i>Pá de Mistura</i>	50
4.2.4	Agitador	50
4.2.5	Tubulações	50
4.2.6	Bombas	51
4.2.7	Caixa e Rosca de Farinha	52
4.2.8	Passarela e Estruturas de Segurança	52
4.3	DIMENSIONAMENTO PNEUMÁTICO	53
4.4	SISTEMA DE AUTOMAÇÃO	55
4.4.1	Arquitetura do Software	56
4.5	CÉLULAS DE CARGA	58
4.6	TRANSMISSOR DE PRESSÃO	58
4.6.1	Atuadores	59
4.6.1.0.1	Motor M0	59
4.6.1.0.2	Motor M1	60
4.6.1.0.3	Motor M2	60
4.6.1.0.4	Motor M3	60
4.6.1.0.5	Motor M4	61
4.6.1.0.6	Motor M5	61
4.6.1.0.7	Motor M6	61
4.6.1.0.8	Motor M7	62
4.6.1.0.9	Motor M8	62
4.6.1.0.10	Válvulas V0, V1, V2 e V3	62
4.6.2	CLP	62
4.6.2.1	<i>Entradas Digitais</i>	64
4.6.2.2	<i>Entradas Analógicas</i>	64
4.6.2.3	<i>Saídas Digitais</i>	65
4.6.2.3.1	Relés de Interface	65
4.6.2.4	<i>Funcionamento do Programa</i>	66
4.6.2.4.1	Cálculo das Medidas dos Ingredientes	66
4.6.2.4.2	Cálculo da Capacidade útil de Operação	68
4.6.2.5	<i>Algoritmo Proposto</i>	69
4.6.2.5.1	Etapa 1, 2 e 3 - Verifica condições de dosagem combobox / Condições Batelada / Receita e status de operação	70
4.6.2.5.2	Etapa 4 - Habilita dosagem da resina	70
4.6.2.5.3	Etapa 5 - Dosar Resina	71

4.6.2.5.4	Etapa 6 - Inicia Batedor	72
4.6.2.5.5	Etapa 7 - Habilita dosagem de água	73
4.6.2.5.6	Etapa 8 - Dosar Agua	73
4.6.2.5.7	Etapa 9 - Habilita dosagem de trigo	74
4.6.2.5.8	Etapa 10 - Dosar Trigo	74
4.6.2.5.9	Etapa 11 - Mistura no final da dosagem	75
4.6.2.5.10	Etapa 12 - Verifica se o reservatório tem espaço para descarregar a batedeira	76
4.6.2.5.11	Etapa 13 - Verifica se a batelada e a receita foi finalizada e a batedeira está vazia	77
4.6.2.6	<i>Funcionamento do Botão de Emergência</i>	77
4.6.2.7	<i>Bloco de Entrada Analógica (FB)</i>	77
4.6.3	IHM	78
4.7	DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO	79
4.7.1	Motores	79
4.7.2	Disjuntores	82
4.7.2.1	<i>Disjuntor De Entrada - Caixa Moldada</i>	82
4.7.2.2	<i>Disjuntores Tipo Din</i>	82
4.7.2.3	<i>Disjuntor Motor</i>	83
4.7.3	Contatores	83
4.7.4	Condutores	83
4.7.5	Bornes	84
5	RESULTADOS	86
5.1	PRECISÃO DE MEDIDA	88
5.2	ROBUSTEZ DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO	89
5.3	ROBUSTEZ MECÂNICA	91
5.4	VISCOSIDADE	92
5.5	CAPACIDADE DE PRODUÇÃO	92
6	DISCUSSÃO	94
6.1	OBJETIVOS ATINGIDOS	94
6.1.1	Objetivo Geral	94
6.1.2	Objetivos Específicos	94
6.2	CONHECIMENTO ADQUIRIDO E LIÇÕES APRENDIDAS	95
6.3	MELHORIAS FUTURAS	96
7	CONCLUSÕES	98
	REFERÊNCIAS	99
	APÊNDICE A – Diagrama em Ladder e diagrama elétrico .	103
	ANEXO A – Orçamentos	111

1 INTRODUÇÃO

Neste documento é descrito em detalhes o processo de projeto e construção de uma planta de precisão para sintetização de cola fenólica para compensados desenvolvido na empresa J.Fey & Filhos Ltda, localizada na cidade de Palmas no Paraná.

O presente capítulo apresenta de modo sucinto algumas generalidades que têm caracterizado à automação industrial na padronização de produtos ao longo da história e logo em seguida descreve o problema que motivou o desenvolvimento da planta projetada, seguido dos objetivos geral e específicos do projeto.

Em capítulos posteriores, é possível encontrar um conjunto de conceitos teóricos relacionados com a automação industrial (Capítulo 2), e com a manufatura do compensado (Capítulo 3). Através destes conceitos permitem um maior entendimento dos processos relacionados ao projeto da planta construída.

No Capítulo 4 é demonstrado em detalhes o processo projetivo da máquina, com a determinação dos requisitos funcionais do projeto e da estratégia metodológica empregada para atender esses requisitos. Nesse capítulo, características elétricas, mecânicas, de automação e de processo no desenvolvimento do projeto são descritas em detalhes.

Nos capítulos finais deste documento são apresentados os resultados do projeto e as conclusões do trabalho, ademais, são comentados os principais acertos e erros cometidos durante todas as etapas do projeto além da avaliação do atendimento dos objetivos propostos.

1.1 GENERALIDADES DA AUTOMAÇÃO

O desafio de produzir o mesmo produto várias vezes com as mesmas características é intrínseco a manufatura. Na Idade Média, as flechas usadas por arqueiros tinham peso e centro de gravidade diferentes umas das outras, implicando em grandes variações na performance deste produto específico (TOWENS, 2019).

A partir da primeira revolução industrial, as turbinas a vapor usadas deviam ter seus cilindros com mínima variação de seus diâmetros a fim de evitar o desgaste por excesso de tamanho ou a fuga de vapor por falta de material. Hoje, arranha céus são projetados a partir da resistência mecânica conhecida do concreto, se o cimento apresentar variação excessiva, a capacidade de suportar cargas das colunas e vigas, feitas do mesmo material, fica comprometida.

De fato, não existe no mundo uma linha de produção em série que entregue produtos perfeitamente idênticos, entretanto, é possível fazer uso da automação e de instrumentação de precisão para garantir variações de produção aceitáveis para todos os contextos.

A qualidade do produto tem relação direta com o quanto um mesmo item difere entre si dentro dos vários lotes de fabricação (STEIN, 2021), assim por exemplo, um fabricante que produz pneus com durabilidade média de 100.000 km tem mais qualidade

do que outro fabricante que produziu pneus em que 60% dos lotes tem durabilidade de 300.000 km e os 40% restantes possuem durabilidade de apenas 70.000km.

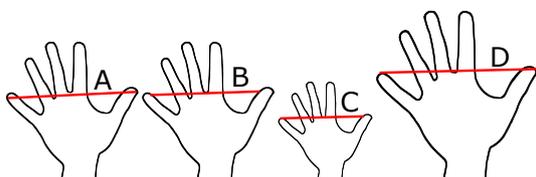


Figura 1 – Diferentes Mãos Medindo Um Palmo

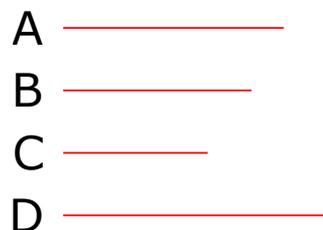


Figura 2 – Distâncias de um Palmo de Diferentes Mãos

Atualmente existe uma relação entre o grau de padronização do produto e a quantidade de instrumentação e automação usada. Um fazendeiro pode plantar sua soja manualmente, sempre inserindo a semente a um palmo de profundidade, mas é possível que, pela falta de noção espacial ou simplesmente pelo fato de um palmo ter medidas diferentes para pessoas diferentes (Figuras 1 e 2), algumas sementes fiquem muito profundas e não germinem ou fiquem muito superficiais e sejam levadas pela chuva. Ao utilizar uma semeadora equipada com sensores de distância e com a devida automação, a variação de profundidade é tão pequena que as perdas se tornam quase nulas .

Ao diminuir a variação nos processos de produção, também é possível melhorar o coeficiente de segurança ao corrigir possíveis desvios de processos oriundos da incerteza de medidas (MESQUITA FILHO, 2019), como no caso do fazendeiro. Portanto, uma empresa ao adotar uma manufatura de precisão pode reduzir custos, considerado que um coeficiente de segurança maior pode ser mais custoso.

Uma empresa de concreto usinado, por exemplo, ao diminuir variações no processo de produção, também pode diminuir o percentual de cimento que é misturado a mais em um determinado tipo de concreto, graças à instrumentação capaz de garantir que a quantidade mínima utilizada foi suficiente.

Baseada nas premissas anteriormente citadas, a empresa de compensados J.Fey & Filhos Ltda investiu na construção de uma nova planta de mistura de cola, buscando melhorar os processos na produção e reduzindo as variações indesejadas no produto final. O processo feito antes da implementação da automação consistia em o operador inserir, com o auxílio de um balde, água no recipiente da bateadeira até a primeira marcação. Em seguida, era acionado manualmente uma motobomba que fazia a transferência da resina fenólica para dentro do recipiente. Nesta segunda etapa também era utilizada uma marcação na lateral do recipiente para definir a quantidade correta de material. Após

isso, o operador utilizava uma balança digital e adicionava o peso adequado de farinha junto aos outros ingredientes. A última etapa era acionar o motor do *mixer* do recipiente e aguardar o tempo necessário para homogeneização da mistura.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho é projetar e construir uma planta de precisão para sintetização de cola fenólica para compensado.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar o processo da mistura de cola como uma receita de produção;
2. Definir as especificações da máquina e do produto produzido por ela, junto a especialistas da área da madeira;
3. Especificar o Controlador, os sensores e os atuadores a serem utilizados pela máquina;
4. Coordenar o time de mecânicos, engenheiros, técnicos eletricitas e o financeiro da empresa J Fey & Filhos Ltda;
5. Desenvolver o programa de controle a ser inserido no CLP que irá controlar a planta;
6. Elaborar o diagrama elétrico aplicáveis à planta;
7. Realizar o comissionamento da planta e relatar seu funcionamento.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O presente documento está organizado em seis capítulos como descrito a seguir: No Capítulo 1, uma introdução é apresentada junto com o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho. No Capítulo 2 é realizada a revisão bibliográfica apresentada uma breve explicação dos principais conceitos utilizados no documento. No capítulo 3 é explicada, de forma concisa, a manufatura do compensado. No Capítulo 4, os processos metodológicos aplicados no projeto da planta são apresentados e também são descritas todas as etapas do projeto, desde os cálculos até a manufatura das estruturas metálicas e instalação no chão de fábrica. No Capítulo 5, os resultados são apresentados juntamente com uma comparação entre o sistema antigo preexistente na fábrica e o sistema automatizado. O documento se encerra com as conclusões e considerações finais no Capítulo 6.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Antes de discutir com maior profundidade os detalhes metodológicos do projeto da planta para sintetização de cola fenólica para compensado, que serão apresentados no Capítulo 3, o presente capítulo introduz os principais conceitos teóricos relacionados com a automação industrial e os componentes usados nesta área do conhecimento e apresenta de maneira sucinta aspectos relacionados com as resinas usadas nas plantas de colagem existentes.

2.1 PIRÂMIDE DA AUTOMAÇÃO

A pirâmide de automação é uma representação visual que busca organizar e ilustrar, de forma hierárquica, os cinco níveis de controle e de trabalho existentes no setor industrial e como tudo se relaciona na prática. É possível observar que os níveis mais baixos se relacionam com os equipamentos utilizados “em campo”, que tem contato direto com o ambiente de produção. Em contrapartida, os níveis superiores tratam do gerenciamento dos processos e da planta. É válido ressaltar que a pirâmide da automação é previsto na (ISA-95, 2000) e também na (IEC622645, 2020)

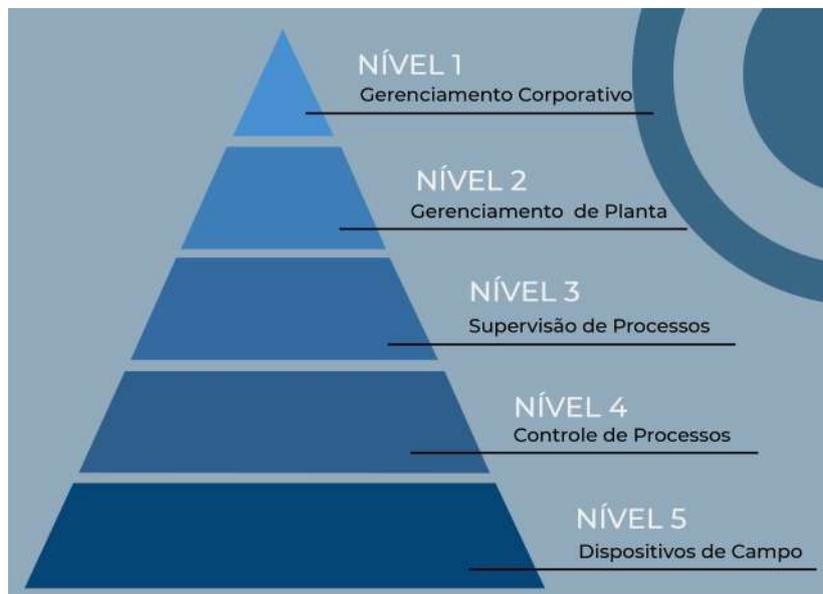


Figura 3 – Pirâmide da Automação

Os níveis da pirâmide da automação estão disponíveis na Figura 3 (KUMAR, 2019) e são descritos na sequência em ordem ascendente (da base da pirâmide até o topo):

- **Dispositivos de campo:** O primeiro nível é majoritariamente composto por dispositivos de campo. Atuadores, sensores, transmissores e outros componentes presentes na planta compõem este nível;
- **Controle de processos,** Refere-se aos equipamentos responsáveis por realizar o controle automatizado das atividades da planta. Para isso, é necessário o uso

de dispositivos com um considerável nível de processamento, onde possam ser indicadas as diretrizes de automação do sistema de controle. Estes podem ser CLP's (Controlador Lógico Programável), SDCD's (Sistema Digital de Controle Distribuído);

- **Supervisão de Processos** Este nível compreende a síntese de dados de vários processos produtivos. Estas informações são normalmente exibidas em um sistema supervisão, integrado com um banco de dados, que mostra em detalhes as variáveis de processo de cada setor da empresa.
- **Gerenciamento de Planta.** Esta ligado ao controle fabril total. É então o nível responsável pela programação e planejamento da produção. Auxilia tanto no controle de processos industriais quanto na logística de suprimentos. Aqui é possível encontrar conceitos como programação de produção, logísticas de matéria-prima, assim como, organização do fluxo de produção ao longo da linha de produção.
- **Gerenciamento corporativo** O quinto e último nível da pirâmide da automação industrial se encarrega da administração dos recursos da empresa, contemplando o planejamento estratégico, projetos de expansão da planta, *business intelligence* e gestão de custos.

2.2 SENSORES

Da mesma forma que os seres humanos fazem uso da visão, audição, tato e olfato para obter informações do mundo que os cerca, uma máquina pode utilizar os sensores para observar o estado das variáveis de processo como : posição de partes móveis da máquina, posição dos produtos no ambiente de trabalho, velocidade de motores, volume de fluidos, peso de componentes, intensidade luminosa de alguma região de processo, pressão em um cilindro, temperatura nas tubulações entre outros.

Sensores como um sensor de fim de curso, são apenas um contato elétrico que abre ou fecha quando alguma entidade pressiona seu mecanismo, permitindo ou não a passagem de corrente e tensão. Essa informação pode interagir com contatores, CLP's ou controladores a fim de desencadear eventos através dos atuadores (MORTENSON, 2020) .

Nas figuras 4 e 5 podemos ver exemplos de dois sensores de fim de curso utilizados em automação industrial, especificamente em uma prensa quente e em uma esquadrejadeira. Existem sensores que não possuem natureza discreta e são capazes de reconhecer condições de "o quanto algo está" e não apenas se "está ou não", diferenciando informações de quantidade e não apenas a condição binária de sim ou não. Este tipo de sensor é conhecido como sensor analógico , e opera em uma faixa de valores predeterminados transformando variáveis físicas em magnitudes de interesse (RICHARDSON, 2018).



Figura 4 – Fim de curso utilizado em uma prensa quente



Figura 5 – Fim de curso utilizado em uma esquadrejadeira

A fim de exemplificar, considere um sensor de pressão digital, que envia um bit (0 ou 24V) de acordo com a pressão para o qual foi construído. Se está acima do limiar, retorna 24V, se abaixo, 0V, não sendo possível saber se a pressão está mais próxima de zero ou da pressão limite. Este problema não existe caso seja usado um sensor de pressão analógico, que envia um sinal entre 0 V a 10 V proporcional à pressão que o equipamento está medindo. Não obstante, sensores analógicos também podem enviar um sinal de corrente, como é o caso do IFM PT5315 (OPERATING... , 2021) que pode ser observado na figura 6.

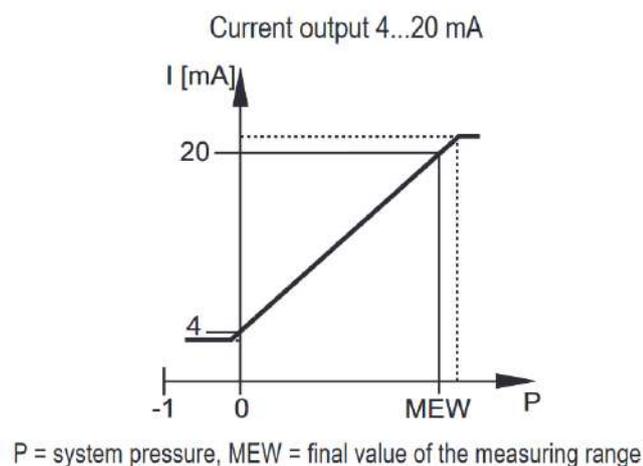


Figura 6 – Relação de corrente em função da pressão no sensor PT5315

2.3 ATUADORES

As informações lidas pelos sensores são interpretadas pelo sistema de automação que em seguida necessita agir sobre a máquina, essas ações são realizada através de

elementos chamados atuadores. De maneira análoga ao ser humano, é possível afirmar que "se os sensores são os sentidos das máquinas, os atuadores são os músculos", alguns dos principais representantes desta categoria podem ser dispositivos como:

- Motores
- Pistões pneumáticos
- Válvulas elétricas/pneumáticas
- Resistores de aquecimento

A utilização de atuadores permite que os movimentos executados por uma máquina possam ser realizados em conformidade com as etapas definidas pelo projetista no processo de automação. As figuras 7 e 8 apresentam dois exemplos de atuadores, sendo estes um pistão pneumático e um motor com caixa de redução.



Figura 7 – Pistão pneumático utilizado em uma esquadrejadeira



Figura 8 – Motor com caixa de redução utilizado em uma rosca de grãos

2.3.1 Válvulas de vias

Sistemas automáticos muitas vezes precisam controlar o fluxo de ar comprimido ou óleo hidráulico contido dentro de uma tubulação. Em situações como estas, são utilizadas válvulas pneumáticas ou hidráulicas, que tem como função principal controlar a direção, pressão e/ou vazão do fluido utilizado (ar comprimido ou óleo hidráulico), para movimentar ou acionar um cilindro, um atuador ou outros mecanismos da automação de equipamentos.

A fim de exemplificar, a figura 9 demonstra o funcionamento de um circuito eletropneumático simples. Neste exemplo, a botoeira SW1 aciona o solenoide S1 que controla os estados de uma válvula de 4/2 vias e que por sua vez direciona o ar comprimido para a câmara anterior ou posterior do cilindro, empurrando o êmbolo interno e fazendo com que o mesmo avance ou retroceda.

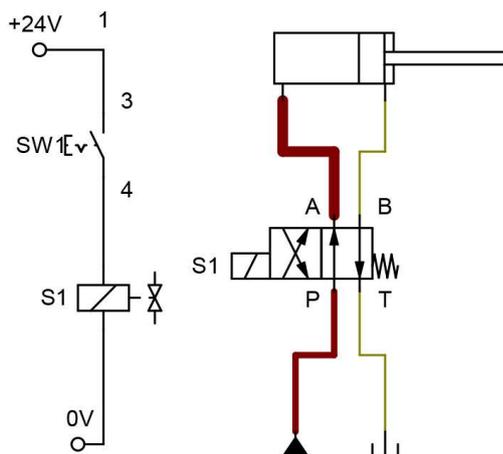


Figura 9 – Exemplo de Acionamento de uma Válvula Pneumática

2.4 COMANDOS ELÉTRICOS

Na automação de processos, o termo “comandos elétricos” ou “acionamentos elétricos” refere-se a uma área do conhecimento que lida com projetos para o acionamento e controle de máquinas elétricas. Esta área visa conhecer e dimensionar os principais dispositivos de comando e proteção utilizados nestes circuitos.

O conhecimento sobre comandos elétricos é bastante importante, pois na maioria dos sistemas de automação, há algum tipo de máquina ou equipamento acionado de alguma forma, por exemplo, através de um motor elétrico, que é a forma mais utilizada para conversão de energia elétrica para energia mecânica. Comandos elétricos são um dos tipos mais primitivos de automação industrial, fazendo uso dos estados de vários sensores para definir uma ação.

Considere um sistema de controle simples em que busca-se controlar uma bomba de água para abastecer um tanque. Neste sistema existe o motor da figura 10 que é acionado pelo contator k1. Para o funcionamento correto, é necessário que o motor ligue quando o tanque esteja com menos que o valor mínimo estabelecido e desligue quando o valor de nível máximo for atingido. Em outras palavras, os contatos do contator devem ser fechados com base nestas condições.

Para que isso aconteça, ainda é necessária a escolha de sensores para verificar quais são as condições de operação. Neste caso, a maneira de fazer isso com o melhor custo-benefício, é utilizando uma boia de nível no tanque. A boia possui contatos NA e NF que comutam seu estado de acordo com a altura da água. Sendo possível assim, acionar a bobina do contator que irá ligar o motor da bomba quando o nível estiver baixo, e desligar quando o nível estiver alto. É possível visualizar isso melhor com o seguinte esquema elétrico, na figura 10. Para acionar a bomba, com base neste exemplo, utilizamos as lógicas de programação *OR* e *AND*. Vale dizer que a utilização de comandos elétricos não se limita ao exemplo dado

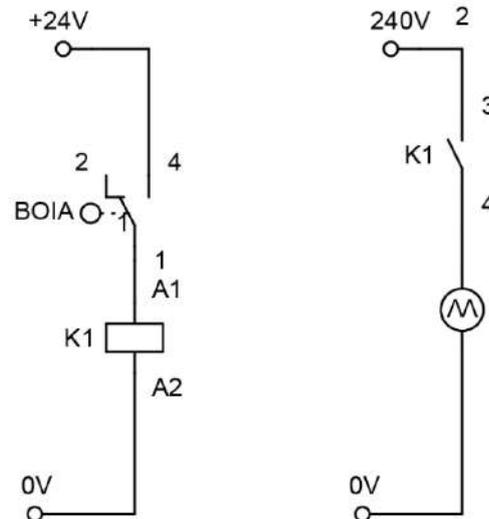


Figura 10 – Exemplo de Acionamento de uma Bomba via Boia de Nível

Sistemas automáticos cujo funcionamento pode ser reduzido a combinações lógicas do tipo “se isso, então acionar isto”, podem ser diagramadas com comandos elétricos. Entretanto, devido ao crescimento exponencial de elementos de painéis (contatores, bornes, cabos, reles, temporizadores), esta metodologia se torna menos adequada para grandes aplicações, normalmente cedendo espaço aos Controladores Lógicos Programáveis (CLP’s).

2.5 CLP’S

Os controladores lógicos programáveis, ou CLP’s, são uma solução para o problema de grandes aplicações de comandos elétricos, eliminando a necessidade de grandes painéis para acomodação de diversos contatores, além de reduzir, drasticamente, o uso de cabos de cobre para comando. O dispositivo CLP é munido de um processador, memória *RAM*, sistema operacional, entradas e saídas. A figura 11 apresenta uma imagem de um CLP do fabricante Siemens.



Figura 11 – CLP S7 1200 SIEMENS com um módulo de expansão

Da mesma forma que um comando elétrico, o CLP utiliza sensores para leitura das variáveis de interesse do processo. Estes sensores são ligados a uma das entradas do CLP. As informações dos sensores, lidas nas entradas do CLP, ficam disponíveis na memória do controlador, que utiliza programação em alto nível para trata-las, aplicar lógica e decidir qual ação tomar. Estas ações são feitas a partir da ligação das saídas do CLP.

