

## ESTUDO SOBRE A MODERNIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO E CONTROLE NUM FORNO INDUSTRIAL<sup>1</sup>

**Jorge Queiroz de OLIVEIRA<sup>2</sup>**  
Graduando em Engenharia Eletrônica  
IFSP/Câmpus São Paulo

**Victor de Lagos Pandolfi GARCIA<sup>3</sup>**  
Graduando em Engenharia Eletrônica  
IFSP/Câmpus São Paulo

**Jamilson Nogueira BARRETO<sup>4</sup>**  
Ex-encarregado da Elétrica da CILASI Alimentos S/A

**Leandro Novaes LANDULFO<sup>5</sup>**  
Gerente da Elétrica da CILSASI Alimentos S/A  
IFSP/Câmpus São Paulo

**Alexandre Brincalepe CAMPO<sup>6</sup>**  
Doutor em Engenharia Elétrica/USP  
Docente da Graduação em Engenharia Eletrônica  
IFSP/Câmpus São Paulo

### RESUMO

O presente artigo resulta de projeto que trata dos estudos que estão sendo realizados na modernização de um forno industrial na empresa CILASI Alimentos S.A. numa parceria viabilizada pelo Edital de Inovação 268/2018. A área de controle de processos industriais envolve temas diversos, tais como: automação, instrumentação, segurança, instalações elétricas e o processo em si. No caso desta aplicação, foi feito um estudo para a modernização dos sistemas de automação de um forno industrial atualmente em uso (na linha 5) para a produção de biscoitos. Diversas tecnologias recentes permitem a obtenção de ganhos na operação de sistemas de produção. O projeto consiste no levantamento dos equipamentos atualmente utilizados na automação do forno, bem como no estudo do processo de produção. Pretende-se detalhar o estado atual do processo e elaborar um plano de modernização que garanta um acompanhamento mais efetivo do processo, aumentando a segurança em sua operação. O estudo é baseado em referências da área de controle de processos e automação, bem como em documentos de patentes de dispositivos utilizados nesse tipo de aplicação. Ao final do projeto pretende-se ter um documento que descreva as melhores opções para a automação do processo, tendo em vista o objetivo detalhado acima.

**Palavras-chave:** Automação; Controle de Processos; Controle de Fornos; Segurança; Instalações Elétricas.

---

<sup>1</sup> Trabalho resultante de Iniciação Científica. Orientador Prof. Dr. Alexandre Brincalepe Campo.

<sup>2</sup> Endereço eletrônico: jorgequeiroz010@gmail.com

<sup>3</sup> Endereço eletrônico: victorlagosgarcia@gmail.com

<sup>4</sup> Endereço eletrônico: jamilson.barreto@belavista.com.br

<sup>5</sup> Endereço eletrônico: leandro.landulfo@belavista.com.br

<sup>6</sup> Endereço eletrônico: brinca@ifsp.edu.br

## Introdução

Recentemente foi viabilizado o desenvolvimento de projetos de pesquisa e inovação entre pesquisadores e empresas privadas nos institutos federais. O sistema ora descrito é fruto do primeiro projeto aprovado no Câmpus São Paulo do Instituto Federal de São Paulo. Através da submissão de um projeto de pesquisa à Agência de Inovação do IFSP e seguindo todos os trâmites legais que viabilizaram a execução do mesmo, um pesquisador do instituto – professor Alexandre Brincalepe Campo – em conjunto com um aluno bolsista do terceiro ano do curso de Engenharia Eletrônica – Jorge Queiroz de Oliveira – desenvolveram um estudo aprofundado de um forno elétrico utilizado na produção de biscoitos por parte da empresa Cilasi Alimentos S.A.. A seguir é feita uma apresentação geral sobre fornos industriais para a fabricação de biscoitos, procurando ressaltar aspectos que estão sendo estudados no âmbito do Acordo de Cooperação firmado com a empresa.

Os sistemas automáticos aplicados a processos industriais têm evoluído com a implantação de novos tipos de controladores, com o uso de redes industriais, a adoção de novas normas de segurança e muitas outras tecnologias desenvolvidas recentemente. Uma planta industrial dispõe de diversos tipos de equipamentos que necessitam de sistemas de controle e automação e a atualização destes sistemas nem sempre é feita numa velocidade que acompanha a evolução tecnológica (SEBORG; EDGAR; MELLICHAMP, 2010).

