

# Controle de Operações em Secadores de Grãos com Redução do Consumo de Recursos Naturais

Lucas Schmidt<sup>1</sup>, Mainara C. Lorencena<sup>1</sup>, Marcelo Teixeira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Caixa Postal 571 – 85.503-390 – Pato Branco – PR – Brasil

schmidt.luc@gmail.com, mainaralorencena@gmail.com,  
marceloteixeira@utfpr.edu.br

**Abstract.** Soybean production is one of the major economic activities in the South of Brazil, and there are constant efforts to increase productivity and product quality. Accordingly, the drying process becomes critical. This paper presents the development of a control and operation system for grain dryers, in order to ensure adequate temperature levels and a reduction in the spend of natural resources, as well the integration of all the subsystems of the dryer into a single controller. The system control of the dryer is done through a Programmable Logic Controller, and the user interface is accomplished through a graphical touch screen. A case study in a mixed flow dryer produced by Kepler Weber Company illustrates the approach.

**Resumo.** A produção de soja é uma das principais atividades econômicas da região sul do Brasil, e os esforços para o aumento da produtividade e da qualidade do produto são constantes. Neste sentido, o processo de secagem de grãos se torna fundamental. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de controle de operações para secadores de grãos, visando garantir os níveis adequados de temperatura e a redução do consumo de recursos naturais além da integração de todos os subsistemas do secador em um único controlador. O gerenciamento dos sistemas é feito através de um Controlador Lógico Programável, e a interface com o operador é realizada por meio de uma tela gráfica sensível ao toque. Um estudo de caso em um secador de fluxos mistos produzido pela empresa Kepler Weber ilustra a abordagem.

## 1. Introdução

A agricultura tem tido, ao longo dos séculos, um destaque significativo na economia mundial, e o Brasil vem assumindo posição de grande notoriedade nesse segmento. A estimativa de 2016, para a safra nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas, totalizou 210,7 milhões de toneladas, 0,6% superior à obtida em 2015 (209,5 milhões). A estimativa da área a ser colhida é de 58,5 milhões de hectares, apresentando acréscimo de 1,3% frente à área colhida em 2015 (57,7 milhões). O arroz, o milho e a soja são os três principais produtos deste grupo, que, somados, representaram 92,7% da estimativa da produção e responderam por 86,3% da área a ser colhida [IBGE 2016].

Com o aumento constante da produção, surge a necessidade da modernização e expansão das unidades de armazenamento [Weber 1998]. Com o objetivo de manter a qualidade do produto, a ação pós-colheita mais importante é a secagem [Ribeiro 2005].

Este processo consiste na remoção da água contida no produto até que esse atinja um teor de umidade que permita sua armazenagem durante longo período de tempo, sem que ocorra deterioração [Weber 2005].

O grão seco, quando processado de maneira controlada, traz diversas vantagens ao sistema produtivo, dentre elas a diminuição do peso e do volume; a facilidade de transporte; a preservação das características organolépticas e nutritivas; dificulta a ação de microrganismos; e agrega um período de conservação mais longo [Borges 2002].

Porém, durante o processo de secagem, alguns cuidados operacionais são elementares. Uma secagem muito rápida, por exemplo, pode danificar internamente as sementes, alterando diretamente a sua qualidade. Por outro lado, uma secagem lenta prejudica a eficiência do processo, além de ser uma alternativa propensa a aumentar o consumo de recursos naturais usados nesse processo [Weber 1998].

Os modelos mais utilizados para a secagem de produtos agrícolas têm como base o deslocamento do fluxo de ar, geralmente aquecido, através da massa do produto. Na prática, esse procedimento é conduzido por um operador que é responsável por avaliar o andamento do processo e tomar as ações necessárias para assegurar um resultado satisfatório, o que compõe uma alternativa ineficiente e propensa a erros.