É possível, portanto, solucionar uma demanda industrial por comandos elétricos ou por CLP's. Entretanto a utilização de controladores é mais utilizada tendo em vista as seguintes vantagens :

- **Economia de espaço.** CLP's utilizam menos espaço físico que os contatores utilizados em comandos elétricos. Um CLP Siemens S71200 com 16 entradas (14 digitais e 2 analógicas) e 12 saídas possui 13 cm por 10.8 cm, qualquer aplicação que necessite mais que 5 contatores (como os de modelo CWB9) já ocupará mais espaço do que a mesma com um CLP.
- **Custos** Parece contraditório que um dispositivo com processador, memória RAM e sistema operacional próprio custe menos que alguns contatores, mas com base o orçamento das figuras 76 e 77, é verificado que qualquer lógica que utilize mais que 20 contatores se torna mais custosa financeiramente se comparado à utilização de um CLP de entrada, como o s71200
- **Reprogramação.** Um painel de comandos elétricos é muito mais difícil de ser expandido do que um CLP, visto que todas as lógicas estão implícitas nas ligações físicas dos contatores, enquanto que, em um CLP, basta alterar algumas linhas de código, adicionar uma expansão e a mudança está feita.
- **Manutenção.** Um CLP permite que o engenheiro acesse suas variáveis de processo em tempo real para diagnosticar algum problema de operação. Isso

permite diagnosticar, rapidamente, qual sensor ou atuador está com problema. Um comando elétrico não permite o diagnóstico desta forma, exigindo testes individuais com um multímetro em cada sensor, além do fato da possibilidade dos próprios contadores de comando falharem.

- **Confiabilidade e Segurança.** Um CLP permite a elaboração de várias regras de redundância, que trazem segurança aos processos (ex. como verificar o número de acionamentos de um contator de força e agendar uma manutenção programada próxima ao fim da vida útil do contator). Um comando elétrico, por sua vez, não possui maneira direta de realizar esta medida, sendo inclusive afetado pela possibilidade dos próprios contadores de comando falharem ¹

2.6 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Existem situações que o volume de dados a serem transferidos entre dispositivos é maior do que um sinal digital ou analógico permite. Desta forma se faz necessário o uso de protocolos de comunicação, que trabalham sob uma rede de comunicação industrial.

As informações trafegadas dentro de uma rede são, assim como nos sinais digitais e analógicos, impulsos elétricos ², a diferença está na forma de interpretar estes sinais. No caso dos protocolos de comunicação existem várias regras para a troca de informações entre dispositivos, tais como sintaxe de dados, restrições, tratamento de erros e ruídos, sincronização de comunicação. Para melhor exemplificar a maneira que um protocolo de comunicação manipula as informações observe o exemplo a seguir :

Conjecturamos que em determinada fabrica existem dois dispositivos (Dispositivo 1 e Dispositivo 2) que necessitem trocar a informação de suas respectivas temperaturas. Entretanto, a única maneira possível de alcançar isto é por meio de um fio de cobre de $1.5mm^2$.

Nesta situação é necessário encontrar uma maneira de transmitir mais de uma informação por um mesmo meio físico, e para isso foi adotado algumas regras :

1. Durante os minutos pares de cada hora do dia o dispositivo 1 utiliza o cabo para enviar um sinal de 4 a 20mA enquanto o dispositivo 2 lê estas informações. O sinal de 4 a 20 mA representa proporcionalmente a temperatura do dispositivo remetente.
2. Durante os minutos ímpares de cada hora do dia o dispositivo 2 utiliza o cabo para enviar um sinal de 4 a 20mA enquanto o dispositivo 1 lê estas informações. O sinal de 4 a 20 mA representa proporcionalmente a temperatura do dispositivo remetente.

¹ Um exemplo de falha nos contadores é quando um contator "cola", isso ocorre os contatos sofrem um processo de solda pela corrente conduzida, impedindo seu desarme. Este defeito é especialmente perigoso para contadores de potência que acionam motores

² Existem casos que a informação é transmitida por pulsos de luz, como é o caso da fibra ótica

3. Em qualquer momento é dada como inválida a informação caso o valor de leitura seja superior a 20mA e inferior a 4mA

Destarte, mais de uma informação foi trafegada por um mesmo meio físico. Estas regras podem ser expandidas para mais de um CLP caso seja necessário mais dispositivos na rede. Também pode ser diminuído o tempo que cada dispositivo utiliza o meio físico para enviar seus dados caso a rede necessite de maior frequência de atualização de dados.

Essa simples ilustração representa de forma elementar conceitos que são explorados com profundidade nos protocolos de comunicação industrial modernos, como os seguintes listados :

- DeviceNet (DEVICENET, 2008)
- EtherNet/IP (ETHERNETIP, 2008)
- Modbus (MODBUS, 2000)
- Profibus (PROFIBUS, 2013)
- Profinet (PROFINET, 2014)

É possível observar que existem determinados tipos de comunicação em níveis distintos da pirâmide da automação, por exemplo : a rede do tipo AS-I se encontra entre o nível 5 (dispositivos de campo) e o nível 4 (controle de processos). Por outro lado, a rede TCP/IP funciona entre os níveis 2 (gerenciamento de planta) e 3 (supervisão de processos). Tendo em vista esta grande variedade de redes e protocolos, a escolha de determinado tipo de comunicação deve levar em conta qual a necessidade da mesma. Em situações que a frequência de transmissão de dados não é crítica a rede *Modbus* é uma boa escolha, uma vez que a maior parte dos dispositivos industriais modernos possui suporte para este protocolo. Em casos que a troca de informações é crítica a rede *Profinet* é adequada, visto que este protocolo é real-time³. É reconhecida portanto a importância dos protocolos de comunicação dentro da indústria, permitindo diferentes dispositivos trocar informações entre si, contribuindo para coleta de dados de processo e consequente otimização dos processos.

2.7 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

Existem várias maneiras em que um operador pode interagir com uma máquina e suas variáveis de processo. A interação pode acontecer através do uso de sensores de contato (como botoeiras), através de um sistema supervisório em um computador, ou ainda, a partir de uma Interface Homem-Máquina (IHM, figuras 12 e 13), que consiste em uma tela similar a um *tablet* que se comunica com um sistema de controle (usualmente um CLP) através de um protocolo de comunicação.

³ Redes de comunicação real-time possuem um tempo de resposta máximo predeterminado.



Figura 12 – IHM utilizada no projeto de planta de colagem estudada neste documento. Tela de Login.



Figura 13 – IHM utilizada no projeto de planta de colagem estudada neste documento. Tela de operação dos tanques de resina pura.

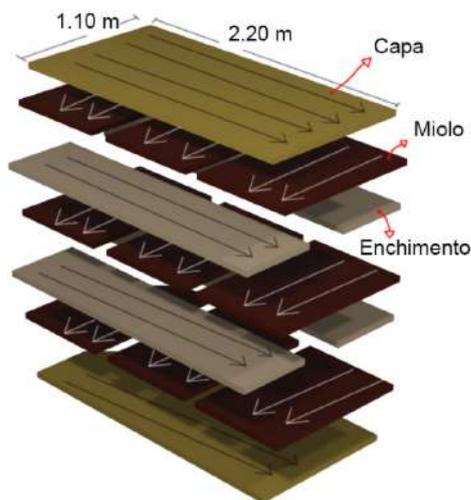
A IHM escreve nos endereços de memória do CLP, permitindo a interação com o processo. Também é feita a leitura de variáveis dentro do CLP que podem ser exibidas na tela, como um *timer* de processo por exemplo. Para grandes aplicações é muito mais vantajoso utilizar uma IHM, do que outros métodos mais simples. Veja o porquê neste exemplo: em uma máquina, com 7 partidas de motores, é necessário usar 7 botoeiras para acionamento e outros 7 *leds* para indicar o estado ⁴. Se utilizada uma interface homem-máquina, todas as ações e informações ficam disponíveis de maneira interativa para o operador, além disso, a disposição de elementos visuais, como o nível de um tanque, torna muito mais eficiente a operação da máquina por parte do colaborador de uma empresa que opera máquinas.

2.8 RESINAS DE FENOL-FORMALDEÍDO E UREIA FORMOL

Durante a manufatura do compensado, as lâminas de madeira são montadas, umas sobre as outras, com as fibras transversais entre as camadas subsequentes. Estas camadas recebem ou cola fenólica (com base de fenol-formaldeído) ou cola branca (com base de ureia formol) . Veja a divisão da montagem de um compensado de 7 camadas no modelo abaixo.

⁴ Quando não existem múltiplos *leds* sinalizando os estados de falha térmica, motor operando e motor desligado. A norma IEC60073 especifica led vermelho para perigo, amarelo para atenção e verde para situação segura (IEC60601, 2005).

Figura 14 – Montagem das camadas de lâminas no compensado



2.8.1 Ureia-formaldeído

A cola branca, também conhecida como resina de ureia-formaldeído, é uma cola de baixo custo e baixa temperatura de cura. Temperaturas de 90°C (IWAKIRI, 2009) são suficientes para que ocorra a reação de cura ⁵. Tais circunstâncias tornam o compensado, feito a partir de cola branca, mais barato, principalmente se compararmos com o compensado feito a partir de cola fenólica.

Nos compensados feitos com cola branca, se considerarmos sua temperatura de cura em 90°C , a água presente na madeira (umidade) não entra em ebulição e, portanto, o custo de secagem da lâmina pode ser reduzido. Por outro lado, estas vantagens são logo ofuscadas pelo fato da baixa resistência a água da resina curada.

2.8.2 Fenol-formaldeído

A cola fenólica, ou resina de fenol-formaldeído, é uma resina de elevada temperatura de cura e com alta resistência a umidade (WANG, 2009). Essas características permitem que os compensados feitos a partir de cola fenólica possam ser utilizados na construção civil. O compensado resinado ⁶ pode ser usado em paredes e pilares ⁷, e o compensado plastificado pode ser usado em aplicações em caixarias de concreto.

⁵ Reação de cura é o nome dado processo químico que efetiva a fixação das diversas colas utilizadas na manufatura do compensado. Normalmente esta reação só ocorre em temperaturas elevadas.

⁶ Compensado resinado é caracterizado pela ausência da película de tegofilm em sua superfície

⁷ O LVL (laminated veneer lumber) é um produto similar ao compensado utilizado em pilares. Devido as especificidades da madeira, este produto é extremamente resistente à flambagem, resistindo a pressões superiores a 60 Mpa (EXPERIMENTAL... , 2014) . (TENORIO, 2011)

2.9 PLANTAS DE COLAGEM EXISTENTES

O autor visitou diversas empresas de compensado na região Sudoeste do Paraná. Nas visitas aos locais foi observado o funcionamento de várias plantas de produção de cola e analisados seus respectivos pontos positivos e negativos. O destaque aqui vai para a planta descrita neste documento, que herdou vários conceitos já implementados e testados ao mesmo tempo que evitava algumas falhas de engenharia já cometidas.

Devido a confidencialidade industrial das empresas parceiras, não serão apresentados detalhes específicos das plantas, mas sim uma visão geral das varias concepções de misturadores e bateadeiras. A citação das fábricas visitadas não é confidencial e aqui serão listadas:

- Indústria de Compensados Sudati Ltda
- Industrial Arbhores Compensados Eireli
- Argenta Bonotto Cia Ltda
- Madecomp Comércio de Madeiras
- Indústria de Compensados Guararapes
- Comércio de Madeiras Monte Verde

Durante a inspeção das diversas bateadeiras, foram observados três categorias distintas de automação. A mais básica é composta por apenas dois motores, o que realiza a misturação propriamente dita e o da bomba de resina de cola. O processo conta com baldes graduados e com uma balança para aferir o peso da farinha. A resina é dosada com subjetividade pelo operador, uma vez que o volume inserido era baseado na visão dele. Este tipo de estação é normalmente construído acima da parte da fábrica que utiliza a cola, não possuindo bomba de descarga mas sim uma válvula manual que, através da gravidade, escoo o conteúdo da bateadeira. Dotado de uma automação ligeiramente superior ao modelo da figura 15, o segundo modelo (figura 16) porta duas motobombas que, mediante comandos do operador, transportam água e resina de seus respectivos reservatórios até a bateadeira. O volume destes ingredientes é medido através de marcações em alturas distintas da bateadeira, que seguem uma proporção pré-definida e testada. Apesar de ainda impreciso, este método permite uma constância de bateladas maior que o modelo de bateadeira manual. Neste tipo de máquina, a inserção de farinha ainda é feita manualmente e mediante a uma balança.

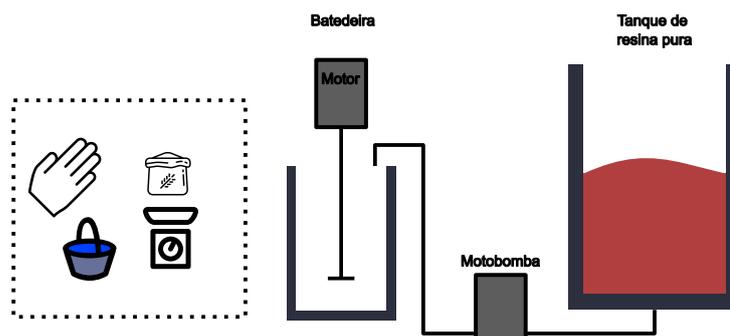


Figura 15 – Modelo de Batedeira Manual

Presente em apenas duas das seis empresas, células de carga permitem que todos os ingredientes possuam uma dosagem precisa e independentes da subjetividade do operador. Este tipo de instrumentação vem acompanhado de motobombas e eletroválvulas para dosagem dos fluídos (Água e resina) e rosca de grãos para transporte da farinha de trigo (como na figura 17). O processo ocorre mediante a utilização de um CLP, que interpreta os comandos do operador e, com base nas informações de peso de cada ingrediente, produz a mistura inteira sem necessidade de interferência humana.

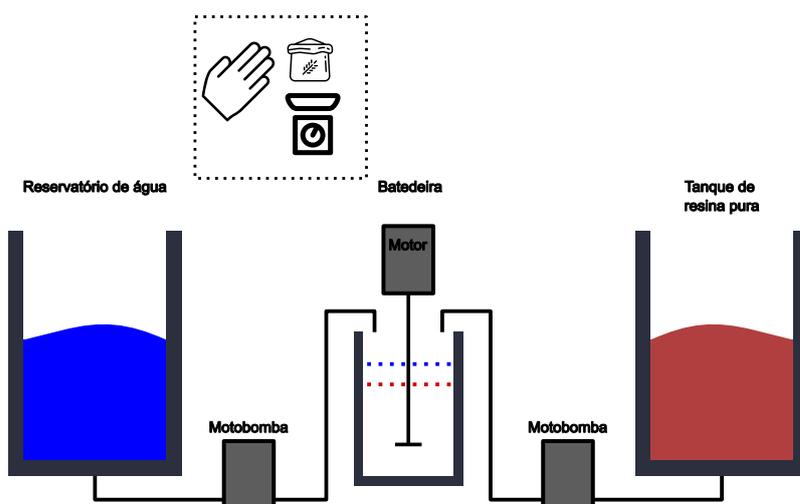


Figura 16 – Modelo de Batedeira Semi-automática

Em conjunto com a batedeira, um terceiro recipiente foi adicionado, o agitador. Este reservatório armazena dezenas de batidas feitas para uso posterior na fábrica, e como a cola pode precipitar a farinha por meio de um processo chamado decantação, foi adicionado um rotor a sua estrutura. Este mecanismo é similar ao rotor da batedeira, diferindo apenas na velocidade de rotação, que é de em média 30 rpm.

É constatado que a cola agitada por mais de seis horas possui viscosidade superior a cola produzida mediante somente a batedeira. Este fato, que é averiguado posteriormente neste documento, concede a este tipo de planta mais uma vantagem de processo, uma vez que é possível colar⁸ mais compensados com o mesmo volume de resina.

⁸ Colar é o nome do processo de posicionar lâminas em determinadas ordens para produzir compensado. Este procedimento é abordado com mais profundidade no Capítulo 3

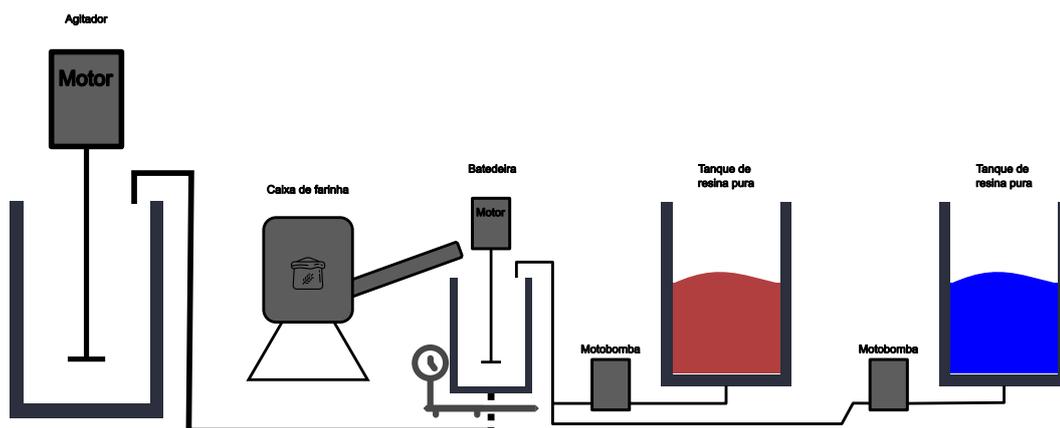


Figura 17 – Modelo de bateadeira automática com tanque de agitação

3 ENGENHARIA DO PROCESSO

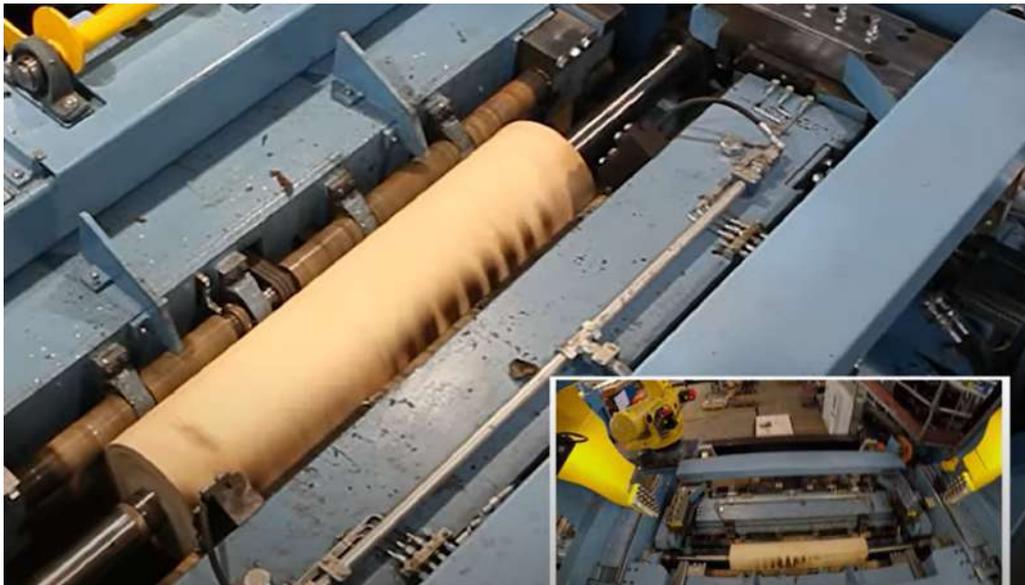
3.1 MANUFATURA DO COMPENSADO

Como previamente introduzido, o presente documento apresenta o projeto e construção de uma planta de precisão para sintetização de cola fenólica para compensado, contudo, antes de apresentar a proposta de automação, o presente capítulo apresenta informações relevantes relacionadas com o processo de fabricação do compensado.

3.1.1 Laminação

O processo se inicia pela laminação da madeira, sendo a mais usada a *pinus elliottii*. Como mostrado na Figura 18, o processo ocorre em uma máquina chamada torno. A máquina gira o tronco de madeira enquanto uma lâmina metálica se aproxima.

Figura 18 – Lâmina logo após a saída do torno (RAUTE, 2020)



À medida que a lâmina entra em contato com o tronco, um “tapete” plano e contínuo de madeira é formado. Este tapete é chamado de lâmina e é classificado em três categorias gerais:

- **Capa:** normalmente tem o tamanho de 1,15m por 2,30 m ou 1,30m por 2,55 m. A ABIMCI (Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente) classifica o compensado de pinus de acordo com (ABIMCI, 2002), tornando a parte mais cara da peça. A qualidade do compensado é dado através dos nós na capa, quando menor a quantidade, melhor a qualidade. As espessuras da capa podem variar de 1 mm a 4.5 mm;
- **Miolo:** são lâminas de 1,15m x 0.8m ou 1,30m x 0,8m e vão no interior do compensado. As espessuras variam de 1 mm a 4.5 mm;

- **Enchimento:** possuem dimensões de 2,30 m x 0,62 m e são as camadas que ficam no interior da chapa, são as camadas de número ímpar.

É comum que as toras de madeira passem por um processo de cozimento antes de serem laminadas, esta etapa consiste em colocar os troncos em um ambiente confinado e injetar vapor de água no período de 6 a 12 horas. O contato do vapor quente facilita o processo de laminação, sendo opcional quando a espécie da árvore é de Eucalipto (IWAKIRI, 2013b) ou Paricá, e, obrigatório quando se trata de Pinus.

3.1.2 Secagem

Após laminadas, as madeiras passam por um processo de secagem para retirada de umidade, chegando a 2% no miolo e enchimento e até 20% na capa ¹. A máquina que faz essa tarefa é chamada de secador (OMECO, s.d.), normalmente são equipamentos grandes e robustos ocupando um barracão inteiro. As figuras 19 e 20 mostram um exemplo dessas máquinas.



Figura 19 – Lado de entrada de lâminas no secador



Figura 20 – Lado de saída de lâminas no secador

3.1.3 Colagem

As lâminas secas recebem uma camada de cola fenólica (fenol-formaldeído) e são posteriormente montadas em uma série de camadas com fibras ortogonais sobrepostas. A este processo se dá o nome de colagem.

A quantidade de camadas é escolhida de acordo com o pedido do cliente, quanto mais finas as lâminas utilizadas na colagem maior a resistência à flexão (LU, 2016).

¹ Valores de umidade referentes à produção de compensado com cola fenólica

3.1.4 Prensagem Fria

Na sequência, as peças montadas são prensadas juntas a frio com uma pressão de 10 bar durante 5 a 10 minutos (GAO, 2018). Esse processo facilita o manuseio das peças nos próximos passos.

Quando o compensado é chamado de Plastificado, as peças recebem uma película impermeável logo após a prensagem a frio. Em situações que a peça de compensado apresenta defeitos na superfície, o mesmo recebe uma camada de massa, a fim de corrigi-los. Na Figura 21 é apresentado um exemplo de prensa fria.

Figura 21 – Prensa Fria



3.1.5 Prensagem quente

Em seguida, o compensado é prensado novamente, desta vez em uma prensa com serpentinas de vapor, cujo objetivo é fazer a resina fenólica agir, colando as camadas de lâminas. O vapor passa nos pratos individuais ² e aquecem os compensados com temperaturas de até 135°C. Com esta temperatura, a película e a resina fenólica aderem firmemente na madeira enquanto a placa metálica impede que a película fique impregnada na prensa (BEKHTA, 2020).

² Os pratos são a peça metálica que recobre ambas as faces do compensado durante a prensagem. Sua função é permitir que o vapor de água transfira calor para todos os pontos da madeira.

Figura 22 – Prensa quente Markuse 17 pratos e 16 gavetas



Com as chapas de compensado ainda quentes, é realizado o corte nos tamanhos de 1,22m x 2,44m ou 1,10m por 2,20m, em uma máquina conhecida como esquadrejadeira.

Figura 23 – Serra esquadrejadeira de compensados



Por fim, as chapas são agrupadas em lotes, lixadas e qualquer imperfeição corrigida. Os lotes são pintados e amarrados para o transporte e ficam no barracão de carga até sua expedição.

3.2 PRODUÇÃO DA COLA

Nesta secção será discutido como é feito a produção de cola e suas especificidades.

3.2.1 Composição da Cola

A cola para o compensado fenólico³ é feita basicamente de três componentes :

- Resina de fenol formaldeído
- Água
- Farinha⁴, normalmente de trigo

A resina, derivada do petróleo, possui o papel de fixar as camadas do compensado. Isto ocorre por meio de uma reação química comumente chamada de *cura* da cola, que ocorre a uma temperatura de, pelo menos, 135 °C (WANG, 2009). A água serve para diluir a mistura, o que permite a redução do custo de produção e também facilita a aplicação da cola na madeira visto que modifica a viscosidade de aplicação. Por fim, a farinha tem o papel de melhorar a transferência da resina à madeira e reduzir o custo final da cola.

3.2.2 Produção de Cola nas Indústrias Brasileiras de Compensado

As empresas do ramo de compensado no Brasil possuem suas especificidades na etapa de produção da cola. Algumas adicionam os líquidos (Água e resina) antes dos sólidos (Farinhas de várias espécies) e outras, o contrário. Empresas estrangeiras não utilizam sólidos na composição da cola, uma vez que a aplicação da mistura nas lâminas é feita a partir de extrusoras.

O fator comum entre todos estes métodos, é a necessidade de uma homogeneização entre todos os ingredientes, de modo que exista uma quantidade suficiente de resina para adequada fixação das lâminas do compensado.