Um dos processos mais presentes em fábricas de alimentos é o forno industrial que opera com esteiras ou transportadores. Hyun Suk Ko et al. (2000) descrevem um forno contínuo para a produção de aço. Neste mesmo trabalho é apresentada a modelagem matemática do sistema e o controle preditivo baseado no modelo do sistema. O forno é basicamente um sistema de processo contínuo em que o produto a ser produzido passa por diversas fases de processamento.

A segurança na operação de processos industriais está relacionada ao sistema de detecção de falhas. Aouf e Boulet (2003) apresentam um algoritmo de detecção de falhas num forno industrial através da aplicação do uso de um algoritmo baseado no Filtro de Kalman.

A demanda por redes de comunicação específicas para aplicações em ambientes ruidosos como aqueles encontrados na indústria vem crescendo constantemente. Alguns fatores determinam a viabilidade de uso das redes nos ambientes industriais, sendo eles: estabilidade (redundância de dados e da energia de operação); segurança; robustez e imunidade a ruído; respostas em tempo real; facilidade de operação; escalabilidade para diferentes níveis de segurança e a capacidade de adaptação à infraestrutura disponível no ambiente em que será instalada (HARADA, 2007). Neste trabalho é apresentada uma análise da segurança de redes aplicadas a ambientes industriais.

Apesar da sofisticação dos modelos que descrevem os fornos industriais, em alguns casos podem ser utilizadas técnicas que se aproveitam da expertise dos controladores para sintonizar o sistema no seu ponto de operação.

No trabalho de Min Wu et al. (2009), foi utilizado um controlador difuso para controlar um forno industrial através da atuação nas válvulas de gás do sistema. O retrofit de um sistema complexo como um forno industrial foi descrito no trabalho de Consonno et al. (2014). Assim como no presente projeto, os sistemas originais de automação estavam obsoletos e uma nova proposta de automatização foi formulada a partir da utilização de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs). As normas de segurança foram consideradas no projeto, norteando uma implantação mais moderna. O mesmo roteiro deverá ser seguido no projeto proposto neste trabalho, sendo que deverão ser consideradas as normas NR-10 e NR-12.

Bianco, Romano e Piazzini (2003) apresentam uma estratégia de controle de um forno de biscoitos que possui a mesma conformação geral daquele que será objeto deste trabalho. No caso deste artigo, um sistema de visão artificial é utilizado para analisar características físicas dos biscoitos obtidos na saída do forno. Nesta referência a descrição da operação do processo em si pode ser considerada uma informação importante para o projeto de modernização proposto na parceria entre IFSP Câmpus São Paulo e Biscoitos Bela Vista. Uma vista do forno apresentado no trabalho de Bianco, Romano e Piazzini (2003) pode ser observada na Figura 1. Cabe ressaltar que o forno a ser estudado neste projeto tem as mesmas características daquele apresentado na figura abaixo.



Figura 1: Forno para cozimento de biscoitos  
Fonte: Bianco, Romano e Piazzini (2003)

A sintonia dos controladores responsáveis pelo ajuste da temperatura nas diversas partes de um forno industrial é uma parte importante na fase de conclusão de um sistema de retrofit da automação. No trabalho de Gulpanich et al. (2017) é feita uma descrição detalhada dos ajustes executados através de uma técnica conhecida como Método de Cohen-Coon (Cohen-Coon PID tuning method). Neste trabalho foi utilizado um Controlador programável Siemens S7-300 PLC.

O desenvolvimento de um sistema de interface homem-máquina faz parte de qualquer projeto de automação industrial. A operação do sistema deve ser intuitiva e clara. Para isso, seu desenvolvimento deve considerar as práticas dos operadores, a lógica de operação do processo e outros fatores (YU; LI; XU, 2015). Neste trabalho o sistema incorpora uma interface inteligente que opera de acordo com a experiência prévia dos operadores de um forno industrial.

Esta interface pode ser visualizada na Figura 2. Nela as opções de operação identificadas na entrevista com o usuário foram reunidas com informações ligadas à operação do forno em si.

