

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

ARTHUR SILVA DA ROS

Projeto de automação industrial em linha de produção de alimentos

São Carlos

2017

ARTHUR SILVA DA ROS

Projeto de automação industrial em linha de produção de alimentos

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em eletrônica, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Luis Linhari Rodrigues

São Carlos

2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes e
Seção Técnica de Informática, EESC/USP com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

SR788p
p Silva Da Ros, Arthur
Projeto de automação industrial em linha de
produção de alimentos / Arthur Silva Da Ros;
orientador Evandro Luis Linhari Rodrigues. São Carlos,
2017.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

1. Automação Industrial. 2. CLP. 3. Linha de
Produção de Biscoitos. 4. Otimização. I. Título.

Bibliotecário responsável pela estrutura de catalogação da publicação:
Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Arthur Silva da Ros

Título: "Projeto de automação industrial: case real em linha de produção de alimentos"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 28/11/14,

com NOTA 6,5 (SEIS, CINCO), pela Comissão Julgadora:

*Prof. Associado Evandro Luis Linhari Rodrigues - Orientador -
SEL/EESC/USP*

Prof. Associado Dennis Brandão - SEL/EESC/USP

Mestre Artur Duarte Loureiro - SEL/EESC/USP

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino

*À minha família e amigos por
sempre me apoiarem em todas as
aventuras.*

AGRADECIMENTOS

Aos pais e irmãos, Glória, José, Marcela e Alexandre, por terem me dado o suporte para seguir em frente e desbravar o desconhecido, em busca de um sonho.

Aos meus mestres por terem compartilhado toda sua experiência em minha formação profissional e pessoal.

Ao professor, amigo e orientador Prof. Dr. Evandro Luis Linhari Rodrigues por ter sempre acreditado em seus pupilos.

A todos os colegas que batalharam diariamente pela realização do sonho de se tornar engenheiro nesta Instituição de excelência.

A todos os funcionários da universidade, em especial à Jussara, por estarem sempre dispostos a ajudar e fazerem isto de coração.

A cidade de São Carlos, por ter se tornado um verdadeiro lar.

Aos amigos que tornaram esta caminhada um pouco mais leve.

“A vida começa onde o medo acaba”

OSHO, Acharya Rajneesh

RESUMO

DA ROS, A. S. **Projeto de automação industrial em linha de produção de alimentos.**
71f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos,
Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Este projeto de conclusão de curso visa desenvolver a automatização de uma linha de produção de biscoitos do tipo wafer, à fim de aumentar a produtividade da linha e diminuir o desperdício de mão de obra em atividades que não agregam valor ao produto final. O custo desta implementação se paga com a economia de operadores na linha e aumento de produtividade, bem como aumenta a competitividade desta linha no mercado, possibilitando maior retorno desta. A automação desta linha foi feita utilizando-se um CLP do modelo TPW03, da WEG, por ser o que mais se adequa ao problema proposto e por ser o mais viável para este caso. A programação de toda a linha foi realizada por programação *ladder*, por ser uma linguagem de mais simples compreensão por parte de operadores da fábrica. O projeto de automação tornou-se viável e correspondeu às expectativas, abaixando pela metade o custo operacional e aumentando em 112% o volume de produção da planta em questão, comprovando a hipótese proposta.

Palavras-chave: Automação Industrial. CLP. Linha de Produção de Biscoitos. Otimização.

ABSTRACT

DA ROS, A. S. **Industrial automation design in food production plant.** 71p. Monograph (Final Course Assignment) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

The final course assignment develops the automation of a wafer type biscuit production line in order to increase line productivity and decrease labor waste in activities that do not add value to the final product. The cost of this implementation is paid with the economy of operators in the line and increase of productivity, as well as increases the competitiveness of this line in the market, allowing greater return of this. The automation of this line was done through a WEG CLP model TPW03, because it's the one that best fits the proposed problem and is the most feasible for this case. The programming of the whole line was carried out by ladder programming, since it's a language of simpler understanding on the part of factory operators. The project became feasible and the expectations were proven, lowering by half the operational cost and increasing by 112% the production volume of the plant, proving the hypothesis.

Keywords: Industrial automation. PLC. Wafer Cookies Production Plant. Optimization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Funcionamento do sensor capacitivo.....	25
Figura 2 – Gráfico da variação da resistência com relação a temperatura.....	26
Figura 3 – Representação de válvula pneumática atuando em cilindro.....	27
Figura 4 – Representação de um cilindro pneumático.....	27
Figura 5 – Exemplo de aplicação de CLP.....	29
Figura 6 – Exemplo de aplicação de <i>ladder</i>	30
Figura 7 – Fluxograma representativo da linha de produção original.....	34
Figura 8 – Atuador que capta massa líquida do misturador e insere nas placas do forno e engrenagem motora do processo.....	34
Figura 9 – Mangueira onde a massa é depositada nos moldes de placas de massa que serão utilizados no biscoito	35
Figura 10 – Elevador 1, em detalhe.....	36
Figura 11 – Funcionamento da Cremeadeira.....	37
Figura 12 – Atuadores do processo de Alinhamento do biscoito.....	37
Figura 13 – Refrigerador, em detalhe.....	38
Figura 14 – Representação do processo de corte, em detalhe.....	39
Figura 15 – Lâminas de corte, em detalhe.....	40
Figura 16 – Máquina de embalar.....	40
Figura 17 – Representação gráfica do produto, com medidas, biscoito wafer de 3 camadas de massa e 2 de recheio.....	40
Figura 18 – Processos e alocação de funcionários.....	41
Figura 19 – Sensor capacitivo Metaltex 18NPN.....	48
Figura 20 – Visão da tela do ATOS A1 Soft.....	49
Figura 21 – CLP WEG TPW03.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Processos atuais e a serem implementados.....	42
Tabela 2 – Listagem e equivalência de variáveis.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Motivação.....	21
1.2 Objetivos.....	22
1.3 Organização do projeto.....	22
2 EMBASAMENTO TEÓRICO.....	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
3.1 Métodos.....	31
3.2 Apresentação do caso.....	31
3.3 Detalhamento dos processos e lógica sequencial.....	33
3.4 Detalhamento do trabalho dos funcionários.....	40
3.5 Materiais.....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
4.1 Cálculo de viabilidade.....	51
4.2 Discussões.....	52
6 CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
APÊNDICE A.....	59
APÊNDICE B.....	60
APÊNDICE C.....	61
APÊNDICE D.....	62
APÊNDICE E.....	63
APÊNDICE F.....	64
APÊNDICE G.....	65
APÊNDICE H.....	66
APÊNDICE I.....	67
APÊNDICE J.....	68
APÊNDICE K.....	69
APÊNDICE L.....	70

APÊNDICE M.....	71
-----------------	----

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho se refere a implementação de automação em uma linha de produção manual de biscoitos do tipo wafer. O projeto estuda a viabilidade da automação da linha em questão utilizando CLP. O fato de a linha operar de maneira não otimizada faz com que alguns funcionários desempenhem funções que não agregam valor ao processo, havendo perda de tempo, possibilidade de falha humana e despadronização no produto final, erros bem mais frequentes que quando o processo é efetuado com o controle da máquina. A hipótese é que estes pontos apresentados no modo de operação atual tornam o produto mais caro e comprometem sua qualidade.

O projeto implementado neste trabalho mapeia os processos de produção do biscoito, desde a massa até o empacotamento e estuda como torná-los mais eficientes. Depois de desenvolvido o plano de automatização da linha, parte-se para a validação operacional e principalmente financeira. São efetuados testes que validem a lógica e calcula-se em quanto tempo o projeto se paga para realmente verificar-se a intenção junto a toda equipe responsável pela planta de implementá-lo.

1.1 Motivação

Otimizar os processos na fabricação da linha de biscoitos é interessante não só pelo ganho em eficiência e consequentemente financeiro, mas também possibilita que os funcionários exerçam funções que agreguem mais valor ao funcionamento de toda fábrica.

Com relação à realocação de funcionários, uma vez que não estejam exercendo um trabalho braçal e passem a tomar decisões na produção, estes se sentem mais motivados e sentem que seu trabalho faz mais sentido para o funcionamento do todo. Além de conviverem com uma tecnologia mais avançada, o que lhes dá mais *expertise* e capacitação para buscarem algo na área de automação no futuro.

1.2 Objetivos

O projeto visa deixar os processos mais eficientes no sentido de ganho de tempo e eficiência, com a automação da linha. Os processos se tornarão mais analíticos e menos empíricos. O projeto busca também trazer um padrão de qualidade ao produto final com o auxílio da máquina, sendo muito mais precisa e identificando padrões muito mais facilmente que uma pessoa.

O objetivo é conseguir realocar 2 dos 4 funcionários da produção para outras áreas, cortando o custo fixo salarial pela metade. Além disto, espera-se aumentar em pelo menos 10% a produção atual. A fábrica tem como expectativa de retorno financeiro (*payback*) para este projeto o período máximo de 1 ano de produção.

1.3 Organização do projeto

O projeto conta com 4 etapas: o estudo da teoria envolvida na implementação de um projeto de automação, exposto no Capítulo 2 (Embasamento teórico); o levantamento de variáveis do problema, implementação da lógica e dimensionamento da solução, exposto no Capítulo 3 (Materiais e Métodos); uma etapa de testes em laboratório, exposta no Capítulo 4 (Resultados) para testar a hipótese apresentada nos objetivos; e a análise crítica dos resultados dos testes, levando em consideração o que se esperava do projeto, exposta no Capítulo 5 (Conclusão).

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

O projeto de automação torna um processo produtivo automático, assim, mais confiável e versátil, e sua operação mais simples e econômica. Este processo pode ser completo, automatizado do início até o fim da linha de produção, sem interação humana no meio do processo, ou parcial, como será o caso deste projeto. A automação parcial ou semi-automática do projeto neste caso será aplicada visto que os recursos disponíveis para a implementação do projeto não são suficientes para a completa automação.

A automação de uma linha ou processo é representada por 5 competências a serem analisadas pelos engenheiros responsáveis pelo projeto.

1. A aquisição de dados e controle manual. Dispositivos da planta, como sensores, atuadores e dispositivos de campo, efetuam as medições que deseja-se controlar e através deste feedback, opera-se com alguma ação manual.
2. Controle individual. Nível onde se encontram os equipamentos (CLP, contadores) que realizam o controle automático das atividades da planta.
3. Controle fabril total, produção e programação. Nível responsável pela programação e pelo planejamento da produção realizando o controle e a logística de recursos. Condiz com o gerenciamento da planta.
4. Controle de grupo, gerenciamento e otimização de processo. Relacionado com a supervisão do processo, por meio de banco de dados com informações relativas ao processo, é possível verificar onde o processo pode ser otimizado.
5. Planejamento estratégico e controle sobre vendas e custos. Administração de recursos. Neste nível encontram-se os softwares para gestão, seja de vendas, financeira, ou corporativa.

Cabe ao engenheiro eletricista ou de automação em um primeiro momento se responsabilizar pelas duas primeiras etapas. Apesar de o projeto influenciar todas as outras, o gerenciamento pós implementação do projeto normalmente é realizado por engenheiros ou gestores especializados em gerir indicadores. No que diz respeito a técnica de implementação, este projeto se resume basicamente às duas primeiras etapas.

As etapas para desenvolvimento da modelagem do controle de uma linha por meio de automação são resumidas em duas etapas principais: o primeiro passo é a modelagem do sistema ou planta, a análise do comportamento dinâmico da planta, à partir disto, se projeta um controlador que fará o sistema evoluir da forma desejada, além de se adaptar às mudanças dos elementos sob controle.

A modelagem consiste em duas fases: a primeira fase consiste em verificar todos os processos já existentes, verificar os tempos de execução de cada, os fatores e variáveis que influenciam neste tempo a fim de verificar possíveis gargalos de produção, ou seja, processos que reduzem ou limitam a produção da linha devido a algum fator. A segunda fase consiste em repensar os processos e verificar quais destes gargalos podem ser otimizados para aumentar a produtividade da linha de produção. A terceira fase deste processo de modelagem é a execução efetiva do modelo, à partir de um fluxograma se tem uma visão mais global de como os processos podem ser realocados e modificados para trazer eficiência à linha de produção. Este processo de modelagem pode ser executado de duas formas conforme a necessidade do projeto, podendo-se aplicar um controle dinâmico de sistemas dinâmicos, sendo representados por equações diferenciais, como é o caso de controles de drones ou de robôs que interagem com variáveis diversas não previstas e incontáveis, ou controle por eventos discretos de sistemas de eventos discretos, sendo representados por modelos lógicos sequenciais. Este último modelo de automação é o comumente aplicado em linhas de produção industriais, visto que todos os processos são mapeados e não fogem do escopo padrão delimitado pelo engenheiro responsável no projeto.

O sistema de controle como produto final da modelagem, que trata-se da segunda etapa deste projeto de automação, consiste de entradas da planta e a interação com esta por saídas. Este processo de interação com a planta é um sistema dinâmico, ou seja, seu comportamento é descrito conforme surgem alterações no tempo e devido a isto, se atualiza constantemente, unindo resultados da leitura dos elementos sensores com a ação dos elementos atuadores. A leitura dos sensores indica estado atual do processo, executa cálculos e lógicas pré-definidas e interage com os atuadores, de modo que a situação atual do processo seja modificada ou se mantenha, conforme programado.

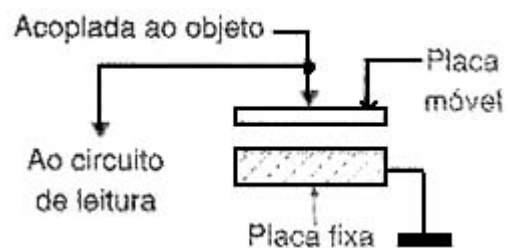
No que diz respeito ao hardware, em como a lógica interage com a planta, os dispositivos se resumem a dispositivos aptos a captarem entradas da linha de produção, dispositivos aptos a executarem as ações e dispositivos capazes de processar a lógica estabelecida e tomarem decisões baseado no atual estado da planta.

