CONTROLES AUTOMÁTICOS APLICADOS À FABRICAÇÃO DO AÇÚCAR CRISTAL: LEVANTAMENTO DO ESTADO DA ARTE

AUTOMATIC CONTROL APPLIED TO DIRECT WHITE SUGAR MANUFACTURING: SURVEY OF THE STATE OF THE ART

Carlos Fernando Valente Santos [1]
Marcelo Giroto Rebelato [2]
Leonardo Lucas Madaleno [3]
Andréia Marize Rodrigues [2]

Resumo

Este artigo tem por objetivo apresentar o estado da arte da automação na fabricação do açúcar cristal no nível do chão de fábrica (nível das máquinas e dispositivos de fabricação), elucidando a lógica de funcionamento dos principais controles aplicados nas etapas sequenciais do processo produtivo, identificando quais os dispositivos utilizados e as tendências futuras para a automação em geral na fabricação sucroenergética. Para isso, foram realizadas entrevistas semi-estruturadas com dezoito especialistas em automação e em processos sucroenergéticos oriundos de onze empresas brasileiras situadas na região sudeste. Conclui-se que, modernamente, a automação da indústria de açúcar está crescentemente baseada na eletrônica digital em substituição à antiga eletrônica analógica. Todos os pontos críticos na fabricação do açúcar, em uma planta sucroenergética, são alvo de controles automatizados. Controlam-se atualmente todas as variáveis importantes junto a cada etapa produtiva por meio dos controladores lógicos programáveis (*PLCs*) instalados juntamente a sensores, conversores e atuadores. Em termos de automação observam-se algumas tendências principais entre as usinas: 1) a adoção do gerenciamento das plantas por meio dos Centros de Operações Integradas (COIs); 2) a verticalização física e lógica das plantas a partir da conexão do nível de automação com o nível de gestão corporativa; 3) a adoção de *softwares* de gerenciamento de ativos no monitoramento da condição dos diversos sistemas de controle; 4) a adoção de testes de simulação do sistema de automação como meio para aperfeiçoar os processos e prever falhas operacionais; 5) a adoção soluções em instrumentação *wireless*, a qual possibilita maior flexibilidade e menores custos de instalação e operação na instrumentação.

Palavras-chave: Automação. Indústria de açúcar. Controladores lógicos. Sensores. Conversores. Atuadores.

[1] Graduado em Administração pela FCAV – UNESP de Jaboticabal - carlosvalente87@gmail.com
[1] Doutor em Engenharia Mecânica pela EESC - USP - Docente da UNESP de Jaboticabal – mgiroto@fcav.unesp.br
[1] Doutor em Agronomia pela FCAV-UNESP de Jaboticabal- Docente da Fatec de Jaboticabal – leonardo.madaleno@fatec.sp.gov.br
[1] Doutora em Engenharia Mecânica pela EESC – USP - Docente da UNESP de Jaboticabal – andreiamarize@fcav.unesp.br

Abstract

This article aims to present the state of the art of automation in the manufacturing of direct white sugar in the factory floor level (level of machines and manufacturing devices), elucidating the logic operation of the main controls used in sequential steps of the production process, identifying the devices and future trends for general automation in sugar energy manufacturing. For this, semi-structured interviews were conducted with eighteen experts in automation of sugar processing derived from eleven Brazilian companies located in the southeastern region. We conclude that, lately, the automation of the sugar industry is heavily based on digital electronics, because this technology is more reliable and accurate than the old analog control technology. Through the programmable logic controllers (PLCs) installed along the sensors, converters and actuators, it is currently possible to control the important variables along every step of sugar manufacturing.

Key-words: *Automation. Sugar industry. Logics controllers. Sensors. . Converters. Actuators.*

1 Introdução

O eixo da modernização da automação industrial no setor sucroenergético, a partir de meados dos anos de 1980, tem sido a utilização de equipamentos de controle microeletrônico nos processos de fabricação. Com o aumento do poder de processamento dos microcomputadores, observa-se a tendência de crescente obsolescência da instrumentação industrial pneumática analógica em substituição gradual pela instrumentação eletrônica digital (ABARCA, 2010). A eletrônica digital está alterando a vida, as relações das pessoas e das empresas. Através de procedimentos de conversão matemática, consegue-se hoje transformar as informações contidas em textos, imagens, sons, vídeos, movimentos, sensações e sinais analógicos em energia (elétrica, eletromagnética, etc.). Essa transformação, que passa pela codificação dos dados em *bits* e *bytes* permite que as informações sejam armazenadas em pequenos recipientes (mídias) eletrônicos, processadas com extrema rapidez e transmitidas a qualquer parte do mundo nas mesmas velocidades que o som ou a luz se propagam (KALLAJIAN, 2012).

Na eletrônica digital o sinal varia bruscamente, pois não existem sinais intermediários entre o seu valor máximo e seu valor mínimo. Trata-se de uma onda quadrada interpretada em códigos binários (0 e 1). Já na eletrônica analógica o sinal pode passar por todos os valores intermediários possíveis (infinitos) entre o máximo e o mínimo de uma onde senóide. Entretanto, são os sinais digitais que permitem que os dados possam ser processados e armazenados de maneira mais eficiente e confiável.

O incremento da funcionalidade dos microprocessadores aliado à adoção de melhores métodos de codificação digital permitiram aos fabricantes de *softwares* o desenvolvimento de bancos de dados cada vez mais poderosos, sistemas operacionais mais rápidos e flexíveis e de redes locais. Isto permitiu a criação dos chamados Centros de Operações Integradas (COIs), os quais incorporam, em uma única sala, as decisões sobre os diversos setores de operação e manutenção de uma usina sucroenergética, permitindo enorme integração entre os gestores de cada área industrial. Observa-se, desta forma, que muitas plantas do setor sucroenergético têm implantado os sistemas integrados de controle de processo por conta da enorme facilidade para aquisição no mercado de *softwares* e *hardware* de alto desempenho (RODEGHER, 2011).

Embora tenha as suas particularidades e meios próprios para seu desenvolvimento, a automação industrial na indústria sucroenergética ao mesmo tempo em que influencia, se respalda na evolução natural da automação industrial em geral. Novas fronteiras são abertas todos os dias, seja por meio de novos protocolos de comunicação industrial, normas regulamentadores ou de novas tecnologias, como a comunicação *wirelles*. Desta forma, para o setor, o diferencial competitivo pode se manifestar na substituição dos tradicionais sistemas analógicos por processos digitais e na integração entre as várias áreas da planta tradicionalmente operadas como ilhas isoladas (VALETE, 2008).

A partir do exposto, o problema a ser tratado neste artigo é responder à questão: em um setor estratégico como o sucroenergético, qual o estado da arte da automação, no nível do chão de fábrica (nível das máquinas e dispositivos de fabricação), na produção de açúcar no Brasil? Desta forma, o objetivo do trabalho é identificar e elucidar a lógica de funcionamento dos principais controles automáticos aplicados na etapa industrial da fabricação de açúcar do setor sucroenergético brasileiro, identificando também as tendências futuras da automação no setor sucroenergético.

O conhecimento sobre o atual estado da arte da automação na fabricação de açúcar, suas aplicações e tendências futuras é, nos dias atuais, restrito ao âmbito das empresas fornecedoras de soluções, porém de maneira dispersa. Reunir o conhecimento do estado da arte para a indústria da automação açucareira, considerando ser este um mercado largamente pulverizado, permite uma visão mais ampla do setor para uma melhor avaliação do atual *status* tecnológico e dos seus impactos no desempenho fabril. Aspectos econômicos são afetados, já que a conjuntura tecnológica tem efeitos sobre a produtividade, a qualidade e a rentabilidade do setor. Por outro

lado, aspectos sociais são também envolvidos, pois a tecnologia molda o perfil do profissional que irá lidar com sistemas cada vez mais complexos, demandando maior nível de escolaridade e conhecimento, impactando na renda e no perfil social.