Diferentes indústrias utilizam diferentes técnicas para atingir qualidade com um custo de produção competitivo. Um dos métodos consiste em aumentar a quantidade de água na mistura, diluindo de forma mais agressiva a resina, e para atingir a quantidade de sólidos ativos entre as camadas, é impregnada mais cola nas lâminas. O contrário também é válido, utilizando menos cola impregnada mas com uma maior concentração de resina.

O controle da qualidade da cola é feito de várias maneiras. A viscosidade, por exemplo, é medida pelo copo Ford, que deve permitir que a cola escoe por pelo menos 55 segundos, para que a mistura seja considerada adequada para colagem.

Outra métrica importante é a gramatura da cola, que consiste em pesar uma lâmina antes e depois de ter cola impregnada em sua superfície. A diferença de peso, entre as duas medidas, corresponde a massa de cola presente na madeira. Normalmente esta diferença é dividida pela área da lâmina, resultando desta forma no *Peso de cola por área de lâmina*⁵

³ Compensado fenolico é o nome dado ao compensado que utiliza cola a base de fenol formaldeído

⁴ Em países como o Chile, Uruguai, Estados Unidos e também regiões como a Europa e Ásia, muitas vezes, não é utilizada nenhum tipo de farinha na mistura. Isto se deve ao método de aplicação de cola por extrusora e também pela afinidade das madeiras nativas destas respectivas regiões com este método de impregnação, que não aceita cola com farinha

⁵ A gramatura da lâmina não tem relação direta com a produção de cola em si, mas sim com a regulagem do equipamento chamado de rolo, que é responsável por impregnar a cola na lâmina

O último, e mais importante teste para verificação da qualidade de colagem é o teste destrutivo do compensado, que consiste em cortar o compensado em vários pedaços e os tracionando em um equipamento específico. Para certificar que a colagem é adequada, faz-se necessário que as fibras das lâminas se rompam antes do descolamento das camadas.

Em casos que ocorre o descolamento das lâminas antes do rompimento da madeira, atribui-se um erro na composição da cola, ou no tempo de prensagem, ou na temperatura de prensagem, ou na umidade das lâminas ou até mesmo, na demora em aplicar pressão durante a prensagem à quente ⁶.

É perceptível a quantidade de variáveis atreladas à manufatura do compensado, sendo que a cola desempenha um papel importante em todos os processos acima descritos. Desta forma, além de desempenhar um papel financeiro, a produção de cola também causa efeitos na produtividade da empresa, assim como na qualidade e padronização do produto final.

3.3 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

A resina de Fenol-Formaldeído é um derivado do petróleo que possui seu preço atrelado ao valor do dólar, tornando-se a parte mais cara da cola. Além de ser o componente de maior custo, a resina possui elementos chamados de *Sólidos Ativos*, que são os responsáveis por realizar, de fato, a colagem através do processo chamado de cura da cola. Desta forma, o operador precisa garantir que quantidades suficientemente grandes destes elementos estarão presentes nas lâminas do compensado quando este for prensado à quente.

O processo atual de produção de cola não faz uso de instrumentos de precisão, ou seja, além de existir erros atribuídos à variação do trabalho manual do operador, ocorre também o erro atrelado a precisão dos instrumentos de medida, que estão à disposição do colaborador.⁷

A orientação da diretoria ao funcionário responsável atualmente pela produção de cola é que seja sobredimensionado o peso de resina, visto que é financeiramente mais vantajoso gastar mais resina do que necessário se comparado com o custo de um *recall* de um lote de produção. Entretanto, ser financeiramente vantajoso não implica em ser barato, uma vez que um pequeno desvio de massa de resina durante a produção reflete em um valor alto se somado ao longo das semanas. Tendo em vista estes pontos, e adotando C para o custo adicional da empresa com desperdício de resina, P_{re} como o peso de resina por bateladas, N o número de bateladas por dia, P o percentual de desperdício (Percentual em peso), V o valor do kg e 252 como o número de dias uteis do ano é obtido é possível

⁶ Isto ocorre pois a cola cura *em falso* nestes casos, dando origem a uma patologia do compensado chamada de pré-cura

⁷ Tempo de mistura diferente, tempo de espera da cola até a mesma ser de fato utilizada na colagem, escolha de resina do tanque mais novo ou mais velho

encontrar o custo relacionado ao desperdício através da equação 1 :

$$C = P_{re} * P * V * 252 \quad (1)$$

Como a resina, além de ser o constituinte mais caro da mistura, é um derivado do petróleo, o prejuízo causado pela imprecisão de medidas tende a aumentar em um ritmo ainda maior em situações de alta no preço do petróleo.

Além da motivação financeira, padronizar a produção da cola permite a otimização de outros processos. Um desses processos é a padronização da prensagem à quente, considerando que, tanto a temperatura quanto o tempo de prensagem desta etapa, sofrem interferências da quantidade de sólidos ativos presentes nas camadas do compensado. A cola nesta etapa precisa sofrer o processo de cura antes do término da prensagem.

Nesse caso, ao eliminar drasticamente a variação da composição da cola, permite-se ganhos de produção em outras partes da cadeia produtiva do compensado. Considerando que o tempo de prensagem, hoje em dia, é, em média, $1 \frac{min}{mm}$ de espessura, pode-se ter o tempo e temperatura de prensagem ajustados e diminuídos, devido à variável constante da cola.

3.4 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE COLA MANUAL

O processo manual de produção de cola se inicia com o operador acionando a bomba de água até atingir a primeira marca do recipiente da bateadeira⁸. A primeira marca do recipiente corresponde a metade da quantidade total necessária em uma batida.

Em seguida, o operador aciona a bomba de resina preenchendo até a segunda marca do recipiente e, imediatamente, aciona o motor do rotor da bateadeira. Com o motor ligado, o colaborador utiliza uma balança manual para pesar a farinha e vai, lentamente, adicionando o conteúdo na bateadeira, enquanto o rotor está ligado.

O conteúdo da bateadeira continua sob agitação por 20 minutos até estar pronto para uso. A última etapa é desligar o rotor e abrir a válvula manual, liberando a mistura que escoar por gravidade até aonde é utilizada no processo de produção do compensado.

3.5 SOLUÇÃO PROPOSTA

A solução proposta neste trabalho surge da necessidade de uma maior precisão na quantidade de resina colocada na mistura. Isso porque é necessária uma concentração mínima de sólidos ativos, que precisam estar em contato com a lâmina do compensado.

Os sólidos ativos estão presentes na resina e são compostos que proporcionam a colagem entre as lâminas. Para que não falte sólidos ativos durante a colagem do

⁸ Bateadeira antiga, diferente em dimensões e especificações da nova produzida para este projeto

compensado, o operador, muitas vezes, peca por excesso na mistura, gerando um custo maior para a empresa.

Algumas gramas adicionais de resina, até o final do ano, implicam para a empresa um gasto excessivo. Com a adição de uma máquina mais precisa, a necessidade de colocar resina em quantidades superiores, torna-se inexistente.

De modo a solucionar o problema de gastos com a aplicação excessiva de resina, neste trabalho é proposta a construção de uma planta de colagem composta por uma bateadeira municiada com células de carga, que utilizará um motor para realizar a mistura em alta rotação da água, da farinha e da resina.

Estes três componentes, água, farinha e resina, serão misturados por cerca de 25 minutos. Após este tempo, serão bombeados por tubos até um tanque maior chamado de agitador. Este tanque também terá um rotor, com velocidade de rotação menor, entre 30 a 60 rpm.

A farinha é um composto sólido que necessita de especial atenção neste processo, seu local de armazenamento será em uma caixa de ferro de pouco mais de um metro cúbico de capacidade. Na parte inferior desta caixa existe uma rosca de grãos, a qual conduz a farinha até a entrada da bateadeira por meio de rotação.

Por outro lado, a água e a resina são compostos líquidos, que permitem o uso de bombas e encanamentos para seu transporte. Da mesma forma que a farinha possui seu reservatório, a água e a resina também deverão ter. A água será fornecida através de uma caixa de água abastecida pela chuva, pela água de reuso⁹ e também pela água fornecida pela Companhia de Saneamento do Paraná.

A resina é um composto mais delicado que a água e, portanto, deve ser armazenado com mais cuidado. O local de estocagem escolhido são dois tanques cilíndricos de 2 metros de diâmetro e 4.8 metros de altura, ambos são vaso-comunicantes e armazenam 25 toneladas de resina.

Todo processo de produção automatizado de cola será controlado a partir de um painel, portador de um CLP Siemens S71200, uma fonte 24V de 5A, um *soft-starter* para acionamento do motor da bateadeira, relês de interface para as saídas digitais da CPU, contadores trifásicos para acionamento dos motores em partida direta, além de disjuntores trifásicos para todos os motores. Ainda, o painel contará com uma IHM em sua porta que permitirá ao operador ter controle de todas as variáveis de processo.

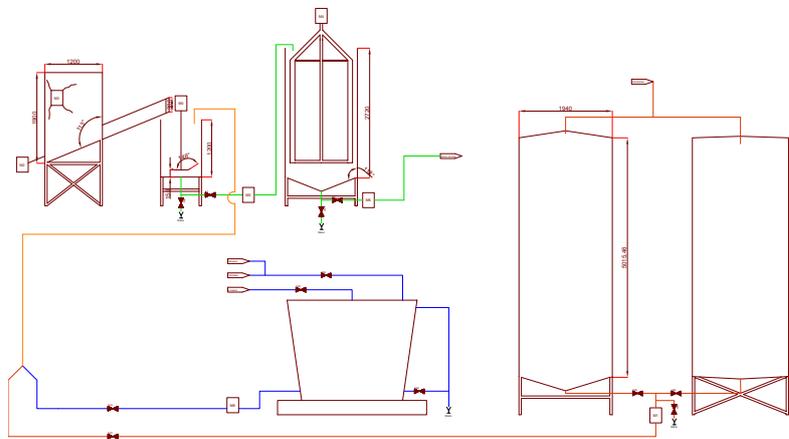
A máquina também contará com passarelas ao seu redor, dentro das exigências da NR12, para facilitar sua operação, manutenção e segurança (NR12, 1978). As exigências proporcionarão uma maneira fácil de inspecionar o processo assim como a reposição do estoque de farinha em sua caixa.

⁹ As máquinas utilizadas no processo de colagem são diariamente lavadas, a água suja resultante não pode ser descartada sem tratamento, então como forma de economia a empresa utiliza a mesma para uso na fabricação de cola

4 METODOLOGIA

Este capítulo descreve de maneira detalhada os processos envolvidos no planejamento, projeto e construção da máquina. Primeiramente, são explicitadas as necessidades de produção de cola da empresa, em seguida são mostradas em detalhes as características e especificidades no processo de mistura da cola em um contexto geral nas indústrias de compensado. A figura 24 mostra o diagrama de tubulação e instrumentação da planta, que é mencionado diversas vezes neste capítulo, de modo a facilitar o entendimento do funcionamento descrito.

Figura 24 – Diagrama de tubulação e instrumentação



O dimensionamento mecânico é tratado logo em seguida, atendendo as necessidades descritas nos dois tópicos anteriores e na sequência é detalhado todo o processo de desenvolvimento do sistema de automação necessário para atender as demandas de produção, as especificidades do processo de mistura e também o controle de toda a parte mecânica da máquina. Uma vez definidos todos estes pontos, é realizado o dimensionamento da parte elétrica da máquina, contemplando condutores, motores, disjuntores, bornes, contadores e a lógica de controle que o CLP necessita ter sobre a planta.

4.1 DEMANDA DE PRODUÇÃO

O compensado é um compósito, constituído por madeira na forma de lâminas em sua fase contínua, e cola proveniente da mistura descrita no capítulo anterior como fase dispersa. A proporção entre os componentes dita a quantidade de cola utilizada por m^2 de lâmina, medida esta que é conhecida dentro da indústria madeireira como gramatura.

Compensados utilizam, em média, $380 \frac{g}{m^2}$ ¹. Quando a fabricação da chapa é feita

¹ Gramatura referente à quantidade de cola utilizada em ambas as faces da lâmina. Caso apenas um dos lados receba a cobertura de cola fenólica é necessário dividir por 2 o valor

com camadas de lâminas mais finas, é necessário que seja diminuída a gramatura, devido à permeação da cola entre as camadas subsequentes. Quando o resultado contrário ao desejado acontece, resulta em uma patologia do compensado chamada de estouramento da chapa, por isso a necessidade de diminuição da gramatura.

Compensados com camadas de lâminas mais grossas possuem uma tolerância maior quanto ao erro na dosagem da gramatura. É importante salientar que a quantidade de cola que é transferida não tem relação com a planta de colagem e sim com a abertura do rolo de cola. O comportamento desta regulagem na gramatura da lâmina pode ser observada nas figuras 25 a 28, que estão em ordem crescente de gramatura :



Figura 25 – Lâmina Com Gramatura Baixa



Figura 26 – Lâmina Com Gramatura Média Baixa



Figura 27 – Lâmina Com Gramatura Média Alta



Figura 28 – Lâmina Com Gramatura Alta

A quantidade de cola necessária para a produção de um mês de compensado ² corresponde a 40 t. O procedimento para o cálculo é apresentada no subtópico a seguir.

4.1.0.1 Consumo de Cola por Chapa de Compensado

As camadas de lâmina que compõe o compensado recebem alternadamente cola, ou seja, em um compensado de três camadas apenas a intermediária é banhada pela cola. Isto se deve ao fato de que a camada intermediária transfere a cola para as camadas da extremidade. Este fato explica o motivo do número de camadas do compensado brasileiro sempre ser ímpar. O exemplo do compensado de três camadas pode ser expandido para qualquer número ímpar, como mostra a tabela 1

² Com base nas necessidades atuais da empresa

Número da Camada	Número de Camadas do Compensado				
	11	9	7	5	3
11	Capa				
10	Miolo				
9	Enchimento	Capa			
8	Miolo	Miolo			
7	Enchimento	Enchimento	Capa		
6	Miolo	Miolo	Miolo		
5	Enchimento	Enchimento	Enchimento	Capa	
4	Miolo	Miolo	Miolo	Miolo	
3	Enchimento	Enchimento	Enchimento	Enchimento	Capa
2	Miolo	Miolo	Miolo	Miolo	Miolo
1	Capa	Capa	Capa	Capa	Capa

Tabela 1 – Composição Dos Tipos de Lâmina em Compensados Com Diferentes Números de Camadas

Considerando M_c como a massa de cola consumida, N_c o número de chapas de compensado, N_m o número de camadas com miolo, L e C a largura e o comprimento das lâminas em metros (respectivamente) e G a gramatura em $\frac{kg}{m^2}$. O Cálculo do consumo de cola chapa de compensado é dado por :

$$\frac{M_c}{N_c} = N_m * (L * C) * G \quad (2)$$

Levando em conta as camadas que possuem cola, a gramatura aplicada, as dimensões físicas do compensado, é possível determinar a massa de cola em função das características construtivas de cada chapa.

4.1.1 Gramatura Superficial de cola no Compensado

A gramatura superficial do compensado é dada em gramas por metro quadrado ($\frac{g}{m^2}$) (Ou $\frac{kg}{m^2}$) e corresponde à quantidade de massa de cola a cada metro quadrado de lâmina. A gramatura é uma densidade superficial e corresponde diretamente a qualidade de colagem da madeira (IWAKIRI, 2013a). Utilizar uma gramatura excessiva, além de ser desperdício de matéria-prima, pode ocasionar o estouramento³ da chapa durante a prensagem a quente.

Este fenômeno é especialmente acentuado na produção de compensados com camadas finas de lâmina, uma vez que a baixa espessura das camadas proporciona uma baixa vazão do vapor durante a elevação da temperatura, tornando o compensado multicamada⁴. Por outro lado, produzir compensados com baixa gramatura pode reduzir a resistência

³ Patologia do compensado causada pelo excesso de água no interior da chapa. Durante a prensagem à quente, a água presente na cola ebule e, caso a quantidade seja demasiadamente grande, a ebulição dentro do compensado forma bolsões de ar e vapor, tornando a chapa inutilizável comercialmente

⁴ Jargão atribuído a compensados fabricados com camadas de lâminas finas, normalmente de 1.5 mm

a tração uma vez que ocorre a ruptura da colagem entre as camadas de lâmina antes da ruptura da lâmina, propriamente dita. Existem casos que a baixa gramatura nas lâminas nem ao menos cola as camadas de lâminas, implicando em um compensado de baixa qualidade.

Outro ponto importante é a resistência às intemperes que a chapa pode vir a sofrer, sendo que normalmente o compensado fenólico é utilizado em caixarias para concreto, tapumes expostos ao tempo, carrocerias de caminhões. Nestas circunstâncias, o calor e a umidade agem de forma muito impactante na estrutura de colagem, e se a colagem for fraca devido á baixa gramatura, a chapa poderá ter suas camadas descoladas (especialmente as camadas mais externas).

4.1.2 Modelo Adotado de Produção de Cola

Reunindo a teoria do modelo ideal de produção de cola, os modelos de bateadeiras já existentes e seus pontos positivos e negativos, toda experiência dos colaboradores entrevistados e todos os anos dentro da indústria de compensado da empresa J.Fey & Filhos Ltda, foi construído o modelo mais apropriado para empresa na colagem de lâminas. A execução do presente projeto buscou atender as características de demanda anteriormente discutidas com o menor preço possível, atendendo pelo menos os requisitos mínimos de segurança, produção e qualidade construtiva e de produto. Pequenas mudanças no projeto podem catapultar o preço de projeto ou mantê-lo com um custo adequado para seu propósito.

A produção de cola tem início com a resina sendo bombeada dos tanques de resina pura para dentro da bateadeira. Os tanques de resina pura possuem válvulas manuais de abertura que permitem a escolha de qual reservatório será utilizado, normalmente ambas as válvulas se encontram abertas e, desta forma, os reservatórios funcionam como vasos comunicantes. Além disso, a bomba de resina é diferente de uma bomba utilizada para água, sendo que para água a bomba pode ser do tipo centrífuga, enquanto que para resina o aparato deve possuir bombeamento por engrenagens. Não obstante, como a resina pura é ligeiramente mais densa que a água⁵, é necessário que o cálculo de potência do motor leve em consideração a necessidade de potência maior devido as diferenças de densidade. Antes de entrar na bateadeira e depois de passar pela bomba, conforme mostra a figura 24, é posicionada uma eletroválvula. Este item tem dois propósitos, o primeiro é impedir o fluxo de resina, em ambos os sentidos, e em momentos que a máquina precise inserir mais resina na bateadeira. O segundo propósito é que parte da tubulação é compartilhada com a água para impedir o fluxo indesejado nos reservatórios de resina. A eletroválvula é um item comum dentro da indústria e utiliza um solenoide que comuta a passagem de ar comprimido, o qual, por sua vez, move o registro da válvula. O CLP envia, então, um sinal para o solenoide permitir ou não a passagem de ar comprimido, que, por sua vez,

⁵ Água $\frac{1000kg}{m^3}$ e a resina $\frac{1263kg}{m^3}$

abre ou fecha o registro, e permite que a passagem de fluido seja controlada pelo CLP. O segundo passo é adicionar a água à mistura. De forma semelhante à resina, a água é bombeada do reservatório de água para dentro da bateadeira, passando pela bomba de água e pela eletroválvula. Mesmo que exista apenas um reservatório de água, também foi posicionada uma válvula manual, conforme a figura 24, para facilitar a manutenção. É importante ressaltar que quando 50% da resina for adicionada à mistura, o motor de mistura da bateadeira é acionado. Isto serve para que a inércia da carga do motor seja baixa, diminuindo o esforço do motor uma vez que o motor tem seu menor torque justamente durante a partida. Ainda com o motor ligado e toda resina e água já adicionadas, o motor da rosca de farinha e do vibrador da caixa são acionados. A farinha começa a ser adicionada na mistura. A adição de farinha automática com a rosca, nesse processo, tem o benefício de, lentamente ir acrescentando a farinha, que é rapidamente espalhada na mistura, evitando o empelotamento do conteúdo da bateadeira e, conseqüentemente, diminuindo a vibração do conjunto e o esforço do motor.

Com todos os ingredientes adicionados, a bateadeira continua com seu motor ligado por um período de 20 a 30 minutos e, uma vez que este tempo termina, o conteúdo é transferido para o tanque do agitador. Para realizar essa transferência, o motor da bateadeira deve estar desligado e, tanto a eletroválvula quanto o motor da bomba de transferência, devem estar acionados.

A resina pura exige uma alta potência do motor, então é natural que a mistura com farinha e com água eleve ainda mais este esforço. Por isso, tanto a bomba quanto o motor foram escolhidos levando em conta estas necessidades do processo.

Com todo o conteúdo da batida de cola no agitador, é iniciado o processo de agitação da mistura. Como o processo de mistura já foi anteriormente realizado pela bateadeira, o motor e as pás do agitador apenas mantém o fluido em um movimento lento (30 a 70 rpm). Uma das finalidades desta etapa é estocar a cola pronta para seu uso na produção, promovendo uma reserva de segurança para a empresa.

Outro ponto importante desta etapa é que ao agitar a mistura por longos períodos de tempo, além de impedir a precipitação da farinha, a mesma ganha viscosidade. Este incremento de viscosidade melhora a qualidade de colagem do compensado e diminui o consumo de cola por metro cúbico de madeira produzida.

4.1.2.1 *Especificidades de Funcionamento*

Alguns pontos específicos do processo podem passar despercebidos e serão comentados neste tópico. O primeiro é que as válvulas 0 e 1 (presentes no diagrama da figura 24) permanecerão abertas somente quando o CLP desejar que ocorra o fluxo de água ou de resina, de forma respectiva.

Também é válido comentar o processo de medição da quantidade de cada ingrediente. Todo o processo de produção leva em conta a quantidade de matéria da mistura, ou seja,

quantos mol's. Para determinar isso, é utilizado o peso medido pelas células de carga em conjunto com a massa molar média de cada ingrediente para acompanhar a adição dos ingredientes na bateadeira.

Existe um pequeno atraso ao desativar as bombas de resina, água e suas respectivas eletroválvulas, bem como, os motores da rosca de farinha, até a parada efetiva de adição dos itens. Existe uma diferença, ainda que pequena ⁶ entre as medidas efetivas e as solicitadas pelo operador.

Como a tubulação leva a água e a resina é compartilhada entre os reservatórios, existe uma quantidade remanescente de líquidos que fica presente nos canos. Como a água é adicionada antes da resina, é necessário considerar que esse conteúdo será empurrado pela resina na etapa seguinte.

De fato, ao adicionar água, também existirá uma quantidade de resina, visto que, este remanescente, corresponde à última batida. Nesse contexto, foi calculado o volume de fluido remanescente na tubulação, convertido para massa, e subtraído da quantidade necessária em cada etapa.

Como este volume não vai estar presente nas situações que a máquina foi submetida ao esvaziamento, ⁷ o operador tem à disposição na IHM uma opção para efetuar a batida sem considerar o volume no encanamento.

4.2 DIMENSIONAMENTO MECÂNICO

Nesta seção é explicitado como foram calculados os parâmetros construtivos das máquina, desde o que tange a resistência mecânica das partes até o volume necessário para cada matéria-prima, produto ou subproduto. O desafio desta etapa é fazer, com o menor custo possível, todo o aparato necessário para produção da cola sem que os parâmetros sejam inferiores ao mínimo necessário, considerando o funcionamento seguro da máquina.

4.2.1 Tanques de Resina Pura

Os tanques de resina pura já existem na empresa e já atendem as demandas de produção atuais. O cálculo de demanda é baseado na premissa que a empresa deve ser autossuficiente para 3 semanas. Esta margem serve para que, mesmo que ocorra algum problema de fornecimento, a empresa consiga produzir normalmente compensados. As dimensões para atender a produção são informações restritas e não serão indicadas neste trabalho.

⁶ Considerando que o conteúdo adicionado corresponde a 30 gramas por ingrediente o erro em peso da mistura devido ao erro de inserção é de 0,013 %

⁷ Quando os registros manuais foram abertos para manutenção, por exemplo.

4.2.2 Caixa de água

O reservatório de água tem como objetivo armazenar tanto a água da chuva quanto a água de lavagem dos equipamentos da empresa. Essa reutilização, além de ser ecologicamente correta, não acarreta em prejuízos na produção de cola, visto que os resíduos encontrados nestes materiais ou são inertes ou são a própria resina fenólica. A área de barracão que está com as calhas direcionadas para a caixa de água, é de aproximadamente $320m^2$ metros quadrados, levando em conta que na região de Palmas a precipitação média é de 1977mm, são necessários 8 dias para que o tanque esteja completamente cheio. A média de água de limpeza da empresa é de 200 litros por dia que, se somado com a água da chuva, tornam a máquina autossuficiente em quantidade de água. Da mesma maneira que alguns itens anteriores, estes dados são sensíveis e não serão explicitados. Entretanto, é possível apontar que o reservatório atual teve sua capacidade ampliada para nova planta de colagem.