Os dispositivos que captam entradas do sistema são os sensores. Dispositivos que captam e reagem a estímulos físicos, respondendo e transformando-os em outra grandeza física (no caso do projeto, são sensores que transformam grandezas de diversas naturezas em sinais elétricos) para fins de percepção de variações (controle) ou medição.

Os sensores utilizados no projeto serão: sensores de movimento capacitivos, utilizados para acusar alguma mudança de estado, seja um biscoito ou atuador que atinge determinada posição, seja o nível de determinado produto em um recipiente; e sensores de temperatura utilizados para acusar uma variação de temperatura no forno e refrigerador, a fim de manter a temperatura estável e evitar anomalias no processo.

O sensor de proximidade de efeito capacitivo ou sensor capacitivo funciona muito bem para captar movimentos próximos ao sensor, na grandeza de centímetros. O sensor capta variações de capacitância geradas entre as placas condutoras (no caso do sensor, uma é fixa e a outra é representada pelo objeto) e o dielétrico (ar). Quando um objeto passa na frente da placa fixa, a distância entre a placa fixa e a “nova” placa gera alteração na capacitância que é captada. Funcionamento representado pela Figura 1.

Figura 1 – Funcionamento do sensor capacitivo.



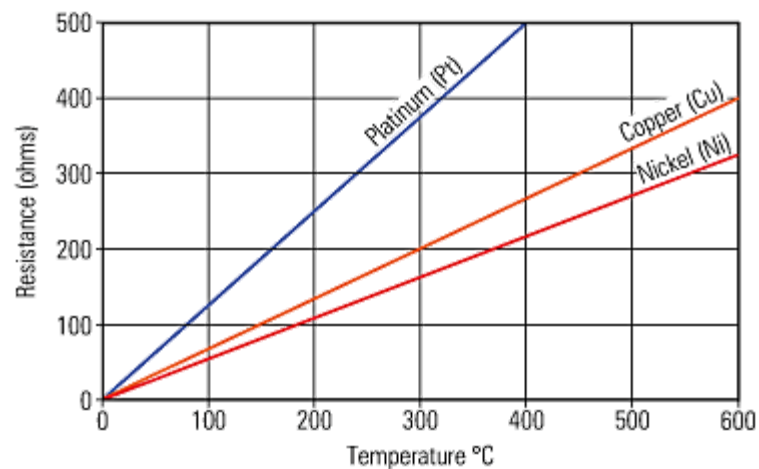
Fonte – Instituto Newton C. Braga.

O projeto necessita de sensores capazes de identificar a variação de temperatura em processos onde a temperatura é determinante para o sucesso da operação. Os sensores de temperatura mais consolidados na indústria, por seu baixo custo, simplicidade e robustez, são

os termistores ou resistores de resistência variável de acordo com a variação térmica NTC e PTC.

Os dois tipos de termistores Os termistores do tipo NTC ou PTC são semicondutores que podem ter a variação de resistência de forma diretamente proporcional para os termistores do tipo PTC (positive temperature coefficient), onde a resistência elétrica irá se elevar à medida que se eleva a temperatura e inversamente proporcional para os termistores do tipo NTC (negative temperature coefficient) onde a resistência elétrica irá diminuir à medida que se eleva a temperatura.

Figura 2 – Gráfico da variação da resistência com relação a temperatura.



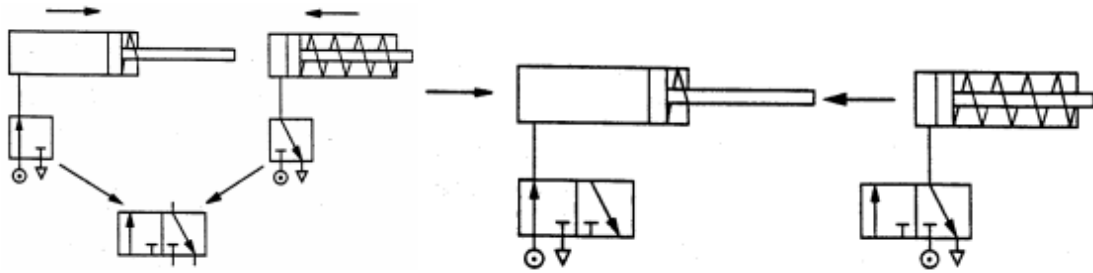
Fonte – Website da Spirax Sarco.

A execução da lógica mais comum encontrado na indústria atualmente é o acionamento de máquinas e processos por meio da pneumática. Tornou-se muito comum por possuir vantagens em termos de custo, confiabilidade e potência específica. Os equipamentos que utilizam este modo de funcionamento normalmente são robustos e pouco complexos, visto que nestes são expostos a esforços prolongadas e contato com poeira, umidade, choque mecânico, materiais corrosivos. Este tipo de acionamento apresenta desvantagens com relação a velocidade de operação, que depende do fluido com o qual se esteja trabalhando e a complexidade de se trabalhar com altas pressões, que apresenta certo risco ao projeto.

As válvulas comandam e influenciam o fluxo de ar comprimido. Existem diferentes tipos, mas as utilizadas no projeto serão válvulas direcionais, representadas na Figura 3. Na

figura, nota-se que cada quadrado da válvula representa um modo de operação diferente e pode-se ver claramente como esta atua no cilindro pneumático em cada um dos diferentes casos.

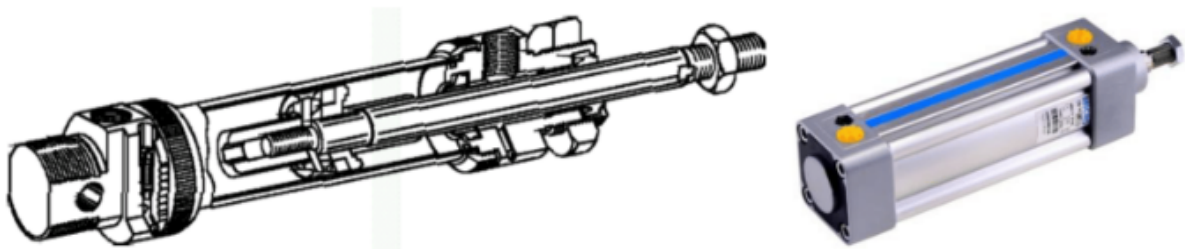
Figura 3 – Representação de válvula pneumática atuando em cilindro.



Fonte – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

No projeto, utiliza-se atuadores no formato de cilindros pneumáticos, formados por uma haste com êmbolo dentro de um cilindro. Este elemento pode atuar sobre diversas formas, impelindo movimento linear à haste. Os métodos mais comuns são atuadores dotados de molas, onde o êmbolo retorna quando o ar para de ser aplicado ou dupla ação, com duas entradas de ar comprimido. O cilindro atua de acordo com o modo como se aplica ar comprimido sobre o mesmo, por meio de válvulas. Pode-se verificar uma representação na Figura 4.

Figura 4 – Representação de um cilindro pneumático.



Fonte – Brandão, D.

O que processa a lógica e realiza a tomada de decisões no processo de automação é o controlador. Este controle pode ser realizado por CLP ou Microcontroladores. Ferramentas computacionais possibilitam a simulação para que os parâmetros do controlador possam ser projetados sem a necessidade de utilizar o processo real. Uma vez projetado o controlador o mesmo é implementado e validado no processo real.

Comumente opta-se pela utilização de CLP em aplicações na indústria em vez de microcontroladores, dentre os motivos, os mais relevantes são sua robustez e o que fez a tecnologia ganhar a indústria em quase sua totalidade, foi sua praticidade aos operadores e também em sua execução e implementação, devido a linguagem ladder.

O controle por CLP simplifica o projeto em vários aspectos, sua implementação, manutenção e mudanças no quadro e painéis elétricos são facilitados. Os contatos do sistema são definidos pela programação do CLP (via software), o que facilita uma modificação da lógica com mínima, ou mesmo sem, alteração no hardware.

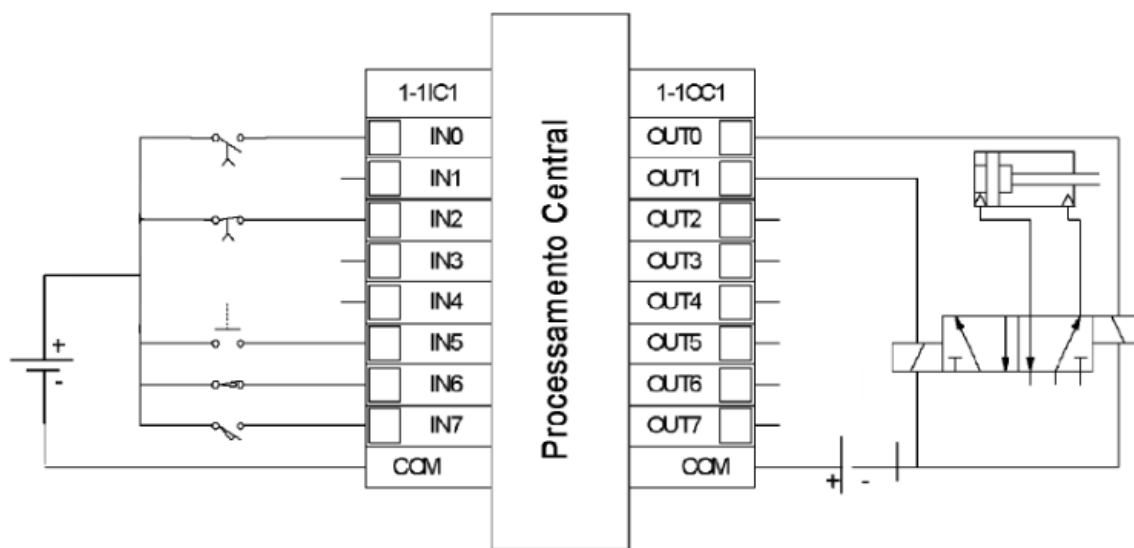
Os CLPs têm como característica:

- execução de tarefas via acionamento de relés,
- capacidade de efetuar contagem e temporização,
- capacidade de efetuar cálculos e comparações de variáveis,
- alteração de lógica apenas modificando o código *ladder*, de forma prática,
- agilidade na resposta a sinais externos, tipicamente na ordem de milissegundos,
- comunicação entre CLPs,
- interação com painéis de interface homem-máquina.

O módulo é composto por uma unidade de processamento central (CPU) com processamento eletrônico (microcontrolador) que executa a lógica do sistema. Sua conexão à planta industrial se dá por cartões de entrada e saída (analógicos ou digitais) alocados em racks ou bastidores. Estes cartões podem ser adicionados de acordo com a demanda do projeto, limitando-se apenas pela capacidade de processamento da CPU.

Na Figura 5, pode-se notar uma aplicação com um cartão de 8 entradas IN0 a IN7, onde botoeiras são ligadas às entradas, mas em uma aplicação prática poderiam ser sensores de monitoramento da planta, um cartão de 8 saídas OUT0 a OUT7 e o processamento central. As terminações COM dos cartões são necessários para fechar o circuito das entradas e saídas.

Figura 5 – Exemplo de aplicação de CLP.



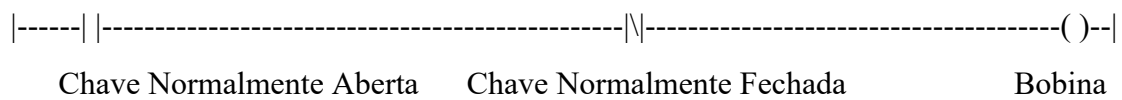
Fonte – Brandão, D.

O CLP executa suas tarefas em “loop” ou de forma cíclica, o programa é executado (no modo RUN) repetidamente até que o CLP que o modo de parada (STOP) seja acionado. Neste padrão cíclico de execução, existe uma sequência de tarefas: a lógica de automação e a atualização das variáveis de entrada e saída, estes dois fatores são levados em consideração para o funcionamento do programa.

A programação em *ladder* é bastante simplificada, contendo os contatos (Chave), saídas ou estados (Bobina), operações lógicas (Não) e dispositivos de programação avançados do CLP como temporizadores, contadores, que são representados por caixas. Um exemplo de programação em CLP é o modelo abaixo, onde tem-se uma chave normalmente aberta, que pode ser um botão que após pressionado passa a conduzir, por exemplo; uma chave

normalmente fechada, que após acionada para de conduzir, abre o circuito e uma bobina que pode ser um relé, um atuador, um motor, algo que agregue uma ação ao sistema.

Figura 6 – Exemplo de aplicação de *ladder*.



Fonte – Própria.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será discutido sobre os métodos utilizados para validar a ideia de automatizar a linha de produção e sobre os materiais e motivo de sua escolha.

3.1 Métodos

O projeto consiste na validação da hipótese proposta na introdução, de que a automatização da linha de produção em questão trará melhores resultados de produção do que os processos atuais. Esta validação se dá em 4 etapas: mapeamento de todos os processos atuais e melhorias que serão implementadas; desenvolvimento do fluxograma com lógica de funcionamento da planta já automatizada; tradução para código *ladder*; simulação para validação da lógica.

Após a validação da viabilidade operacional, escolher-se-á os melhores dispositivos levando-se em consideração seu custo e desempenho, a fim de se calcular a viabilidade econômica.

3.2 Apresentação do caso

A linha conta com 17 processos principais. Estes processos têm subprocessos que serão especificados. O processo inicia-se no Misturador e finaliza-se no Encaixotamento, porém o projeto trabalhará apenas com a linha até a Embaladora, visto que a máquina de embalar já tem processos automatizados por si só, necessitando apenas decidir quando deve ser ligada e desligada.