2 Metodologia

Este é um estudo qualitativo de fim exploratório. É ao mesmo tempo descritivo e explicativo, pois expõe as características do fenômeno objeto do estudo e simultaneamente desenvolve as justificativas que os motivam (CERVO; BERVIAN, 2002). Por meio de uma pesquisa de campo (MORESI, 2003), investigaram-se com especialistas na produção sucroenergética os controles presentes em cada um dos subprocessos que compõem a fabricação do açúcar. Através de entrevistas semi-estruturadas (RICHARDSON, 1985; APPOLINÁRIO, 2006), foi aprofundada a análise e captaram-se os dados de maneira ampla para a compreensão do estado da arte na automação industrial da fabricação ao açúcar. A cada especialista entrevistado foi perguntado: a) quais os mais modernos controles que podem ser aplicados em cada etapa da fabricação do açúcar? b) quais as suas finalidades? c) quais os seus princípios de funcionamento? d) quais os instrumentos utilizados?

No levantamento foram entrevistados dezoito especialistas provenientes de empresas fornecedoras de produtos para automação em processos sucroenergéticos provenientes de onze empresas brasileiras situadas na região sudeste. A Tabela 1 traz a relação de especialistas entrevistados, as respectivas formações, experiências profissionais e área de atuação.

TABELA 1: Especialistas entrevistados

Especialista	Formação	Experiência Profissional	Área
1	Engenheiro Eletrônico	11 anos	Projetos para açúcar e etanol
2	Engenheiro de Processos	15 anos	Sistemas supervisórios
3	Técnico em Instrumentação	12 anos	Startup e Assistência Técnica
4	Engenheiro de Processo	7 anos	Projetos Contínuos e Discretos
5	Técnico em Automação	3 anos	Sistema supervisórios
6	Engenheiro Elétrico	8 anos	Projetos para açúcar e etanol
7	Engenheiro Elétrico	17 anos	Treinamentos em Automação
8	Engenheiro de Processos	11 anos	Assistência Técnica e Treinamento

9	Técnico em Automação	15 anos	Empresa de atuação no setor sucroenergético
10	Técnico em Automação	12 anos	Desenvolvimento de Negócios e Projetos de Automação
11	Técnico em Automação	9 anos	Assistência Técnica e Orçamentos
12	Engenheiro Industrial	14 anos	Gerenciamento de Projetos
13	Engenheiro Eletrônico	15 anos	Desenvolvimento em sistemas supervisório
14	Técnico em Automação	16 anos	Assistência Técnica
15	Engenheiro Eletrônico	6 anos	Soluções ERP para usinas sucroenergéticas
16	Técnico em Automação	9 anos	Projetos Contínuos e Discretos
17	Engenheiro de Mecatrônica	10 anos	Desenvolvimento de lógicas de programação
18	Engenheiro de Processo	13 anos	Projetos para açúcar e etanol

Fonte: Autoria Própria (2012)

Para a realização deste estudo determinou-se que a análise do estado arte na automação da fabricação do açúcar seria enfocada a partir do processo de tratamento do caldo até a secagem dos cristais de açúcar. É na etapa de clarificação que se define o tipo de açúcar que será produzido, que pode ser VHP (*Very High Polarization* - uso de caleagem e polímeros), cristal (uso de sulfitação, caleagem e polímero) ou outros. Após o processo de clarificação do caldo, os equipamentos são muito semelhantes para o restante do processo da fabricação do açúcar, permitindo que se utilizem os mesmos controles automáticos**.**

O nível de automação enfocado pelo trabalho está situado na parte industrial, envolvendo sistemas de controle e supervisão, controladores e equipamentos de campo. A área industrial é onde as operações produtivas realmente ocorrem, desde o recebimento da cana de açúcar até o produto final. Desta forma, retrata-se aqui a automação no nível do chão de fábrica, onde estão instalados os transmissores, elementos finais de controle, controladores e outros dispositivos que atuam direta ou indiretamente no controle do processo. Os dados sobre o processo são transmitidos por estes equipamentos até o COI onde ocorre o controle geral de toda a área industrial e onde são gerados dados para os níveis gerenciais e corporativos da usina.

3 Controle automático de processos produtivos

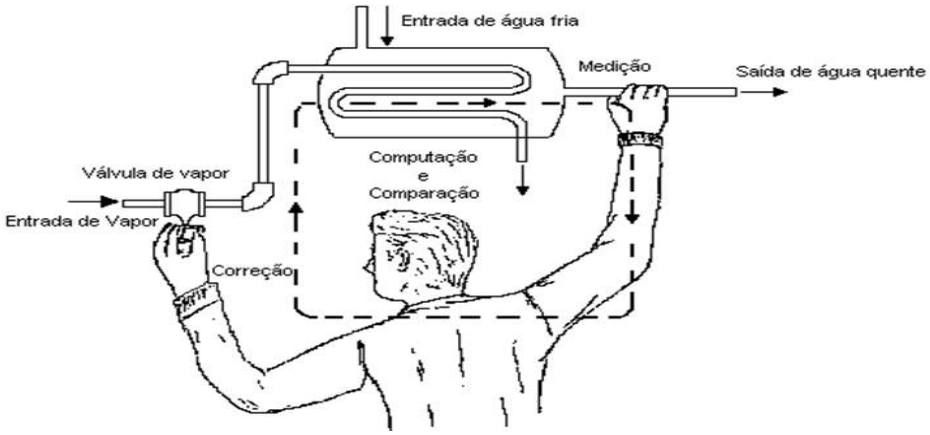
Os sistemas de controle automático na indústria operam em concomitância (*on line*) com a produção e são utilizados para coordenar, monitorar, alterar e registrar as condições de máquinas,

produtos e processos. Três requisitos devem ser atendidos simultaneamente: minimização da intervenção humana; manutenção de condições de segurança operacional e garantia de resposta em tempo real. Na automação de um processo produtivo é necessário empregar dispositivos mecânicos, elétricos e eletrônicos que desempenhem funções equivalentes às humanas nas atividades de supervisão e controle, tais como coleta a e análise de dados e correção de rumos. Com o objetivo de substituir os atributos dos sentidos humanos foram desenvolvidos os sensores ou instrumentos de medição que medem e informam os dados sobre o andamento do processo. Para substituir as funções executadas pelo cérebro humano, foram criados dispositivos denominados controladores, que recebem e processam as informações fornecidas pelos sensores, calculando as medidas para, em seguida, emitir instruções para os atuadores. Esses são os dispositivos que executam as ações que seriam realizadas por membros humanos para corrigir variações detectadas pelos outros dispositivos ou alterar as respostas do processo (GUTIERREZ e PAN, 2008).

A Figura 1 mostra o processo de controle operacionalizado por um ser humano. O serviço do operador é sentir a temperatura da água quente e girar o volante da válvula de maneira a manter a temperatura da água no valor desejado. A parte de medição e correção é feita pelas mãos do operador e a computação e comparação ocorrem no cérebro do operador. No controle automático o cérebro humano é substituído por um controlador.

> O controlador é um dispositivo que monitora e pode alterar as variáveis de saídas de um sistema dinâmico por meio do ajuste das variáveis de entrada de um sistema. Por essa razão, as variáveis de saída recebem o nome de controladas e as variáveis de entrada são chamadas manipuladas. Podem ser variáveis, seja de entrada ou e saída, temperatura, pressão nível, vazão, densidade, tempo, velocidade, potência, tensão (elétrica), corrente, frequência, estado (ligado ou desligado), peso, dimensão e posição (GUTIERREZ e PAN, 2008, p.8).