4.2.3 Batedeira

O componente mais importante de toda planta de produção de cola é a batedeira⁸. O dimensionamento de seu volume deve levar em conta a quantidade de produção de cola por batelada e também o lead time da mistura para utilização na colagem do compensado. A adoção de um volume grande demais para batedeira vai criar a necessidade de um motor de grande potência para girar as pás. Além do custo do motor, condutores de cobre de secção transversal maior também aumentarão o custo de execução do projeto. Ademais, como todo processo será controlado por um CLP, não existe a necessidade de produzir toda cola de uma vez só uma vez que o operador poderá programar várias bateladas em sequência. Como é mostrado nos próximos tópicos, com um volume arbitrário de x litros são necessárias $\frac{y}{x}$ bateladas para preencher 100% da capacidade útil do agitador⁹. Por outro lado, se dimensionado um volume pequeno, a batedeira deverá fazer muitos ciclos de produção para fornecer cola suficiente para colagem do compensado. Com base nos pontos discutidos nesta secção e a disponibilidade dos materiais¹⁰ as dimensões definidas foram :

- 1200mm de Altura
- 800mm de diâmetro
- 450mm de distância entre o piso e a parte inferior da batedeira
- Motor de 20 cv no eixo do mixer
- Pás com 148° de inclinação em relação ao plano da base

⁸ Recipiente portador do motor M0 na figura 24

⁹ Capacidade útil é o volume total subtraído de uma margem de segurança, margem esta que serve para evitar o derramamento de fluido devido a agitação do recipiente

¹⁰ Chapas metálicas, cantoneiras, motores, mancais e polias

4.2.3.1 Pá de Mistura

A pá de mistura é um dos componentes mais importantes do projeto, pois precisa de características específicas de construção para realizar a devida e correta mistura dos três componentes¹¹ da cola. É fato conhecido que o tamanho das pás e seu arrasto possuem direta relação com a potência do motor que as movimentará, além disso, a forma construtiva também possui um papel importante na magnitude do esforço imposto sob o motor. É válido ressaltar que pás com superfície ortogonal, ao plano no disco do rotor, exercem um esforço significativamente maior do que pás levemente inclinadas.

4.2.4 Agitador

O agitador tem como objetivo armazenar a cola produzida e, como o nome sugere, agita-la. O movimento das pás do agitador ocorre 30 rpm e previne que a farinha precipite na mistura, além de promover o aumento da viscosidade da cola (Quando o tempo de agitação é superior a seis horas).

O agitador possui capacidade para 4800 litros, inicialmente foi pensado na possibilidade de utilizar dois agitadores para a empresa, opção esta que foi logo descartada devido a falta de necessidade em relação ao volume de armazenamento, além da diminuição de custo do projeto.

4.2.5 Tubulações

Com exceção da farinha, a cola e todos os seus elementos constituintes são líquidos. Desta forma, é natural que grande parte do fluxo de produção da máquina seja transportado por tubulações. Para diminuir custos, foi escolhida uma família de tubos composto por uma liga de aço galvanizado de 2.5 mm com "costura de tubo". O termo trata de um jargão para se referir a tubos feitos a partir de uma chapa de metal dobrada e solada e possuem um custo inferior a canos feitos através de extrusão. Como em nenhum momento do processo a pressão no interior das tubulações será superior a um bar, a escolha é adequada.

Como mostrado no diagrama 24, a tubulação que leva a resina e a água até o tanque da bateadeira possuem um diâmetro de 2". A escolha deste diâmetro foi feita por ser comumente utilizado em plantas de colagem nas fábricas, considerando também que se utilizar um tubo demasiado fino (Menores que $1 \frac{1}{2}$ ") pode causar acúmulo de resina e cola na parede do tubo e, por consequência, ocorrer a obstrução do fluxo de fluidos ao longo do tempo.

Outro problema ocasionado com a utilização de diâmetros pequenos é o excesso de carga aplicado no motor das bombas, uma vez que fluidos viscosos, como a resina e a

¹¹ Resina fenólica, farinha de trigo e água

cola pronta, tendem a oferecer um atrito maior a partir de um limiar mínimo de secção transversal.

A tubulação que faz o transporte entre a bateadeira e o agitador também possui diâmetro de 2". A distância entre o ponto de partida e de destino é pequena e isso permite a utilização de uma tubulação com secção transversal menor. Existe ainda um ponto que precisa de atenção, e é que existem 3m de altura entre os pontos de partida e destino e, desta forma, para evitar a sobrecarga do motor da bomba, adotou-se um diâmetro maior.

A ultima etapa da cola na planta de colagem é a condução até o rolo de colagem. Este trecho do processo vem da parte inferior do agitador e possui um trajeto de 8m. A fim de padronizar as tubulações, válvulas automáticas e manuais, curvas, bombas, Niple e tubos de aço galvanizado de 2" também foram usados.

4.2.6 Bombas

Neste processo é encontrado três tipos de fluidos :

- Água pura ou com concentrações baixas de resíduos de limpeza
- Resina de fenol-formaldeído
- Mistura pronta de cola, contendo água, resina pura e farinha.

A bomba mais simples, utilizada para o transporte de água pura, é uma motobomba centrífuga com vazão de $14 \frac{l}{min}$. Como nesta aplicação a bomba opera com uma coluna de água superior a 1m na maioria do tempo, e também como a altura e percurso de bombeamento não ultrapassam os 3m, esta bomba é a mais adequada levando em conta a necessidade e custo de produção.

Para o bombeamento da resina pura e da mistura de cola, é necessário fazer um estudo mais aprofundado, visto que estes fluidos possuem um comportamento distinto da água, tendo em vista sua maior densidade e viscosidade.

Para o transporte dos fluidos entre os tanques de resina pura e a bateadeira, entre a bateadeira e o agitador, e entre o agitador e as passadeiras, foi escolhido o modelo de bomba de engrenagens. O critério de escolha foi o tipo de bomba mais comum para transporte de resina, sendo o tipo mais consolidado e testado para esta aplicação. Bombas centrífugas convencionais não seriam uma boa opção neste caso, devido a viscosidade destes fluidos, uma vez que não seria capaz de se bombear a cola ou a resina, ocasionando, inclusive, a queima do motor.

Como este tipo de bomba não é fabricada com motor acoplado, foram utilizados motores externos para movimentar a bomba. Todas as bombas possuem 2" de diâmetro de entrada e saída.

4.2.7 Caixa e Rosca de Farinha

A condução dos sólidos neste processo é feita a partir de uma rosca de farinha. A máquina possui um estoque de $1.4 m^3$ de farinha em sua caixa de farinha que, em sua porção inferior, porta um funil ao longo do eixo da rosca.

Este funil possui uma inclinação de 23° e tem como objetivo escoar o conteúdo em grãos para a rosca. Como estamos tratando de sólidos, existe uma maior dificuldade na movimentação do conteúdo na caixa, se comparado a tanques de água, por exemplo. Nesse caso, foi acoplado um motor com eixo desbalanceado no casco da caixa que, quando ligado, ocasiona uma vibração em toda estrutura, compactando a farinha na parte inferior da estrutura.

A rosca de farinha, ou rosca transportadora de grãos como é conhecida na indústria, possui pás de 12 cm e tem o papel de transportar a farinha através do movimento rotacional do helicóide até a bateadeira. O movimento do helicóide é produzido através de um motor-reductor.

4.2.8 Passarela e Estruturas de Segurança

As passarelas e estruturas de segurança devem atender a NR12 e servem para permitir que o operador acesse as várias regiões da máquina, sem que o mesmo corra qualquer tipo de risco (NR12, 1978). A estrutura pode ser observada na ilustração a seguir :

Figura 29 – Local Projetado Para o Armazenamento do Pallet de Farinha



A distribuição dos espaços foi feita de forma que exista espaço para posicionamento de um pallet¹² de farinha e também para passagem do operador, visto que a farinha deve ser extraída dos sacos para a caixa de farinha.

¹² Um pallet contém 24 sacos de 50 Kg de farinha

4.3 DIMENSIONAMENTO PNEUMÁTICO

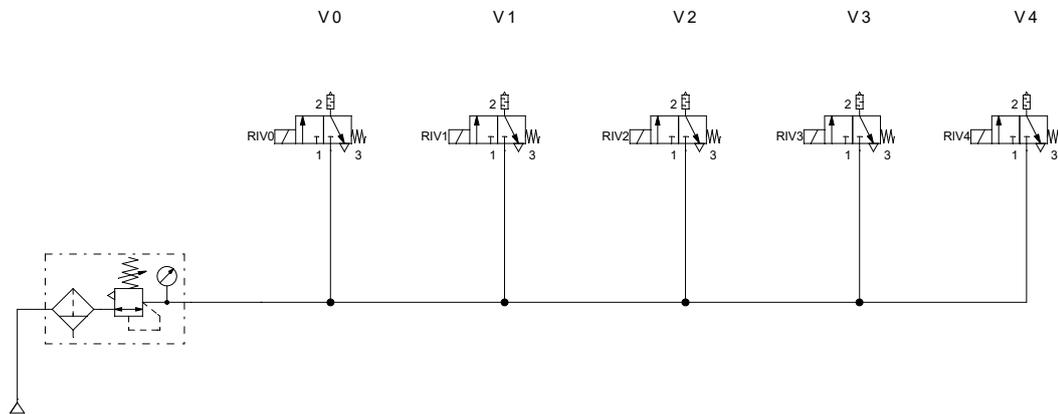
O ar comprimido desempenha um papel essencial dentro da indústria, uma vez que a partir de um compressor de ar central toda fábrica tem acesso a uma grande arsenal de atuadores com baixo custo de operação. Alguns exemplos são os pistões pneumáticos, as válvulas eletropneumáticas e os aspersores (TRAINING, 2006);

Neste projeto o ar comprimido foi utilizado para acionar as válvulas. O mecanismo, que já foi previamente explicitado na secção de revisão bibliográfica, funciona da seguinte forma :

- O CLP energiza uma de suas saídas digitais
- Esta saída, que é 24Vcc aciona a bobina de um relê de interface
- O relê de interface possui um contato NA, que se fecha no momento que sua bobina é acionada
- O contato que está agora fechado permite que a bobina da válvula solenoide tenha sua bobina ligada em 220Vca
- A válvula solenoide por sua vez comuta seu estado e inverte o sentido da passagem de ar de suas entradas, de acordo com o desenho 30 (Válvulas V0 a V4 acionados pelos reles de interface RIV0 a RIV4 respectivamente).
- O ar comprimido muda o estado do registro da válvula física, permitindo ou não a passagem de fluídos.

Todas as válvulas deste projeto funcionam da mesma forma, ou seja, todas são comandadas pelo CLP e mediante ao status de operação é comutada ou não. O sistema pneumático completo pode ser observado no diagrama 30 :

Figura 30 – Diagrama Pneumático



A rede de ar comprimido já era existente na fábrica e possui pressão de trabalho de 6 a 8 bar. O conjunto pneumático da bateadeira possui um registro manual a montante de todo circuito para evitar a necessidade de desligar o compressor e despressurizar o restante da fábrica em uma eventual manutenção corretiva. A rede da bateadeira também possui uma unidade lubrificador em sua entrada, permitindo a captação de umidade, regulagem de pressão e também lubrificação de todos os atuadores. O sistema instalado pode ser observado nas figuras 31 a 34:



Figura 31 – Compressor de Ar da Empresa



Figura 32 – Registro Manual



Figura 33 – Válvula Eletropneumática



Figura 34 – Diagrama Pneumático do Solenoide Acoplado a Válvula

4.4 SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

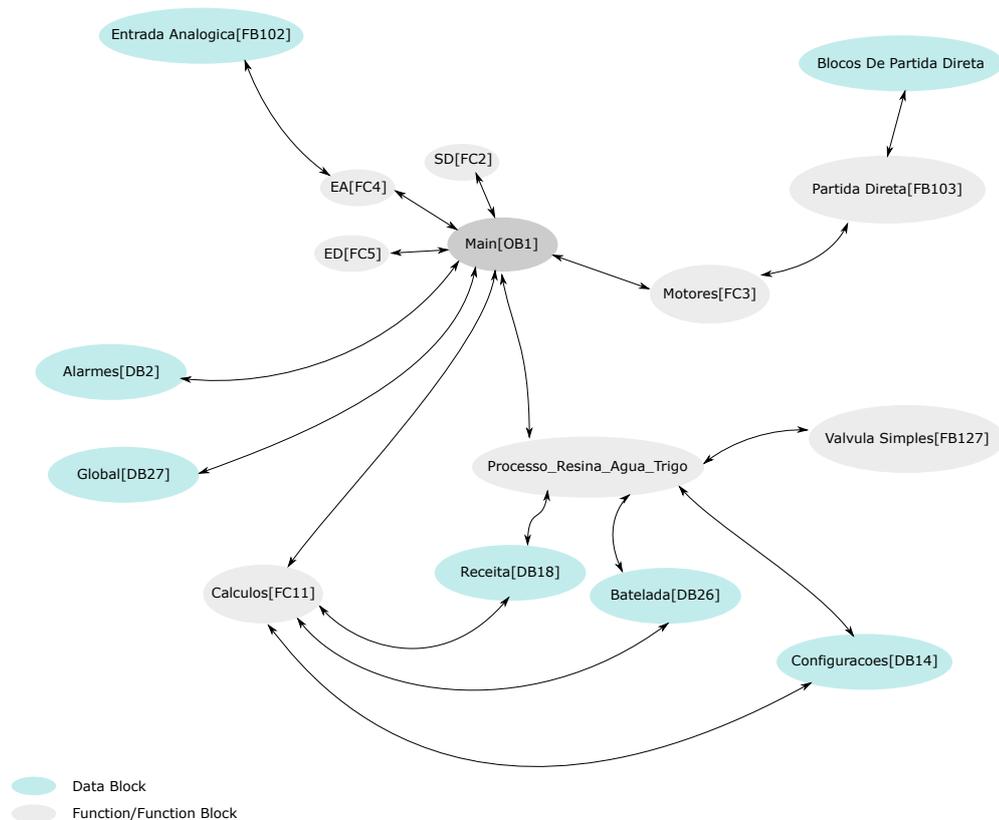
Neste capítulo é abordado em profundidade e em detalhes todo processo de controle da planta de colagem. O controle fino das batidas de cola e o sequenciamento das etapas de processo devem estar calibradas, de modo que a empresa atinja a precisão e a economia previstos no planejamento. Antes de tudo, será apresentada a arquitetura do *software*, ou seja, como as diferentes funções e blocos dentro do CLP funcionam e como estes atores interagem entre si. Em seguida, serão abordados os sensores da máquina, suas especificidades e a razão por trás da sua escolha. No terceiro tópico são apresentados os

atuadores e como estes executam o processo. O CLP e todas as suas especificidades são abordados na sequência, tendo uma discussão aprofundada a respeito de todas as suas entradas e saídas, seu *hardware* e seu algoritmo de funcionamento. Por último, é tratado sobre a interface homem-máquina, que permite o controle geral do processo pelo operador.

4.4.1 Arquitetura do Software

O ponto mais importante no funcionamento do sistema de automação é a relação que os diversos blocos possuem dentro do CLP. De fato, o nível de organização destes elementos é quem determina a robustez do sistema e como este pode ser expandido futuramente. Se estas relações forem feitas de forma pífia, a própria segurança da máquina e do operador podem ser comprometidas. Ademais, qualquer manutenção corretiva durante o dia a dia no chão de fábrica pode ser acelerada ou retardada de acordo com a maneira que o programa foi feito, considerando que, ficar Online, pode fornecer informações muito mais úteis se a arquitetura de *software* for devidamente construída. Veja no diagrama 35 as relações do *software* que permitem uma comunicação útil entre informações.

Figura 35 – Relações Entre Functions, Functions Block e Bancos de Dados



Como a figura 35 mostra, todo funcionamento ocorre mediado pelo Main, que é um bloco nativo do TIA Portal. Esta classe é chamada em todo ciclo de *scan* da CPU e, desta forma, executa todos os comandos escritos em sua rotina. Estas instruções, que possuem a tarefa de chamar outras funções, podem ser observadas nas linhas a seguir :

```
"ED" ();  
"EA" ();  
" Calculos " ();  
" Processo_Resina_Agua_Trigo " ();  
" Motores " ();  
"SD" ();
```

As primeiras funções a serem chamadas são a ED e a EA, que significam Entradas Digitais e Entradas Analógicas, respectivamente. Suas tarefas são basicamente ler as entradas digitais e analógicas e armazená-las dentro de endereços de memória no programa. Este procedimento não é necessário e a máquina funcionaria muito bem sem ele. Entretanto, em caso de uma eventual manutenção, devido à queima de qualquer entrada, o tempo ocioso da máquina é reduzido drasticamente. Do ponto de vista do programa, basta mudar a entrada que aciona os endereços de memória no bloco ED, sem a necessidade de alterar a entrada digital queimada pela reserva em todo programa.

Os cálculos são os terceiros na sequência de execução, estes são responsáveis por interpretar os dados inseridos pelo operador na IHM, compará-los com grandezas físicas pré-determinadas (como densidade da resina, pressão, características construtivas da máquina, volume útil de trabalho) e realizar uma série de cálculos. Esta álgebra, que é abordada em detalhes na seção de Cálculo das Medidas dos Ingredientes e Cálculo da Capacidade útil de Operação, tem seus resultados disponibilizados nos bancos de dados Receita[DB18], Batelada[DB26] e Configuracoes[DB14].

Vale destacar que os parâmetros relacionados a construção das estruturas (diâmetros, densidades, volumes, percentagem de volume útil são exemplos destes parâmetros) da máquina são armazenados nos bancos de dados, de forma que, mediante a uma senha de administrador, estes podem ser alterados na IHM. Isto significa que, em caso de mudança física de toda planta, o programa do CLP não precisa ser alterado, necessitando apenas da mudança dos parâmetros via IHM.

A execução do processo propriamente dito é feita na quarta linha. O algoritmo proposto, que é abordado em profundidade na subseção Algoritmo Proposto deste trabalho, faz uso dos cálculos anteriormente feitos e devidamente armazenados nos DB's Receita[DB18], Batelada[DB26] e Configuracoes[DB14].

É válido destacar que os blocos de válvulas são chamados através da função Processo_Resina_Agua_Trigo e que, de maneira similar, os motores também são acionados. A diferença é que os motores são acionados pela chamada do bloco Motores na *main function*, mas que são comandados por *flags* dentro da função Processo_Resina_Agua_Trigo.

Por fim, a função SD utiliza as ações solicitadas por todo programa e escreve nas saídas digitais. Vale ressaltar que este mecanismo não é necessário, mas que, de maneira similar, a manutenção corretiva beneficia aos blocos ED e EA. Ademais, o funcionamento da botoeira de emergência está acima de todos estes blocos e é melhor abordado na seção

dedicada, neste trabalho.

4.5 CÉLULAS DE CARGA

Como apresentado na seção de revisão bibliográfica, as células de carga servem como a balança da máquina, ou seja, elas medem o peso de algum objeto e convertem essa grandeza física em uma grandeza elétrica. Em nosso caso, a máquina possui 4 células de carga com capacidade de 1000 Kg cada uma. As 4 células de carga são utilizadas em conjunto, medindo o peso da bateadeira.

Eletricamente, os sinais das 4 células de carga são levados a um dispositivo chamado caixa de junção, que transforma os quatro sinais em apenas um único sinal de tensão (0 a 10V). Existem maneiras de utilizar as células de carga sem fazer o uso da caixa de junção, utilizando o módulo de células de carga da Siemens (modelo SIWAREX WP251) . Entretanto, constatou-se que era economicamente vantajoso utilizar a arquitetura com a caixa de junção visto que o próprio fornecedor das células as oferecia inclusas na compra. Um ponto importante a ser considerado é a inclusão do *display* de peso no conjunto, que permite a manipulação do sinal antes da entrada do CLP, sendo possível realizar a operação de tara e calibrar o dispositivo antes do seu processamento no programa do controlador.

É necessário inferir a precisão do equipamento antes do uso da bateadeira, assim, o próprio fornecedor das células de carga enviou um time de instrumentistas para calibração. Neste processo se faz o uso de pesos pré-determinados, que são colocados sob a máquina a fim de verificar sua precisão.

O princípio de calibração é simples: ao adicionar um objeto de massa arbitrária, deve ocorrer, de forma igual e linear, o incremento do sinal analógico. Se constatado comportamento diferente do previsto, os técnicos efetuam a troca das células ou da caixa de junção.

As células de carga também irão pesar o motor, a tampa e a estrutura móvel da bateadeira. Nesse casos, é necessário o ajuste da tara, que pode ser feito na própria caixa de junção ou no programa do CLP. Foi decidido, junto aos responsáveis da empresa, que o ajuste do peso do equipamento será feito pelo CLP, mas que possíveis variações na tara, devido ao acúmulo de sujeira ao longo dos dias de uso, serão feitas pela caixa de junção.

4.6 TRANSMISSOR DE PRESSÃO

O segundo sensor da máquina é um transmissor de pressão com selo diafragma, seu propósito é informar ao CLP o volume ocupado e/ou disponível do agitador. O transmissor é fixado na parte inferior do agitador, a pressão medida é proporcional a altura do agitador preenchida pela resina. Adotando P_{re} para pressão, D_e para densidade, A_l para a altura e G para a gravidade, o cálculo do volume ocupado se dá por :

$$Pre = D_e * A_l * G \quad (3)$$

$$A_l = \frac{Pre}{D_e * G} \quad (4)$$

Desta forma, conhecendo as características construtivas do agitador, é possível saber o volume ocupado disponível. Sendo V_d o volume disponível, V o volume ocupado e S_b a área da base do agitador. Com isso, temos :

$$V = S_b * A_l \quad (5)$$

$$V = \pi * r^2 * A_l \quad (6)$$

$$(7)$$

Desta forma é possível determinar o volume disponível, subtraindo o volume ocupado (V_o) do total do reservatório de altura H :

$$V_d = V - V_o \quad (8)$$

$$V_d = \pi * r^2 * H - \pi * r^2 * A_l \quad (9)$$

$$V_d = \pi * r^2 * (H - A_l) \quad (10)$$

É importante notar que a região inferior do tanque, que possui formato cônico, foi considerada como uma região cilíndrica. Isto se deve ao fato de que a diferença de volume e o formato cônico seria desprezível, visto que representa menos de 4 % do volume total. Ademais, o principal propósito deste sensor é impedir o transbordamento do reservatório, de modo que o próprio CLP impeça a fabricação de bateladas, se não existir espaço suficiente no agitador.

4.6.1 Atuadores

O sistema de automação conta com eletroválvulas e motores, como mostra a figura 24. Todos estes componentes serão descritos em detalhes nesta seção, juntamente com a explicação da escolha de suas características como potência, velocidade de atuação, vazão, tensão de trabalho e tipo de acionamento.

4.6.1.0.1 Motor M0

É responsável pela movimentação do rotor da bateadeira. A saída digital aciona a entrada de uma *soft starter* que, por sua vez, fornece a tensão e corrente necessária ao motor.

Com 20 cv, este é o maior e mais crítico motor da máquina. Uma *soft starter* permite a redução do pico de corrente se comparado com uma partida direta. Além disso, o custo é inferior se comparado a uma partida com inversor de frequência e equivalente se comparado com uma partida estrela-triângulo. Neste caso é também necessário a utilização de um disjuntor motor ¹³.

A potência do motor foi escolhida com base nas outras plantas de mistura de cola visitadas pelo autor que, ao longo da construção deste projeto, visitou várias indústrias de compensado da região Sudoeste do Paraná. O correto dimensionamento deste motor é crucial, pois é o principal atuador da planta inteira, realizando a efetiva mistura dos componentes. A equipe possui alguns recursos caso a potência do motor, na hora do comissionamento da máquina, não fosse o suficiente: utilizar polias para ganho de torque em troca de velocidade e a redução do tamanho das pás.

Inicialmente, o motor já conta com uma redução de $\approx \frac{1}{2}$, entretanto, como é descrito de maneira mais detalhada na seção de Conhecimento Adquirido E Lições Aprendidas, o motor apresentou problemas de sobrecarga após minutos de operação. Para resolver, a forma construtiva da pá foi alterada para um modelo menor, que diminuiu o esforço do Motor M0 em movimentar o rotor.

4.6.1.0.2 Motor M1

Encarregado do bombeamento da resina dos reservatórios até a batedeira e com 7.5 cv de potência, o *Motor M1* já era existente na fábrica com este fim, necessitando apenas da mudança de local de acionamento da batedeira velha para a nova. A bomba acoplada a este atuador é do tipo de engrenagens, específica para transporte de líquidos viscosos como resina e cola.

4.6.1.0.3 Motor M2

O Motor M2 quando acionado gira a rosca de grãos acoplada a caixa de farinha, fazendo o transporte desta matéria-prima até a batedeira. Sua potência é de 3 cv e conta como uma caixa de redução de $\approx \frac{1}{54}$, resultando em uma frequência de rotação de $\approx 32rpm$, adequada a este tipo de aplicação.

4.6.1.0.4 Motor M3

Em alguns casos, a farinha dentro de sua caixa pode não fluir corretamente até a parte inferior da caixa, impedindo o transporte dos grãos pela rosca. Para lidar com esse

¹³ A proteção via disjuntor motor não é necessária visto que *soft starters* da linha SIRIUS 3RW40 ou superior possuem proteção contra sobrecarga. Este fato não dispensa o uso de um disjuntor din a montante visto que a *soft starter* não possui proteção contra curto-circuito

problema, um motor de alta rotação, com eixo propositalmente desbalanceado, foi fixado na parte externa das paredes da caixa.