1. Misturador de Massa: Mistura a massa de trigo do biscoito
2. Atuador 1: Capta a massa do biscoito do misturador e transfere ao forno.
3. Forno: Aquece e cozinha a massa do biscoito. Sistema de trilhos com moldes onde a massa é depositada e se movimenta, cozinhando a massa no tempo de uma volta completa pelo forno.
4. Esteira 1: Transporta as placas de massa já cozidas ao elevador.

5. Elevador: Movimenta as placas de massa de biscoito para cima e após para baixo, de modo a diminuir o tamanho da esteira e consequentemente a extensão da linha. Este processo ajuda a massa a esfriar.
6. Esteira 2: Continuação do elevador, transporta as placas de massa para a cremeadeira.
7. Cremeadeira: Recobre as placas de massa com recheio líquido e quente, de modo que todos saem com uma placa de massa e uma de recheio, igualmente espessas, idealmente.
8. Misturador de Recheio: Processo independente da linha de produção. Processo parecido com a mistura de massa, porém com reposição manual via operador de recheio na cremeadeira.
9. Continuação da Esteira 2: Transporta as placas de massa entre a cremeadeira e alinhamento. Nesta etapa, caso não haja nenhuma forma de automação, um funcionário empilha as placas, de modo que a cada duas com recheio coloca uma sem recheio em cima.
10. Alinhamento: Corrige desvios de alinhamento nos biscoitos empilhados manualmente por operador.
11. Esteira 3: Transporta biscoitos entre alinhamento e refrigerador.
12. Refrigerador: O refrigerador possui dois elevadores, como o elevador após forno, dentro de sua estrutura para retardar o tempo que os biscoitos ficam expostos ao resfriamento.
13. Esteira 4: Transporta os biscoitos já resfriados ao processo de corte.
14. Corte: Reduz uma placa grande de massa com recheio em 40 pequenos biscoitos nas dimensões finais, próprias ao consumo.
15. Esteira 5: Transporta os biscoitos já cortados para a embaladora.
16. Embaladora: Embala os biscoitos em embalagens, produzindo então o produto final. Após esta etapa os biscoitos são encaixotados e estocados.
17. Encaixotamento: Empilha embalagens já prontas em caixas.

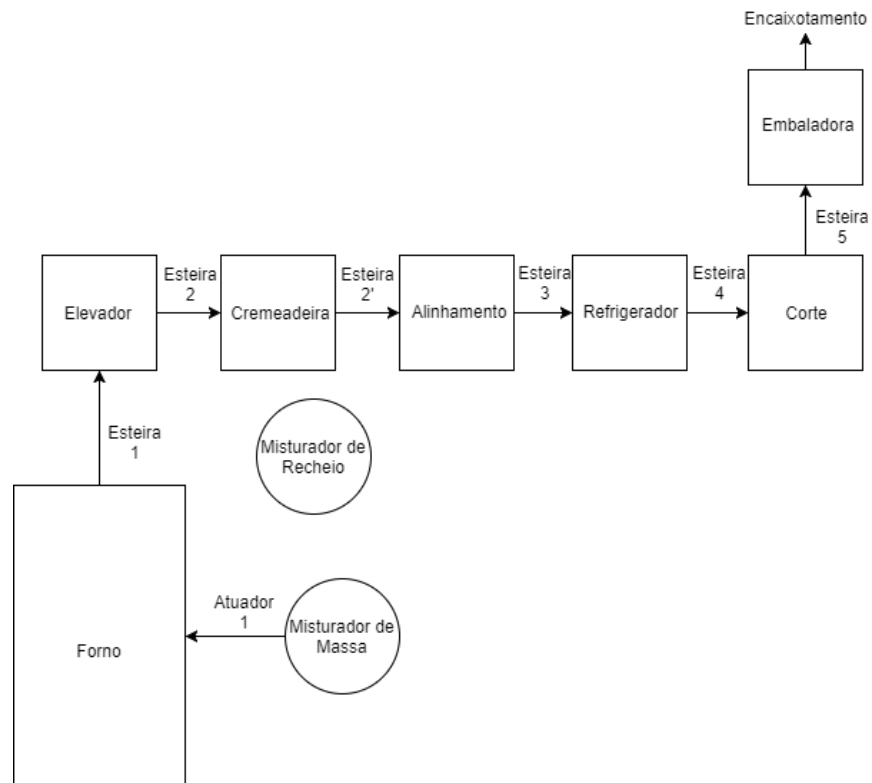
3.3 Detalhamento dos processos e lógica sequencial

Primeiramente se adicionam os ingredientes que compõem a massa do biscoito no Misturador, que funciona com pás giratórias que movimentam os ingredientes em círculos de modo a deixar a massa homogênea.

A massa é bombeada para o forno com um atuador mecânico, o atuador 1, da Figura 7. Este atuador está ligado a uma mangueira na saída do misturador, por onde a massa líquida circula. A engrenagem que podemos verificar na Figura 8, se move de acordo e em sincronia com a movimentação do forno. Assim que os moldes de placas de massa do forno se movimentam, esta engrenagem dá passos de modo a realizar movimentos de compressão e descompressão, que sugam a massa do misturador e bombeiam para o molde. Na Figura 9, nota-se os trilhos por onde os moldes percorrem seu ciclo dentro do forno. Estes moldes da figura estão saindo de dentro do forno para receber mais massa líquida e assim reiniciar o ciclo.

A massa percorre todo o trilho dentro do forno, à temperatura de aproximadamente 175°C de modo que ao fim do percurso esteja idealmente cozida. Após o cozimento, as placas de massa são depositadas em uma esteira, ligada ao movimento do motor, a esteira 1. Esta transporta as placas para o elevador, que tem como objetivo apenas diminuir a extensão da linha.

Figura 7 – Fluxograma representativo da linha de produção original.



Fonte – Própria

Figura 8 – Atuador que capta massa líquida do misturador e insere nas placas do forno e engrenagem motora do processo.



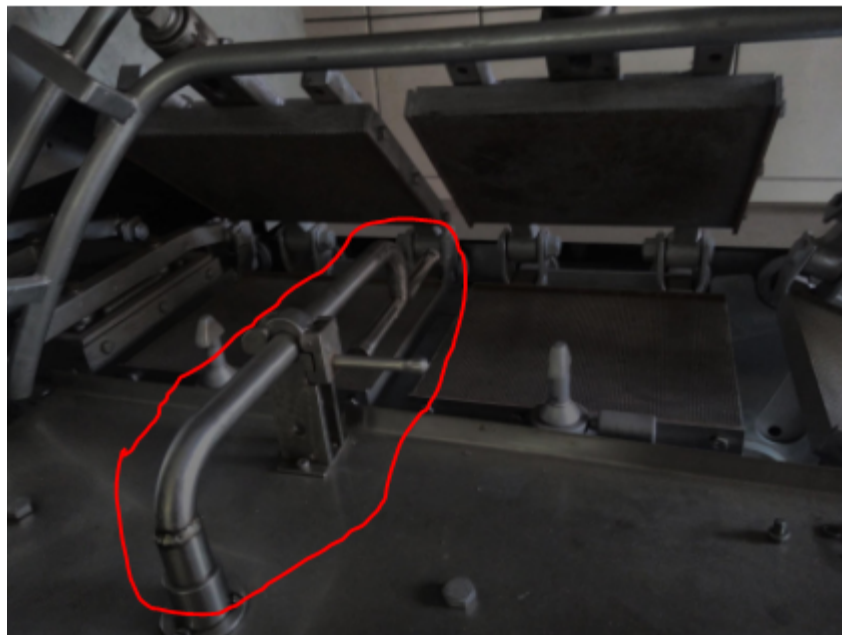
Fonte – Própria

O elevador transporta a placa de massa à esteira 2, que a transporta à cremeadeira. A cremeadeira tem funcionamento parecido com uma caneta esferográfica. Quando a placa de massa passa pela esteira 2, esta deposita recheio à superfície em contato por meio de um rolo embebido em recheio líquido. Este processo é apresentado de forma visual na Figura 10.

Após este processo, um funcionário operador empilha os produtos de modo manual. A cada duas placas com recheio, o operador as empilha e coloca ao topo outra placa sem recheio, de modo a formar uma placa de biscoito wafer.

Esta placa continua pela mesma esteira, até placas que cheguem ao processo de alinhamento. Este processo conta com um sensor que detecta a chegada do biscoito, um temporizador que conta 1 (um) segundo e ativa os atuadores ligados a peças de metal inoxidável que comprimem o biscoito para que se encaixa no formato desejado.

Figura 9 – Mangueira onde a massa é depositada nos moldes de placas de massa que serão utilizados no biscoito.



Fonte – Própria

Após o processo de alinhamento a placa de biscoito é direcionada pela esteira 3 ao processo de refrigeração. O refrigerador conta com 2 (dois) elevadores internos que

possibilitam que uma maior parte de sua área seja aproveitada, de modo que o caminho percorrido pelo produto dentro deste fica mais extenso. Na entrada do refrigerador temos um sensor de movimento capacitivo ligado a uma válvula que ativa um atuador, este atuador dá um passo, de modo que a placa de biscoito sobe ou desce um degrau, dentre 54 passos. Ao terminar de subir e descer um elevador por inteiro, as palhetas de um elevador passam pelas do outro elevador, de modo que depositam a placa de biscoito para que continue o processo neste. Os elevadores dentro do refrigerador são verificados na Figura 13.

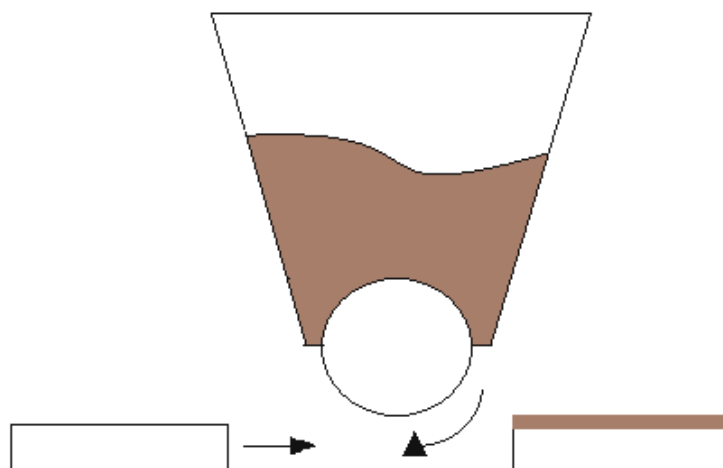
Com os biscoitos já refrigerados, estes são transportados até o processo de corte, pela esteira 4.

Figura 10 – Elevador 1, em detalhe.



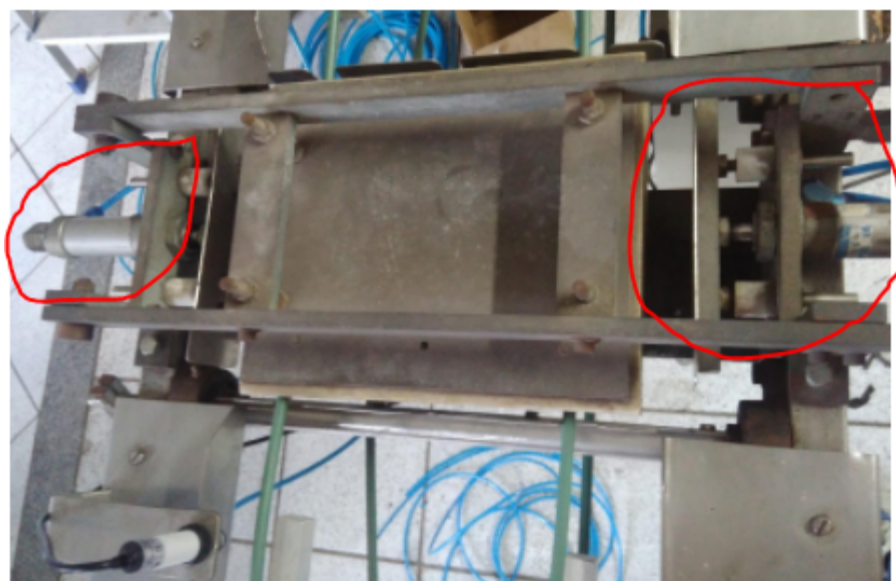
Fonte – Própria

Figura 11 – Funcionamento da Cremeadeira.



Fonte – Própria

Figura 12 – Atuadores do processo de Alinhamento do biscoito.



Fonte – Própria

Figura 13 – Refrigerador, em detalhe.



Fonte – Própria

O processo de corte é composto por 3 (três) etapas: o primeiro corte, o segundo corte e o transporte para a última etapa, de embalagem. Assim que a placa de biscoito chega já resfriada e endurecida, um sensor de fim de curso detecta sua chegada, rebaixando a esteira que o transporta até o processo de corte e acionando um atuador que o projeta contra as primeiras lâminas de corte, como pode-se notar na Figura 14. Em seguida, um segundo sensor detecta o fim do primeiro corte, retornando o primeiro atuador para sua posição atual e acionando o segundo, repetindo o processo do primeiro. Ao fim do último corte, um terceiro sensor de fim de curso é acionado quando o segundo atuador chega ao fim do percurso, retornando-o, acionando um terceiro atuador que transporta os biscoitos já cortados à esteira 5.