FIGURA 1 – Controle manual do condensador.



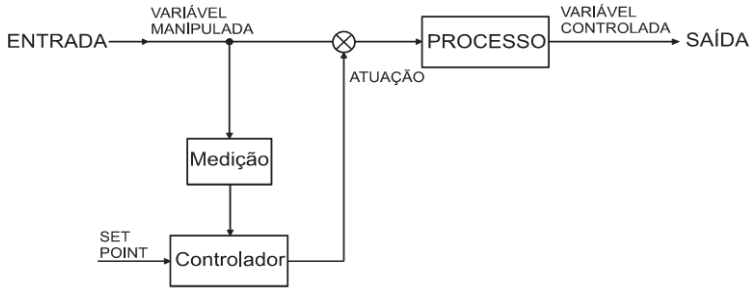
Fonte: Teixeira (2006)

3.1 Malha Aberta e Malha Fechada

Denomina-se malha de controle o circuito composto por sensores, controladores e atuadores que realiza o ciclo de ações básicas necessárias ao controle automático de um processo produtivo. Uma máquina ou uma planta industrial completa pode ser composta por apenas uma ou por centenas de malhas de controle, que em conjunto, executam a automação total da máquina ou unidade produtiva (BORSCHIVER, 2009).

Na malha aberta (figura 2) não há a realimentação, caso em que o controle é conhecido como antecipativo. Tal controle é adequado aos processos em que seria muito longo o período de tempo necessário para que as variáveis de saída apresentassem mudanças em função de realimentação. Contudo, é fundamental que o comportamento do processo controlado seja perfeitamente conhecido para que as respostas possam ser adequadamente antecipadas. Ao ser detectado qualquer distúrbio que afete a variável de entrada, imediatamente é tomada uma ação corretiva. O inconveniente da malha aberta é que, caso ocorram variações imprevistas, não há como o sistema corrigir sua atuação.

FIGURA 2 – Controle em Malha Aberta

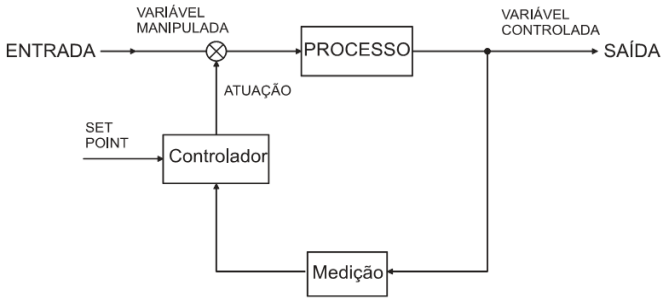


Fonte: Bega (2011, p. 451)

Na malha fechada (figura 3) existe a realimentação, ou seja, a variável de saída é realimentada pelo controlador, o qual compara o nível da saída com um valor de referência

definido e, em função da diferença, aumenta ou diminui o valor da entrada, até que o valor da saída alcance o valor ideal.

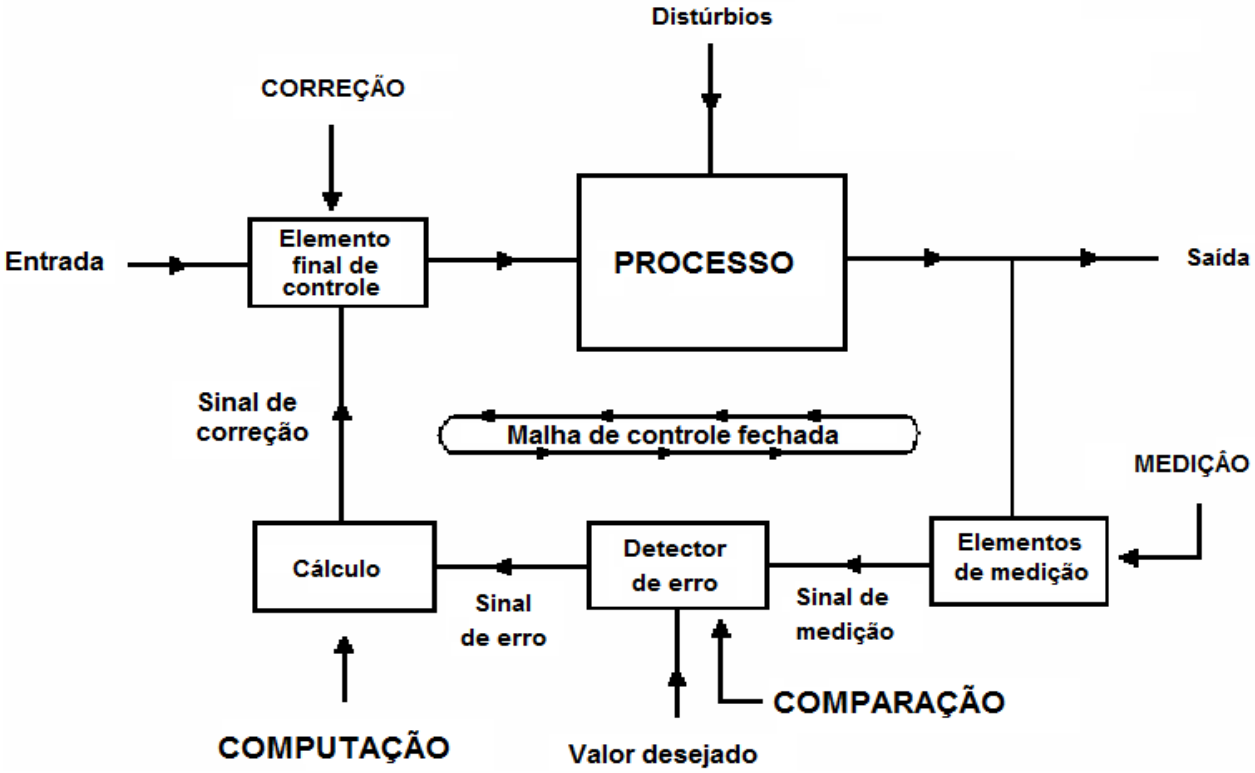
FIGURA 3 – Controle em Malha Fechada



Fonte: Bega (2011, p. 450)

Os elementos funcionais de um sistema de controle automático e seu posicionamento com relação à malha de controle fechada são mostrados na Figura 4.

FIGURA 4 – Funções Básicas do Controle Automático de Processos



Fonte: Bega (2011, p.452)

A função medição exercida pelos elementos sensores é quem avalia a variável de saída do processo e gera o sinal de medição. A função comparação utiliza o sinal de medição para compará-lo com o valor desejado. Isto é feito pelo detector de erro, que por sua vez produz um sinal quando existe um desvio entre o valor medido e o valor desejado. Este sinal produzido na saída do detector de erro é chamado de sinal de erro. A função computação utiliza este sinal de erro para calcular o sinal de correção. Este por sua vez irá direto para o elemento final de controle. A função de correção é exercida pelo elemento final de controle na entrada do processo, de acordo com o sinal de correção (TEIXEIRA, 2006).

4 Estado da arte da automação na fabricação do açúcar

Em regra, os equipamentos utilizados ao longo do processo sucroenergético tendem a serem os mesmos. O que muda é a estratégica de controle ou a configuração no *software* de acordo com as exigências da cada operação unitária. A seguir são apresentados os controles aplicados ao processo de fabricação do açúcar a partir da etapa de tratamento do caldo até o produto final.