Seu comportamento é similar ao pequeno motor presente no interior dos celulares e *smartphones*, que gira de forma não uniforme, vibrando o celular. O motor M3 funciona de forma similar na planta, vibrando a estrutura da caixa de farinha e escoando todo seu conteúdo para o fundo.

4.6.1.0.5 Motor M4

Com características elétricas e mecânicas idênticas ao *Motor M2* e com a função de manter constante o movimento da cola já misturada no agitador, o motor M4 gira duas pás retangulares a baixas rotações, com intuito de impedir a precipitação de farinha na mistura e promover o aumento da viscosidade da cola.

Este motor funciona com intervalos de ligamento e desligamento programados quando existe mistura no agitador, entretanto, por sigilo industrial, o tempo destes períodos não será indicado.

4.6.1.0.6 Motor M5

Munido de uma bomba de engrenagens, o motor M5 realiza o transporte da cola já misturada da bateadeira para o agitador. A cola é um líquido significativamente mais denso e viscoso que a água e tende a exigir mais do motor, mas como a distância das tubulações é inferior a sete metros, um motor de 3 CV é o suficiente.

4.6.1.0.7 Motor M6

De função, potência, acoplamento de bomba e acionamento similar ao motor M4, o motor M6 realiza o transporte da cola do agitador para uso na fábrica, na manufatura do compensado. Em suma, este atuador desempenha o papel de bombear a cola armazenada no agitador para os outros setores da indústria.

Figura 36 – Raute Plywood Lay-up Line R3



Este processo consiste em empilhar lâminas de madeira de modo que o sentido da fibra fique ortogonal entre camadas adjacentes. A figura 36 mostra uma máquina de colagem automática (RAUTE, 2021), que utiliza uma motobomba similar ao Motor06 para enviar cola através da tubulação indicada em verde (figura 36) de modo que a mistura fique uniformemente distribuída pela lâmina (apontada pela seta vermelha)

4.6.1.0.8 Motor M7

Este atuador desempenha a função de enviar a água da limpeza dos rolos de colagem para o reservatório de água da planta. Como a água residual da limpeza não é própria para descarte na rede de esgoto urbana, sua utilização na produção, além de ser ecologicamente correta, diminui o custo com água vindo da rede da Companhia de Saneamento do Paraná. Como a altura de coluna de água é inferior a cinco metros, um motor de apenas dois¹⁴ cv é o suficiente

4.6.1.0.9 Motor M8

Similar ao motor M7, o motor de número oito é responsável em movimentar a bomba centrífuga que transfere a água do tanque até a bateadeira.

4.6.1.0.10 Válvulas V0, V1, V2 e V3

Estes atuadores possuem a tarefa de impedir o fluxo de fluido em momentos que não são desejados e permitir quando existir necessidade. As informações da função de cada válvula utilizada no projeto, o motor acionado em conjunto, o tipo e a tag podem ser observadas na tabela 2

Válvula	Tipo	Função	Acionamento simultâneo
V0	Eletropneumática, 220Vca 2"	Controlar o Fluxo de água entre a caixa de água e a bateadeira	Acionado em conjunto com o motor M8
V1	Eletropneumática, 220Vca 2"	Controlar o Fluxo de resina entre os reservatórios externos e a bateadeira	Acionado em conjunto com o motor M1
V2	Eletropneumática, 220Vca 2"	Controlar o Fluxo de resina entre a bateadeira e o agitador	Acionado em conjunto com o motor M5
V3	Eletropneumática, 220Vca 2"	Controlar o Fluxo de resina entre o agitador e o resto da fábrica	Acionado em conjunto com o motor M6

Tabela 2 – Lista de Válvulas Utilizadas

4.6.2 CLP

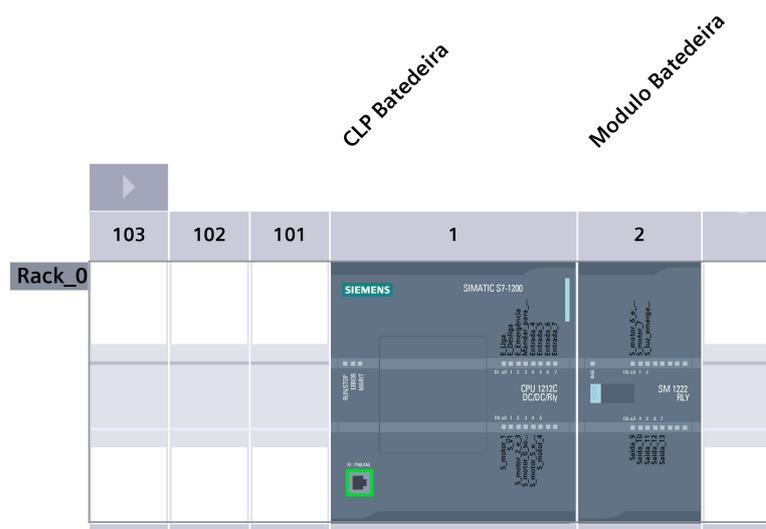
Existem diversas marcas de CLP's atualmente no mercado, com diversas faixas de preço. A principal métrica considerada neste projeto é o custo-benefício, ou seja, é procurado um CLP que atinja os requisitos mínimos de operação com o menor custo possível.

¹⁴ Neste caso o motor é monofásico 220Vca

O *Know-how* de projetos de automação do autor deste documento contempla CLP's da SIEMENS e a linha TPW04 da WEG. Ambos controladores apresentam velocidade ¹⁵ de processamento suficientes para a aplicação. O critério de desempate foi a facilidade em comunicação em rede dos controladores e a quantidade de funções disponíveis dentro das plataformas de programação de ambos os controladores. A linha TPW04 conta com módulos de expansão necessários para comunicação em rede ¹⁶, além disso, a plataforma de programação da WEG é o TPW-PCLink, que conta com todas as funções básicas de programação além de possuir uma interface simples e intuitiva. A linha S7 1200 da Siemens possui um grande leque de modelos, com variação entre capacidade de processamento e tipos de saída digital ¹⁷. Além disso, o PLC conta com uma entrada *Ethernet* que permite comunicação em rede de forma nativa ¹⁸. Outro ponto positivo em relação a este controlador é a compatibilidade com IHM's, que normalmente possuem entrada *Ethernet*. Por fim, o preço do controlador da Siemens se apresentou ligeiramente inferior ao controlador da WEG, dentre os diversos fornecedores cotados.

Por fim, foi escolhido o controlador Siemens S7 1200 1212C DC/DC/Rly juntamente com uma expansão digital SM 1222 DQ8 X Relay. A memória de trabalho desta CPU é de 75KB, sua alimentação é de 24VDC, possui 8 entradas digitais e 6 saídas digitais a relé. No que tange a sinais analógicos, o CLP conta com duas entradas analógicas de tensão. A expansão conta com 8 saídas digitais, que foram necessárias para dar partida a todos os motores da planta. Abaixo, o Diagrama de Montagem de um conjunto CLP e Módulo de Expansão.

Figura 37 – Diagrama de Montagem do conjunto CLP e Módulo de Expansão



¹⁵ Vale destacar que como não existe controle PID, nem motion control ou um grande número de chamadas de blocos, qualquer controlador industrial destas marcas atenderiam a necessidade

¹⁶ Disponíveis para comunicação em Modbus-RTU, TCP/IP ou CANopen

¹⁷ Incluindo saídas digitais a relé ou a transistor

¹⁸ O CLP s7 1200 permite comunicação TCP, UDP, PROFINET, Modbus entre outros

4.6.2.1 Entradas Digitais

Esta máquina possui quatro entradas digitais previstas em projeto, que são explicitadas juntamente com seus *tags* na tabela 3 :

Entradas Digitais	
I0.0	E_Liga
I0.1	E_Desliga
I0.2	E_Emergência
I0.3	Mandar_Rolo

Tabela 3 – Lista de Entradas Digitais

A utilização da IHM permitiu o desenvolvimento da máquina com apenas quatro entradas digitais. Isto se deve ao fato que a maior parte dos comandos do operador é feita por meio da tela interativa da IHM. Mesmo com esta opção de acionamento via touch screen a NR12 exige que a botoeira de emergência seja física e, portanto, o painel conta com um botão do tipo cogumelo vermelho NF em sua porta. Isto se deve ao fato da velocidade de resposta de uma entrada digital ser mais rápida que a comunicação entre a IHM e o CLP. Ademais, o rompimento do cabo de rede que comunica o controlador e a tela impediria o acionamento da emergência da máquina, fato este que não ocorre com a utilização de uma botoeira NF¹⁹

A entrada I0.3 serve para para que outras partes da fábrica façam requisição da cola produzida para uso na manufatura, ou seja, é a partir da entrada I0.3 que o motor M6 é acionado.

4.6.2.2 Entradas Analógicas

Entradas Analógicas		Tipo de Sinal
A0	Celula_de_Carga	Tensão 0-10V
A2	Transmissor_Pressao	Tensão 0-10V

Tabela 4 – Lista de Entradas Analógicas

As células de carga e o transmissor da máquina fornecem uma tensão de 0 a 10V, que é interpretada pelo CLP para uso no processo, como descrito na seção de sensores. A operação matemática correspondente a lógica em *ladder* é a seguinte: Adotando S_{ig} como o valor da entrada analógica dentro do PLC, S_{rawMax} e S_{rawMin} , como o valor máximo e mínimo atingido pela entrada no CLP, respectivamente, S_{max} e S_{min} o máximo e o mínimo da grandeza física medido pelo sensor é obtido a seguinte relação :

¹⁹ Caso o cabo da botoeira de emergência seja rompido o CLP interpreta-rá a ausência de 24V na sua entrada digital como um acionamento da emergência

$$\sigma = \frac{(S_{ig} - S_{rawMin})}{(S_{rawMax} - S_{rawMin})} \quad (11)$$

$$S_{ig} = \sigma * (S_{max} - S_{min}) + S_{min} \quad (12)$$

Desta forma, o CLP tem ciência do peso da mistura no interior da bateadeira e da pressão na parte inferior do agitador.

4.6.2.3 Saídas Digitais

As Saídas do CLP são responsáveis por fornecer os comandos para os atuadores do sistema. Este CLP em questão possui Saídas à rele, que permitem uma maior gama de tensões de saída. A escolha de tensão de saída foi 24v, este sinal passa através de um rele de interface que aciona, em 220Vac, os dispositivos de campo. A relação de saídas digitais do CLP pode ser observada na tabela 5

Saídas Digitais		Alimentação do Relé de saída do CLP
Q0.0	S_motor_1	24Vcc
Q0.1	S_V1	24Vcc
Q0.2	S_motor_2_e_3	24Vcc
Q0.3	S_motor_0_soft_starter	24Vcc
Q0.4	S_motor_5_e_V2	24Vcc
Q0.5	S_motor_4	24Vcc
Q1.0	S_motor_6_e_V3	24Vcc
Q1.1	S_motor_7	24Vcc
Q1.2	S_luz_emergencia	24Vcc
Q1.3	Reserva	24Vcc
Q1.4	Reserva	24Vcc
Q1.5	Reserva	24Vcc
Q1.6	Reserva	24Vcc
Q1.7	Reserva	24Vcc

Tabela 5 – Lista de Saídas Digitais

4.6.2.3.1 Relés de Interface

As saídas digitais não acionam diretamente os atuadores mas, sim, as bobinas dos relés de interface, que através de seus contatos aciona os atuadores.

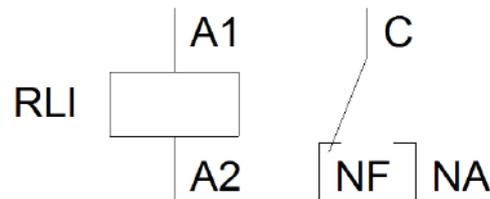


Figura 38 – Diagrama elétrico do relé de interface

Como é possível observar na figura 37, o sinal 24V que sai do CLP aciona a bobina RLI que, por sua vez, comuta os contatos NA e NF. Desta forma as saídas do controlador ficam protegidas, uma vez que seus acionamentos ocorrem intermediados pelo relé de interface.

4.6.2.4 Funcionamento do Programa

O programa foi escrito majoritariamente em *ladder*, possuindo Function block, Data Bloc, Functions e a *Main*. Além disso, existem basicamente duas rotinas principais de funcionamento, a de cálculo e a de execução.

4.6.2.4.1 Cálculo das Medidas dos Ingredientes

Como discutido anteriormente, a cola é resultado da mistura de três ingredientes: resina de fenol-formaldeído, farinha de trigo e água. As batedeiras automáticas existentes permitem que o operador selecione o peso de cada componente e que, ao pressionar um botão, a máquina produza a cola de acordo com as medidas especificadas previamente.

No caso da planta de produção de cola de precisão o operador seleciona as proporções em peso que a cola deve ter e o volume total desejado. Isto permite uma maior flexibilidade na produção, visto que é muito mais fácil estimar o consumo em litro de cola do que em Kg de mistura.

Mas para que tudo saia dentro do esperado, é necessário realizar alguns cálculos prévios das variáveis do processo de produção.

Primeiramente é calculado o percentual da composição da mistura, medido em peso. Para o equacionamento a seguir adote P_r , P_f e P_a para os percentuais de resina, farinha e água respectivamente e K_r , K_f e K_a para proporção de resina, farinha e água

respectivamente

$$P_r = \frac{K_r}{K_r + K_f + K_a} \quad (13)$$

$$P_a = \frac{K_a}{K_r + K_f + K_a} \quad (14)$$

$$P_f = \frac{K_f}{K_r + K_f + K_a} \quad (15)$$

$$(16)$$

Com as proporções obtidas, é feita a conversão em litros. Aqui é necessário a atenção para alguns detalhes: a cola pronta não possui uma densidade específica e, sim, uma faixa de densidades possíveis, devido à variação das proporções dos ingredientes na mistura. A fim de contornar este possível problema, foi analisado as densidades dos ingredientes

Componente	Densidade $\frac{g}{cm^3}$
Resina de fenol formaldeído	1.23
Água	1
Farinha	Na

Tabela 6 – Densidade dos Compostos da Mistura de Cola

Observando a tabela 6, é possível concluir que misturas com uma proporção maior de água tendem a diminuir a densidade da cola, o contrário também é verdadeiro. Também é necessário saber que, durante o processo de agitação a cola, perde-se água através da evaporação, o que também influencia nos cálculos.

A fim de solucionar este problema foi utilizada a densidade mínima da cola para os cálculos, visto que, desta forma, obtemos o volume máximo de cola produzida, evitando o transbordamento dos equipamentos.

Com estas informações, é necessário saber quantas bateladas são necessárias para atender o volume de produção requisitado pelo operador. Adotando N_b para o número de bateladas, V_p o volume de cola a ser produzido, V_i o volume de cola individual por batelada, D_c a densidade da cola em $\frac{kg}{m^3}$, N_r o número de bateladas arredondado para cima, V_b o volume da batedeira e P_i o peso de cada batelada individualmente (em kg) é obtido :

$$N_b = \frac{V_p}{V_b} \quad (17)$$

Como esta divisão dificilmente resulta em um número inteiro de bateladas, o número de bateladas é arredondado para o primeiro inteiro, em sentido aumentativa. Com este inteiro, é feito o seguinte cálculo :

$$V_i = \frac{V_p}{N_r} \quad (18)$$

$$P_i = D_c * V_i \quad (19)$$

Desta forma a máquina é operada utilizando sempre bateladas iguais, com capacidade levemente inferior da bateadeira, ao invés de fazer as $n - 1$ primeiras bateladas da batina com 100% da capacidade da bateadeira e a última batelada com metade da capacidade, por exemplo.

O peso de cada batelada é utilizado para determinar o peso dos ingredientes. Adotando P_r como percentual de resina, P_a como percentual de água e P_f como percentual de farinha, P_{er} como peso de resina, P_{ea} como peso de água, P_{ef} como peso de farinha e P_{eb} como peso individual por batelada é obtido :

$$P_{er} = P_r * P_{ef} \quad (20)$$

$$P_{ea} = P_a * P_{ef} \quad (21)$$

$$P_{ef} = P_f * P_{ef} \quad (22)$$

Desta forma, todos os parâmetros de processo são conhecidos e, portanto, a máquina possui informações suficientes para iniciar o funcionamento com base nas proporções dos ingredientes fornecidos pelo operador e o volume de cola desejado.

4.6.2.4.2 Cálculo da Capacidade útil de Operação

Os reservatórios físicos da planta de produção de precisão de cola foram feitos para durar muitos anos. Entretanto, foi pensado, em relação ao *software*, uma maneira rápida de modificar os parâmetros construtivos da planta.

Como o programa utiliza o volume disponível do agitador para funcionar adequadamente, é natural concluir que, caso o tanque de agitação seja substituído por outro com capacidade diferente, o sistema, como um todo, não terá um funcionamento adequado. O mesmo vale para todos os outros componentes da máquina.

A fim de resolver este problema, foi criado um banco de dados no CLP contendo informações de diâmetros, alturas e comprimentos. Assim é possível informar ao sistema as dimensões mecânicas, em caso de substituição. A lista completa pode ser observada a seguir :

Configuracoes			
Name	Data type	Start value	Retain
▼ Static			
Densidade Cola	Real		True
Raio Batedeira	Real		True
Altura Batedeira	Real		True
Volume Batedeira	Real	0.0	True
Volume Total Batedeira	Real	0.0	True
Volume Util Batedeira	Real		True
Peso Total Batedeira	Real	0.0	True
Peso Util Batedeira	Real	0.0	True
Raio Reservatorio	Real		True
Altura Reservatorio	Real		True
Volume Reservatorio	Real	0.0	True
Volume Total Reservatorio	Real	0.0	True
Volume Util Reservatorio	Real		True
Peso Total Reservatorio	Real	0.0	True
Peso Util Reservatorio	Real	0.0	True
Peso Liga Batedor Auto	Real	15.0	True
Tempo Mistura Fim Dosagem	Time	T#	True
Volume Liga Agitador Auto	Real	40.0	True
Pressao na tubulação de cola	Real	1.0	True
Descarga Automatica	Bool	true	True
Pressuriza Rede Cola	Bool	false	True
Off Set Batedeira	Real	0.0	True
Off Set Tanque	Real	0.0	True
Off Set Pressão	Real	0.0	True

Figura 39 – Banco de dados

O volume útil observado na figura é referente ao volume que cada parte da máquina pode utilizar, considerando sua capacidade total. Este parâmetro é importante pois, ao utilizar 100% da capacidade da batedeira, começa a transbordar logo que o rotor começa a girar. O mesmo vale para o agitador.

A utilização de um banco de dados tem também um propósito de organização. É muito mais fácil manipular estes parâmetros através da IHM quando estão em um banco de dados, do que quando estão apenas no corpo de uma função, por exemplo.

O cálculo do volume dos recipientes é dado por :

$$V = \pi * R^2 * A \quad (23)$$

Onde R e A são o raio e a altura respectivamente. Este cálculo é válido tanto para a batedeira quando para o agitador.

A função que realiza estes cálculos pode ser observada na secção de Apêndice deste documento uma vez que se trata de uma imagem demasiado grande para o corpo do documento.

4.6.2.5 Algoritmo Proposto

Na automação industrial existem inúmeras maneiras de resolver um problema e o caso da elaboração do algoritmo de funcionamento da máquina não é uma exceção. A explicação de como tudo funciona será dividida em etapas nessa subsecção. Ao final da mesa, o diagrama *ladder* será apresentado.

4.6.2.5.1 Etapa 1, 2 e 3 - Verifica condições de dosagem combobox / Condições Batelada / Receita e status de operação

É verificado o tipo de operação dentro de quatro modalidades pré-definidas. Inicialmente será discutido apenas a função Fazer receita e, ao final, os outros modos de operação serão destacados.

Esta etapa é necessária uma vez que o operador pode alterar o tipo de funcionamento através da IHM, dada pela variável *Tipo_baletada* (tipo inteiro). Com isso, o sistema poderá alterar seu curso de funcionamento de acordo com o selecionado.

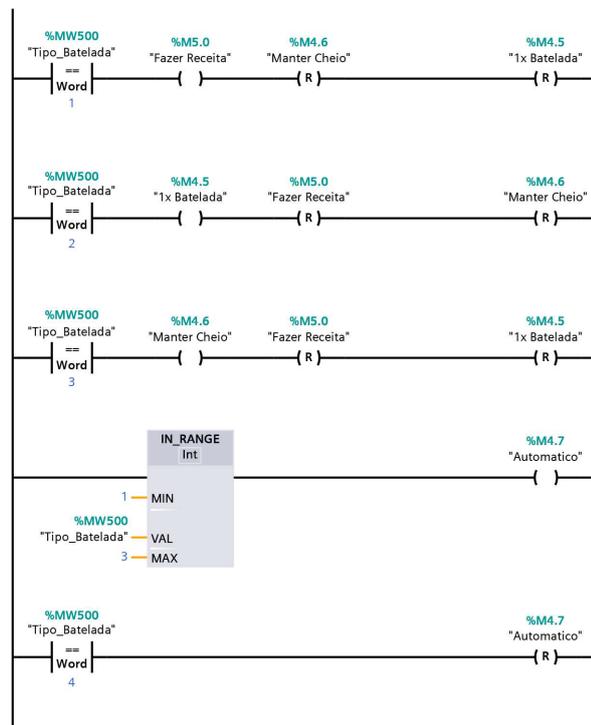


Figura 40 – Etapa 1 - Verifica condições de dosagem combobox

4.6.2.5.2 Etapa 4 - Habilita dosagem da resina

Neste ponto a máquina habilita a inserção de resina no recipiente da batedeira com base no tipo de operação que, neste caso, é fazer receita. O bit responsável por isso em questão é o Batelada Resina Iniciada, também é setado para 1 o bit Batelada Batelada Iniciada que sinaliza que a operação iniciou.

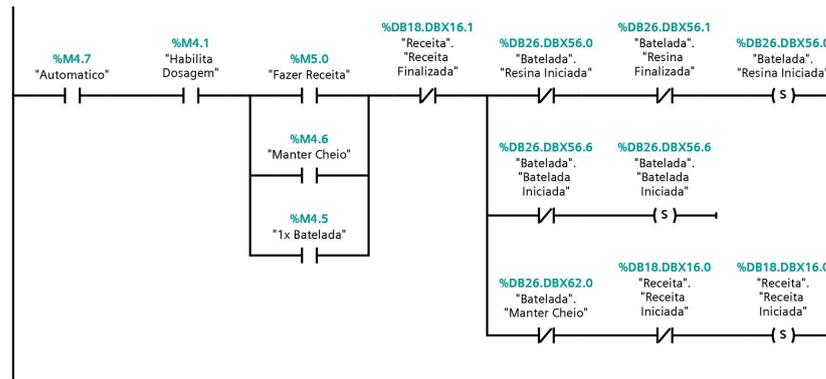


Figura 41 – Etapa 4 - Habilita dosagem da resina

4.6.2.5.3 Etapa 5 - Dosar Resina

Devidamente habilitada a dosagem, o Motor01 é acionado, bombeando resina pura através das tubulações até a bateadeira. Como a mesma saída digital também aciona a válvula V1 , por meio do relé de interface, não é necessária a ativação de uma outra saída digital para a mesma tarefa.

A dosagem continua até a célula de carga informar ao sistema que o peso de resina necessário já foi atendido. Quando esta condição for atendida o *bit* Batelada Resina Finalizada é iniciado, impedindo que o sistema continue dosando resina para dentro da bateadeira.