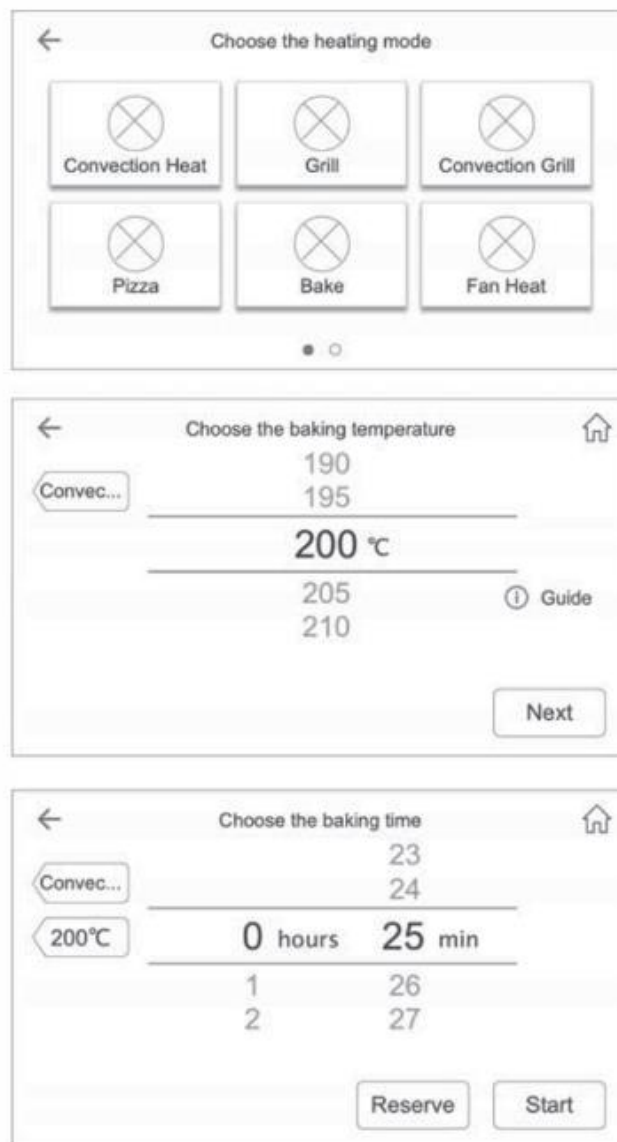


Figura 2: Interface homem-máquina para um forno industrial  
Fonte: YU; LI; XU, 2015

Diversos trabalhos foram utilizados para a construção da proposta deste projeto. Aspectos como segurança, tecnologia de operação, técnicas de controle e automação, projeto de sistemas de interface-homem máquina fazem parte do embasamento teórico considerado. Parte desta pesquisa foi introduzida nos trabalhos acima.

No caso dos biscoitos, especificamente, a matéria prima básica é processada em bateladas (farinha, água, corantes etc.), sendo preparada para colocação no equipamento dispensador que alimentará as esteiras rolantes. As esteiras transportam continuamente os biscoitos crus para os fornos, sendo que o aquecimento gradual possibilita o

cozimento até o ponto desejado. Na saída do forno os biscoitos são avaliados para que seja regulado o processo, ajustando-o para obter produtos com as características desejadas para a espessura, coloração, umidade e massa, por exemplo.

### **A pesquisa: percursos e resultados**

Foi feito o levantamento da extensão do forno elétrico da linha 5, incluindo os equipamentos que fazem parte do seu sistema a fim de se entender como funciona toda a estrutura da produção de biscoitos desde quando a massa laminada entra no forno até o biscoito sair embalado no pacote.

Os componentes do sistema incluem a esteira do forno e a lona de saída do forno (do pulverizador), pulverizador de óleo, lonas de resfriamento, curva 90° e o fim da linha, onde os biscoitos são embalados, que possui detector de metais, arrumador, catadeira, embaladoras etc. São representados na Figura 3, Figura 4 e Figura 5 respectivamente a entrada, comprimento e saída do forno, que é o principal objeto de estudo.



Figura 3: Entrada/Início do forno  
Fonte: Autores



Figura 4: Toda extensão do forno  
Fonte: Autores



Figura 5: Saída do forno  
Fonte: Autores

Após fazer o levantamento de toda a extensão do forno e de seus equipamentos físicos, foi feito um estudo do estado do painel elétrico original (Figura 6), que faz o controle de todos os componentes ditos anteriormente. Foi constatada a existência de

inversores de frequência que fazem o controle dos motores da esteira e das lonas de resfriamento. As velocidades desses motores são controladas através de potenciômetros que ficam na parte frontal do painel e que estão ligados aos inversores. Ainda existem cinco motores que são de partida direta; ficam situados em cada zona do forno e fazem a exaustão de cada uma delas.