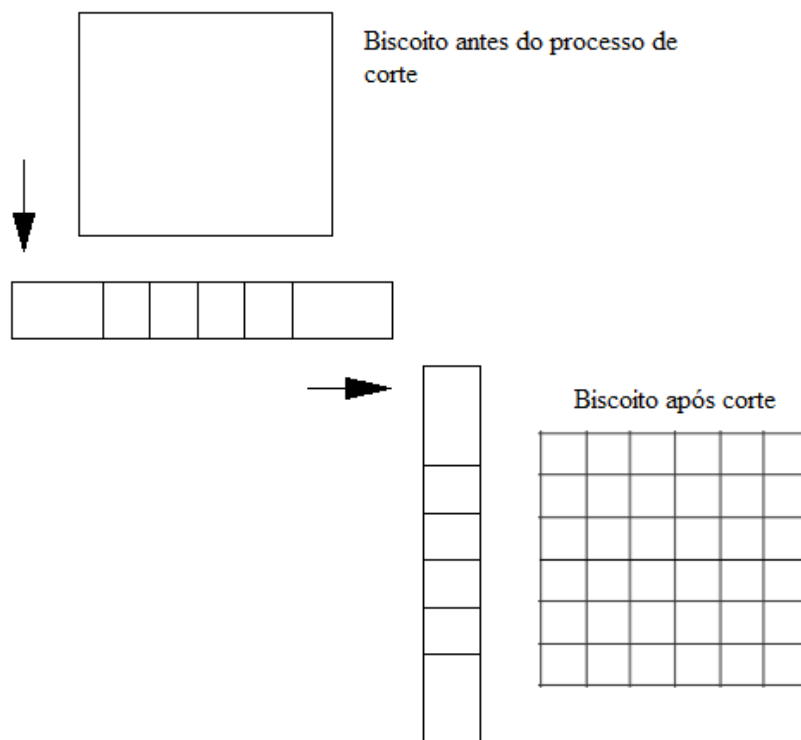
A esteira 5 funciona com passos que separam uma quantidade específica que será embalada na máquina de embalar à vácuo. Os passos da esteira são hastes mecânicas ajustáveis que separam os blocos de biscoitos de acordo com a quantidade determinada. De forma que levam em partes os biscoitos a serem embalados, sem controle algum.

A máquina de embalar utilizada é a embaladora Kawamac PK100, conforme Figura 16. Esta máquina funciona prensando uma unidade em um rolo de embalagem contra o produto, retirando assim o ar, em seguida lacrando e cortando. O produto já embalado trata-se

do produto final. Esta máquina de embalar funciona em sincronia com os biscoitos que assim chegam até ela, sem nenhum tipo de sensoriamento para identificar algo a ser embalado, sendo monitorado por um funcionário para que a máquina não embale sem produtos.

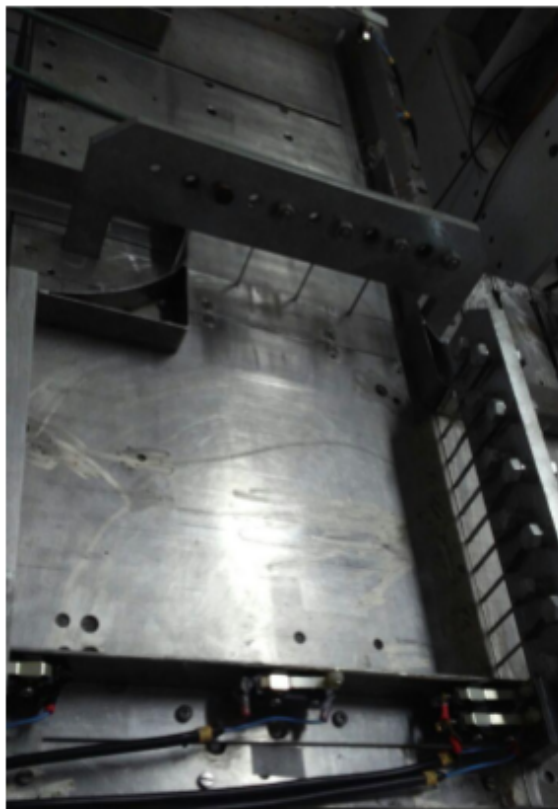
Após os produtos serem devidamente embalados, outro funcionário os empilha em uma caixa, para que sejam estocados.

Figura 14 – Representação do processo de corte, em detalhe.



Fonte – Própria

Figura 15 – Lâminas de corte, em detalhe.



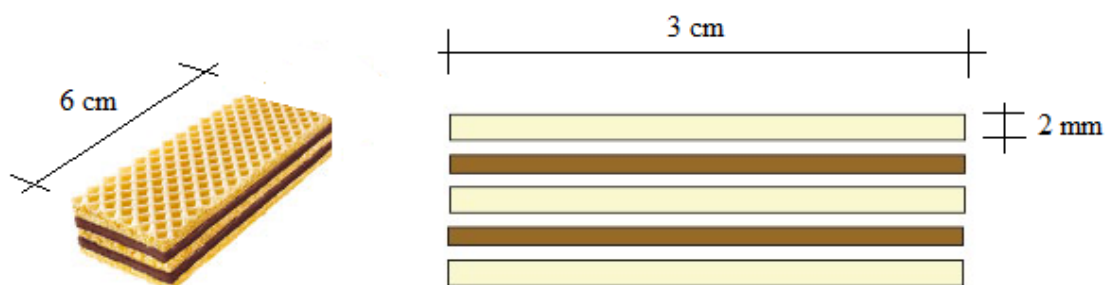
Fonte – Própria

Figura 16 – Máquina de embalar.



Fonte – Própria

Figura 17 – Representação gráfica do produto, com medidas, biscoito wafer de 3 camadas de massa e 2 de recheio.

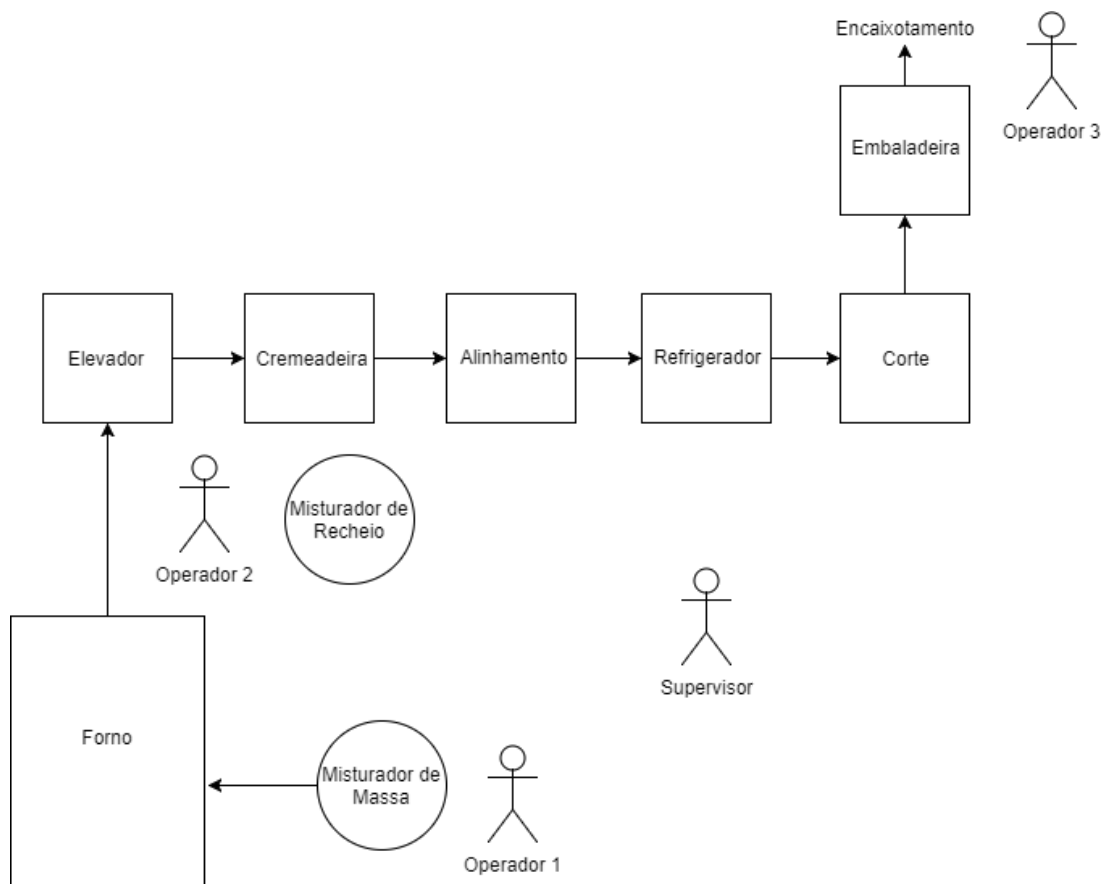


Fonte – Própria

3.4 Dinâmica do trabalho dos funcionários

O processo de produção completo conta com 4 funcionários, conforme verifica-se na Figura 18. O operador 1 é responsável por repor com matéria prima os misturadores de massa e recheio, nas corretas proporções de acordo com a demanda, demanda essa puramente visual. O operador 2 tem a simples função de empilhar os biscoitos que saem da cremeadeira, após a camada de recheio ser aplicada. O operador em questão empilha 2 placas de biscoito com recheio e por cima uma sem, voltando-a para a esteira, para que tenha continuação na fabricação. O operador 3 tem como função pegar biscoitos já embalados, ou seja, o produto final e armazenar em caixas, para que estes sejam estocados. O supervisor tem como função verificar se as máquinas estão funcionando corretamente, é apto a ligá-las ou desligá-las caso seja necessário e também consegue fazer ajustes em caso de anomalias como massa ou biscoitos queimados ou crus, pouco resfriado para corte, corte ineficaz, máquina de embalagem funcionando em vazio.

Figura 18 – Processos e alocação de funcionários.



Fonte – Própria

As mudanças a serem implementadas na planta se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 – Processos atuais e a serem implementados.

Processo	Atual	Implementação
Misturadores de Massa e Recheio	Depende da crítica do operador 1 para reposição de matéria e qualidade.	Sensores de nível de máximo (muito recheio) e de mínimo (reposição instantânea), bem como para determinar temperatura.
Atuador 1	Processo mecânico de sucção de massa ligado ao movimento das placas do forno.	Válvula que se fecha caso o forno não esteja apto a receber massa, seja por anomalia na temperatura, ou falha em algum outro processo seguinte.
Forno	Controle de temperatura feito por operador.	Válvula de controle de gás controlado por sensor de temperatura.
Esteiras (todas)	Acionada junto com toda a produção. Funciona intermitentemente.	Param de funcionar caso haja anomalia em qualquer processo. Mesmo motor aciona as esteiras em grupos, explicados na lógica, para que não haja atropelamento de nenhum processo.
Elevador	Vide Esteiras	Vide Esteiras
Cremeadeira	Vide Esteiras	Sensor de movimento capacitivo na esteira 2, após cremeadeira, realizando contagem de placas de massa que passam. Ao fim da segunda, esteira sofre leve depressão para que a terceira placa passe sem recheio. As placas são empilhadas devido a leve desnível, tendo que adicionar outra esteira ao processo.
Alinhamento	Sensor de movimento que detecta chegada do biscoito, conta 2s para acionar atuadores que comprimem placas do biscoito para que fiquem no formato correto.	Processo análogo ao atual, porém controlado por CLP.
Refrigerador	O processo possui um sensor capacitivo que ao perceber a chegada de uma nova placa de biscoitos, aciona um atuador que dá um passo nos elevadores internos. Sem controle de temperatura.	Processo análogo ao atual com relação ao movimento interno das placas, porém controlado por CLP. Com controle de temperatura.
Corte	Sensores capacitivos detectam a posição da placa de biscoito com relação às etapas do processo.	Processo análogo ao atual, porém controlado por CLP.
Embaladora	Máquina já realiza os todos os processos automaticamente, porém sem distinguir se existe produto para embalar ou não.	Aciona a embaladora apenas quando tem produtos para serem embalados.

Fonte – Própria.

A lógica pensada para o corte de metade do custo operacional humano na linha de produção leva em consideração as melhorias propostas na Tabela 1 e é demonstrada em uma sequência de fluxogramas, presentes entre os Apêndices A e I. Os fluxogramas foram criados utilizando-se a plataforma draw.io.

A lógica pensada nos fluxogramas é transcrita para código *ladder* e testado no software da empresa Schneider Electric, o ATOS A1 Soft, da linha de automação ATOS. O código é encontrado entre os Apêndices J e M. As variáveis da lógica são explicadas através da tabela 2, fazendo-se referência ao fluxograma e especificando o tipo de variável como E/S (entrada ou saída) ou internas do CLP (seja booleana, constante ou um inteiro).

Tabela 2 – Listagem e equivalência de variáveis.