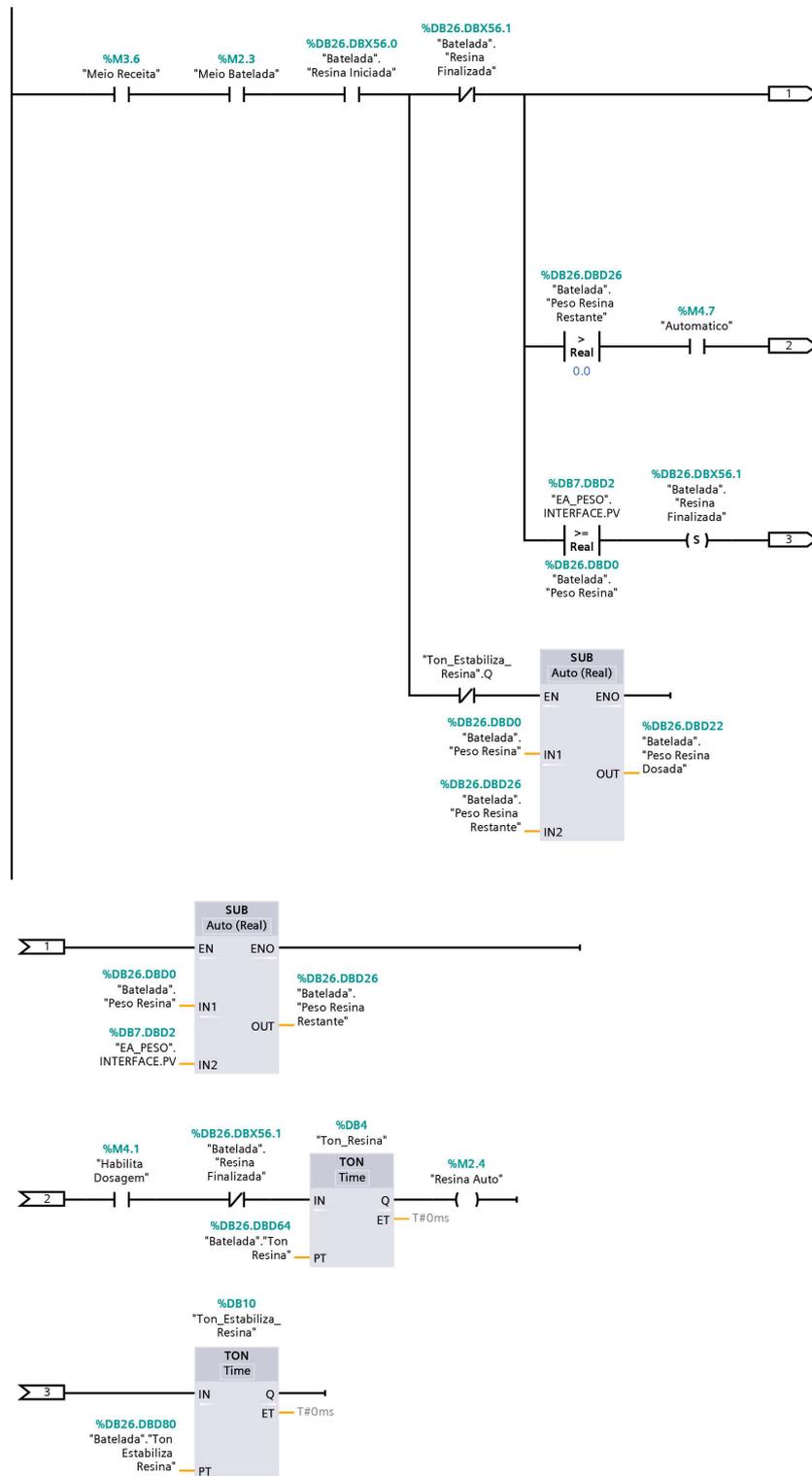


Figura 42 – Etapa 5 - Dosar Resina

4.6.2.5.4 Etapa 6 - Inicia Batedor

Um dos parâmetros disponíveis no banco de dados da figura 38 é o Peso Liga Batedor Auto, que serve para informar ao CLP a partir de qual peso de resina inserido

no interior da bateadeira o Motor M0 deve ligar. Este detalhe serve para que o rotor não gire sem fluido suficiente no interior da bateadeira, economizando energia e aumentando a vida útil dos mancais e polias do sistema.

A operação ocorre comparando o peso inserido na bateadeira com o Peso Liga Batedor Auto, caso o primeiro seja maior ou igual ao segundo, o rotor é ligado.

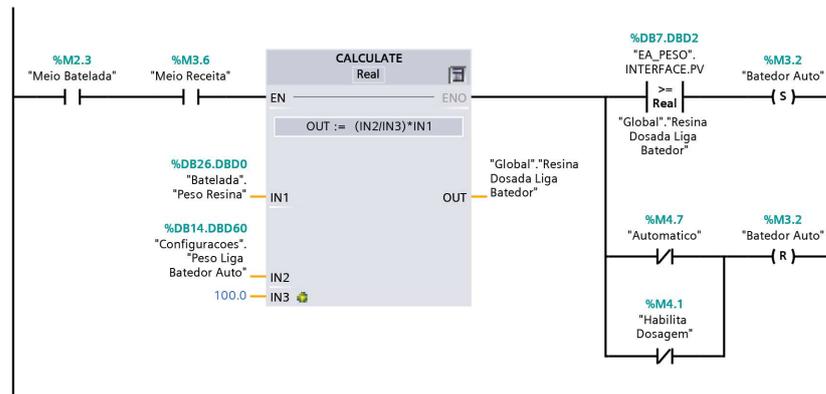


Figura 43 – Etapa 6 - Inicia Batedor

4.6.2.5.5 Etapa 7 - Habilita dosagem de água

Se a bateadeira tiver finalizado a dosagem de resina, é habilitada a dosagem de água. O bit Batelada Água Iniciada permite que, na etapa seguinte, inicie-se o processo de dosagem de água. Também é somado o Batelada Peso Resina e o Batelada Peso Água, este cálculo é utilizado para determinar qual peso deve ser inserido na água.

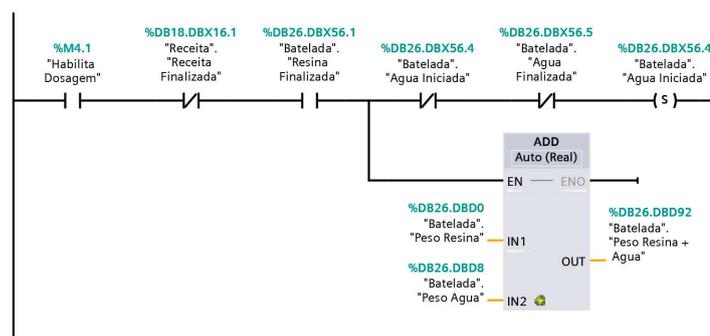


Figura 44 – Etapa 7 - Habilita dosagem de água

4.6.2.5.6 Etapa 8 - Dosar Agua

O processo de dosagem de água ocorre de forma parecida com a dosagem de resina. O CLP compara o peso medido pela célula de carga com o peso Batelada.Peso Resina + Agua. Assim que o valor medido pela balança ultrapassar a soma do peso da resina com a água, o bit Batelada.Agua Finalizada muda para 1, finalizando a dosagem de água.

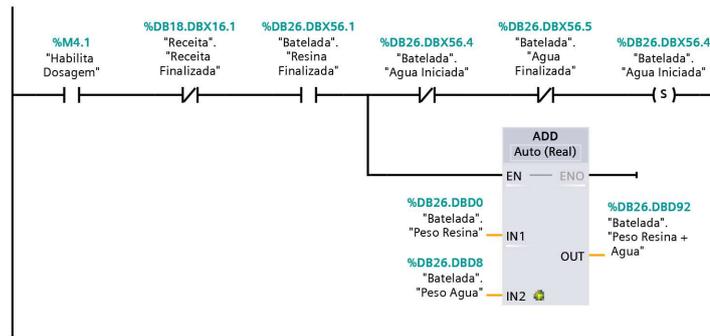


Figura 45 – Etapa 8 - Dosar Agua

4.6.2.5.7 Etapa 9 - Habilita dosagem de trigo

O último ingrediente a ser adicionado é o trigo, cuja inserção ocorre de forma similar a adição da água e da resina. Primeiramente, é necessária a checagem das condições necessárias para dosar o trigo, isso é feito a partir da Network 10 - Habilita dosagem de trigo.

A principal condição a ser atendida aqui é a finalização da dosagem da água, que corresponde ao *bit* Batelada Agua Finalizada. O peso de dosagem também é calculado nesta etapa, que serve para determinar o ponto que a máquina deve dosar trigo, o resultado obtido corresponde a Batelada Peso Resina + Trigo

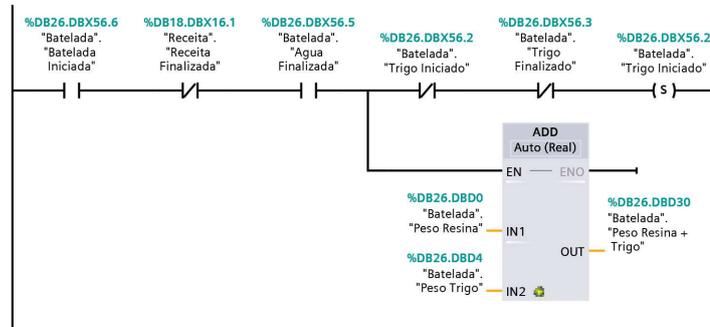


Figura 46 – Etapa 9 - Habilita dosagem de trigo

4.6.2.5.8 Etapa 10 - Dosar Trigo

Assim que habilitado para dosar o trigo, o sistema executa tal ação. Primeiramente o motor 2 é ligado. Este motor, que tem função de movimentar a rosca de farinha, fica ligado até o peso total de farinha ser completo. Quando o peso total for atingido, o motor é desligado.

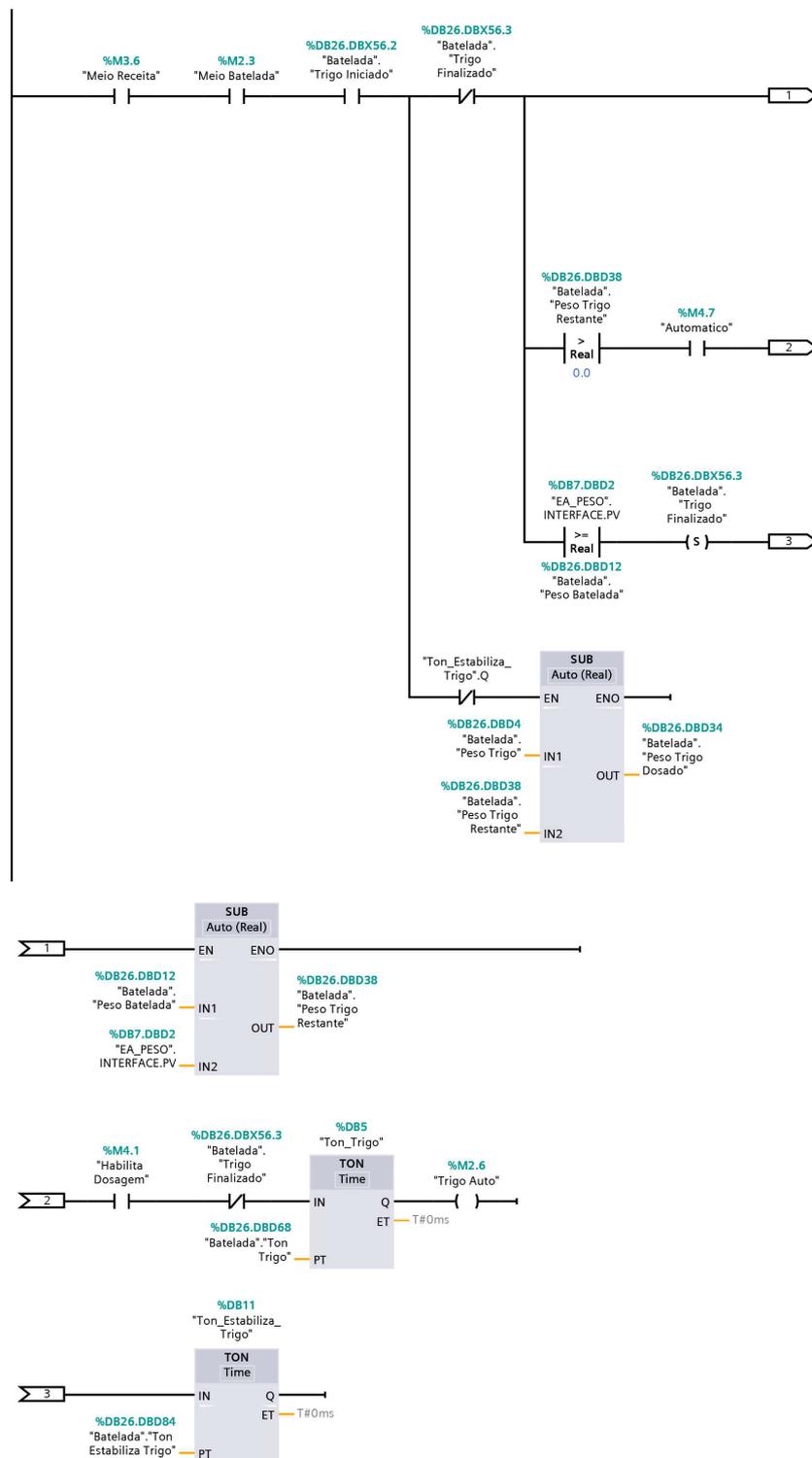


Figura 47 – Etapa 10 - Dosar Trigo

4.6.2.5.9 Etapa 11 - Mistura no final da dosagem

O colaborador, que auxiliou no desenvolvimento desta máquina, afirma na entrevista que, após o fim da dosagem de todos os componentes, a bateadeira necessita continuar

a agitação por um período entre 20 e 35 minutos. Esta informação é concordante com o tempo já utilizado na empresa e, desta forma, foi diagramado em *ladder* este comportamento, conforme imagem abaixo.

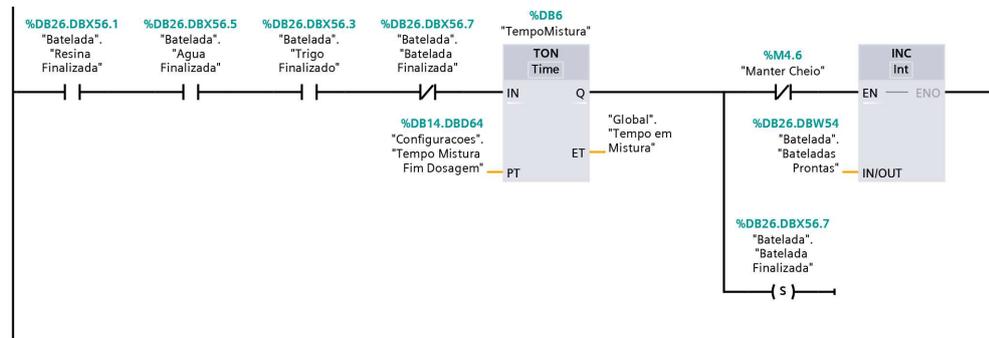


Figura 48 – Etapa 11 - Mistura no final da dosagem

O funcionamento desta etapa é ligeiramente mais direto que as anteriores, necessitando apenas de um Timer TON, com o tempo de agitação. Este *timer* é acionado pelo bit Batelada Trigo Finalizado em série com os *bits* Batelada Agua Finalizada e Batelada Resina Finalizada.

4.6.2.5.10 Etapa 12 - Verifica se o reservatório tem espaço para descarregar a batedeira

Finalizado o tempo, o sistema verifica o nível do tanque do agitador e transfere o conteúdo da batedeira sem transborda-lo. A verificação, nesse momento do processo de produção, é dada pelo seguinte trecho de diagrama em *ladder* :

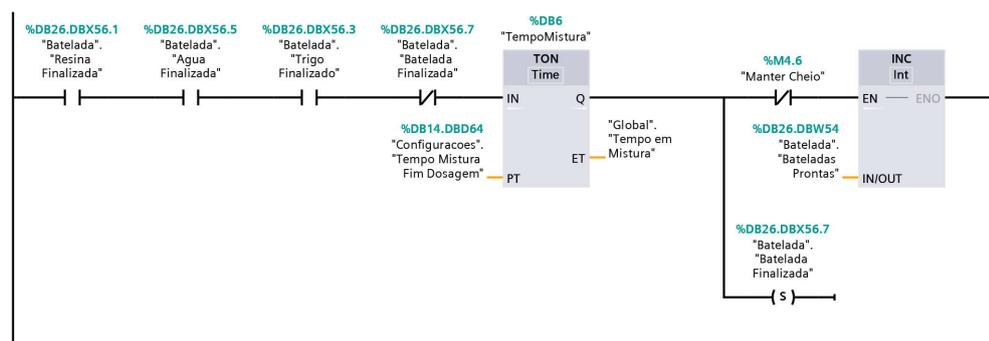


Figura 49 – Etapa 12 - Verifica se o reservatório tem espaço para descarregar batedeira

Como pode ser observado, o nível do agitador é obtido através de um transmissor de pressão com selo-diafragma (como mostrado na figura 24).

4.6.2.5.11 Etapa 13 - Verifica se a batelada e a receita foi finalizada e a bateadeira está vazia

Por fim, o sistema faz todas as conferências de ciclo, habilitando a bateadeira a realizar mais uma batelada, caso necessário. Os *bits* Receita Receita Finalizada e Habilita Dosagem são setados para zero e, desta forma, o ciclo pode ser iniciado novamente se necessário.

4.6.2.6 Funcionamento do Botão de Emergência

De forma a proteger a integridade física dos operadores e da própria máquina, a botoeira de emergência serve para informar ao CLP que é necessária uma parada em todos os atuadores. Para atender a esta demanda, o controlador escreve e força para zero todos os bits de saída do CLP, de forma que este comportamento escreve na imagem de processo do programa e tendo assim prioridade sobre qualquer outra rotina de execução.

4.6.2.7 Bloco de Entrada Analógica (FB)

As entradas analógicas funcionam de forma muito similares entre si, portanto é possível construir um bloco único para todas as entradas. Primeiramente o sinal deve ser normalizado (V_n) da seguinte forma :

$$V_n = \frac{I_{input} - M_{ir}}{M_{ar} - M_{ir}} \quad (24)$$

Sendo que o mínimo e máximo denotados como M_{ar} e M_{ir} respectivamente são específicos de cada PLC. Em seguida, o V_n deve ser escalonado para atender os limites de engenharia de cada sensor, sendo o limite máximo e mínimo especificados pelo fabricante de cada sensor. O cálculo é dado pela seguinte equação :

$$O_{out} = V_n(M_{axEng} - M_{inEng}) + M_{inEng} \quad (25)$$

Desta forma, é obtido o valor O_{output} , que corresponde a leitura do sensor nas unidades de engenharia especificadas pelo fornecedor. A aplicação destes conceitos dentro da plataforma de programação de CLP da Siemens é observada na figura a seguir :

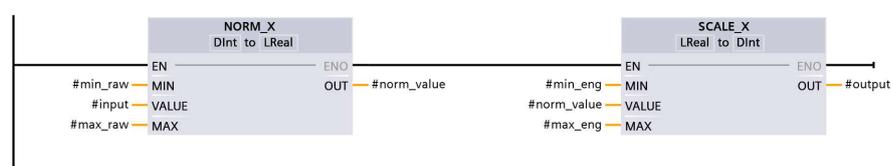


Figura 50 – Implementação em Ladder do Tratamento do Sinal Analógico

4.6.3 IHM

A IHM escolhida foi a WEG MT 7". A comunicação ocorre no meio físico através de um cabo rj45, formando uma LAN. O protocolo de comunicação em questão é o ETHERNET IP.

As telas podem ser observadas nas figuras 51 a 54



Figura 51 – Tela 1 IHM



Figura 52 – Tela 2 IHM



Figura 53 – Tela 3 IHM



Figura 54 – Tela 4 IHM

Como observado, o operador pode selecionar o modo de operação, inserir as proporções, carregar batidas, ligar e desligar manualmente os atuadores, verificar status de operação entre outros.

4.7 DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO

O diagrama elétrico da planta inteira está disponível na seção de apêndice deste documento. Todos os componentes e metodologias utilizadas no projeto elétrico são abordadas com profundidade nas próximas subseções, fazendo menção ao conteúdo do apêndice. É válido ressaltar que toda instalação foi feita levando em consideração a (NBR5410, 2004), que rege as instalações elétricas de baixa tensão no Brasil.

4.7.1 Motores

A escolha dos motores da planta foi feita com base nos motores já existentes na empresa, motores esses que faziam parte de máquinas desativadas da empresa.

Nem todas as partes da nova planta de colagem poderiam utilizar estes motores antigos, por isso, novos motores foram comprados. As especificações técnicas de todos os motores da planta podem ser observadas nas tabelas 7 a 15

Motor Batedeira	
Potência (cv)	20
Corrente (A)	30
Tensão (V)	380
Tipo	Indução trifásico
Polos	4
Rendimento	0,85
Rotação (Rpm)	1750
Redução	1/2
Estado	Usado

Tabela 7 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 0

Motor Bomba Tanque de Resina Pura	
Potência (cv)	7,5
Corrente (A)	8,2
Tensão (V)	380
Tipo	Indução trifásico
Polos	6
Rendimento	0,85
Rotação (Rpm)	1150
Redução	1
Estado	Existente na Planta Antiga

Tabela 8 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 1

Motor Eixo Helicóide Rosca de Farinha	
Potência (cv)	3
Corrente (A)	4,8
Tensão (V)	380
Tipo	Indução trifásico
Polos	3
Rendimento	0,88
Rotação (Rpm)	1150
Redução	$\approx 1/54$
Estado	Existente na Planta Antiga

Tabela 9 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 2

Motor Vibrador Caixa de Farinha	
Potência (cv)	3
Corrente (A)	5
Tensão (V)	380
Tipo	Indução trifásico
Polos	2
Rendimento	0,85
Rotação (Rpm)	3600
Redução	1
Estado	Velho

Tabela 10 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 3

Motor Pá Agitador	
Potência (cv)	3
Corrente (A)	4,8
Tensão (V)	380
Tipo	Indução trifásico
Polos	3
Rendimento	0,88
Rotação (Rpm)	1150
Redução	1/54
Estado	Existente na Planta Antiga

Tabela 11 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 4

Motor Bomba Batedeira - Agitador	
Potência (cv)	3
Corrente (A)	5
Tensão (V)	380
Tipo	Indução trifásico
Polos	4
Rendimento	0,85
Rotação (Rpm)	1750
Redução	1
Estado	Velho

Tabela 12 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 5

Motor Agitador - Rolos de Cola	
Potência (cv)	3
Corrente (A)	5
Tensão (V)	380
Tipo	Indução trifásico
Polos	4
Rendimento	0,85
Rotação (Rpm)	3600
Redução	1/2
Estado	Velho

Tabela 13 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 6

Motor Bomba Limpeza - Reservatório d'gua	
Potência (cv)	2
Corrente (A)	3,8
Tensão (V)	220
Tipo	Indução monofásico
Polos	4
Rendimento	0,86
Rotação (Rpm)	1750
Redução	1
Estado	Novo

Tabela 14 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 7

Motor Bomba Reservatório d'gua - Batedeira	
Potência (cv)	2
Corrente (A)	3,8
Tensão (V)	220
Tipo	Indução monofásico
Polos	4
Rendimento	0,86
Rotação (Rpm)	1750
Redução	1
Estado	Novo

Tabela 15 – Tabela de Informações Técnicas do Motor 8

4.7.2 Disjuntores

Neste projeto existem três tipos de disjuntores, o disjuntor de entrada, do tipo caixa moldada, os disjuntores din e os disjuntores motor. A escolha de cada um destes será detalhada nas seguintes subseções.

4.7.2.1 Disjuntor De Entrada - Caixa Moldada

Como a NBR5410 determina, todo circuito deve ser protegido . Considerando isso, para proteção geral da máquina, foi escolhido o disjuntor do tipo caixa moldada de 125 A .

A determinação da capacidade de proteção, do disjuntor escolhido, foi dada pela corrente suportada pelos condutores que ligam o quadro geral de baixa tensão da empresa até o painel da batedeira.

Este disjuntor alimenta o barramento de cobre do painel que, por sua vez, distribui energia entre todos os componentes da máquina. É importante notar que o condutor que alimenta o painel, além de estar protegido por este disjuntor, também conta com um disjuntor no quadro geral de baixa tensão, oferecendo mais proteção a toda máquina e facilitando a manutenção devido ao maior número de pontos de seccionamentos do circuito.

4.7.2.2 Disjuntores Tipo Din

Os disjuntores do tipo din presentes nesta máquina possuem funções de proteção em circuitos específicos. Todos os disjuntores anteriores na cadeia de proteção da empresa são do tipo caixa moldada , isso significa que a curva de disparo dos Disjuntores do tipo Din nos circuitos da batedeira pode ser do tipo C ou D ²⁰

Desta forma, até mesmo disjuntores Din com curva B seriam adequados, uma vez que não vão existir nenhum circuito derivado do painel da batedeira . A aplicação destes dispositivos e seus respectivos papéis foram arrançados na seguinte tabela :

²⁰ Disjuntores mais próximos ao transformador devem atuar de forma mais lenta que disjuntores mais eletricamente distantes.

Circuito	Corrente	Curva de Disparo	Descrição
Comando Elétrico	10	C	Protege o circuito de comando elétrico, incluindo a fonte 220Vac 24Vdc e as tomadas
Soft Starter M0	63	C	Protege o circuito do motor M0 contra curto-circuito

4.7.2.3 Disjuntor Motor

A partida de motores requer dispositivos compatíveis em todos os motores da máquina ²¹. O tipo de disjuntor motor permite a seleção de corrente dentro de sua faixa de fabricação e se adequa bem à necessidade. Na escolha, foram analisados os seguintes disjuntores com suas respectivas faixas de atuação :

Motor Protegido	Marca	Corrente de Operação (A)	Corrente Seleccionada (A)	Contator
M0	WEG	NA	NA	NA
M1	WEG	6.3-10	8,2	9
M2	WEG	4-6.3	4	9
M3	WEG	4-6.3	4,9	9
M4	WEG	4-6.3	4	18
M5	Siemens	13-20	13	9
M6	WEG	6.3-10	8,5	9
M7	WEG	4-6.3	4	9
M8	WEG	4-6.3	4	9

Tabela 16 – Tabela de Informações Técnicas - Disjuntor Motor

4.7.3 Contatores

Com exceção do motor M0, todos os motores são acionados via partida direta e, para isso, é necessário utilizar contatores. Como estes dispositivos possuem sua corrente máxima de regime, o motor a jusante deve possuir corrente nominal igual ou inferior a corrente do contator. Este princípio pode ser observada na tabela a seguir:

4.7.4 Condutores

Para determinação dos condutores no projeto, é necessário conhecer a corrente de seus respectivos circuitos, assim como, a sua distância. Isso porque, para distâncias de cabo suficientemente grandes ²², ocorre o fenômeno queda de tensão.