Ao total o forno possui quatro zonas, que são as divisões de cada parte do forno em toda sua extensão, e o motor adicional faz a exaustão da parte de saída do forno, totalizando os cinco motores. O controle do forno e da linha de produção não possui nenhum sistema de automação. Atualmente o controle é feito de forma manual, conforme explicado anteriormente.



Figura 6: Painel elétrico que faz o controle do sistema  
Fonte: Autores

Para o pulverizador (Figura 7) e os equipamentos existentes no final da linha (Figura 8) (arrumador, catadeira, detector de metais, etc.), foi constatada a existência de um painel separado para cada. No projeto desenvolvido foi criada a comunicação do painel principal com esses painéis secundários.



Caso tudo fosse integrado no painel principal, seria necessária a instalação de uma extensa rede de fios em longas distâncias, tornando inviável o projeto. Por isso foi decidido propor a comunicação entre esses painéis através de uma solução baseada em redes industriais.

Existem três motores em partida direta, sendo eles: motor do pulverizador, bomba e motor da lona do pulverizador. Neste último será colocado um inversor de frequência para controle da velocidade da lona.

No painel dos equipamentos do final da linha existem três motores com inversor, que são do arrumador, dentinho e catadeira, incluindo o motor do detector de metais que é de partida direta, mas no qual será implementado também um inversor de frequência.

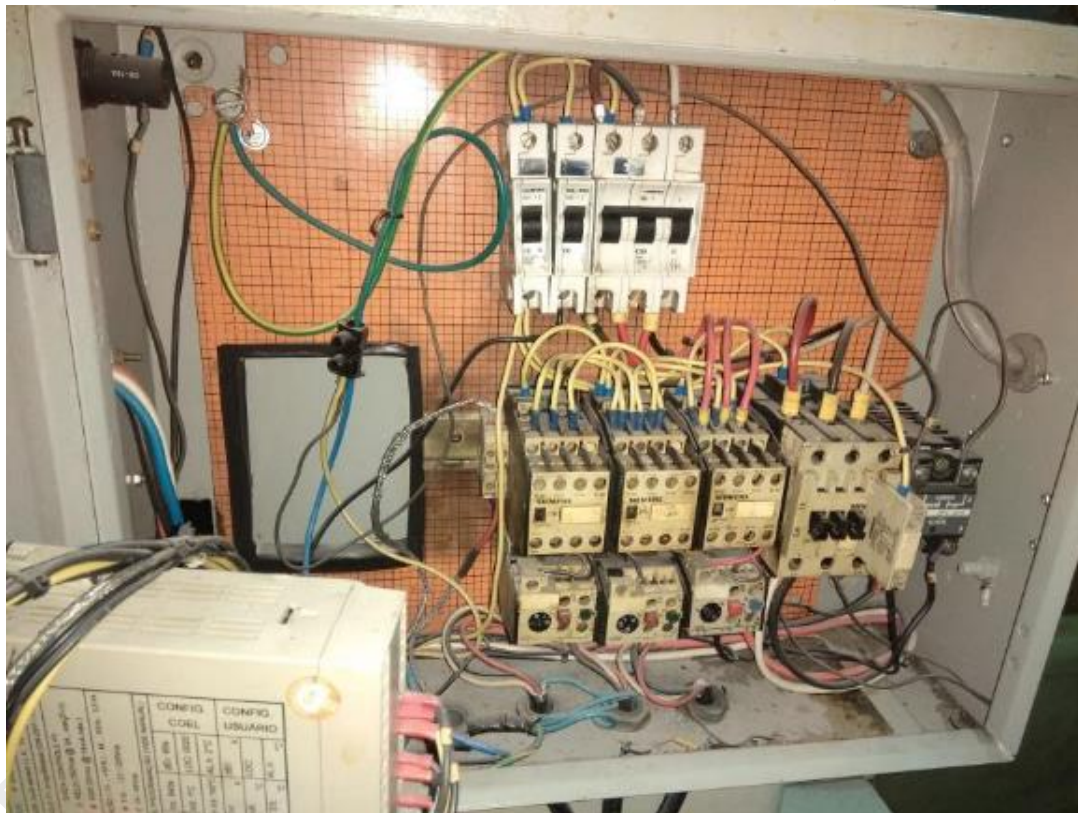


Figura 7: Interior do painel do pulverizador  
Fonte: Autores



Figura 8: Parte interna do painel elétrico do fim da linha 05  
Fonte: Autores

Para melhor entendimento do processo foram elaborados um fluxograma simplificado que apresenta de forma simples e ilustrada a produção de biscoitos (Figura 9) e um fluxograma detalhado (Figura 10) que contém todas as etapas do processo na produção de biscoitos com as melhorias implementadas.