Variável	Relação com a lógica	Tipo	Dispositivo
Botao_Liga	Condição que verifica se o botão que liga todo o sistema está acionado.	E/S	Botão.
Botao_Desliga	Verifica se o sistema está desligado.	E/S	Mesmo botão da variável Botao_Liga.
fornosuperaquec	Selo de segurança que determina se a temperatura do forno está acima de uma temperatura máxima estabelecida.	Bool.	---
alertamassa	Contato de selo, responsável por paralisar a planta quando o nível de massa no misturador está fora da faixa estabelecida.	Bool.	---
cremesuperaquec	Selo que indica se a temperatura da cremeadeira está acima máxima estabelecida.	Bool.	---
selo_geral	Contato de selo, responsável por paralisar a planta quando o botão de acionamento não estiver ligado.	Bool.	---
Liga_Refrig	Contato que aciona o refrigerador.	E/S	---

TempRefrig	Sensor de temperatura do refrigerador, verifica se a temperatura está dentro da faixa estabelecida.	E/S	Sensor de temperatura.
INT_8	Inteiro que corresponde à temperatura de 8°C no comparador GE (Maior ou igual).	Int.	---
INT_10	Inteiro que corresponde à temperatura de 10°C no comparador LE (Menor ou igual).	Int.	---
Refrigerador	Aciona o refrigerador.	Bool.	---
Mantem_Gas	Selo para manter gás ligado para aquecimento do forno.	Bool.	---
flag_massa	Booleano que determina se a massa já está pronta para ser injetada no forno.	Bool.	---
TempForno	Sensor de temperatura do forno, verifica se o forno está acima da temperatura máxima estabelecida.	E/S	Sensor de temperatura.
INT_170	Inteiro que corresponde à temperatura de 170°C no comparador LE (Menor ou igual).	Int.	---
INT_180	Inteiro que corresponde à temperatura de 180°C no comparador LE (Menor ou igual).	Int.	---
injecao_massa	Contato que aciona válvula de injeção de massa.	Bool.	---
INT_200	Inteiro que corresponde à temperatura de 200°C no comparador GT (Maior).	Int.	---
Liga_Gas	Condição que verifica se o botão de acionamento de gás no forno está ativo.	E/S	Botão.
Desliga_Gas	Verifica se o botão do gás que é injetado no forno está desligado.	E/S	Mesmo botão da variável Desliga_Gas.
Mantem_Forno	Selo que mantém o gás acionado, dadas condições da lógica.	Bool.	---
nivelmassabaixo	Sensor de movimento que detecta se a quantidade de massa está acima do mínimo estabelecido.	E/S	Sensor capacitivo.

nivelmassaalto	Sensor de movimento que detecta se a quantidade de massa está acima do máximo estabelecido.	E/S	Sensor capacitivo.
Motor_massa	Selo de acionamento do motor que movimenta as placas por todo o forno.	E/S	---
Motor_Forno	Selo que mantém o motor das placas do forno acionado, dadas condições da lógica.	Bool.	---
TON_1	Temporizador que é desligado após a massa ser misturada por tempo pré-determinado.	Bool.	---
sensor_elevador	Sensor que detecta chegada de biscoitos na entrada do primeiro elevador.	E/S	Sensor capacitivo.
TOF_2	Temporizador que é ligado após o biscoito passar por sensor de presença na entrada do primeiro elevador.	Bool.	---
motor_elevador	Selo que aciona o primeiro elevador, dados condições de programação.	E/S	---
esteira1e2	Selo que aciona as esteiras 1 e 2, dados condições de programação.	E/S	---
sensormov_cremeadeira	Sensor que detecta chegada de biscoitos na entrada da cremeadeira.	E/S	Sensor capacitivo.
nivelbaixocreme	Sensor de movimento que detecta se a quantidade de recheio está acima do mínimo estabelecido.	E/S	Sensor capacitivo.
nivelaltocreme	Sensor de movimento que detecta se a quantidade de recheio está acima do máximo estabelecido.	E/S	Sensor capacitivo.
INT_70	Inteiro que corresponde à temperatura de 70°C no comparador GE (Maior ou igual).	Int.	---
INT_80	Inteiro que corresponde à temperatura de 80°C no comparador LE (Menor ou igual).	Int.	---
Motor_Creme	Selo de acionamento do motor que mistura o recheio.	E/S	---
aquec_creme	Selo de acionamento das resistências de aquecimento do recheio na cremeadeira.	E/S	---

TempCreme	Sensor de temperatura do forno, verifica se o recheio na cremeadeira está dentro dos limites de temperatura estabelecidos.	E/S	Sensor de temperatura.
INT_100	Inteiro que corresponde à temperatura de 100°C no comparador GT (Maior).	Int.	---
CTD_1	Contador que controla quantos biscoitos já foram recheados e atua descendo a esteira 2, caso a conta seja maior que 2 biscoitos.	Bool.	---
sensor_alinha	Sensor de movimento que detecta a chegada de biscoitos no processo de alinhamento.	E/S	Sensor capacitivo.
INT_3	Inteiro que corresponde a quantos biscoitos já passaram pelo processo de recheio na cremeadeira, número este que deve ser menor que 3.	Int.	---
concreme	Variável inteira que é incrementada conforme os biscoitos passem pelo sensormov_cremeadeira.	Int.	---
descresce_esteira2	Atuador que descresce a esteira quando a contagem em CTD_1 é atingida.	E/S	Atuador Cilíndrico.
TON_3	Temporizador que atua durante determinado tempo (2s) na descida da esteira.	Bool.	---
volta_esteira2			
esteira3e4	Selo que aciona as esteiras 3 e 4, dados condições de programação.	Bool.	---
TON_4	Temporizador que atua durante determinado tempo (2s) no alinhamento das placas de biscoito.	Bool.	---
atua_alinha	Atuador que alinha os biscoitos.	E/S	Atuador Cilíndrico.
sensormov_refrig	Sensor de movimento que detecta se a quantidade de recheio está acima do mínimo estabelecido.	E/S	Sensor capacitivo.

TOF_5	Temporizador que aguarda determinado tempo (1s) após a chegada de biscoitos no refrigerador para então atuar no elevador interno do processo.	Bool.	---
elevador_refrig	Atuador que gera um passo no elevador interno ao refrigerador.	E/S	---
sensor1_corte	Sensor de movimento que detecta a chegada de biscoitos no primeiro atuador do processo de corte.	E/S	Sensor capacitivo.
atua1_corte	Atuador que pressiona o biscoito contra as lâminas do primeiro corte.	E/S	Atuador cilíndrico.
atua1fim_corte	Sensor de fim de curso que detecta o fim do primeiro corte.	E/S	Sensor capacitivo.
voltaatua1_corte	Volta o atuador do primeiro corte para a posição inicial.	E/S	Atuador cilíndrico (mesmo da variável atua1_corte).
sensor2_corte	Sensor de movimento que detecta a chegada de biscoitos no segundo atuador do processo de corte.	E/S	Sensor capacitivo.
atua2_corte	Atuador que pressiona o biscoito contra as lâminas do segundo corte.	E/S	Atuador cilíndrico.
atua2fim_corte	Sensor de fim de curso que detecta o fim do segundo corte.	E/S	Sensor capacitivo.
voltaatua2_corte	Volta o atuador do segundo corte para a posição inicial.	E/S	Atuador cilíndrico (mesmo da variável atua2_corte).
sensorfim_corte	Mesma função do sensor atua2fim_corte na lógica.	E/S	Sensor capacitivo (mesmo do atua2fim_corte).
esteira5	Selo que aciona a esteira 5, dados condições de programação.	E/S	---
sensor_embala	Sensor de movimento que detecta a chegada de biscoitos na máquina de embalagens.	E/S	Sensor capacitivo.
TON_6	Temporizador que atua durante determinado tempo (1s) na embalagem das placas de biscoito.	Bool.	---
embala	Atuador que aciona a máquina de embalar.	E/S	---

Fonte – Própria.

3.5 Materiais

Para a implementação do projeto serão necessários: 14 sensores capacitivos de movimento, 4 sensores de temperatura, CLP, um módulo de temperatura PT100, fonte chaveada, 100m de cabo, 19 válvulas, 3 atuadores cilíndricos e 5 botões, 3 LEDs e 3 buzinas.

O sensor capacitivo escolhido no projeto foi o sensor capacitivo tubular 30mm de diâmetro da marca Metaltex com distância de detecção de até 25mm. Alimentação 10VCC. O sensor, apesar de ser mais caro que a média de R\$ 65,00, possui LED com indicador de operação, o que facilita a detecção de falhas por parte dos supervisores e apresenta alcance de detecção um pouco maior que os sensores mais baratos. A distância de 8 mm já é suficiente para a medição, porém optou-se por uma margem de segurança no projeto, por isso os 25mm serão necessários. O sensor custa R\$ 80,00.

Figura 19 – Sensor capacitivo Metaltex 18NPN.



Fonte – Metaltex

O sensor de temperatura escolhido no projeto foi o PT100, por sua faixa de atuação. Seu preço é de R\$ 5,00.

Escolheu-se cabos de 6mm, 100m deste material custa por volta de R\$ 225,00.

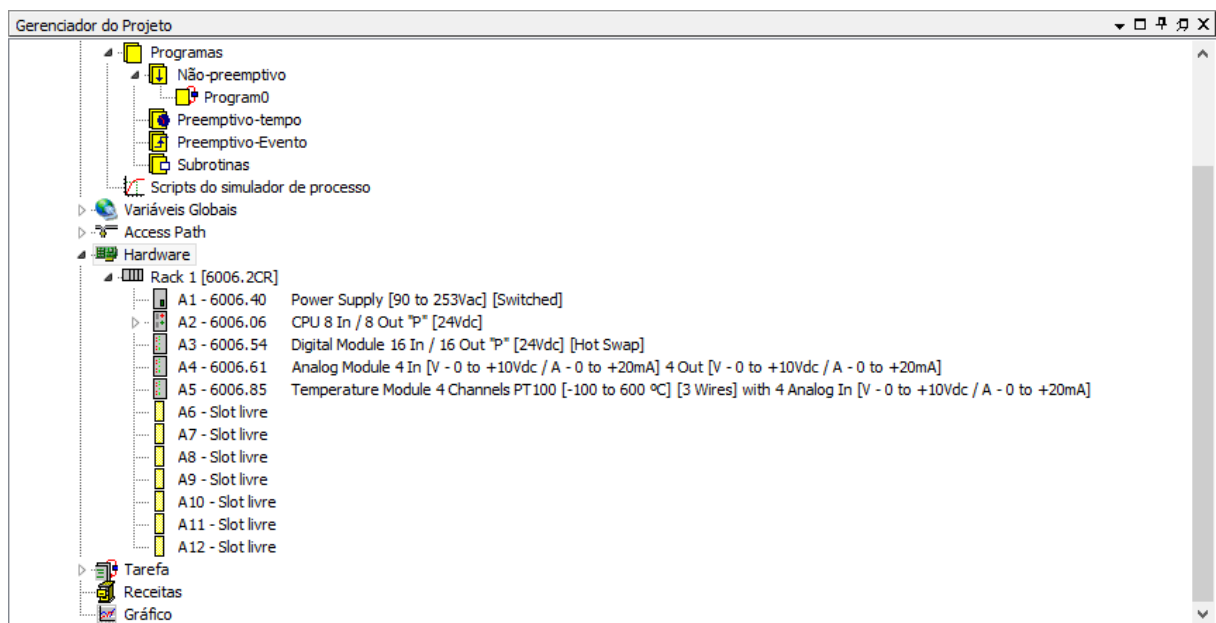
Estima-se um gasto de menos de R\$ 50,00 com buzinas, botões e LEDs para o projeto, mas este valor será utilizado como margem de segurança.

O orçamento das válvulas pneumáticas fica em torno de R\$ 10,80, o projeto utilizou R\$ 15,00 por segurança. Cada cilindro pneumático é orçado em R\$ 90,00.

O módulo de temperatura mais barato encontrado custa R\$ 299,00, utilizar-se-á o valor de R\$ 400,00 no projeto. A fonte chaveada custa R\$ 150,00.

A validação da lógica de projeto foi desenvolvida no Atos A1 Soft. Constatou-se a necessidade de 23 entradas digitais, 22 saídas digitais, 4 entradas analógicas no módulo de temperatura. Estes dados serão relevantes para a escolha do CLP. Foi utilizado o CLP ATOS 6006, com CPU de 8 entradas e 8 saídas digitais, um módulo de 16 entradas e 16 saídas digitais, um módulo de temperatura PT100 de 4 canais e fonte chaveada.

Figura 20 – Visão da tela do ATOS A1 Soft.



Fonte – ATOS A1 Soft.

A escolha do CLP ficou entre 2 modelos da marca brasileira WEG por terem apresentado um preço mais acessível com relação às funcionalidades buscadas. Foram eles o CLIC02, modelo mais simples e compacto, e o também compacto porém com mais possibilidades TPW03. Optou-se pelo modelo TPW03 por apresentar uma configuração máxima de 5 vezes mais entradas e saídas (E/S) digitais. Apesar de o modelo CLIC02 suportar o projeto atual, optou-se por trabalhar com uma margem de segurança que possibilite

futuras melhorias e expansões no projeto. O CLP caracteriza-se por seu tamanho compacto e ótimo custo benefício. Idealizado para aplicações de pequeno e médio porte com configuração máxima de 222 E/S digitais e 22 E/S analógicas, contra 44 E/S digitais do modelo CLIC02.

Figura 21 – CLP WEG TPW03.



Fonte – Website da WEG.

Outras características são alimentação em 12 Vcc, 24 Vcc ou 110/220 Vca (50/60Hz); Memória de programa 8K e 16K passos (mais que suficiente para o projeto); 4 contadores rápidos 100 kHz (fase simples), ou 2 de 50kHz (fase dupla); Saída trem de pulso e PWM 100 kHz. Seu custo é R\$ 3.000,00.

O custo total do projeto em materiais é de R\$ 5270,00. Adiciona-se o gasto com mão de obra para execução do projeto, considerando-se o tempo de 1 mês de um profissional técnico em automação, o custo de seu salário é de R\$ 3.837/mensal, mais 31,80% de INSS devido ao risco, 8% de FGTS, 6% de vale transporte, R\$ 400,00 de Vale Refeição e uma parcela de 1/12 do salário, relativo ao 13º salário, seu salário final custa R\$ 6283,40. Adiciona-se também a este projeto o custo com o engenheiro eletricitista projetista, que segundo pesquisa é em média R\$ 7.496,00 no Brasil, com encargos e adicionais, o salário de um engenheiro custa para a empresa R\$ 11.953,82 por mês. O projeto pode ser executado em 2 meses, logo o custo total de projeto é de R\$ 23.907,64.

O custo final do projeto levando em conta mão de obra e materiais custará à empresa R\$ 35.461,04.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultados do projeto, foi feito um comparativo do tempo de execução de um ciclo completo, desde a entrada dos ingredientes que compõem a massa no misturador, até o produto final embalado e consequentemente sua influência no aumento de produção. À partir deste aumento de produção calculou-se o aumento de lucros gerado no período de 1 ano, que é o período a ser analisado baseado na demanda do cliente de retorno financeiro.

Ao descobrir-se o quanto a implementação do projeto pode vir a impactar a produção da linha, será desenvolvido um cálculo de economia com mão de obra operacional ao longo deste ano e analisado o custo total do projeto levando-se em consideração o quanto a quantia poderia estar rendendo em outras aplicações para verificar viabilidade.