Na máquina do projeto, existem basicamente dois tipos de circuitos: o de comando e os de motores. O primeiro tipo engloba a alimentação da fonte 220Vac 24Vdc ²³, já o segundo é composto pelos motores.

Com isso, é possível determinar a corrente de cada circuito e fazer uso da tabela 34 da NBR5410 para determinar a seção mínima dos condutores, com base na corrente

²¹ Com exceção do motor M0, que está protegido por sobrecarga de motor pela Soft Starter e contra curto circuito pelo disjuntor Din a montante

²² Distâncias maiores que 30 metros já são suficientes para ocasionar a queda de tensão

²³ E conseqüentemente a IHM, o CLP, a botoeira de emergência e os relês de interface

de circuito. Além disso, é necessário fazer o cálculo de queda de tensão com base no comprimento do condutor, compara-la com a seção do critério de corrente e escolher a maior entre ambas. É possível observar todos os circuitos e seus respectivos dimensionamentos na tabela 17.

Circuito	Corrente	Critério de Corrente (mm^2)	Critério de queda de Tensão (mm^2)	Espessura Adotada (mm^2)
Geral	100	50	50	50
Comando	20	1,5	1,5	1,5
M0	30,00	10	10	10
M1	8,2	2,5	2,5	2,5
M2	4	2,5	2,5	2,5
M3	4,9	2,5	2,5	2,5
M4	4	2,5	2,5	2,5
M5	13	2,5	2,5	2,5
M6	8,5	2,5	2,5	2,5
M7	4	2,5	2,5	2,5
M8	4	2,5	2,5	2,5

Tabela 17 – Tabela de Condutores

É importante ressaltar que foram desconsiderados dos cálculos variáveis como fator de agrupamento, regime de corrente (corrente alternada ou corrente contínua), método de instalação e fatores de correção em função da isolamento.

4.7.5 Bornes

Os bornes são componentes que interligam circuitos internos do painel com o exterior. Um exemplo de aplicação são as três fases de um motor que tem seus contatos comutados através de um contator, que possui o motor a jusante no circuito.

Também existe o emprego de bornes para sensores em campo, como relés de fim de curso ou, no caso da bateadeira, um transmissor de pressão com um sinal analógico.

O tamanho²⁴ do borne deve corresponder ao tamanho dos cabos de cobre utilizados. Caso não exista borne pequeno o suficiente, deve ser utilizado o de secção transversal logo acima. A lista de bornes considerados do projeto pode ser visualizada a seguir:

²⁴ Tamanho do borne se refere a Secção transversal do condutor do mesmo

Circuito	Borne (mm^2)
M0	10
M1	2,5
M2	2,5
M3	2,5
M4	2,5
M5	2,5
M6	2,5
M7	2,5
M8	2,5
Válvulas	2,5
Transmissor de Pressão	2,5
Botoeira de Emergência	2,5

Tabela 18 – Tabela de Bornes

5 RESULTADOS

Com a máquina pronta e todos os detalhes de funcionamento elucidados neste documento, foi possível realizar uma bateria de testes a fim de verificar seu correto funcionamento. Algumas imagens da planta finalizada podem ser observadas a seguir:



Figura 55 – Visão geral da planta



Figura 56 – Passarelas



Figura 57 – Vista interna do painel elétrico



Figura 58 – Vista externa do painel elétrico



Figura 59 – Vista externa do agitador



Figura 60 – Vista interna do agitador



Figura 61 – Vista externa da caixa de farinha



Figura 62 – Vista interna da caixa de farinha



Figura 63 – Batedeira de cola



Figura 64 – Celula de carga sustentando a batedeira

5.1 PRECISÃO DE MEDIDA

Como detalhado no decorrer do documento, a quantidade de matéria de cada um dos constituintes da mistura foi medida indiretamente através do peso individual (Utilizando a massa molar para encontrar a quantidade de matéria a partir do peso). A aferição do peso foi feita a partir de um instrumento chamado de célula de carga, que transmite um sinal analógico, proporcional ao peso medido, ao CLP.

A fim de averiguar qual a diferença entre o valor de entrada digitado pelo operador e o valor real inserido na máquina, foi feito o seguinte exercício :

1. Foi dado o comando de produzir uma batelada de cola com valores arbitrários de água, resina e farinha, denotados por A , R e F , respectivamente (A_c como peso de água nos canos e R_c como o peso de resina nos canos) .
2. Ao iniciar a operação, é verificado o incremento de peso na balança ao adicionar cada item
3. O primeiro item adicionado é a água, e a variação no peso da balança deve corresponder a seguinte relação : $\Delta P_1 = A - A_c + R_c$. Isto se deve ao fato que existe ainda um volume de fluidos presentes na tubulação frutos de operações passadas.
4. O segundo item corresponde a resina e, de forma similar, é verificada a variação do peso na balança através de : $\Delta P_2 = R - R_c + A_c$
5. O terceiro item adicionado é a farinha, que tem seu peso adicionado correspondente a variação do peso na balança.

6. A variação $\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2$ deve corresponder a soma dos pesos de cola e resina digitados pelo operador na IHM. É natural que ocorra uma diferença entre os valores de processo e o *setpoint*. A diferença entre estes dois valores corresponde ao erro¹ associado no processo da máquina.

Foi constatado uma diferença entre o valor de processo e o *setpoint* de, no máximo, 600 gramas e, no mínimo, 120 gramas. Esta diferença é atribuída ao atraso do comando de desligar o atuador responsável pela inserção do ingrediente e a efetiva parada. Estas diferenças são esperadas em todos os processos industriais, como o valor máximo foi de 600 gramas e o peso médio de operação da máquina é de 300 kg por batelada, a diferença percentual foi de 0.2%.

A resolução da entrada analógica do CLP é de 13 bits, a resolução do sinal analógico fornecido é de 7. Estas variações são pequenas se comparadas a aquelas associadas ao atraso da parada de inserção e, portanto, foram desconsideradas do cálculo.

5.2 ROBUSTEZ DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO

A confiabilidade de um sistema de automação pode ser medida a partir da análise de alguns pontos. O primeiro ponto é a maneira que o programa do CLP foi construído, isto é, se o fluxo de processo possui comportamentos muito bem definidos. O segundo é se as variáveis utilizadas na mudança das etapas são precisas ou se baseiam em previsões suscetíveis a erros. E o terceiro é se a instrumentação da máquina possui redundância de falhas².

Outro ponto importante é o comportamento da máquina quando a botoeira de emergência é acionado, de como o evento age dentro das rotinas do processo. Nesse caso é analisado se é possível prosseguir na sequência do processo ou se é necessário restaurar as variáveis padrão do processo.

Também é importante a verificação de possíveis *loops* infinitos dentro do programa, visto que podem alterar o fluxo do processo. Estes *loops*, que são erros comuns dentro da programação, ocorrem quando não existem condições de parada dentro de uma rotina de programação ou quando estas condições são impossíveis de serem alcançadas. No caso da programação em *ladder* isto se deve a selos que não possuem condição de abertura.

Por fim, também é necessário avaliar o quanto a máquina é suscetível ou resistente ao erro do operador, em outras palavras, quais os mecanismos de automação que alertam o operador de possíveis falhas causadas por erros operacionais. Um exemplo desta proteção aplicado na bateadeira é a limitação do peso por batelada, que previne o transbordamento do conteúdo da bateadeira.

¹ Este erro ainda não leva em conta o erro de medição associado ao instrumento de medição

² Um exemplo comum de redundância é a pausa do processo caso um sensor analógico de 4 a 20 mA envie uma corrente < 4

Tendo em vista esses pontos, foi possível testar a confiabilidade do sistema projetado e descrito nos capítulos anteriores. Devido a relativa complexidade do sistema, não é possível testar todas as possibilidades e todas as hipóteses de falha, entretanto é viável realizar operações para verificar a estabilidade de funcionamento com base em algumas premissas :

- O sistema deve parar completamente e sem atraso ao acionar a botoeira de emergência;
- A bateadeira não pode transbordar ao fazer uma batelada;
- A bateadeira não deve fazer uma batelada caso não exista volume disponível no agitador;
- O acionamento da emergência não deve interferir em processos futuros da bateadeira. Também, diferentes ordens de processo não devem ocasionar mudanças cumulativas nas próximas bateladas;
- Nenhum motor ou válvula deve ser acionado sem a intenção do operador, ou seja, em condições fora do fluxo de produção previsto pelo programa ou pelo operador, os atuadores devem manter seus estados inalterados.

Com base nas premissas anteriores e em testes realizados no local, foi constatado que nenhuma dessas condições foi quebrada e portanto o sistema funcionou como desejado. Outro ponto importante é a presença do relê de falta de fase no painel da máquina, que informa ao CLP da falha de alimentação de alguma das fases e interrompe o processo, alertando o operador da situação.

Vale ressaltar que a IHM possui uma tela de *login* e apenas usuários cadastrados podem operar a máquina³, desta forma, diferentes níveis de acesso foram atribuídos a diferentes operadores. O resumo dos acessos pode ser observado na lista a seguir :

- **Administrador** : Acesso completo a máquina, pode mudar proporções de batidas, dar entrada no processo de fazer uma receita, adicionar ou remover receitas e alterar variáveis de parâmetros construtivos da máquina, como raio e altura da bateadeira e do agitador. Pode também mudar o volume útil de de cada recipiente, a densidade dos compostos e outras variáveis de processo como em qual ponto o rotor da bateadeira é ligado
- **Operador 1** : Pode adicionar e remover receitas, mandar fazer batidas e mudar proporções dos ingredientes
- **Operador 2** : Pode realizar o *input* do processo fazer uma batelada, mas não pode escolher as proporções dos ingredientes, sendo a última receita utilizada, a escolhida

³ A botoeira de emergência funciona independente de login

- **Operador 3** : Pode apenas visualizar a tela para acompanhar o processo mas não pode operar a máquina, isso inclui a proibição de fazer qualquer tipo de batelada.

Apesar de todos os testes de robustez propostos terem sido um sucesso, é necessário fazer um adendo: existem condições que podem gerar problemas de funcionamento da máquina, tais como :

- Caso ocorra falta de água, farinha ou resina, os motores responsáveis continuarão ligados até o peso na batedeira ser suficiente para encerramento da etapa. Entretanto, o encerramento não ocorrerá se este peso não for atingido, considerando que não existirão ingredientes disponíveis nos locais de armazenamento da máquina. Este comportamento será melhor discutido na seção de melhorias futuras.
- Caso alguma das válvulas tenha sua bobina queimada ou apresente falta de ar comprimido, as válvulas não abrirão, fato esse que irá travar o processo de produção de cola e necessitará da ação do operador. É possível também que a tubulação seja danificada devido ao aumento da pressão interna provocada pelo bombeamento de fluidos na tubulação fechada. De qualquer forma, o motor da respectiva bomba ainda estará protegido pelo disjuntor motor caso ocorra uma sobrecarga proveniente deste mau funcionamento.
- O transmissor de pressão do agitador fornece um sinal de 0 a 10V e não de 4 a 20 mA. Caso ocorra a abertura do condutor, a batedeira entende a leitura de 0 volts como 0 Bar e, conseqüentemente, retorne o valor errado de que o reservatório do agitador está vazio. Esse comportamento pode ocasionar o transbordamento do agitador, caso o operador solicite a produção de um volume de cola maior do que o disponível no reservatório.

5.3 ROBUSTEZ MECÂNICA

Os pontos críticos do projeto, no que tange a mecânica construtiva, são referentes a batedeira. Como o tanque faz uso de um motor de 20 cv de potência e entrega uma rotação no eixo de 875 RPM, pequenos desvios de balanceamento, simetria e inclinação podem ocasionar um desgaste prematuro nos mancais, nos parafusos, soldas, conexões e células de carga.

A vibração ocasionada pela rotação deve ser controlada, visto que poucos milímetros de assimetria podem ocasionar a ressonância mecânica e conseqüentemente acidentes.

Na primeira vez que a máquina foi ligada foi constatado alguns problemas como:

- As proteções ⁴estavam entrando em contato com as polias do motor M0, em alguns momentos. Problema prontamente resolvido com o aumento da folga da

⁴ Feitas para adequação da máquina a NR12

proteção das polias.

- Existe uma pequena inclinação no piso que a bateadeira foi instalada, assim, o seu rotor não estava alinhado. Este detalhe foi previsto no projeto, de modo que a bateadeira foi construída com regulagens nas alturas dos quatro apoios de base, garantindo uma vibração mínima nas células de carga e na estrutura como um todo.
- A rosca de farinha possuía um leve desvio de centro em seu eixo, fato esse que ocasionava o atrito de seus helicoides nas paredes do tubo da caixa. Este detalhe foi resolvido com o desgaste dos pontos de solda no interior do casco, reduzindo quase que completamente o atrito entre os metais.

Todos os demais itens mecânicos funcionaram corretamente e não necessitaram de ajustes, considerando que os ajustes feitos foram mais simples, tais como os detalhes das passarelas, das tubulações, das bombas, das válvulas e do agitador.

5.4 VISCOSIDADE

A viscosidade da cola é um dos parâmetros mais importantes da cola. O método mais comum de medir a viscosidade de líquidos newtonianos⁵ é utilizando o copo Ford, que atrela a viscosidade do líquido através do tempo de escoamento do fluido no seu interior.

Com este aparato, a cola da antiga bateadeira apresentava um tempo de escoamento de 62 segundos. Utilizando a nova bateadeira, municiada do agitador, este tempo⁶ ficou em 68 segundos.

Um fato importante a se atentar é a similaridade entre as viscosidades de ambas as bateadeiras, no caso da utilização da cola sem a passagem pelo agitador. Detalhe este que confirma o ganho em qualidade devido ao agitador.

5.5 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO

Apesar de não ser o fator mais crítico do projeto, é necessário conhecer os limites de produção da máquina. Estima-se que a média de produção de uma batelada seja de 35 minutos⁷, considerando que opere em uma capacidade máxima de produção de 300 kg a máquina possui uma capacidade de produção de cola de 12 toneladas.

No entanto, ao também considerar também a capacidade de agitação, esse valor cai para 7.2 toneladas, visto que são necessárias 6 horas de agitação para o devido engrossamento da cola.

Utilizando a capacidade máxima de produção de cola, utilizando o processo de agitação, a empresa terá cola o suficiente para produzir $180 m^3$ de compensado por dia.

⁵ Que é o caso da água, da resina de fenol formaldeído e da cola pronta

⁶ Utilizando as mesmas proporções em massa dos ingredientes em ambas as bateladas

⁷ 10 minutos de adição de ingredientes e escoamento e 25 de mistura

Além disso, devido ao reservatório do agitador, existe uma reserva para produção de até 45 m^3 de compensado, caso ocorra algum problema de funcionamento da máquina, como queima de componentes eletrônicos ou de motores, problemas mecânicos gerais e nas válvulas, rompimento de cabos.

6 DISCUSSÃO

Por fim, aqui são levantados quais dos objetivos iniciais do projeto foram atingidos, quais os acertos e erros ocorridos ao longo do desenvolvimento da máquina e o que seria feito de forma diferente, caso o projeto fosse executado novamente, tendo em vista o conhecimento adquirido ao longo dos meses de execução. Por fim, são abordadas as propostas de melhorias futuras com base na análise do comportamento da máquina pronta, assim como, as conclusões gerais do documento.

6.1 OBJETIVOS ATINGIDOS

Os pontos a serem abordados são divididos em gerais e específicos. Ambos são abordados nos tópicos seguintes.

6.1.1 Objetivo Geral

A proposta inicial era o projeto e construção de uma planta de mistura de cola de precisão para empresa J.Fey & Filhos Ltda. De modo convicto o objetivo geral foi alcançado, a empresa conta hoje com uma máquina estado da arte no que tange a mistura de cola.

Como o gerente de projeto e escritor do presente tem contato com a empresa a mais de dez anos, todos os detalhes da máquina foram pensados na necessidade da indústria em questão. O fato do longo convívio nesta indústria de cunho familiar permitiu também a melhor otimização de fundos, levando a um menor investimento financeiro se comparado com outras plantas já existentes. Esta economia no entanto não implicou em nenhum prejuízo de qualidade construtiva e de automação.

6.1.2 Objetivos Específicos

A primeira vez que a J.Fey & Filhos Ltda misturou cola fenólica foi no dia 17/03/2001, desta forma é natural que ao longo destes 19 anos a mistura e suas especificidades foram sendo aprimoradas. O conhecimento dos colaboradores e encarregados da empresa somou-se com o conhecimento prévio de processo do autor para possibilitar a entrega do melhor produto possível. Desta forma o processo antigo e manual teve seus pontos fortes carregados para planta nova e seus pontos fracos corrigidos. Ademais, foi constatado que a máquina funcionou como esperado, fornecendo uma cola com características extremamente semelhantes entre os diversos lotes produzidos.

A determinação de todo aparato de automação foi feita pelo autor. Todos os equipamentos determinados atenderam o propósito de funcionamento da planta, um parâmetro importante que corrobora para esta afirmação é o tempo de SCAN da CPU, que mostrou

uma média de 4 ms . Este baixo período de ciclo do PLC é também uma evidência que o software desenvolvido para o hardware escolhido também atendeu as expectativas.

Toda diagramação elétrica está documentada em um arquivo separado deste e disponível na lateral do painel, isto além de facilitar o trabalho de manutenção foi de essencial auxílio na confecção do painel elétrico. Como teste dos cálculos deferidos ¹ foi medido através de um alicate amperímetro a tensão de fase nos terminais dos motores e comparada com os valores na saída do transformador da empresa. A diferença percentual dos valores obtidos foram inferiores a 3%, valor extremamente aceitável em uma rede trifásica 380Vac.

Nenhuma das evidências mencionadas anteriormente é mais significativa do que o real funcionamento da máquina. A modernização do processo antigo produziu cola com robustez, qualidade, constância e velocidade. Estes atributos positivos foram somados com a introdução das facilidades da automação para os colaboradores, que hoje tem esforço laboral muito reduzido². A IHM gerou um *ar* de inovação na empresa, despertando o interesse em tecnologia dos colaboradores e contribuindo para cultura organizacional da empresa.

6.2 CONHECIMENTO ADQUIRIDO E LIÇÕES APRENDIDAS

Era esperado que ao longo de um projeto ocorressem pequenas mudanças no escopo, imprevistos e comportamentos inesperados no sistema de automação. Em verdade, estes acontecimentos são corriqueiros no mundo da automação industrial.

O primeiro e mais importante ponto a ser aqui abordado é a extensão do rotor. Inicialmente o eixo de mistura da bateadeira ficava a 45 cm do fundo e possuía espátulas normais a superfície do disco do rotor. Esse padrão de construção do rotor implicou em características ligeiramente limitantes : A bateadeira possuía um nível mínimo de cola para operação, uma vez que como o rotor não estava próximo ao fundo da bateadeira. Desta forma bateladas com menos de 200 kg não entrariam em contato com as pás e conseqüentemente não seriam agitadas. De moto a eliminar esta limitação o rotor foi alongado, ficando a 15 cm do fundo do recipiente.

O segundo ponto é a alta carga do motor M0, de 20 cv, que devido a angulação das espátulas demandava um alto torque para movimentar a mistura. Neste caso o projeto foi assertivo visto que a redução proporcionada pelas polias ³ resultou na operação do motor M0 dentro da faixa nominal de corrente.

A fim de resolver este ponto foi efetuada a substituição do eixo de modo que o disco com as pás estejam a 15 cm do fundo do tanque, além disso, foi alterada a angulação das pás de 90º para 30º com intuito de reduzir o esforço do motor.

¹ No que tange cálculo de condutores e componentes elétricos

² Se comparado com o processo de produção de cola antigo

³ A taxa de redução no eixo do motor M0 foi de $\frac{1}{2}$

Outro aprendizado adquirido foi a necessidade de acompanhar os gastos do projeto, foi feito somente as cotações iniciais da obra e não o acompanhamento dos gastos, isto é, foi feita a compra parcial de todos os componentes (elétricos e mecânicos) no início do projeto mas todas as compras subsequentes não foram devidamente contabilizadas. Isto implica na incerteza do custo exato da obra, tendo como base somente estimativas das compras ao longo dos meses que o projeto correu.

Contribuindo ainda mais com este *pecado* no projeto, foi notado uma divergência entre o número real de componentes necessários e o número solicitado pela equipe. Isso implicou na compra de válvulas e pedaços de tubulações adicionais no comércio local, que possuía preços significativamente maiores se comparado com compras sem necessidade de entrega imediata.

De qualquer forma, mesmo com a estimativa máxima de investimento, a planta de colagem desenvolvida utilizou um orçamento significativamente menor do que o gasto na fabricação de outras máquinas de mistura de cola, sendo superior em precisão e instrumentação que todas as plantas conhecidas pelo autor.

Por fim, foi constatado um defeito de fabricação na medição das células de carga, mais especificamente em momentos de variação da tensão da rede. Em situações que grandes motores eram acionados em partes arbitrárias da empresa as células de carga acusavam fundo de escala ou desligavam. Este problema foi prontamente resolvido pelo fornecedor, que deu garantia dos equipamentos.

6.3 MELHORIAS FUTURAS

O ponto mais indicado pelo operador da máquina foi o modo correto de se realizar a limpeza. Apesar de ter sido utilizada uma tinta especial no revestimento interno dos tanques, a cola tende a incrustar no metal ao longo do tempo.

Esse fato implica na necessidade da limpeza da máquina por uma espátula ou instrumento semelhante que, no caso da bateadeira, exige a retirada da tampa e do motor, processo que demanda tempo.

Uma solução possível de ser implementada é a adoção do CIP. Este processo é amplamente utilizado em indústrias alimentícias, que demanda constante limpeza dos tubos e máquinas de processo.

No caso da bateadeira de cola, seria utilizado as próprias bombas e rotores da máquina para fazer a circulação de água, eliminando resquícios de produção através de um processo automático utilizando a infraestrutura já existente na máquina.

Outra opção que poderia ser adicionada ao CIP é a utilização do vapor da caldeira da empresa em conjunto a circulação de água. Neste caso, o vapor circularia em alta velocidade nas tubulações, removendo completamente qualquer porção de cola incrustada na máquina.

Outra função inicialmente cogitada para máquina, mas que, devido ao tempo, não

foi implementada, era a opção de "manter cheio", isto é, o operador selecionaria esta opção na IHM e a máquina se encarregaria de fazer bateladas sempre que o nível do agitador fosse inferior a um limiar pré estabelecido.

O volume no agitador é dado através do transmissor de pressão localizado em sua base, que aciona um mecanismo de controle ON-OFF de nível dentro do CLP. De qualquer forma é necessário tomar alguns cuidados referentes ao funcionamento deste modo :

- Antes de iniciar uma batelada para completar o nível do agitador, é necessário verificar se a batelada não irá transbordar o agitador.
- É ideal que seja colocado uma limitação quanto o horário de funcionamento deste modo, ou seja, não é adequado que a máquina comece a trabalhar durante a madrugada por exemplo.
- Apesar do funcionamento 100% automático da máquina ser possível é recomendado que existam colaboradores trabalhando por perto. Isto se deve ao fato que condições adversas podem ocorrer durante o processo ao longo da vida útil dos componentes da máquina, tais como : estouramento de tubulações, queima de motores ou contatores, falha de instrumentação entre outros.

Por fim, é interessante para fins de *business intelligence* a ciência do volume de cola disponível nos tanques de resina pura. Esta tarefa pode ser facilmente completada com o uso de transmissores de pressão com selo-diafragma na porção inferior dos reservatórios de resina.

7 CONCLUSÕES

Constatou-se que a máquina atendeu os requisitos de planejamento, entregando um resultado inclusive superior e com menor custo se comparada com outras máquinas do mesmo tipo já feitas. As facilidades na execução do processo de produção de cola proporcionadas pelo sistema de automação fazem com que o operador possua muito mais controle sobre as variáveis de processo se comparado com a fabricação manual. Isto refletiu em uma redução para 0.2% na variação da massa dos insumos da produção de cola entre lotes. Com a instalação da nova máquina da empresa a cultura organizacional tende a ser modificada também. Melhorias como estas incentivam o funcionário a buscar mais conhecimento para melhor poder operá-la, tanto no que tange a matemática, física, quanto na química por trás de todo processo. Ademais, será discutido com os diretores da empresa, o real interesse na implementação dos recursos sugeridos na secção de melhorias futuras.