A energia empregada na secagem é proveniente da queima combustível, dentre eles a lenha, que tem sido a mais utilizada no Brasil, principalmente devido ao custo inferior quando comparada com outras opções, como o óleo diesel e o GLP [Silva 2004], [Magalhães 2007]. Nesse sentido, tem sido recorrente a preocupação com a procedência, manutenção e redução do consumo desse recurso natural como fonte energética. Uma alternativa seria explorar as condições operacionais da secagem, melhorando o controle da temperatura e do fluxo de ar [Rodrigues 2010] [Weber 1998].

Este artigo desenvolve um sistema de controle para as operações de secadores de grãos, integrando todos os subsistemas do secador em um único controlador. A proposta tende a melhorar o processo, uma vez que identifica e corrige em tempo real os parâmetros do sistema. A integração favorece também a manutenção dos níveis adequados de temperatura. Como consequência, a proposta promove o consumo racional do recurso natural, baseando a queima de combustível nos parâmetros do sistema em tempo real, e não mais na experiência do operador.

O restante do documento é assim estruturado: a Seção 2 introduz os conceitos fundamentais acerca do funcionamento dos secadores de grãos e de seus dispositivos de controle, a Seção 3 descreve o sistema proposto, a Seção 4 apresenta o protótipo implementado, a Seção 5 traz as conclusões e a Seção 6 as referências.

## **2. Secagem de grãos**

Neste capítulo são apresentados os princípios de funcionamento dos secadores de grãos, e dos dispositivos utilizados para o controle destes. Será adotado, a fim de exemplificação e também para a realização do estudo, o grão de soja.

### **2.1. Processo de secagem**

Secagem é a operação que tem por finalidade reduzir o teor de umidade do produto a nível adequado a sua armazenagem por um período prolongado [Silva 2004]. Ou seja, é o processo de transferência simultânea de energia (calor) e massa (água) entre o produto

e o ar de secagem, até que haja equilíbrio com o ar ambiente de onde o grão será armazenado, preservando sua qualidade. É uma das primeiras ações pós-colheita, com o objetivo de preservar a qualidade do grão. Entretanto, o processo de secagem possui um custo elevado, tanto para a implantação do sistema como também para a operação, devido à grande quantidade de energia consumida para realizar a secagem [Weber 2005].

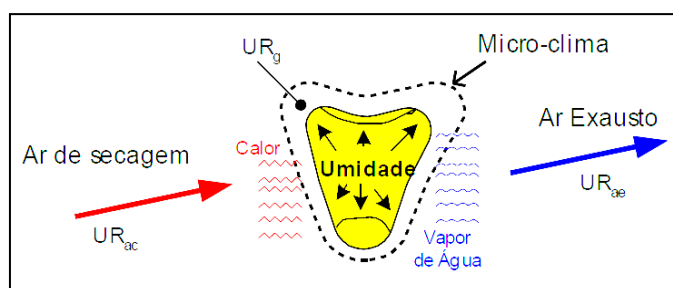
Sobre a superfície do grão é estabelecida uma camada de ar que constitui um microclima, que possui suas condições de estado reguladas pela temperatura e umidade do produto. Uma das propriedades desse microclima é a umidade relativa. Da mesma forma, o ar que circunvizinha o produto também possui sua umidade relativa, que está relacionada com a quantidade de água diluída no ar [Silva 2004] [Weber 1998].

Dessa forma, o sentido e a intensidade do fluxo de vapor de água, entre o produto e o ar, são estabelecidos de acordo com a diferença dos valores de umidade relativa entre o ar do microclima sobre os grãos, e do ar de secagem que circunvizinha o grão, i.e.,  $U_{Rg} - U_{Ra}$ . O sentido do fluxo de vapor ocorre do ponto com maior umidade relativa para o de menor.

Portanto, para que ocorra a secagem do produto é necessário que a umidade relativa do ar de secagem seja menor que a umidade do grão. Para se reduzir a umidade do ar de secagem este deve ser aquecido.

O processo de secagem ocorre em três etapas conforme ilustra a Figura 1 [Silva 2004]:

- 1) O ar de secagem cede calor ao grão, o que faz com que a umidade contida dentro do grão passe para o microclima, assim aumentando a umidade relativa do ar ( $U_{Rg}$ );
- 2) Sendo a umidade relativa do ar do microclima maior que a do ar de secagem ( $U_{Rg} > U_{Ra}$ ), ocorre a transferência da umidade presente no microclima para o ar de secagem;
- 3) Como o ar de secagem transferiu calor para o grão e recebeu dele umidade, sua temperatura diminui e sua umidade relativa aumenta. Esse ar é então exausto, renovando o ar de secagem e dando continuidade ao processo de secagem do grão.