4.1 Controles aplicados no tratamento do caldo

O caldo de cana, proveniente do processo de extração do caldo, depois de pré-aquecido, passa por tratamento de sulfitação e em seguida, recebe o leite de cal, sendo aquecido novamente até 100-105º C e decantado, obtendo-se o caldo clarificado para a produção do açúcar cristal. Também se tem o lodo retirado do fundo do decantador, que é enviado à recuperação do açúcar contido neste resíduo (PAYNE, 1989).

Para o tratamento do caldo têm-se os seguintes controles:

a) Controle do nível da caixa de caldo bruto

O controle de nível da caixa de caldo bruto é feito medindo-se o nível do caldo por meio de um transmissor de pressão, cujo sinal é enviado a um controlador, o qual executa uma comparação com um valor pré-determinado e caso o nível medido esteja fora do valor pré-

determinado, irá acionar uma válvula de controle de modo a manter o nível dentro da caixa de caldo bruto o mais constante possível para evitar danos mecânicos como perda de funcionamento nas bombas de recalque de caldo, bem como o fluxo estabilizado no sistema como um todo e, em especial nos locais em que se encontram os controles de pH (do caldo sulfitado e do caldo caleado. A variação de nível pode causar turbulência no local que se encontra o sensor de pH e a aferição pode ser prejudicada em momentos de ausência de contato entre o sensor e o caldo. O regime hidráulico deve ser laminar no local do sensor para que a mensuração do pH seja exata e se façam as correções necessárias com hidróxido de cálcio (caleagem) e/ou adição de dióxido de enxofre (sulfitação) no tratamento do caldo.

Este controle tem interação direta com o processo de extração do caldo, pois uma vez que esta válvula abra ou feche imediatamente a variação no fluxo produzida é sentida pelo nível da caixa de caldo diluído. Caso a vazão de caldo diluído vindo da extração do caldo caia a um valor abaixo de um limite pré-definido e venha a diminuir o nível do tanque de caldo bruto abaixo do seu valor pré-definido, deve ser feita a recirculação do caldo bruto a fim de evitar a danificação das bombas por falta de líquido, pois trabalham de forma submersa e não funcionam com entrada de ar.

b) Controle de temperatura dos aquecedores

O controle de temperatura do caldo na saída dos aquecedores é realizado medindo-se esta temperatura por meio de um sensor de temperatura (termômetro digital), a qual é enviada a um controlador. O controlador executa a comparação da temperatura real com um valor de temperatura pré-determinado. Caso estas não sejam coincidentes irá acionar uma válvula de controle de modo a manter o fluxo de vapor dos aquecedores dentro de valores que permitam manter a temperatura estável. Isto é importante, pois proporciona o aumento ou redução da viscosidade e densidade do caldo, colaborando com a velocidade das reações químicas que irão acontecer posteriormente no processo (sulfitação e caleação). Sugere-se que o controle de temperatura trabalhe executando um controle antecipatório (controle no qual as variações são medidas em relação a um valor desejado, fazendo com que o elemento final de controle seja atuado antes que o processo sofra alterações) com o sinal de vazão de caldo na saída da caixa de caldo bruto de tal forma que o controle se antecipe nas correções em caso de aumento ou diminuição desta vazão volumétrica. Na ocorrência de uma vazão mínima de caldo bruto (pré-

definida como limite inferior), faz-se o fechamento total da válvula de vapor dos aquecedores no intuito de protegê-los de uma sobre temperatura.

c) Controle de pH da sulfitação e da caleação

No processo de sulfitação mede-se o potencial de hidrogênio (pH) do caldo na saída da torre de sulfitação. Um transmissor de pH faz a medição e envia o valor de medição ao controlador o qual executa a comparação com um valor pré-determinado. Caso necessário, esta irá acionar um inversor de frequência instalado no motor da rosca alimentadora de enxofre do queimador de modo a manter a quantidade de enxofre a ser consumido dentro de valores que permitam manter o pH no valor desejado.

Este controle também tem por objetivo controlar a velocidade do motor do exaustor do gás instalado na saída da torre de sulfitação com o intuito de manter a melhor relação entre a quantidade de caldo a ser tratado, enxofre queimado e os gases expelidos para a atmosfera, com consequente economia na quantidade de enxofre utilizado. O controle da velocidade é realizado por meio de um inversor de frequência ligado ao motor do exaustor, mantendo o sulfito por mais tempo dentro da torre de sulfitação.

Na etapa de caleação do caldo clarificado deve ser instalado um agitador no tanque de caldo alcalinizado com o intuito de misturar o caldo que sai da torre de sulfitação (sulfitado) com o leite de cal a ser adicionado pelo sistema de controle de pH caleado. A saída deste tanque (1º tanque) deve ser conectada a outro tanque (2º tanque) em sua parte superior com o intuito de manter um nível constante no 1º tanque de mistura.

Deverá haver um dispositivo que permita a coleta de caldo clarificado para amostragem do pH após a bomba de caldo alcalinizado instalada na saída do segundo tanque. A amostra de pH passa por um resfriador e em seguida pelo transmissor de pH. Este transmissor de pH envia um sinal com valor da medição para o controlador que executa a comparação com um valor pré-determinado. Caso necessário este irá acionar um inversor de frequência instalado no motor da bomba de dosagem de leite de cal que dosará o leite de cal no 1º tanque, com o intuito de manter o pH dentro de valores pré definidos.

O caldo clarificado ao final do processo está isento da maioria das impurezas encontradas no caldo primário ou misto, ou seja, nos decantadores ocorre apenas a separação física entre o

caldo e as impurezas, sendo que a qualidade do caldo clarificado depende mais dos tratamentos químicos e térmicos efetuados antes da própria decantação.

d) Controle de temperatura nos aquecedores antes dos decantadores

O aquecimento proporciona a redução da viscosidade e da densidade do caldo primário e acelera a velocidade das reações químicas, agrupando as impurezas na forma de pequenos flocos. Os flocos de sais formados são insolúveis a altas temperaturas, possibilitando a sua decantação. Desta maneira, ao sair do tanque de caldo alcalinizado, o caldo passa por outros conjuntos de aquecedores e troca calor com o vapor, elevando a temperatura (ALBULQUERQUE, 2011).

O controle de temperatura do caldo na saída destes aquecedores será feito medindo-se esta temperatura através de um sensor de temperatura, sendo o mais comum o PT100, sendo que estes sensores operam baseados no princípio da variação da resistência ôhmica em função da temperatura. O sinal deste sensor é enviado a um controlador, o qual executa a comparação com um valor pré-estabelecido. Caso necessário, o controlador irá acionar uma válvula de controle de admissão de vapor aos trocadores de modo a manter o fluxo de vapor dentro dos aquecedores dentro de valores que permitam manter a temperatura estável. Na ocorrência de uma vazão mínima de caldo pré-definida como limite inferior, faz-se o fechamento total da válvula de vapor para os referidos aquecedores no intuito de protegê-los de uma temperatura excessiva.

f) Controle de extração de lodo dos decantadores

Este controle é efetuado sobre a taxa de retirada do lodo em função da densidade deste no fundo do decantador. Na saída do decantador existe uma bomba onde são instalados inversores de frequência para modular a sua rotação com consequente controle na taxa de vazão do lodo. A quantidade de lodo é medida através da densidade do caldo clarificado nesta etapa do processo, onde é instalado um transmissor de densidade, de maneira que a variação na quantidade de lodo é detectada por este transmissor, o qual envia um sinal ao controlador. Este, por sua vez, executa a comparação com um valor pré-determinado e caso necessário irá acionar o inversor do motor das bombas de retirada de lodo de modo a manter o lodo dentro do decantador por mais ou menos tempo. Uma vez que todos os decantadores direcionam o lodo para uma mesma caixa, para evitar o transbordamento é necessário medir o nível desta caixa através de um transmissor de nível que

envia um sinal para um controlador que executa o controle de extração de lodo de modo a manter o nível da caixa em valores definidos.

g) Controle de velocidade dos filtros rotativos

Este controle baseia-se na medição do nível da caixa do lodo do filtro rotativo por meio de um transmissor de nível que envia um sinal para um controlador, o qual caso necessário irá atuar na velocidade do motor do filtro. O objetivo deste controle é manter o nível dos decantadores o mais constante possível, evitando que o lodo fique em contato com as telas dos filtros por muito tempo. Este controle está relacionado com o controle de extração do lodo dos decantadores anteriormente apresentado, de maneira que se em eventuais condições o nível do tanque ultrapasse um determinado valor crítico, a velocidade dos filtros varia de modo a absorver esta variação no nível.