As melhorias devem amparar, principalmente, a segurança dos funcionários que trabalham na linha e a verificação de falhas, como problemas em equipamentos e componentes, que podem ocorrer durante a produção e desencadear ações automáticas do sistema quando ocorrerem esses problemas.

Outra etapa adicionada ao projeto é a programação de receitas de biscoitos que são assados no forno a fim de que o processo seja ainda mais automatizado, diminuindo as possibilidades de erros nos *setpoints* de temperaturas do forno e velocidades da esteira de modo que o biscoito possa sair com a coloração ideal e uniforme.

Ao sistema também foi adicionado um modo para serem acessados pelos funcionários da manutenção, o forno e sua linha. Dessa forma eles terão o controle total do forno e da linha para que possam acionar cada componente e processo individualmente, considerando que em um processo de manutenção será necessário apenas ativar, no sistema, o local onde está sendo feita a manutenção.

A elaboração desses fluxogramas contou com a ajuda dos funcionários da empresa, como encarregados, eletricitistas e, principalmente, dos operadores do forno que lidam diariamente com o sistema e assim puderam explicar cada detalhe da produção e do funcionamento do sistema para serem colocados no estudo.

Um dos objetivos desse projeto é que ele atenda às normas de segurança NR10 e NR12. Em virtude disso foi elaborada a sinalização e determinados os acionamentos de emergência, entre outras exigências em acordo com as normas.



Figura 9: Fluxograma simplificado do processo  
Fonte: Autores

O Fluxograma Detalhado do processo descrito na Figura 10, apresenta as possibilidades de operação implementadas neste projeto. O sistema foi preparado para que seja colocado em operação a partir de características pré-selecionadas, possibilitando uma partida rápida e segura do sistema. O sistema ainda possibilita a adição de receitas e a adoção de medidas que possibilitam a manutenção de todas as partes do conjunto.