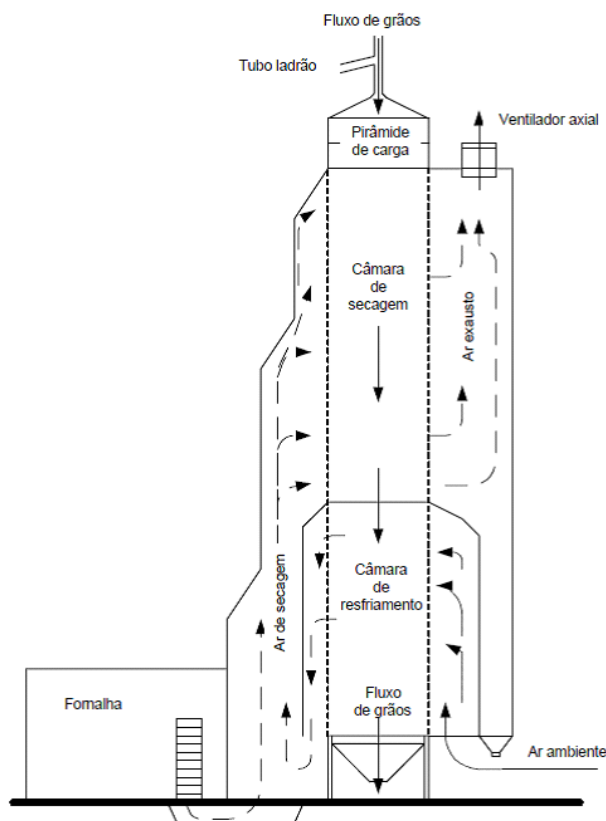


**Figura 1. Processo de secagem [Silva 2004]**

Para que se obtenha o resultado esperado nesse processo de secagem, é conveniente que os grãos sejam dispostos de uma forma tal que favoreça o fluxo de ar aquecido pela massa de grãos. A arquitetura de secador mais utilizada nas unidades brasileiras é denominada de *fluxos mistos* ou do *tipo cascata*.

## 2.2. Secadores de fluxos mistos

Este modelo é o mais utilizado nas unidades de armazenamento brasileiras, encontrado comercialmente com capacidades de secagem de 15 a 250 toneladas por hora. São constituídos por uma torre central montada pela superposição vertical de *caixa dutos*. Uma caixa duto é formada por dutos montados em uma fileira horizontal. A Figura 2 mostra o esquema de funcionamento deste tipo de secador.



**Figura 2. Secador de fluxos mistos [Silva 2004]**

A câmara de secagem ocupa cerca de 2/3 da torre do secador. O ar de secagem entra pelo lado esquerdo a uma temperatura que varia de 60 a 100°C, e segue o seu fluxo pelo lado direito saindo pelos exaustores. O ar sai com uma temperatura de aproximadamente 7°C acima da temperatura ambiente. O 1/3 inferior da torre do secador é destinado à câmara de resfriamento, que tem a função de retirar o calor excedente da massa de grãos deixando-a com uma temperatura próxima da ideal para a armazenagem.

A fornalha é a parte do secador destinada à queima completa de lenha, garantindo o aproveitamento da energia térmica liberada da combustão, com o melhor rendimento possível.

### **2.3. Alimentador automático de lenha**

Os alimentadores automáticos de lenha para fornalha são esteiras movidas por um motor elétrico, que lançam a lenha dentro da câmara de combustão. A Figura 3 mostra uma foto de um secador provido de alimentador automático de lenha.



**Figura 3. Alimentador automático de lenha**

O sistema conta com um quadro de comando para a operação do alimentador. Este quadro possui dois modos de operação: Manual e Automático, selecionados através de uma chave. Se a chave de seleção estiver no modo manual, o acionamento do motor elétrico que movimenta a esteira é realizado acionando um botão de impulso.