4.2 Controles aplicados nos pré-evaporadores e evaporadores

As etapas de pré-evaporação e evaporação têm por objetivo a retirada de água do caldo, entretanto, sem haver cristalização. A pré-evaporação e a evaporação aumentam a quantidade de sólidos solúveis do caldo clarificado de em torno de 16º para 65º Brix. Essas etapas são divididas em "efeitos" que são subetapas da pré-evaporação e evaporação visando facilitar o controle de retirada da água e produzir vapores vegetais para serem utilizados em outros pontos na fábrica, como no aquecedor de caldo clarificado e na destilaria da produção de bioetanol. As usinas apresentam evaporadores de 4 a 6 efeitos (ALBUQUERQUE, 2011).

São aplicados na pré-evaporação e evaporação os seguintes controles:

a) Controle da vazão na entrada dos pré-evaporadores

Para a medição de vazão na entrada dos pré-evaporados existe um transmissor de vazão que envia um sinal com valor da medição para um controlador que executa a comparação com um valor pré-determinado. Caso necessário, este irá acionar uma válvula que controla a vazão de entrada do caldo clarificado nos pré-evaporadores.

b) Controle do nível na saída dos pré-evaporadores

Para a medição do nível de saída dos pré-evaporadores há um transmissor de nível que envia um sinal com valor da medição para um controlador. Caso necessário, este irá acionar uma válvula que controla o nível do caldo dentro dos pré-evaporadores.

c) Controle do nível da caixa de caldo na saída dos pré-evaporadores

O caldo dos pré-evaporadores é enviado a um único tanque, sendo necessária a instalação de um transmissor de nível, com o intuito de fazer a integração entre a vazão de entrada e a vazão de saída dos pré-evaporadores para este tanque, mantendo o nível do tanque constante. O transmissor de nível envia um sinal com valor da medição para um controlador que atua sobre uma válvula que controla o nível do caldo, evitando que tanque transborde.

d) Controle da vazão na entrada do evaporador

Para a medição de vazão na entrada do evaporador existe um transmissor de vazão que envia um sinal com o valor da medição para um controlador que atua sobre uma válvula que controla a vazão de entrada do caldo.

e) Controle do nível na saída dos evaporadores

Para a medição de nível na saída dos evaporadores existe um transmissor de pressão que envia um sinal com o valor da medição para um controlador atua sobre uma válvula que controla o nível do caldo dentro dos evaporadores.

f) Controle do Brix na saída do último efeito

O ^{o}Brix (sólidos solúveis) é uma das variáveis mais importantes a ser controlada na etapa de evaporação. O ^{o}Brix muito elevado pode vir a causar a cristalização do xarope quando este esfria, prejudicando a homogeneidade dos cristais. Por outro lado, um valor muito baixo de sólidos solúveis faz com que a evaporação deixe de atingir a finalidade primordial que é a retirar a água contida no caldo clarificado. A baixa concentração de ^{o}Brix prejudica o cozimento, pois para atingir a concentração necessária para ocorrer a cristalização, será necessário evaporar maior quantidade de água e, consequentemente, aumentar o consumo de vapor usado para o aquecimento no cozedor de açúcar. Finalmente, o tempo de cozimento aumenta o que afeta negativamente o rendimento da produção de açúcar.

A forma mais precisa conhecida de medição do ^{o}Brix é através de instrumentos não intrusivos (sem contato físico) que utilizam o princípio da absorção atômica do meio medido. Porém, por ser um processo alimentício, torna-se indesejável a utilização desses equipamentos, pois caso ocorram acidentes, todo o processo seria contaminado.

Outra forma de medição que vem sendo utilizada com grande sucesso na África do Sul, Austrália e Alemanha, é a utilização da sonda de medição do ^{o}Brix pelo princípio da radiofrequência por micro-ondas, sendo estas sondas totalmente digitalizadas e projetadas para uso com xarope de cana.

Em contra partida existe uma solução mais barata e que tem dado bons resultados no Brasil que consiste na medição da densidade do caldo na saída das bombas de xarope, através de um medidor de um transmissor de densidade conjugado com um transmissor de temperatura. A utilização dos transmissores de densidade e temperatura torna-se necessária, pois a quantidade de açúcar no xarope altera a sua densidade e a densidade irá variar conforme a temperatura do processo. Os sinais de densidade e de temperatura do xarope são enviados ao controlador que converte a densidade em Brix por meio de algoritmos de programação, atuando (caso necessário) para compensar esta variação pela alteração da temperatura.

g) Controle da vazão de xarope na saída do processo de evaporação

A medição de vazão na saída do processo de evaporação, comparada com a medição de vazão na entrada da evaporação, têm o objetivo de determinar a eficiência do conjunto do evaporador, uma vez que a viscosidade do fluido (de caldo clarificado para xarope) é alterada nesta etapa do processo, influenciando a vazão. Desse modo, instala-se um transmissor de vazão na saída do tanque de evaporação, que envia um sinal com valor da medição para um controlador que, por sua vez, atua sobre uma válvula de controle da vazão de saída do xarope da evaporação.

h) Controle do vazio (vácuo) dentro do ultimo efeito da evaporação

Em sistema de evaporação múltiplo efeito o vapor produzido na evaporação do caldo é utilizado para evaporar o caldo nos corpos subsequentes. Porém, o vapor do caldo entra em ebulição à pressão atmosférica quando atinge aproximadamente 100ºC e este já trocou calor com o corpo anterior e consequentemente estará a uma temperatura inferior a 100ºC, ou seja, seria necessário aumentar o consumo de vapor. A forma encontrada para diminuir o consumo de vapor

é trabalhar com o caldo sob vácuo, uma vez que a água evapora a temperaturas mais baixas quanto maior for o vácuo em que ela se encontrar. Isso permite fazer com que o vapor gerado no 1º corpo aqueça o 2º e assim, sucessivamente, desde que os últimos se encontrem sob vácuo (PAYNE, 1989).

Para o controle do vácuo instala-se um sensor de vácuo no último tanque que envia um sinal com valor da medição para um controlador que, por sua vez, atua sobre uma válvula de controle que regula a quantidade de água que entra no multijato.

4.3 Controle dos cozedores, cristalizadores e centrífugas

No controle do cozedor, etapa de produção de cristais de sacarose, diversas variáveis são medidas e controladas. A supersaturação deve ficar em uma faixa conhecida como zona metaestável, onde os cristais existentes na solução crescem e não há formação de novos cristais (nucleação) (ALBUQUERQUE, 2011). O processo de cozimento na maioria das usinas é executado "por batelada" onde a massa é aquecida, perdendo água e cristalizando a sacarose, formando o açúcar.

O cozimento, segundo Albuquerque (2011), é realizado várias vezes, tendo como objetivo a máxima remoção de sacarose do mel, promovendo o esgotamento. Numa primeira etapa, cozimento de massa A ou de primeira, o xarope é adicionado ao cozedor que o transforma em massa cozida. Essa massa passa ou não por armazenamento em cristalizadores e em seguida é centrifugada (centrífuga em batelada), gerando o açúcar comercial e um resíduo, denominado de mel A, que pode ser separado em fração chamada de mel pobre (sem lavagem dos cristais) e de mel rico (mel retirado após a lavagem dos cristais).