REFERÊNCIAS

- ABIMCI. **ABIMCI**. [S.l.], 2002. Disponível em:
<https://www.mpx-multiplex.nl/wp-content/uploads/2014/05/Tech-Sheet-Abimci.pdf>.
- BEKHTA, Pavlo. **Effects of Selected Parameters on the Bonding Quality and Temperature Evolution Inside Plywood During Pressing**. [S.l.], 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/5/1035>.
- DEVICENET. **DeviceNet**. [S.l.], 2008. Disponível em:
http://alvarestech.com/temp/smar/www.delt.ufmg.br/seixas/PaginaSDA/Download/DownloadFiles/R2_DeviceNet.pdf.
- ETHERNETIP. **Industrial Ethernet**. [S.l.], 2008. Disponível em:
<http://alvarestech.com/temp/smar/www.delt.ufmg.br/seixas/PaginaSDA/Download/DownloadFiles/Ethernet.PDF>.
- GAO, Qiang. **Effects of resin open time and melamine addition on cold pre-pressing performance of a urea–formaldehyde resin**. [S.l.], 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00107-018-1307-y>.
- IEC60601. **IEC60601**. [S.l.], 2005. Disponível em:
<https://www.zambini.org.br/pdfs/ABNT%5C%20NBR%5C%20IEC%5C%2060601-1-2010%5C%20-%5C%20Equipamento%5C%20eletrom%5C%C3%5C%A9dico%5C%20-%5C%20Parte%5C%201-%5C%20Requisitos%5C%20gerais%5C%20para%5C%20seguran%5C%C3%5C%A7a%5C%20b%5C%C3%5C%A1sica%5C%20e%5C%20desempenho%5C%20essencial.pdf>.
- IEC622645. **IEC 62264**. [S.l.], 2020.
- IFM. **Operating instructions Electronic pressure sensor for industrial applications - PT53xx**. [S.l.], 2021. Disponível em:
<https://www.ifm.com/mounting/11421202UK.pdf>.
- ISA-95. **ISA-95**. [S.l.], 2000. Disponível em:
<https://ocw.sharif.edu/cms/ocw/912b5c4dc53906d3ec3520840b0dfd9b.PDF>.

IWAKIRI, Setsuo. **Estudo sobre a viabilidade do uso da madeira de “Cryptomeria japonica” para produção de painéis compensado.** [S.l.], 2013. Disponível em: <https://www.ipef.br/PUBLICACOES/scientia/nr97/cap03.pdf>.

IWAKIRI, Setsuo. **Evaluation of the use potential of nine species of genus Eucalyptus for production of veneers and plywood panels.** [S.l.], 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/KjPsrXc6RwL5vqyTpVWgns/abstract/?lang=en>.

IWAKIRI, Setsuo. **Produção de compensados de Pinus taeda L. E Pinus oocarpa Schiede com diferentes formulações de adesivo uréia formaldeído.** [S.l.], 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/8GsVxS6PmLd4BJF39kGNQvN/?format=html&lang=pt>.

KUMAR, Ravi. **What is the five layer automation pyramid?** [S.l.], 2019. Disponível em: <https://medium.com/world-of-iot/92-what-is-the-five-layer-automation-pyramid-d0ccc1b903c3>.

LU, Fang. **Effects of number of film layers on properties of thermoplastic bonded plywood.** [S.l.], 2016. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173049384>.

MESQUITA FILHO, Júlio de. **Laboratório de Física.** [S.l.], 2019. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodocentes973/apostila-lab-fisica-i---agosto-2011.pdf>.

MODBUS. **Modbus.** [S.l.], 2000. Disponível em: https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/modbus/modbus_manual.pdf.

MORTENSON, Ted. **Limit Switch.** [S.l.], 2020. Disponível em: <https://realpars.com/limit-switch/>.

NBR5410. **Instalações elétricas de baixa tensão.** [S.l.], 2004. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/jeangaldino/disciplinas/2015.1/instalacoes-eletricas/nbr-5410>.

NR12. **NR12.** [S.l.], 1978. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-12.pdf>.

OMEÇO. **OMEÇO Secador de esteiras de múltiplas passagens**. [S.l.]. Disponível em: <https://omeco.com.br/secador-de-esteiras-de-multiplas-passagens/>.

PROFIBUS. **PROFIBUS**. [S.l.], 2013. Disponível em: <https://www.profibus.org.br/images/arquivo/fundamentos-e-tecnologia-do-protocolo-profibus-543ed1df7242b.pdf>.

PROFINET. **PROFINET**. [S.l.], 2014. Disponível em: <https://www.profibus.org.br/arquivos/download-31d39fa/profinet-design-8062-v114-dec14-port.pdf>.

RAUTE. **R7 Veneer Peeling Line**. [S.l.], 2020. Disponível em: <https://www.raute.com/lines-and-machines/lines/veneer-peeling/veneer-peeling-line-r7/>.

RAUTE. **Raute liquid extruder gluing - R3 Layup line**. [S.l.], 2021. Disponível em: <https://www.raute.com/lines-and-machines/lines/plywood-lay-up/>.

RICHARDSON, David. **PLC Analog Inputs and Signals**. [S.l.], 2018. Disponível em: <https://realpars.com/plc-analog-inputs/>.

STEIN, Caroline. **A classe abntex2**. [S.l.], 2021. Disponível em: [https://www.paripassu.com.br/blog/conceitos-da-qualidade#:~:text=Qualidade%5C%2C%5C%20segundo%5C%20a%5C%20ISO%5C%20\(In,produto%5C%20entregue%5C%20pela%5C%20sua%5C%20empresa..](https://www.paripassu.com.br/blog/conceitos-da-qualidade#:~:text=Qualidade%5C%2C%5C%20segundo%5C%20a%5C%20ISO%5C%20(In,produto%5C%20entregue%5C%20pela%5C%20sua%5C%20empresa..)

TENORIO, Carolina. **Comparative study on physical and mechanical properties of laminated veneer lumber and plywood panels made of wood from fast-growing Gmelina arborea trees**. [S.l.], 2011. Disponível em: <https://jwoodscience.springeropen.com/articles/10.1007/s10086-010-1149-7>.

TOWENS. **Arrows In The Middle Ages**. [S.l.], 2019. Disponível em: <https://www.bow-international.com/features/arrows-in-the-middle-ages/#:~:text=Arrow%5C%20shafts%5C%20from%5C%20the%5C%20high,wood%5C%20with%5C%20a%5C%20small%5C%20saw..>

TRAINING, Parker. **Dimensionamento de Redes de Ar Comprimido**. [S.l.], 2006. Disponível em: shorturl.at/ist89.

UNIVERSITÉ DE GUELMA. **Experimental and modelling buckling of wood-based columns under repeated loading.** [*S.l.*], 2014. Disponível em: https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/pdf/2010/05/epjconf_ICEM14_28003.pdf.

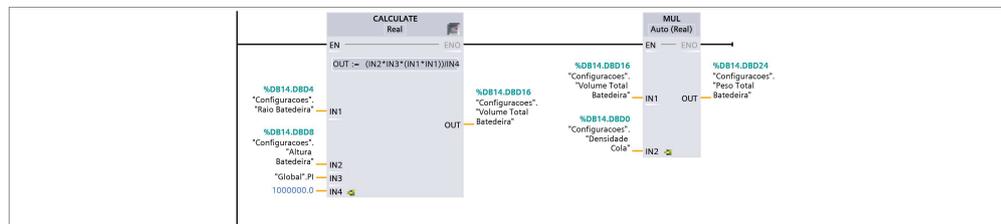
WANG, Jigang. **Effect of the evolution of phenol–formaldehyde resin on the high-temperature bonding.** [*S.l.*], 2009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143749609000396?casa_token=4RLt8qznu7oAAAAA:Q2Vln7hR1cauWrcrOG3haQus9NIRqunJaRRhW_b4KGBYQJGxcDHfl6VvU7FbObgeysmFpCSHVwg.

APÊNDICE A – Diagrama em Ladder e diagrama elétrico

Figura 65 – Diagrama em Ladder do funcionamento dos cálculos Secção 1

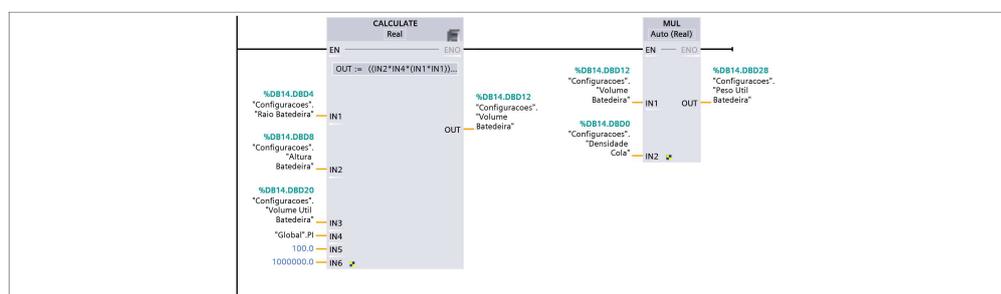
Network 1: Calculo volume e peso total da bateadeira

Volume cilindro $V = h \times \pi \times r^2$

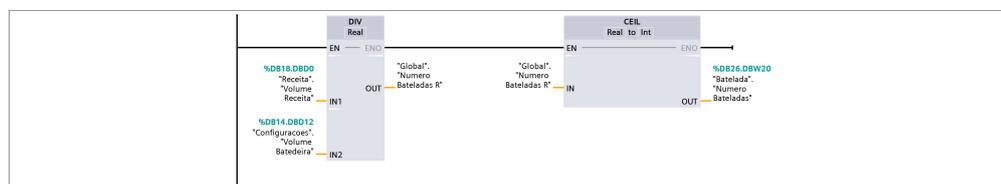


Network 2: Calculo volume e peso utilizavel da bateadeira

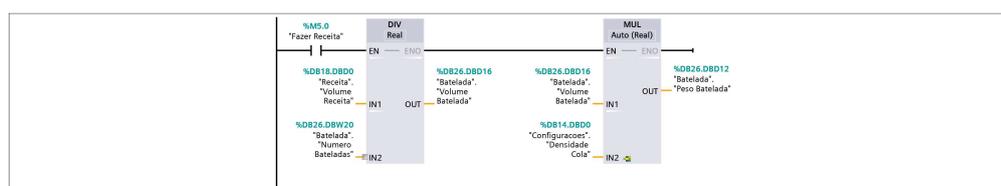
Volume cilindro $V = h \times \pi \times r^2$



Network 3: Calcula a quantidade de bateladas para a receita



Network 4: Calcula o peso de cada batelada em kg para Receita

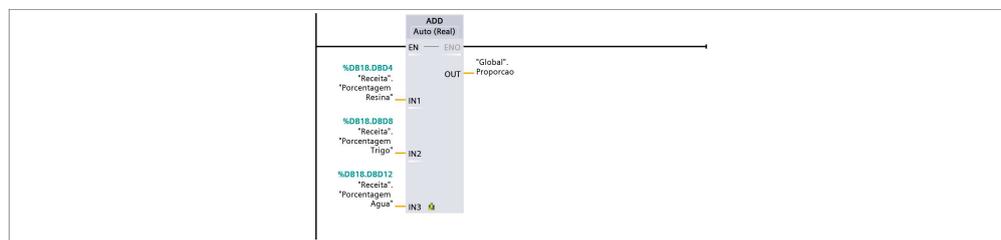


Network 5: Calcula o peso de cada batelada em kg para Bateladas completas

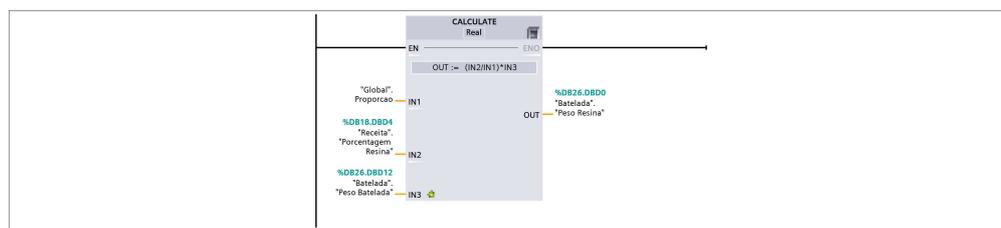


Figura 66 – Diagrama em Ladder do funcionamento dos cálculos Secção 2

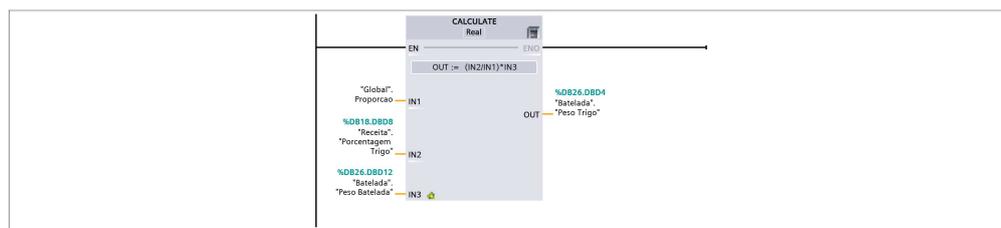
Network 6: Soma as proporções dos agregados



Network 7: Calcula o peso individual da resina



Network 8: Calcula o peso individual de trigo



Network 9: Calcula o peso individual da água

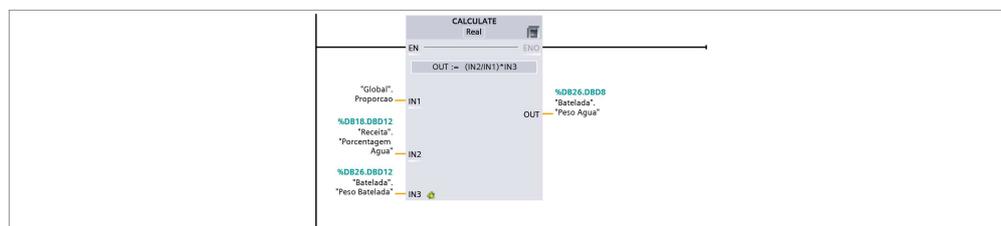
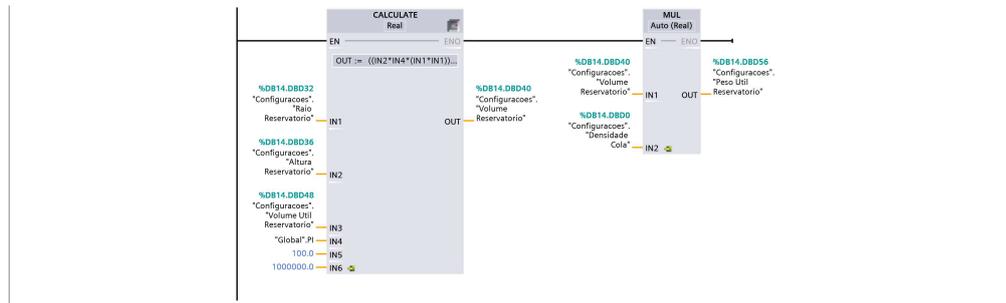


Figura 67 – Diagrama em Ladder do funcionamento dos cálculos Secção 3

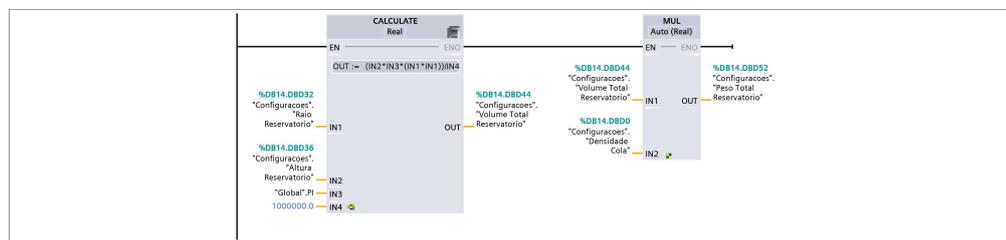
Network 11: Calculo volume e peso util do reservatorio em Its

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$



Network 12: Calculo volume e peso total do reservatorio

$$\text{Volume cilindro [l]} = h \times \pi \times r^2$$

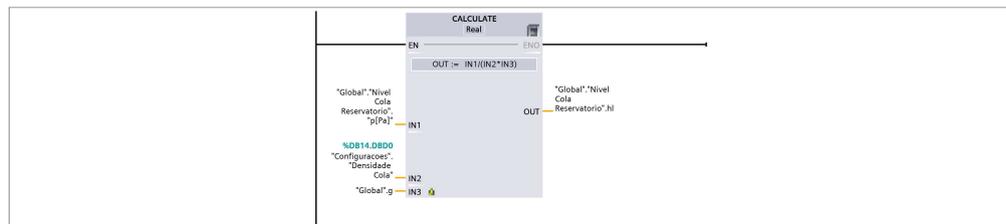


Network 13: Calculo de pressão em Pa



Network 14: Calculo da altura de cola no reservatório [mm]

$$\text{Altura do liquido [mm] } h = p / (\rho * g)$$



Network 15: Calculo da porcentagem do volume do liquido no tanque

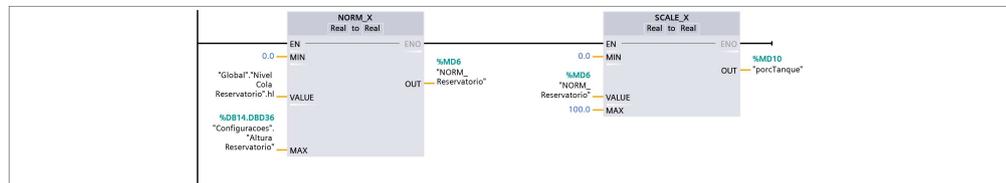
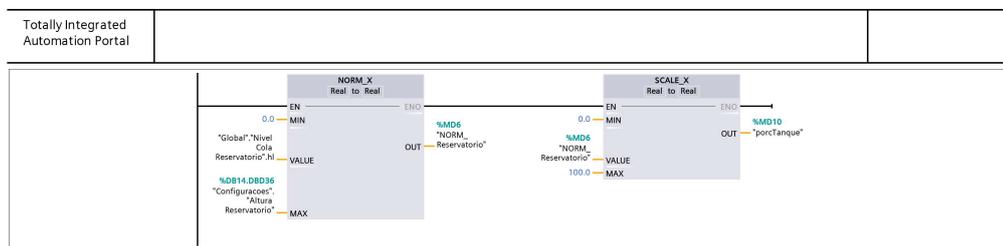


Figura 68 – Diagrama em Ladder do funcionamento dos cálculos Secção 4

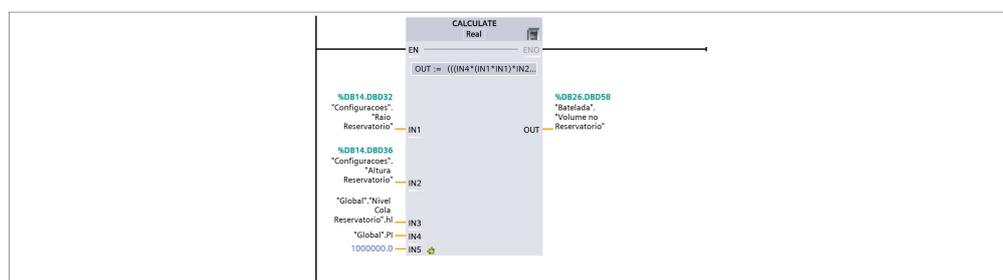
Network 16: Calculo da percentagem do volume do liquido no tanque



Network 17: Calculo do volume de cola no reservatório [litros]

Volume $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$

$$(((IN4 * (IN1 * IN1) * IN2) / IN6) / IN2) * (IN9 / (IN7 * IN8))$$



Network 18:

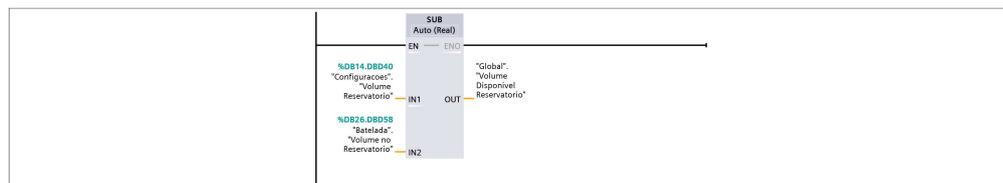
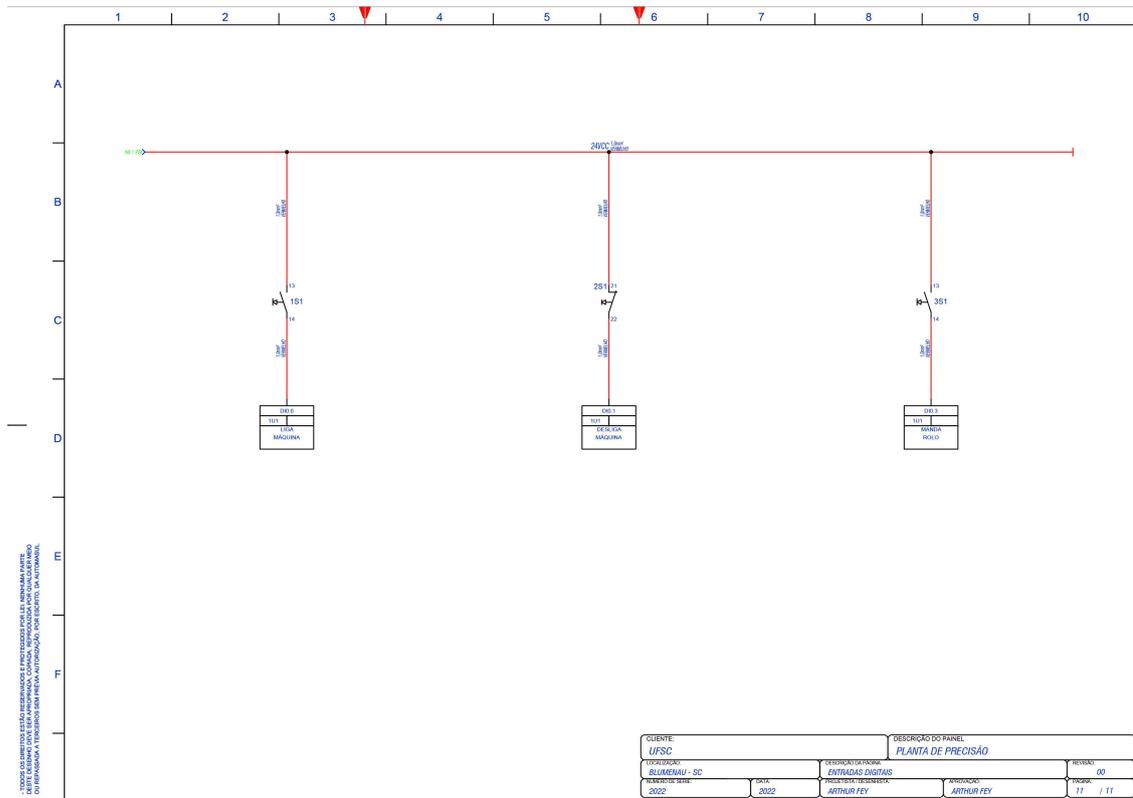


Figura 75 – Diagrama Elétrico da Planta Seção 7



TODOS OS DIREITOS ESTÃO RESERVADOS E PROIBIDA A REPRODUÇÃO, A MODIFICAÇÃO, A DISTRIBUIÇÃO, A VENDA, A ALUGUELA, A LOCAÇÃO, A CÉDUCA, A LICENCIAMENTO, A REPRODUÇÃO, A DISTRIBUIÇÃO, A VENDA, A ALUGUELA, A LOCAÇÃO, A CÉDUCA, A LICENCIAMENTO, A REPRODUÇÃO, A DISTRIBUIÇÃO, A VENDA, A ALUGUELA, A LOCAÇÃO, A CÉDUCA, A LICENCIAMENTO.

ANEXO A – Orçamentos

Figura 76 – Orçamento do Controlador

Orçamento: 154345		Data Emissão: 15/10/2021					
Cliente: [REDACTED] - J FEY E FILHOS LTDA		Fone: (46) 99913-0205					
Endereço: RUA JOSE ARTHUR FEY 37		Cidade: PALMAS - PR					
Contato: [REDACTED]		Email: [REDACTED]					
CNPJ: [REDACTED] 0001-01		Fax: ()					
Inscr.: [REDACTED]		CEP: 85555000					
Item	Produto	NCM	UM %Icms	Quant.	Valor Unitário	Valor Total	Entrega
10	CONTROLADOR S7 1200 CPU 1212C 8DI/6DO RELE/2AI 24VCC . SIEMENS	8537.10.20	PC 4.00	1	3.143,630000	3.143,63	15 Dias

Figura 77 – Orçamento dos Contatores

Orçamento: 193685		Data Emissão: 26/10/2022					
Cliente: [REDACTED] - J FEY E FILHOS LTDA		Fone: (46) 99913-0205					
Endereço: RUA JOSE ARTHUR FEY 37		Cidade: PALMAS - PR					
Contato: ARTUR		Email: [REDACTED]					
CNPJ: [REDACTED] 0001-01		Fax: ()					
Inscr.: [REDACTED]		CEP: 85555000					
Item	Produto	NCM	UM %Icms	Quant.	Valor Unitário	Valor Total	Entrega
01	[REDACTED]	8737.10.20	PC 4.00	1	[REDACTED]	[REDACTED]	20 Dias
02	CONTATOR NEG FORCA CWB 3P 9A 220V 50/60HZ 1NA 1NF PARAF.	8536.49.00	PC 12.00	1	151,538586	151,54	Imediata