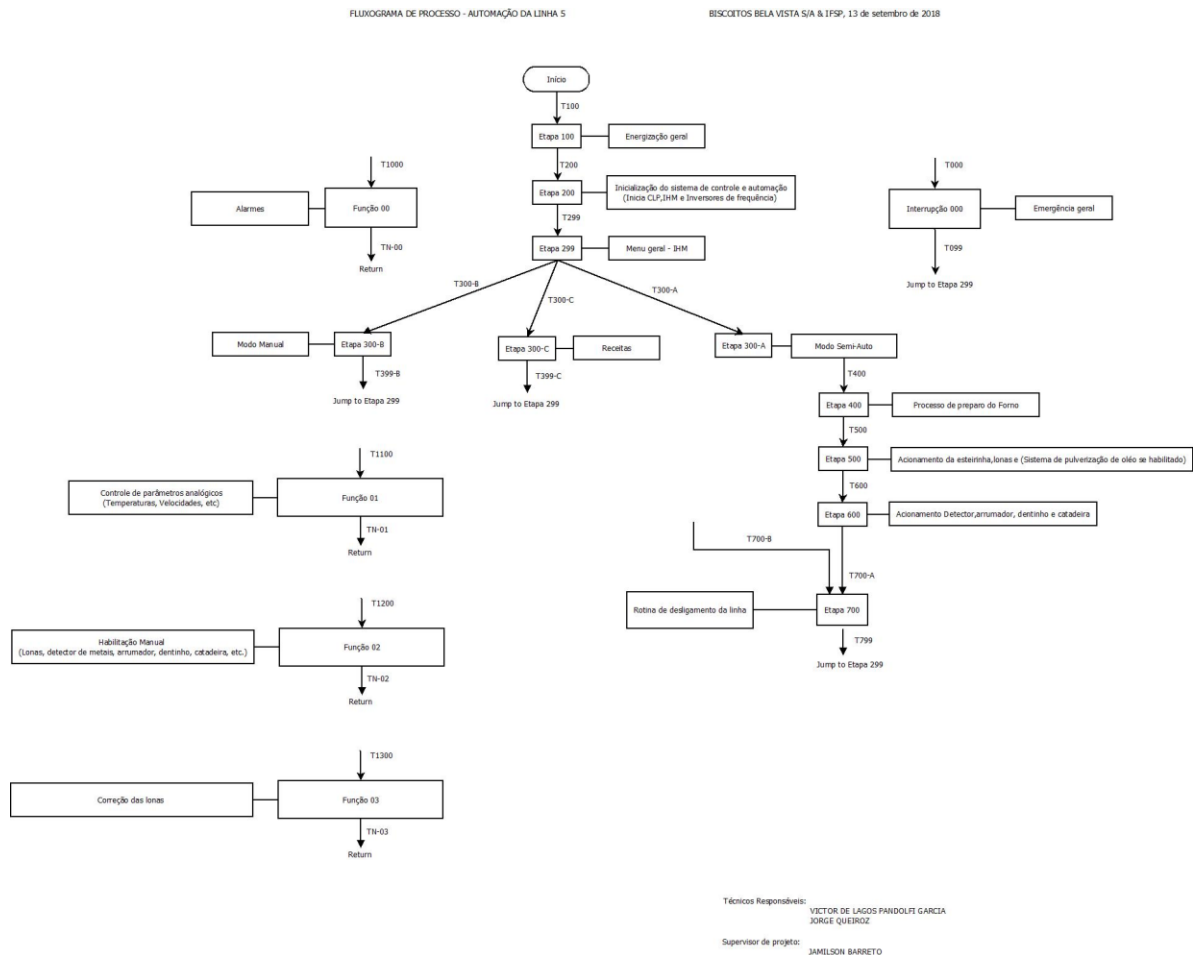


Figura 10: Fluxograma completo do processo com implementações  
 Fonte: Autores

Na detecção de falhas, o sistema tomará ações para que seja mantida a segurança dos funcionários que trabalham na linha, assim como evitando prejuízos na produção. Abaixo são listadas algumas das possíveis falhas. Algumas das falhas listadas já ocorreram em algum momento no sistema desde que foi implementado inicialmente na fábrica.

1. **Exaustão da Zona 01 não funciona:** O monitoramento do funcionamento dos exaustores será feito por pressostatos. Caso exista a parada do exaustor da zona 1, que é o principal para o funcionamento do forno, o pressostato irá enviar o sinal ao CLP da pressão no exaustor que, ao detectar que não está com pressão, realizará o desligamento das resistências do forno.
2. **Esteira do forno não se movimenta:** A verificação dessa falha será feita através do monitoramento da rotação do motor no fim da linha e da coroa da

esteira no início do forno através de *encoders*. Caso não seja detectado sinal de rotação por esses *encoders* (principalmente da coroa, pois caso exista a parada da esteira, a coroa irá parar) então as resistências serão desligadas em todas as zonas para evitar a danificação da esteira ou de mais algum componente do forno.

Foram levantadas ações proibidas relacionadas ao forno, sendo elas:

- Não será permitido o desligamento da esteira do forno com as resistências ligadas (pois danificará a esteira);
- Não será permitido o desligamento das zonas de exaustão (principalmente da zona 1) com as resistências ligadas (pois danificará a esteira);
- Não será permitido o desligamento da esteira com o forno quente (ou temperatura acima do permitido) (pois danificará a esteira).

Todo esse estudo feito no processo e nas limitações de cada componente tornará o sistema mais fluido, evitando: paradas inesperadas que possam prejudicar a produção e acionamentos proibidos que acabem danificando o forno elétrico, a automatização do processo e a determinação da velocidade dos motores, etc.

Os materiais que farão parte do sistema são componentes de comandos elétricos, como contatores, botoeiras, sinaleiros sonoros e visuais, relés térmicos, inversores de frequência, relés de segurança, disjuntores, disjuntores-motor e motores elétricos trifásicos. Serão utilizados também sensores como pressostatos, sensores indutivos para *encoders*, termopares e sensores fotoelétricos do tipo forquilha/garfo.

Para a parte de controle será utilizado CLP da Siemens Modelo S7 – 1200, IHM KTP – 600, incluindo módulos de DI/DO e AI/AO, como também módulos de rede industrial Profibus DP para serem utilizados em rede com os inversores de frequência e módulos descentralizados (que irão ficar nos painéis secundários). Adicionalmente, os seguintes programas computacionais compõem o sistema funcional: sistema operacional Windows e *softwares* como AutoCAD Electrical 16 e TIA portal.