O mel pobre é enviado a cozimento B ou de segunda para a maior remoção de sacarose. Neste cozimento, é feita a concentração do mel até a zona metaestável de supersaturação. Neste ponto são adicionadas sementes de açúcar (açúcar moído em moinho de bolas) que são os núcleos para, em seguida, haver o crescimento dos cristais. Ao final se obtém a massa cozida de segunda ou B que pode ou não ser armazenada em cristalizadores e em seguida ser centrifugada (centrífugas contínuas) dando origem a um açúcar quebrado e mel B. O açúcar quebrado é misturado com água, gerando o magma que será utilizado para o cozimento realizado no cozedor A, que recebe o xarope da evaporação (PAYNE, 1989).

O mel B pode ser reaproveitado em mais um cozimento denominado de cozimento C ou de terceira, que segue a metodologia aplicada no cozimento B. Um quarto cozimento é evitado, pois é economicamente inviável por causa do aumento da viscosidade dos méis. O mel C então é enviado para a produção de Bioetanol e será denominado melaço (ALBUQUERQUE, 2011).

Para essas etapas do processo são aplicados os seguintes controles:

a) Controle de temperatura e pressão dentro do cozedor

Para este controle instala-se um transmissor de temperatura e outro de pressão de maneira a medir a temperatura da massa no cozedor que varia conforme a pressão fornecida pelo vapor. Os valores de medição obtidos pelos transmissores são enviados ao controlador que aciona, caso necessário, uma válvula que controla a vazão do vapor no cozedor. Este controle deve ser executado conjuntamente com o controle de nível e concentração de massa no cozedor, pois, por exemplo, se o nível e a concentração diminuíssem, seria necessário aumentar a temperatura e a pressão no cozedor e na calandra.

b) Controle de nível e concentração de massa dentro do cozedor

A concentração e a qualidade dos cristais dentro do cozedor dependem da quantidade de xarope que é direcionada para o cozedor. Desta maneira, existe um transmissor de nível responsável pela medição da quantidade da massa dentro do cozedor e um transmissor de concentração que mede a concentração de cristais desta massa. Os valores de medição obtidos pelos transmissores são enviados a um controlador que atua sobre uma válvula que controla a vazão do xarope para o cozedor. Este controle deve ser executado conjuntamente com o controle de temperatura e pressão dentro do cozedor, pois por exemplo, se a temperatura e a pressão diminuíssem, seria necessário diminuir o a alimentação na massa do cozedor.

c) Controle de vazio (vácuo) dentro do cozedor

Para o controle do vácuo dentro do cozedor é necessária instalação de um sensor de vácuo que envia um sinal com valor da medição para um controlador que atua sobre uma válvula de controle que regula a quantidade de água que entra no multijato.

d) Controle dos cristalizadores

A massa cozida é descarregada dos cozedores nos chamados cristalizadores - tanques em forma de U, dotados de agitadores - onde irá ocorrer o resfriamento lento. Esta operação visa

recuperar parte da sacarose que ainda se acha dissolvida no mel, pois pelo resfriamento há deposição da sacarose nos cristais existentes, aumentando assim o tamanho destes. Os cristalizadores funcionam como um "pulmão", permitindo um "respiro" ao processo, pois nesta etapa ganham tempo e deixam a massa preparada para o processo de centrifugação (ALBUQUERQUE, 2011). Atualmente, com o avanço no desempenho das centrífugas, os cristalizadores estão sendo utilizados somente como armazenadores de massa cozida em eventuais problemas que ocorrem nas etapas subsequentes do processo como, por exemplo, no funcionamento de centrífugas e secadores de açúcar.

Nesta etapa do processo são aplicados dois controles. O primeiro consiste em medir a temperatura da massa cozida e controlar a vazão de vapor na serpentina do cristalizador. O controle é feito medindo-se esta temperatura através de um sensor de temperatura. O sinal deste sensor é enviado a um controlador que irá acionar uma válvula de vapor da serpentina, caso necessário O segundo controle refere-se ao nível de carga dos cristalizadores. Este controle permite monitorar o nível de massa nos cristalizadores, e intertravar com a descarga dos cozedores para evitar enchimento e transbordo de massa cozida. Desta maneira, é instalado um transmissor de nível responsável pela medição da quantidade da massa dentro do cristalizador. O valor de medição obtido pelo transmissor é enviado a um controlador que atua sobre uma válvula que controla a vazão de massa para o cristalizador.

e) Controle das centrífugas contínuas ou de massa B

As centrífugas ou turbinas contínuas consistem em um cesto cônico perfurado que gira a alta velocidade, impulsionadas por um motor elétrico onde um fio contínuo fornece uma vazão constante de material a ser turbinado. O cone giratório é todo perfurado formando uma peneira por onde se faz a separação da parte sólida (magma) da líquida (mel final) ocasionado pela força centrípeta (PAYNE, 1989).

A espessura da camada de matéria-prima sobre o cone geralmente é muito pequena e deve ser controlada de modo a manter-se a separação em seu ponto ótimo. A forma encontrada para controlar esta espessura é através da medição da carga. Esta medição é feita indiretamente medindo-se a corrente elétrica consumida pelo motor que faz o cone girar. Este sinal de corrente elétrica é convertido um sinal padrão 4 a 20 mA e enviado a um controlador que atua sobre uma válvula de controle de admissão de matéria prima na turbina contínua.

f) Controle da Centrífuga de Batelada ou de massa A

A centrífuga de Batelada é responsável pela obtenção do açúcar comercial e possui um cesto cilíndrico e perfurado, para que o mel possa ser eliminado. Possui motor com frenagem que se inicia e para conforme a etapa do processo de centrifugação. As etapas desse tipo de centrifugação são as seguintes: aceleração da centrífuga vazia para nível de velocidade baixo, admissão da massa cozida A, aumento da velocidade de rotação (remoção do mel pobre), aplicação de vapor ou água quente (remoção do mel rico), aumento para a velocidade máxima de centrifugação, e em seguida, frenagem. Com a centrífuga ainda em giro, o fundo da mesma se abre, enquanto um raspador retira o açúcar da parede da centrífuga. Esse açúcar cai na esteira que o leva ao secador para reduzir a umidade e temperatura (ALBUQUERQUE, 2011).

O controle de velocidade da centrífuga batelada é realizado medindo-se a rotação da centrífuga de modo a controlar a velocidade do inversor de frequência do motor da centrífuga, intertravada com o sequenciamento lógico e sistema de segurança configurado no CP para comando da centrífuga automática. Toda a operação é automática, desde o carregamento da massa até a descarga do açúcar (PINTO, 2000).

4.4 Controle de diluição dos Méis

O ^{o}Brix constante, tanto do mel A quanto do mel B, ajuda consideravelmente na obtenção de maior uniformidade dos cristais. Quando se alimenta um tacho com um mel de ^{o}Brix constante tem-se a otimização do tempo de cozimento e uma maior pureza e redução de consumo do vapor. Outra vantagem a respeito do controle de diluição dos méis a ser considerada reside no fato de que muitas vezes o mel que retorna das turbinas vem com cristais que se quebram e passam pelos cestos de turbinas e a presença de cristais de açúcar nestes méis representaria perdas para o processo (ALBUQUERQUE, 2011).