O cálculo do tempo de execução dos processos no projeto automatizado leva em conta o tempo de resposta do CLP, o tempo de operação medido na própria planta (por exemplo, o tempo que uma esteira leva para entregar o produto de um processo a outro) e o tempo economizado com a execução por meio de mão de obra humana. O tempo de cada processo sem a implementação da automatização da linha foi medido na própria planta, o tempo dos processos executado pelo CLP é uma aproximação, visto que o projeto não foi montado devido ao alto custo.

4.1 Cálculo de viabilidade

O projeto cumpriu sua proposta de realocar 2 funcionários da produção que estavam executando funções que não agregam valor ao processo. O salário médio bruto operador industrial é de R\$ 2.092/mensal, segundo pesquisa da plataforma *Love Mondays*, (Love Mondays, 2017), especializada em pesquisas de satisfação com empresas, logo, o custo mensal com salário destes 2 funcionários é de R\$ 4.184,00. Além disso, alguns encargos associados ao funcionários, 31,80% de INSS devido ao risco, 8% de FGTS, 6% de vale transporte, R\$ 400,00 de Vale Refeição e uma parcela de 1/12 do salário, relativo ao 13º salário. Com a adição destes, o custo mensal dos 2 salários sobe para R\$ 7.248,93.

O cálculo da nova produção levará em conta o tempo de operação das máquinas descontando-se o tempo de parada para práticas manuais.

- Cada 3 placas que se produz no forno, conseguem gerar 40 biscoitos menores, sendo que 5 vão dentro de uma embalagem, o que significa que a cada 3 placas tem-se 8 produtos finais.
- O forno opera atualmente em uma velocidade média de 13 placas/min.
- O custo médio, levando-se em consideração matéria prima e energia é de R\$ 3,50 por kilo de produto. R\$ 1,50 é adicionado a este custo, atribuindo-se ao custo operacional com funcionários.

Antes de aplicar a automação, a planta conseguia produzir 80 biscoitos/min ou 16 pacotes, tempo calculado na própria planta, a aproximadamente a R\$ 0,12 cada pacote.

Com o modelo de processos automatizados, estima-se um ganho de produção para 173 biscoitos/min, ou 34 pacotes/min, o que significa que a produção será aumentada em 112%.

Dado um custo de R\$ 35.461,04 para a execução do projeto e a economia de R\$ 7.248,93 mensais com mão de obra, estima-se que o projeto se pague em no máximo 5 meses, o que confirma a viabilidade econômica.

A viabilidade operacional é comprovada pelos testes realizados com a lógica *ladder* implementada no software ATOS A1 Soft.

4.2 Discussões

Verificou-se a importância de desenvolver um fluxograma antes de começar a programar em *ladder*, para servir como base lógica de toda a programação, verificou-se também a importância de segmentar ou fracionar o projeto em várias partes, para diferentes projetos, de modo que a implementação se torna mais simples uma vez que além da visão global se tem também a visão por processo, uma boa prática para esta ação é a criação de tabelas especificando o que cada setor precisa ser implementado no projeto. Além disso, a ponte entre o código *ladder* e a lógica sequencial alto nível, fluxogramas por exemplo, deve ser muito bem especificada para que este projeto seja claro não só para quem o executa, mas para todos os envolvidos com a linha de produção, independente da área de atuação. O projeto foi bem sucedido quanto a sua proposta de calcular a viabilidade econômica e operacional, comprovando numericamente a vantagem de se automatizar a linha.

Este tipo de análise se tornou possível devido a grande diversidade de conteúdo que se produz diariamente na internet. Atualmente é possível estimar-se uma mudança operacional como essa baseado em estatísticas encontradas em diversas plataformas especializadas em empregos, como é o caso da plataforma *Love Mondays*, que armazena dados de trabalhadores do Brasil inteiro, plataformas de compra e venda de materiais, que dão uma boa estimativa de preço, plataformas de ensino.

Este projeto consegue trazer uma análise prévia muito verossímil para a empresa, por sempre trabalhar com valores encontrados em um espaço amostral muito extenso e diversificado, o que diminui os riscos de sua implementação.

5 CONCLUSÃO

Verifica-se com a finalização deste projeto de automatização que a proposta do projeto é cumprida, comprovou-se a hipótese proposta, que propõe um aumento de produtividade de pelo menos 10% (chegando-se a uma estimativa de 112% no aumento de produtividade) e payback de 1 ano (fazendo-o em 2 meses). Além disso, a planta torna-se mais competitiva no mercado, produzindo mais é possível colocar preços mais competitivos. O produto passa a impactar um público maior (classes C e D), a maioria da população brasileira, e o produto pode vir a ganhar mais volume de mercado.

Além disto, com a diminuição do custo operacional e ganho de volume de produção, o custo marginal de um pacote de biscoito é reduzido, aumentando-se a margem de lucro, o que implica em mais capital para investir em máquinas mais sofisticadas e métodos mais eficientes que os atuais.

O próximo passo para o projeto, dada sua viabilidade econômica é realizar a compra de todo material especificado no capítulo 3, de Materiais e métodos, e executar a montagem na planta. Além disso, planeja-se o estudo de viabilidade da implementação de uma rede neural associada ao sistema. O controle inteligente de parâmetros como velocidade das esteiras, tempo de exposição ao calor e frio, temperaturas de forno e refrigerador, podem impactar positivamente na qualidade do produto, encontrando-se os parâmetros ideais para produzir um produto padrão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balbinot, A. B. Instrumentação e Fundamentos de Medidas 2a. ed. LTC, 2011

Sensor Capacitivo. Instituto Newton C. Braga. Disponível em:

<<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/electronica/52-artigos-diversos/4359-art1174>>

Acesso em 26 de setembro de 2017.

Sensores de Movimento Linear. Instituto Superior Técnico, Lisboa. Disponível em:

<<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1689468335573866/SSM-T16-sa09-2-Sensore sMovimento-Linear%20e%20Proximidade.pdf>> Acesso em 25 de setembro de 2017.

Termistor NTC. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em:

<<http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef004/20061/Cesar/SENSORES-Termistor.html>> Acesso em 27 de outubro de 2017.

Fundamentos de Sensores. Universidade Federal do Paraná. Disponível em:

<<http://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/2000/brenno/index.html>> Acesso em 30 de setembro de 2017.

BRANDÃO, D. Controlador Lógico Programável. Notas da disciplina de Automação do Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação da Escola de Engenharia de São Carlos, 2016.

Website WEG. CLP TPW03. Disponível em:

<<http://sites.poli.usp.br/d/pmr2481/pneumat2481.pdf>> Acesso em 2 de outubro de 2017.

Petruzella, F. D. Controladores Lógicos Programáveis, 2014.

Pneumática. Silva, E. C. N. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em:

<<http://old.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/CLPs-e-Controle-de-Processos/TPW03>>

Acesso em 28 de outubro de 2017.

Análise de viabilidade e retorno financeiro. Instituto IBMEC, Mercado de Capitais.

Disponível em: <<http://ibmec.org.br/geral/analise-de-viabilidade-economica-e-financeira/>>

Acesso em 29 de outubro de 2017.

Salário operador industrial médio no Brasil. Love Mondays. Disponível em:

<<https://www.lovemondays.com.br/salarios/cargo/salario-operador-industrial>> Acesso em 29 de outubro de 2017.

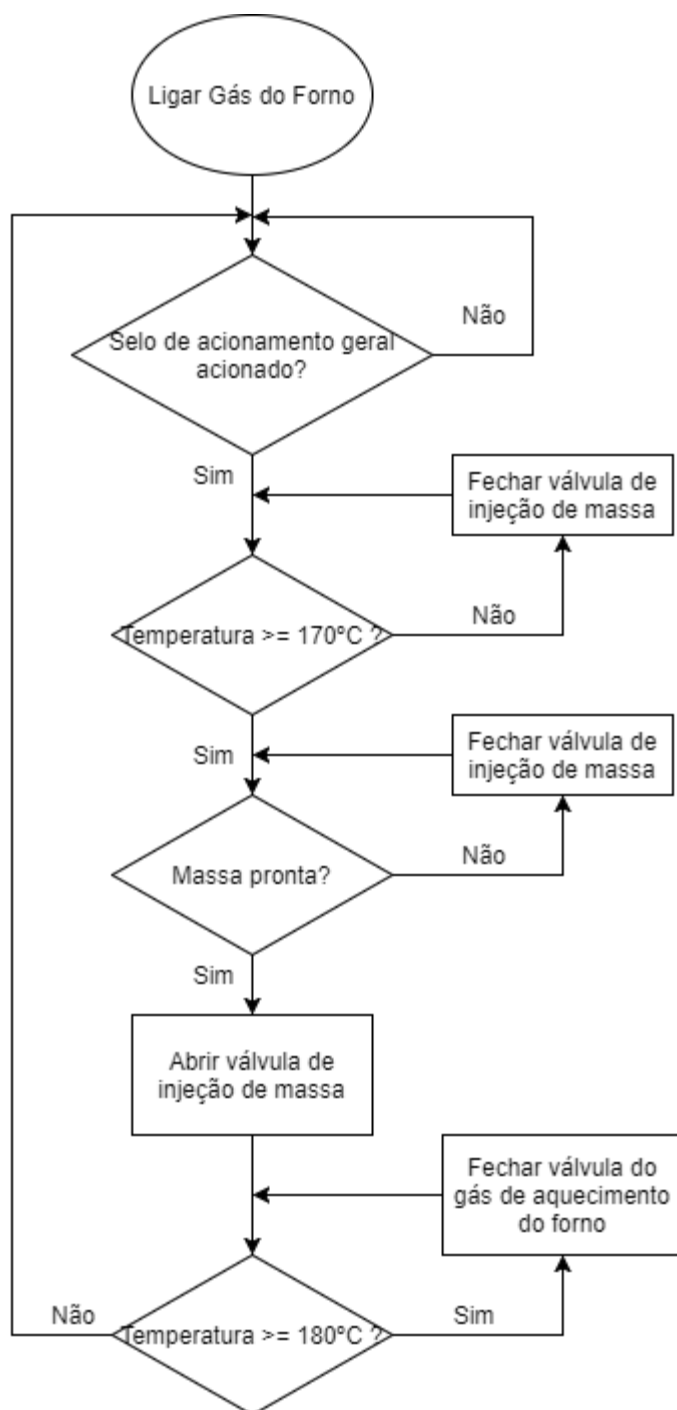
Manual de Instruções Atos A1 Soft. Disponível em:

<<https://www.schneider-electric.com.br/pt/download/document/Manual+de+Instru%C3%A7%C3%B5es+Atos+A1+Soft/>> Acesso em 4 de novembro de 2017.

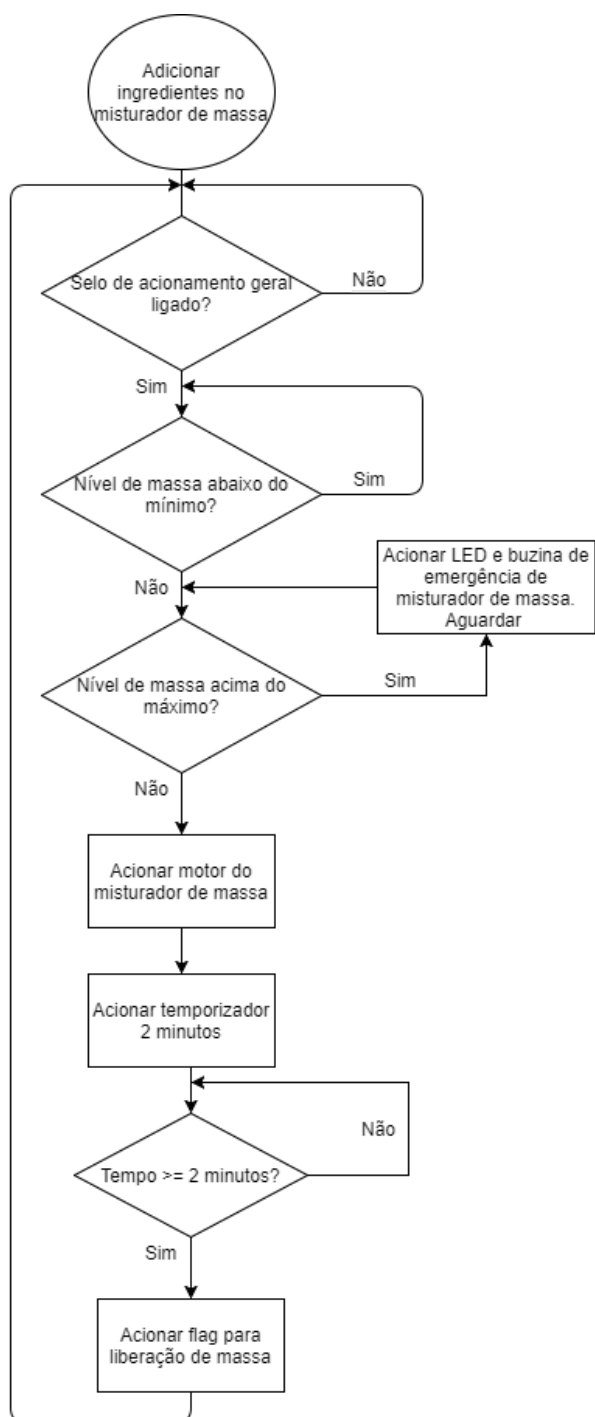
Funcionário – Quais são os custos e impostos para contratar? Disponível em:

<<https://www.jornalcontabil.com.br/funcionario-quais-sao-os-custos-e-impostos-para-contratar/>> Acesso em 23 de novembro de 2017.