No modo automático, o acionamento da esteira é feito através de um controlador eletrônico que, com base em uma temperatura de referência, faz o acionamento do alimentador.

Esse sistema considera a leitura de apenas um sensor para determinar o acionamento da esteira, lançando na fornalha uma quantidade predeterminada de lenha. Além de permitir que, em regime de operação, o alimentador seja acionado manualmente, gerando consumo desnecessário do recurso natural.

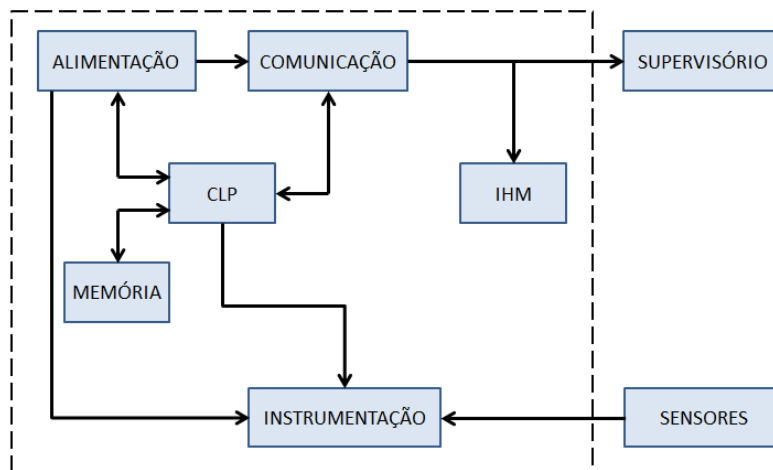
No sistema proposto, com a integração dos subsistemas, pretende-se fazer com que a decisão de alimentar a fornalha ou não, e com que quantidade de lenha, seja definida com base em mais informações. Deve-se também impedir o acionamento manual da esteira quando em operação.

### **3. Sistema proposto**

Como visto nas seções anteriores, no sistema atual, os módulos de controle operam separadamente e com acionamento independente, sem considerar o estado dos demais equipamentos. Essa condição deixa o sistema vulnerável, uma vez que fica dependente da supervisão e intervenção do operador.

Nesse sentido, o sistema proposto consiste, basicamente, na centralização do controle do secador em um único dispositivo, implementando métodos de controle mais eficazes, simplificando a operação do sistema, e assim minimizando a possibilidade de falhas. Com a integração dos subsistemas e a utilização de um CLP (Controlador lógico programável) para o processamento, é possível bloquear a ocorrência de situações indesejadas, condicionar a operação dos subsistemas, emitir relatórios, alertas sonoros, além de tornar o sistema mais robusto. A provisão de uma interface gráfica torna a interação com o sistema mais amigável, e permite a emissão de mensagens de alarmes e falhas. Um sistema supervisão viabiliza o monitoramento remoto do processo.

A Figura 4 apresenta o fluxograma geral de funcionamento do sistema proposto.



**Figura 4. Fluxograma geral de funcionamento**

A alimentação do equipamento é trifásica, na tensão de 380 V / 60 Hz. O processamento dos dados e o controle dos sistemas é feito através de um CLP (Controlador Lógico Programável). A interface com o operador é realizada através de uma IHM (Interface Homem Máquina) *touch screen*, além de um supervisório, através do qual é possível acessar o sistema de um computador remoto.

A comunicação entre CLP, IHM, inversores de frequência e supervisório é realizada através do protocolo Modbus, utilizando como meio físico uma rede Ethernet e serial RS485. Os principais dados de operação do sistema, como, por exemplo, as temperaturas e os horários de acionamento dos motores, são armazenados em um cartão de memória.

As principais variáveis de entrada do sistema são:

- Botoeiras de comando;
- Sensor de nível máximo do produto no secador;
- Sensor de nível mínimo do produto no secador;
- Confirmação do acionamento dos motores;
- Contatos de falhas dos motores;
- Sinal de bloqueio da descarga do secador;
- Sensores de temperatura
- Sensores de pressão e umidade (opcionais);
- Botoeiras de emergência.