A diluição dos méis deve ser controlada para a obtenção do Brix ideal de 75º para que esta não seja excessiva, o que levaria uma quantidade de água ou mel final indesejável para dentro dos cozedores, retardando o cozimento e consequentemente o aumento no consumo do vapor. Outra variável importante a ser controlada na diluição é a temperatura dos méis. O controle de temperatura tem o objetivo de ajudar na dissolução dos cristais e levar o mel a uma temperatura

bem próxima da encontrada dentro dos cozedores evitando choque térmico (resfriamento da massa cozida), reduzindo o tempo de cozimento e economizando vapor (CHEN e CHOU, 1993).

a) Controle da diluição do mel de primeira

O mel de primeira, ao sair das turbinas centrífugas, é direcionado por meio de uma tubulação de modo que, através de uma bomba hidráulica, seja enviado ao depósito de mel de primeira bruto. Do depósito de mel de primeira bruto bombeia-se o mel para o tanque de diluição do mel onde o controle do ^{o}Brix pode ser feito de duas formas: 1) no percurso entre o os tanques instala-se um misturador e antes deste injeta-se a água quente para diluição, sendo que na saída do misturador é instalado um transmissor de densidade e de temperatura; 2) no tanque de diluição injeta-se a água quente e instala-se um agitador para homogeneizar o material deste tanque onde é instalado um transmissor de densidade e de temperatura.

Para ambos os métodos os valores de medição obtidos pelos transmissores são enviados a um controlador que atua sobre uma válvula que controla a vazão de água quente, permitindo maior ou menor entrada de acordo com a densidade. O outro controle necessário consiste na medição da temperatura dentro do tanque de mel diluído através de um transmissor de temperatura. Os valores de medição são enviados um controlador que atua sobre uma válvula que controla a vazão do vapor da linha que aquece o mel.

b) Controle da diluição do mel de segunda

O mel de segunda é um mel residual obtido a partir da centrifugação da massa "B". O mel de segunda ao sair das turbinas é direcionado em uma tubulação onde através de uma bomba é encaminhado ao depósito de mel de segunda, porém antes passa por um pequeno tanque onde é feita a diluição deste mel.

O controle de ^{o}Brix do mel de segunda baseia-se na medição da densidade e de temperatura. Os valores de medição obtidos pelos transmissores são enviados a um controlador que executa a comparação com um valor pré-determinado e atua sobre uma válvula que controla a vazão de água quente, permitindo maior ou menor entrada de acordo com a densidade. O outro controle necessário consiste na medição da temperatura dentro do tanque de mel diluído através de um transmissor de temperatura. Os valores de medição obtidos pelo transmissor são enviados a um controlador que atua sobre uma válvula que controla a vazão do vapor da linha que aquece o mel.

c) Controle do nível de tanques dos méis, cristalizadores e sementeiras

Para que o processo de cozimento ocorra dentro dos padrões estabelecidos é necessária a instalação de transmissores de nível nos tanques de méis de primeira e segunda e no tanque de xarope. Estes controles se fazem necessários, pois o cozedor de massa A, como já citado anteriormente, pode ser alimentado pelo xarope proveniente da evaporação, do mel rico da centrífuga da massa A ou ainda do mel pobre diluído da centrífuga de massa A, evitando o transbordo destes tanques. Os valores de medição obtidos pelos transmissores são enviados a um controlador que atua sobre uma válvula que controla o nível dentro destes tanques.

4.5 Controle dos secadores de açúcar

O açúcar deve ter a umidade controlada de uma faixa entre 0,1 e 0,2%. O controle da umidade é importante para ter-se melhor conservação, preservação da polarização (conteúdo de sacarose) e cor, com conseqüente aumento de seu valor comercial. A obtenção da umidade desejada é feita controlando-se a temperatura do ar que irá entrar em contato com o açúcar dentro do secador. O ar deve ser aquecido em torno de 90 a 100ºC. Valores inferiores a estes não farão boa secagem do açúcar e valores superiores provocam a formação de germes de cristais no interior da camada de xarope do cristal e o "amarelamento" do açúcar.

O controle consiste na medição da pressão do vapor na entrada do trocador de calor através transmissor de pressão. O sinal deste transmissor é enviado a um controlador que atua sobre uma válvula de controle que corrige a quantidade de vapor a ser enviada ao trocador de calor. Isto fará com que a temperatura de aquecimento seja constante. É necessário também o controle de temperatura do ar na saída do secador através de um transmissor de temperatura. O sinal deste transmissor é enviado a um controlador que irá acionar um atuador de *damper* de ar do ventilador para corrigir a quantidade de ar a ser enviado ao secador.

5 Tendências da automação industrial sucroenergética no Brasil

Para um futuro próximo observa-se a tendência de gerenciamento das plantas sucroenergéticas cada vez mais concentrado nos COIs (Figura 5), por meio dos quais toda a configuração industrial da planta pode ser controlada, desde o recebimento da cana até o produto final. Entre os benefícios estão a eliminação de *delays* de operação entre setores, a operação mais

segura de processo e a redução de custos operacionais por compartilhamento de recursos tanto humanos como estruturas de controle.

A verticalização de plantas é outra tendência futura. A verticalização é a forma de conectar física e logicamente o nível de automação ao nível de gestão corporativa, criando então o nível de gestão industrial. Estas informações passam a servir de banco de dados para sistemas MES (*Manufacturing Execution Systems*), o qual reúne a armazena dados operacionais de toda fábrica e os realimenta para o sistema de planejamento, sincronizando as etapas produtivas com o fluxo de materiais, com a manutenção e com a gestão de custos.

FIGURA 5 – Centro de Operações Integradas



Fonte: Usina Ituiutaba (2012)

Outro ponto que tende a se consolidar é em relação a *softwares* de gerenciamento de ativos. Um sistema de controle moderno necessita de mais do que uma simples ferramenta de configuração e monitoramento. Para monitorar a condição do sistema de controle, uma planta moderna necessita de um sistema de gerenciamento de patrimônio que tenha funções de configuração e monitoramento, além de funções de calibração de equipamentos de campo, diagnóstico, identificação e *setup*. O uso de softwares de manutenção tem se tornado cada vez mais importante à medida que engenheiros e técnicos se familiarizam mais com os computadores.

Observa-se também a tendência de testes de simulação do sistema de automação da implantação nas usinas. Estes testes ocorrem em salas especiais de teste da plataforma a ser implantada, as quais simulam as condições de funcionamento da usina, otimizando os processos,

corrigindo falhas e gerando novos dados para aperfeiçoamento de *software* e *hardware*. Esta simulação pode ocorrer de duas maneiras:

a) Todos os controladores e equipamentos de campo são instalados e alocados em uma sala de testes. Nesta sala, os técnicos simulam problemas, situações de parada da planta, manutenções de *hardware* e *software* e verificam como o sistema se comporta nestas situações. Este tipo de teste é normalmente realizado nas instalações do fabricante na solicitação do cliente de acordo com o projeto adquirido.
b) *Softwares* simulam todas as estratégias de controle a serem implementadas e verificam possíveis falhas na configuração validando lógicas de controle e verificando a correta operação das malhas de controle. Este tipo de ferramenta também facilita o aprendizado de controle, vendo em tempo real o funcionamento das malhas de controle. Ainda, devido à integração transparente com sistema, os ensaios feitos para simulação podem ser levados para campo sem alteração da configuração. As lógicas também podem ser exportadas para um *software* supervisório o que facilita a execução dos testes.

Em ambos os casos o principal objetivo é evitar falhas e no momento da partida do sistema, o que pode levar a paradas longas, ocasionando em ociosidade de mão de obra e máquinas e ou ainda em acidentes.