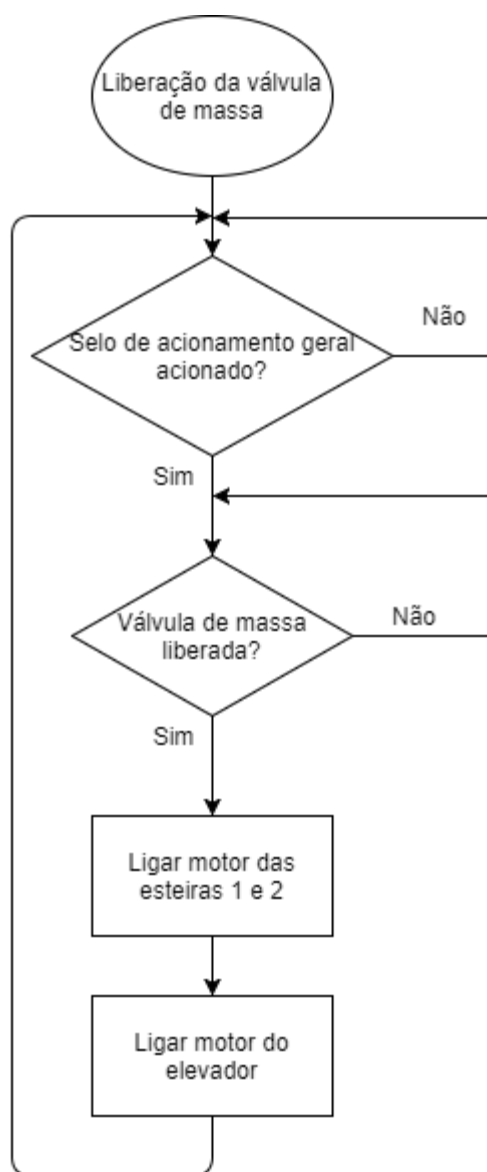
APÊNDICE A – Fluxograma de funcionamento do forno.



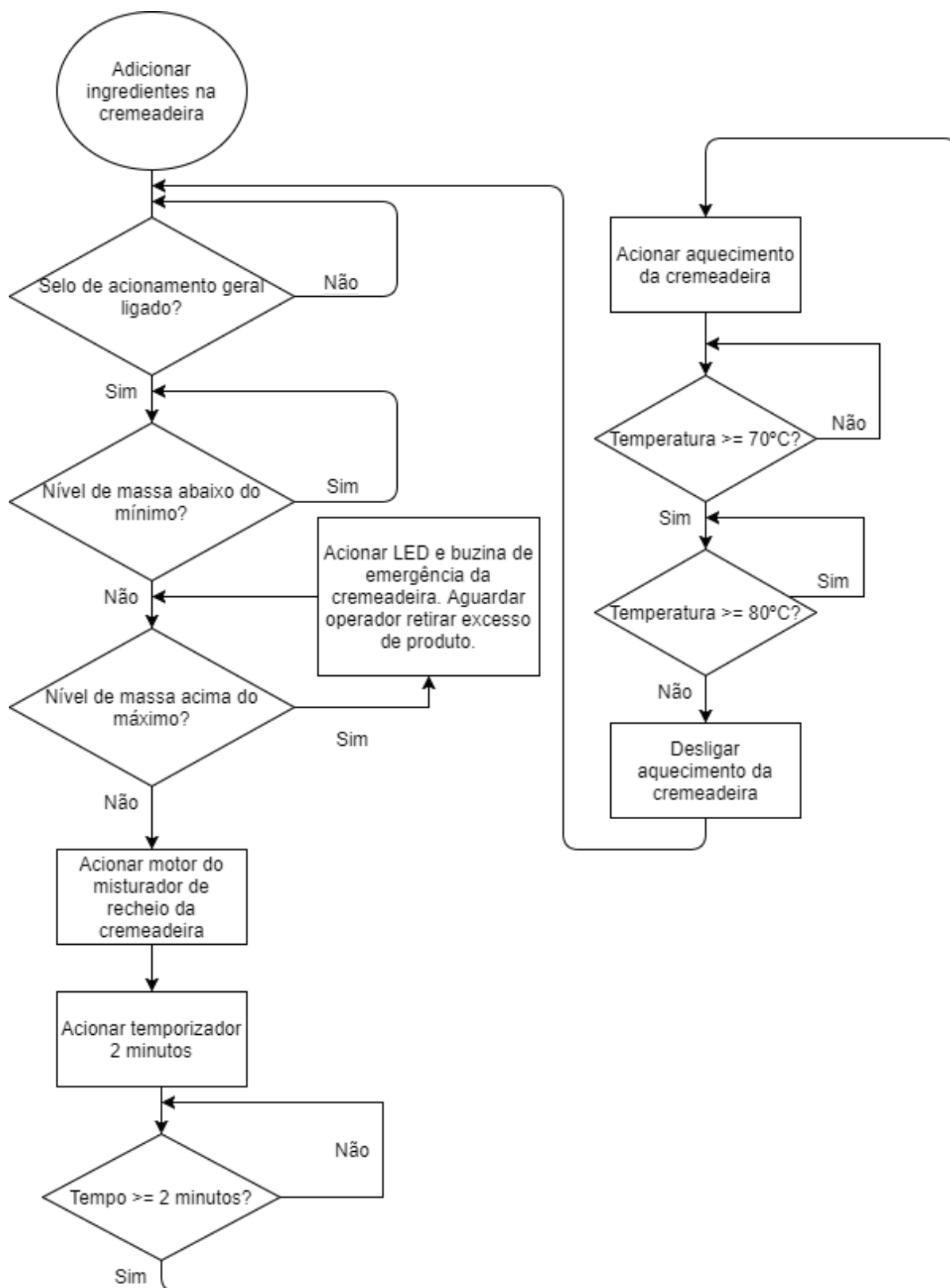
APÊNDICE B – Fluxograma de funcionamento do misturador de massa



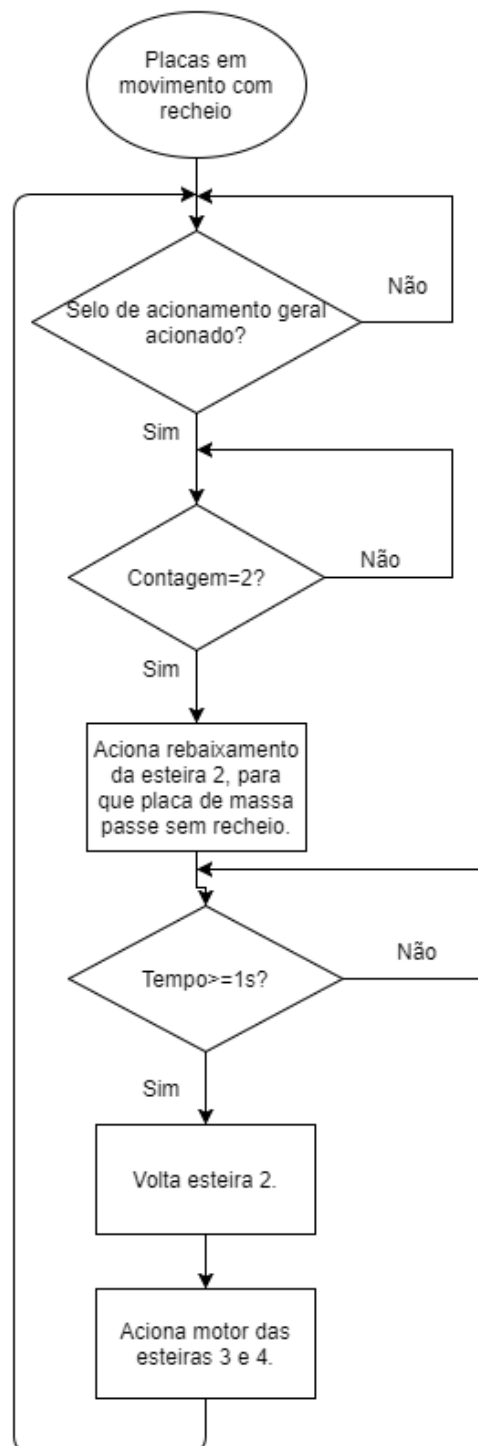
APÊNDICE C – Fluxograma de funcionamento do motor das esteiras.



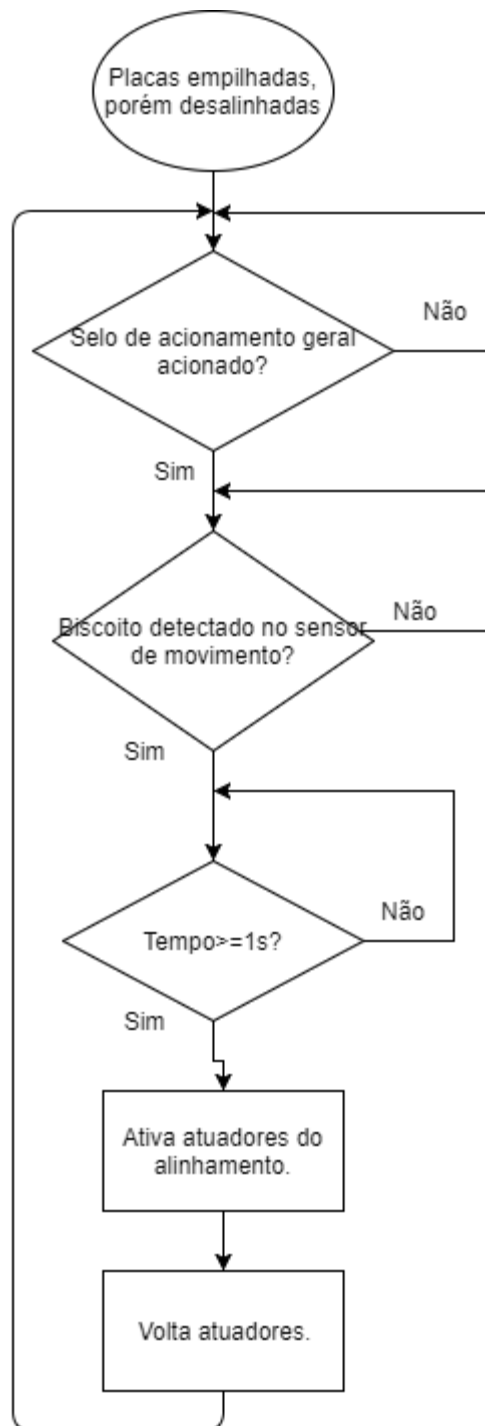
APÊNDICE D – Fluxograma de funcionamento da cremeadeira.



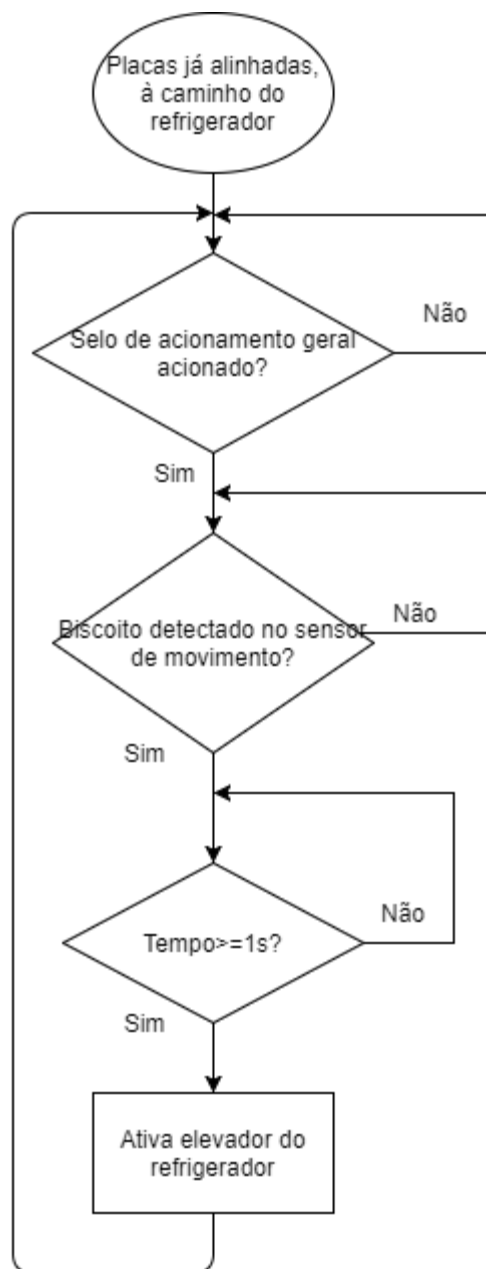
APÊNDICE E – Fluxograma do empilhamento das placas de biscoito após recheio.



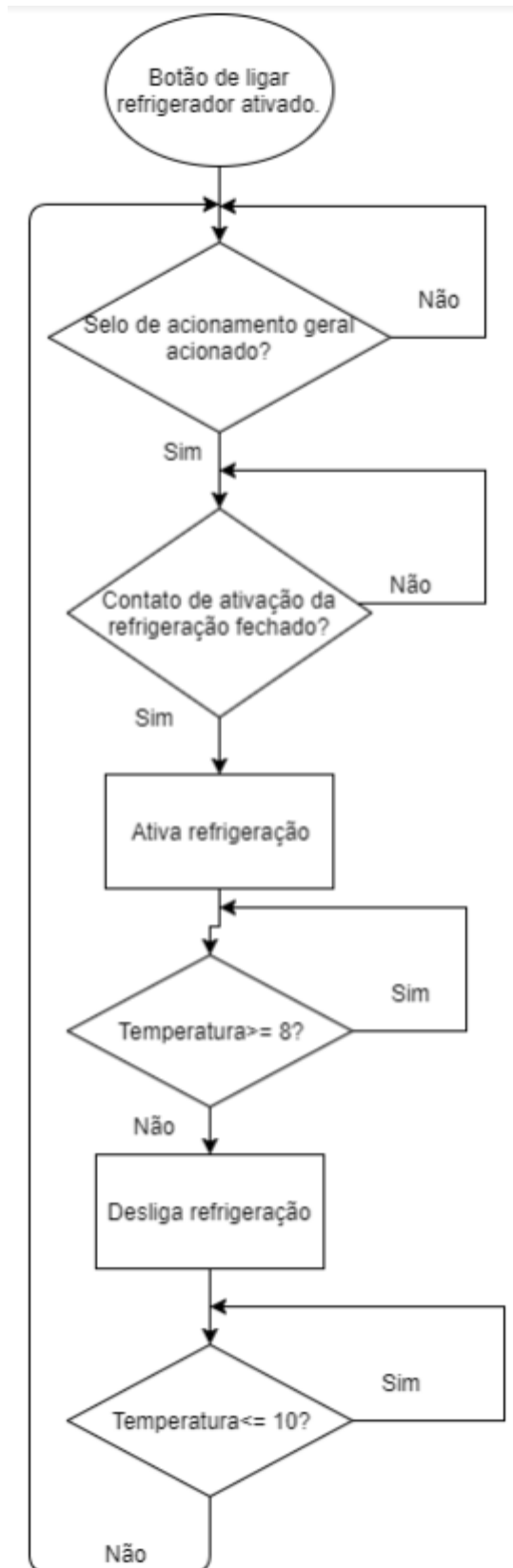
APÊNDICE F – Fluxograma do alinhamento.