Os sistemas a serem controlados são:

- Alimentador automático de lenha;
- Ventilador de combustão;
- Descarga;
- Veneziana da fornalha.

### **3.1. Controlador lógico programável**

O CLP utilizado é o CLP SIEMENS, série SIMATIC S7 1200, modelo CPU1214C. Este CLP possui característica modular e tem quatorze entradas digitais, duas entradas analógicas e dez saídas digitais a relé [SIEMENS 2013].

O software utilizado para o desenvolvimento do programa do CLP é o *Step 7*, presente no TIA (*Totally Integrated Automation*) da SIEMENS. A linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento do projeto é a linguagem *Ladder*.

### 3.2. Interface homem máquina

A IHM escolhida para o desenvolvimento do sistema é a Weintek MT8070iE [Weintek 2013]. Esta é composta por um display sensível ao toque, colorido, de alta resolução e de 7 polegadas. Possui interfaces seriais, USB e Ethernet, com arquitetura baseada em PCs especialmente projetada para ambientes industriais.

O software da IHM é baseado no sistema operacional Linux e utiliza uma ferramenta de desenvolvimento gratuita que permite a construção de telas com animações, gráficos, alarmes e ainda reproduzir arquivos de áudio e vídeo. O pacote de software oferece ainda um simulador para depuração dos projetos no PC sem a utilização de uma IHM física.

O programa da IHM foi desenvolvido utilizando a ferramenta EasyBuilder. A Figura 5 mostra a tela principal do sistema desenvolvido.



Figura 5. Tela principal da IHM

### 3.3. Sensores

Em secadores de grãos, são basicamente duas as grandezas a serem mensuradas: temperatura e nível.

O sensor comumente utilizado nos secadores para medir temperatura é o termopar tipo K, que é composto pela junção Chromel (Ni90%Cr10%) e Alumel (Ni95%Mn2%Si1%Al2%). Este termopar pode ser utilizado para a leitura de temperaturas de -270 a 1200 °C, e possui uma sensibilidade de aproximadamente 41  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .

Para o sensoriamento de nível de grãos, destaca-se o sensor de nível rotativo, devido a seu grande emprego em unidades de beneficiamento de grãos. O sensor de nível rotativo é um sensor de contato [NBRtec 2016].

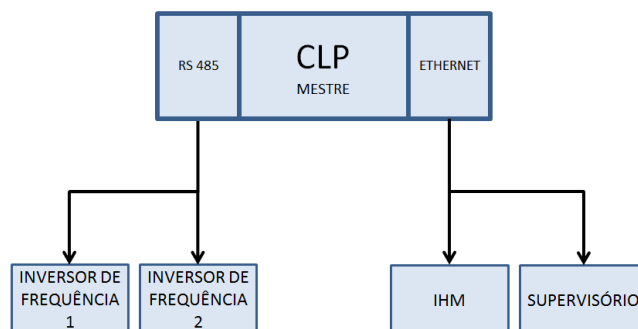
### 3.4. Instrumentação

Para a realização da leitura dos sensores de temperatura, utilizou-se o módulo Transmissor TxRail [Novus 2014], juntamente com um circuito multiplexador. Este módulo realiza a conversão do sinal recebido do termopar em um sinal proporcional de 0 a 20 mA, que é lido por uma entrada analógica do CLP. O sinal dos quatro termopares

passa por um multiplexador, e as leituras de cada sensor são tratadas através do software.

### 3.5. Comunicação

Nesta aplicação, o protocolo de comunicação utilizado para estabelecer a troca de dados entre CLP, IHM, inversores de frequência e supervisor é o Modbus. O meio físico para a realização da comunicação, pode ser visualizado na Figura 6.



**Figura 6. Comunicação**

### 4. Protótipo

Vencidas as etapas de desenvolvimento de software e hardware, o projeto foi implementado. O protótipo do quadro de comando foi montado em um painel de 600x800mm. A Figura 7 mostra o protótipo em fase de montagem.