## Considerações finais

O sistema projetado até o momento tem como objetivo geral modernizar o sistema atual, que se encontra defasado. São objetivos específicos do trabalho: impedir que falhas e/ou problemas que já aconteceram durante o tempo de existência da linha de produção se repitam; impedir outros problemas possíveis; automatizar o processo produtivo dentro das limitações existentes na infraestrutura do forno e da linha de produção, que também são antigos, e permitir aumento na produção e qualidade dos biscoitos.

Os próximos passos a serem tomados no estudo são a criação dos diagramas elétricos para serem integrados aos painéis (principal e os secundários) e, finalmente, a simulação no *software* TIA Portal da Siemens, que será essencial para simular todas as etapas do fluxograma, como também as falhas e os problemas listados permitindo a previsão de novos problemas possíveis.

A conclusão do presente projeto permitirá a integração de uma modernização do sistema que se posiciona na região anterior ao forno, que é a laminação das massas. Além disso, pode-se considerar em fases posteriores deverá ocorrer a integração dentro da indústria 4.0 para obtenção de dados do processo produtivo para que possam ser estudados e analisados para melhorar a produção e a qualidade de todos os biscoitos que são fabricados na linha de produção em estudo.

## Referências

ALVES, J. L. L. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

AOUF, N.; BOULET, B. **Fault diagnosis techniques: application to the thermoforming process**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL AND AUTOMATION, 4, 2003, Montreal. Final Program and Book of Abstracts. 2003. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1595089>.

BIANCO, C.G.; ROMANO, M.; PIAZZI, A. **Vision-Based Feedback Control Strategy for industrial band oven**. In: EUROPEAN CONTROL CONFERENCE, 2003, Cambridge. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7085099>.

CONSONNO, F. et al. **Case study: Restoration of a blast furnace stoves safety automation.** In: IEEE, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, 23, 2014, Istambul. 2014. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6864768>.

GULPANICH, S. et al. **PLC-based industrial temperature controller with different response times.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL, AUTOMATION AND SYSTEMS, 17, 2017, Jeju. 2017. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8204291>.

HARADA, M. **Security management of factory automation.** SICE ANNUAL CONFERENCE, 2007, Takamatsu. 2007. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4421488>.

HYUN, S. K. et al. **Modeling and predictive control of a reheating furnace.** In: PROCEEDINGS OF THE 2000 AMERICAN CONTROL CONFERENCE, 2000, Chicago. 2000. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/878704>.

PETRUZELLA, F. D. **Controladores lógicos programáveis.** 4.ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

SEBORG, D. E.; EDGAR, T. F.; MELLICHAMP, D. A. **Process Dynamics and Control.** John Wiley & Sons, 2010.

WU, M. *et al.* Integrated Intelligent Control of Gas Mixing-and-Pressurization Process. **IEEE Transactions on Control Systems Technology**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 68–77, 2009. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4554021>.

YU, Y.; LI, Z.; XU, B. **A research on the design of intelligent oven interface based on the behavior pattern.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMPUTATIONAL INTELLIGENCE, 7, 2015, Wuyi. 2015. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7184760/authors#authors>.

#### **STUDY ON THE MODERNIZATION OF AUTOMATION AND CONTROL SYSTEMS IN AN INDUSTRIAL FURNACE**

##### **ABSTRACT**

*This article is a project that deals with the studies being carried out in the modernization of an industrial furnace in the company CILASI Alimentos S.A. in a partnership made possible by the Innovation Notice 268/2018. The area of control of industrial processes involves diverse topics, such as automation, instrumentation, security, electrical installations and the process itself. In the case of this application, a study was carried out for the modernization of the automation systems of an industrial furnace currently in use (Furnace 5) for the production of biscuits. Several recent technologies allow for gains in the operation of production systems. The project consists of the survey of the equipment currently used in the furnace automation, as well as in*

*the study of the production process. It is intended to detail the current state of the process and to elaborate a modernization plan that guarantees a more effective follow-up of the process, increasing the safety in its operation. The study is based on references from the area of process control and automation, as well as on patent documents of devices used in this type of application. At the end of the project, it is intended to have a document describing the best options for process automation, in view of the objective detailed above.*

**Keywords:** automation; process control; furnace control; security; electrical installations.

Envio: dezembro/2018  
Aceito para publicação: março/2019