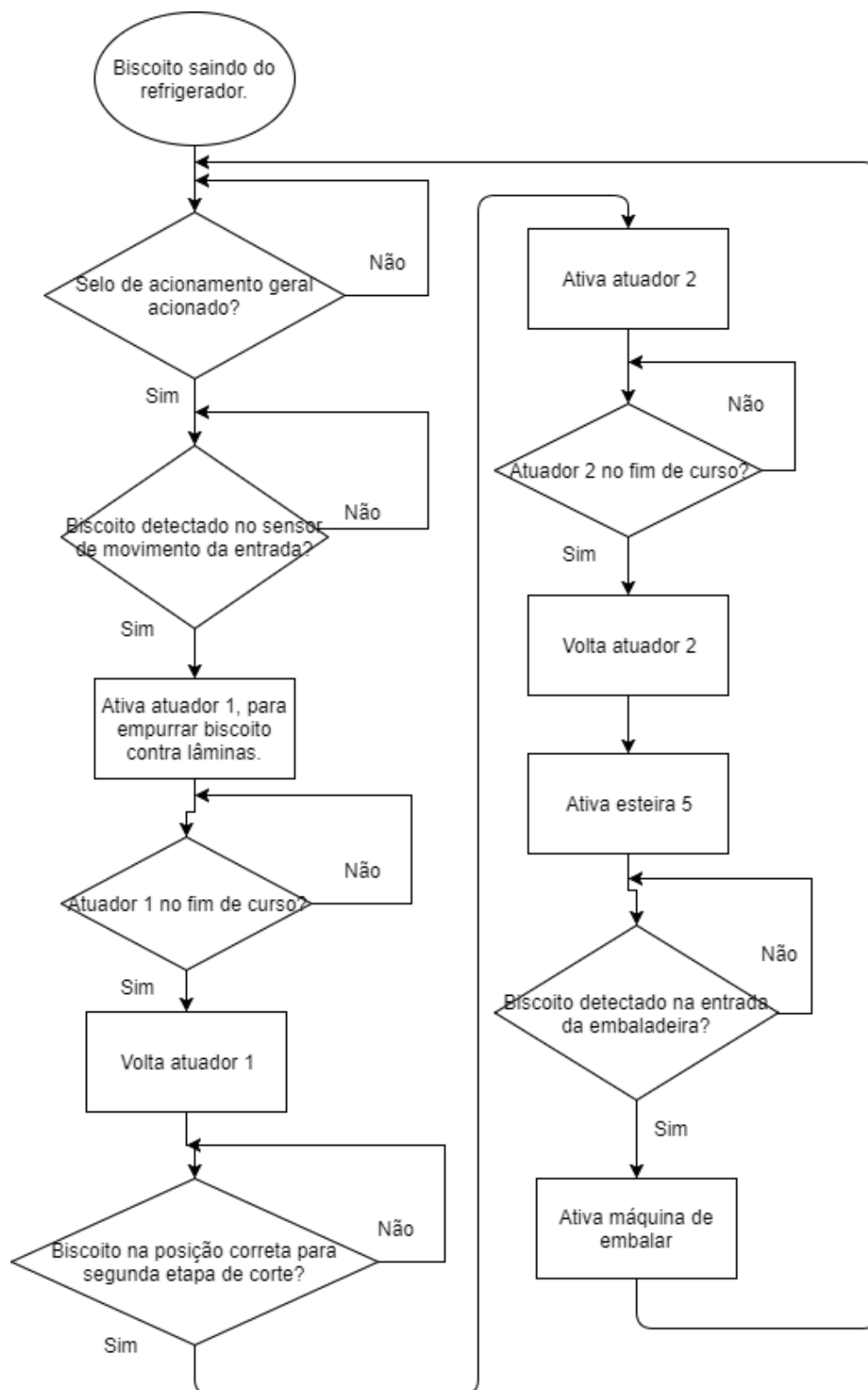
APÊNDICE G – Fluxograma do refrigerador (movimento).



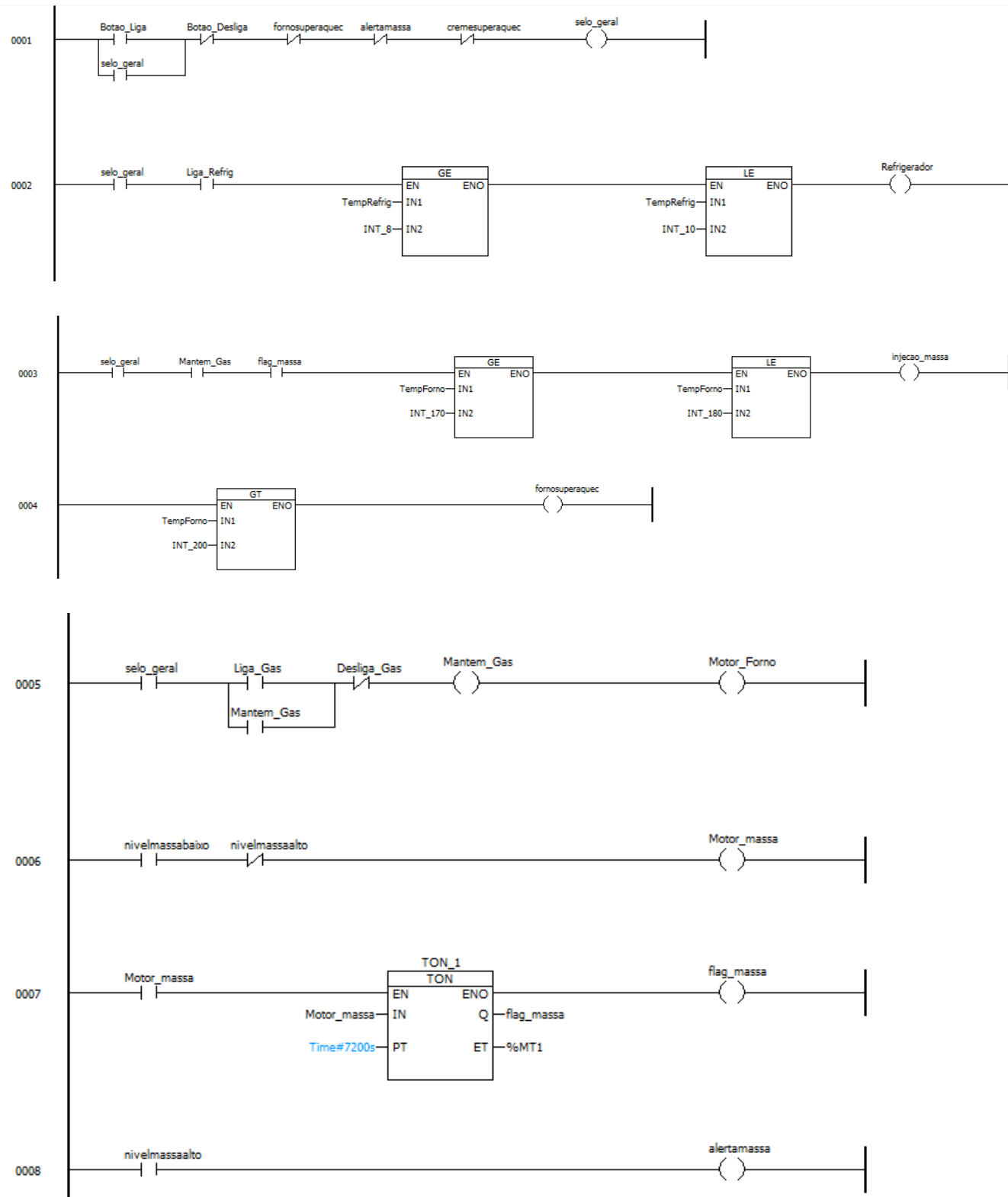
APÊNDICE H – Fluxograma do refrigerador (refrigeração).



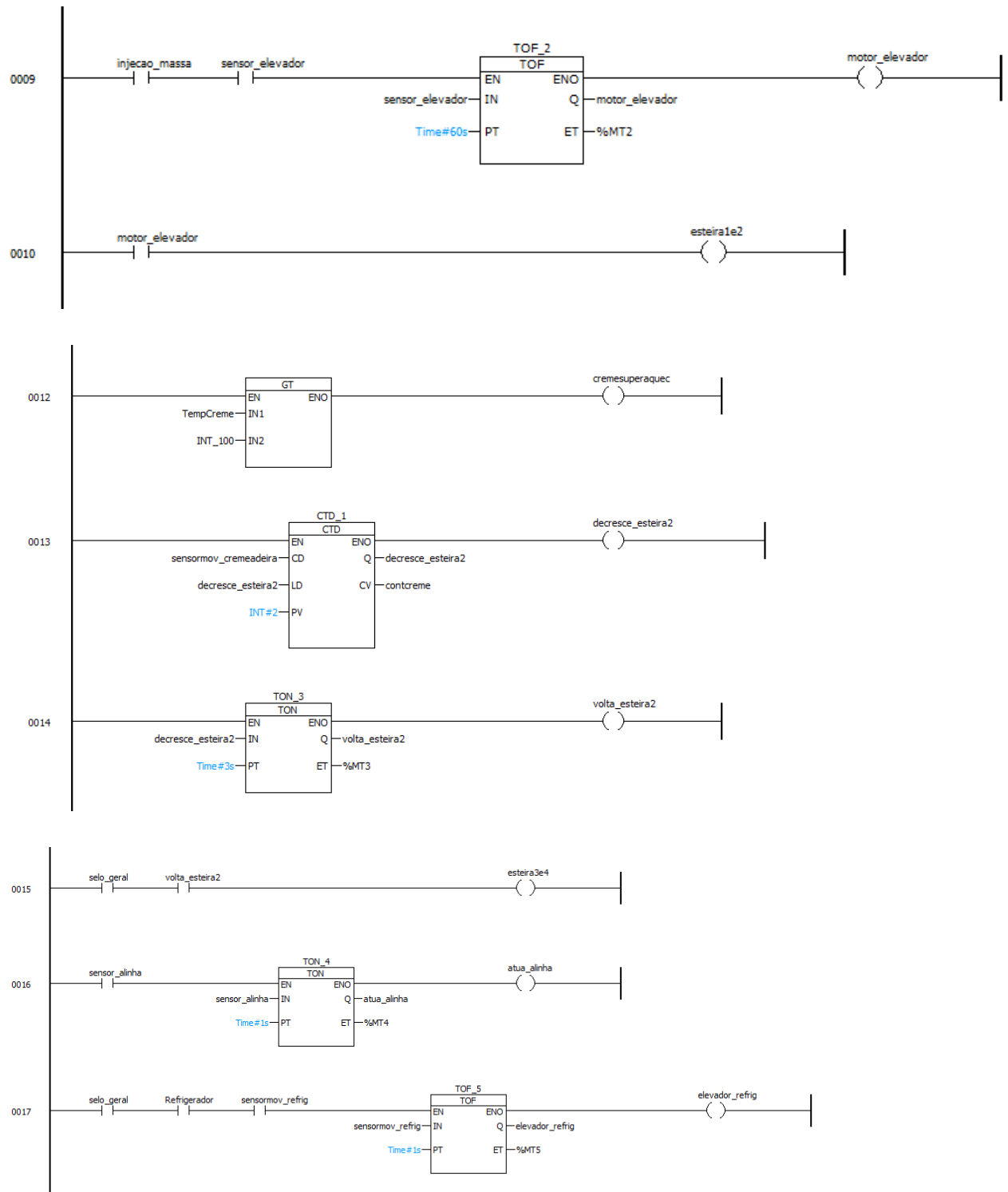
APÊNDICE I – Fluxograma do corte e embalagem.



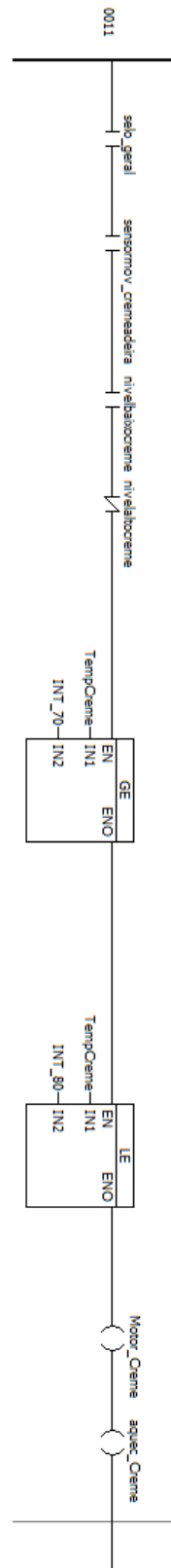
APÊNDICE J – Código em *Ladder*, trecho 1.



APÊNDICE K – Código em *Ladder*, trecho 2.



APÊNDICE L – Código em *Ladder*, trecho 3.



APÊNDICE M – Código em *Ladder*, trecho 4.