**Figura 7. Protótipo em fase de montagem**

Com o objetivo de verificar o funcionamento do equipamento, foram realizados os testes preliminares. A Figura 8 mostra o quadro sendo testado em bancada.





**Figura 8. Protótipo em fase de testes**

Inicialmente, verificou-se o funcionamento individual de cada subsistema do painel, como a comunicação com os inversores de frequência e com a interface, a leitura das temperaturas, o acesso aos dados através da rede Modbus, e a gravação dos dados no cartão de memória. Após esta etapa, iniciaram-se os testes relacionados ao controle dos sistemas do secador, ou seja, controle do alimentador de lenha, descarga de produto, veneziana da fornalha e ventilador de combustão.

O sistema foi simulado a fim de verificar o seu comportamento sob controle antes da implementação sobre o sistema real. O comportamento simulado se mostrou em conformidade com o conjunto de especificações.

## **5. Conclusões**

Do ponto de vista de projeto, foi possível desenvolver um sistema de controle para secadores capaz de disponibilizar em um único equipamento a operação de todos os subsistemas de um secador.

De forma geral, a utilização de um CLP para a realização do controle das ações do sistema tornou a operacionalização mais eficiente, reduzindo a probabilidade de erro na operação. As ações de controle não dependem mais da influência do operador. O controle do carregador automático evita o desperdício de lenha, já que promove o carregamento uniforme, apenas na quantidade necessária para manter os níveis adequados de temperatura. Estas podem ser destacadas como as principais vantagens do sistema proposto.

Uma vez que os locais onde estes equipamentos são instalados, quase sempre, estão expostos à má qualidade de energia elétrica, além de interferências mecânicas, como vibração e poeira, a utilização do CLP tende a minimizar os problemas derivados dessas condições adversas.

A interface do sistema apresentou-se bastante amigável e intuitiva, o que tornou o equipamento de fácil operação. A comunicação via Modbus, funcionou satisfatoriamente e possibilitou o compartilhamento dos dados de forma fácil e rápida.

Foram implementados no sistema, tanto no software quanto no hardware, medidas de segurança que poderão diminuir os problemas relacionados a erros de operação e acidentes de trabalho.

## 6. Referências

- Borges, P. A. P. “Modelagem dos Processos Envolvidos nos Sistemas de Secagem e Armazenamento de Grãos”, (2002). Tese, (Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS).
- IBGE, “Indicadores-Estatísticas da produção agrícola”, (2016). [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/estProdAgr\\_201601.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201601.pdf), Outubro.
- Magalhães, E. A. “Desenvolvimento e análise de uma fornalha para aquecimento direto e indireto de ar utilizando biomassa polidispersa”, (2007). Tese, (Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG).
- NBRTEC “Indústria de Equipamentos Elétricos Ltda”. [www.nbrtec.com.br/site/](http://www.nbrtec.com.br/site/).
- NOVUS. “Manual Instruções V1.2x D. Transmissor de temperatura TxRail 4-20 mA”, (2014).
- Ribeiro, D. M. “Análise da Variação das Propriedades Físicas dos Grãos de Soja Durante o Processo de Secagem”. Artigo Publicado na Revista: Ciência e Tecnologia de Alimentos 25(3), julho de 2005, p. 611 – 617.
- Rodrigues, C. L. C. “Desenvolvimento de um Sistema Automático para um Secador de Produtos Agrícolas”, (2010). Tese, (Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade de Viçosa, Viçosa, MG).
- SIEMENS, SCE Training Curriculum for Integrated Automation Solutions: Totally Integrated Automation (TIA) SIMATIC S7-1200. 2013.
- Silva. L. C. “Secagem de Grãos”, (2005). Artigo Publicado na Revista: Grãos Brasil: Da Semente ao Consumo, Ano III, no XIV, maio de 2004, p. 10 -14.
- Weber, E. A. “Armazenagem agrícola”, (1998). 2.ed., Porto Alegre: Kepler Weber, 400p.
- Weber. E. A. “Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos”, (2005). Canoas: Salles.
- WEINTEK, EasyBuilder Pro User Manual. V. 4.10.01. 2013.