Alinhado a esta ideia de simulação, está o conceito de três dimensões em interfaces com operadores, conhecidas na indústria como 3D em supervisório, que implica numa evolução do conceito de operação da planta, onde o operador poderá ficar "dentro" da planta, de forma virtual. Atualmente existe apenas um fornecedor desta tecnologia (*Elipse Software*) que permite visualizar de maneira mais detalhada o real funcionamento dos equipamentos de qualquer ângulo. As informações podem ser mais rapidamente acessadas do que quando comparada com as tecnologias 2D. É possível ainda fazer um *link* com as câmeras instaladas ao longo da planta o que permite a visão real do processo. Pontos críticos do processo podem ser destacados para melhor visualização e correção. O processo pode ser melhorado quanto mais real for a modelagem das condições deste processo, uma vez que pontos que não podem ser vistos na modelagem 2D passam a ser explorados. Tecnicamente, uma imagem 3D é a melhor maneira de lidar com a visualização de um grande número de dados e permite uma visão global em um sistema. O uso de tecnologias 3D melhora a qualidade do projeto porque traz uma visão mais completa do processo do que quando comparadas a tecnologias 2D. Como resultado, erros que

normalmente ocorrem no sistema 2D podem ser evitados. Isto torna o supervisório 3D uma importante ferramenta para ao negócio, pois torna a visualização mais fácil, reduz erros e custos e torna a visualização mais eficiente. Pelas Figuras 28 e 29 observam-se exemplos de telas em 3D. Contudo a adoção deste tipo de tecnologia ainda figura como uma dúvida no meio técnico, pois para alguns a visualização 3D acaba por poluir a supervisão, podendo ocasionar falhas.

Na Feira Nacional da Indústria Sucroenergética 2014, nos estandes dos maiores "players" da automação industrial foi possível observar a aposta de todos os fornecedores de soluções em automação industrial em oferecer soluções em instrumentação *wireless*. Para os especialistas, a instrumentação *wireless* será um novo salto em direção a sistemas com maior flexibilidade e menores custos de instalação e operação. As redes sem fio, que são consolidadas em outras aplicações, tende a se fortalecer ainda mais após as definições dos protocolos Wireless HART e ISA100. Em termos de benefícios, os especialistas apontam:

a) Redução de custos com cabeamento e manutenção, além de simplificação das instalações;
b) Monitoração em locais de difícil acesso ou expostos a situações de riscos;
c) "Escalabilidade" ou a capacidade de tráfego de dados de maneira uniforme;
d) Maior integridade física das instalações com menor probabilidade de danos mecânicos e elétricos (rompimentos de cabos, curtos circuitos no barramento, ataques químicos, etc.)

6 Considerações finais

O controle automático de processos industriais está diretamente ligado à automação industrial, uma vez que as suas ações irão depender minimamente da intervenção humana, traz maior segurança operacional e garante respostas em tempo real. Para o controle das variáveis de um processo, a exemplo do processo de fabricação de açúcar, onde é necessário controlar variáveis como, pressão, vazão, nível, temperatura entre outras, se faz necessário a utilização de instrumentos, como transmissores, controladores e atuadores, que permitam manter constantes as variáveis do processo, garantindo maior uniformidade do produto final.

Todas as informações geradas pela automação industrial são monitoradas através de sistemas supervisórios. Estas informações são manipuladas, analisadas e apresentadas na

seqüência ao usuário. Este sistema permite a geração de alertas através de imagens e sons, sinalizando ao operador sobre possíveis alterações no sistema.

A automação na fabricação de açúcar obedece o princípio de controle automático em malha fechada, onde um elemento sensor que atualmente também é transmissor, enviará o sinal da variável controlada para um controlador, o qual executará o processo de comparação com o valor desejado e de acordo com este, envia um sinal para o elemento final de controle.

Toda a operação na fabricação do açúcar hoje é centralizada em um Centro de Operações Integradas, o COI, que possibilita a integração cada vez maior das áreas do processo industrial, obtendo de forma rápida e eficiente as tomadas de decisões; diminuindo o tempo de manutenção e parada da planta, alcançando conseqüentemente um melhor resultado do processo.

É observada a adoção majoritária, entre as usinas, da tecnologia PROFIBUS como protocolo de comunicação, isto por conta das economias com instalação, pois devido às especificidades do protocolo demanda-se menor quantidade de *hardware* instalado para a troca de dados entre os equipamentos de campo e os controladores.

O PROFIBUS é um padrão de rede de campo aberto e independente de fornecedores, no qual a *interface* desenvolvida permite uma ampla aplicação em processos, manufatura e automação predial. O PROFIBUS está dividido em três variantes principais. PROFIBUS DP: voltado para sistemas de controle, onde se destaca o acesso aos dispositivos de entrada/saída distribuídos. É utilizado em substituição aos sistemas convencionais 4 a 20 mA, HART ou em transmissão com 24 Volts. PROFIBUS PA: é a solução que atende os requisitos da automação de processos, onde se tem a conexão de sistemas de automação e sistemas de controle de processo com equipamentos de campo, tais como: transmissores de pressão, temperatura, conversores, posicionadores, etc. PROFIBUS-FMS: provê ao usuário uma ampla seleção de funções quando comparado com as outras variantes. É a solução de padrão de comunicação universal que pode ser usada para resolver tarefas complexas de comunicação entre Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e Sistemas de Controle Distribuídos (SCDs).

Também é observada a adoção, embora em um estágio inicial, da tecnologia *wireless*, a qual proporciona interessante economia, pois os cabos de interligação tornam-se dispensáveis. Na tecnologia *wireless* a preocupação se dá em termos de proteção contra interferências eletromagnéticas, pois são equipamentos que utilizam transmissão e recepção de dados por ondas eletromagnéticas em alta frequência. Estes equipamentos utilizam uma bateria de longa duração

para o seu funcionamento, e não necessitando de ligação física para a comunicação com os controladores, propiciam fácil instalação e possibilidade de novas aplicações em instrumentação remota. Os próprios equipamentos já possuem o *hardware* necessário para a troca de informações, não havendo a necessidade de dispositivos complementares.

Também como principal tendência, pode ser observado o uso de sistemas e testes que permitam simular o sistema a ser implementado e o uso de sistemas de supervisão em 3D que permite uma visão mais ampla do processo para o operador alocado no COI. O uso de tecnologias 3D melhora a qualidade do projeto porque traz uma visão mais completa do processo quando comparadas as tecnologias 2D. Como resultado, erros que normalmente ocorrem no sistema 2D podem ser evitados. Isto torna o supervisório 3D uma importante ferramenta para ao negócio, pois proporciona a visualização do processo mais fácil, reduzindo erros e custos.

A implantação do sistema automatizado completo na usina necessita de um alto grau de investimento, no entanto esta modernização tem retorno certo. O valor pode ser medido pela redução de perdas resultantes de um processo altamente estável, pela melhoria da eficiência dos equipamentos, a segurança, a economia de insumos (água, vapor, energia elétrica), menor dependência de recursos humanos e maior qualidade do produto final.

7 Referências

ALBUQUERQUE F. M., **Processo de fabricação do açúcar.** 3ª Ed., Editora Universitária UFPE, 2011.

ABARCA, C. **Inovações tecnológicas na agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil**. 2010. Disponível em: <http://ag20.cnptia.embrapa.br/Repositorio/ENEGEP1999_A0105_000fxgg417302wyiv80soht9h4yxjyhn.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2013.

APPOLINÁRIO, F. **Metodologia da ciência**: filosofia e prática da pesquisa. São Paulo: Thompson, 2006.

BEGA, E. A. **Instrumentação industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

BORSCHIVER, S. **Estudo tecnológico para o setor de automação de processos**. Escola de Química – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009. Disponível em <http://neitec.com/wp-content/uploads/2011/06/Estudo-Tecnol%C3%B3gico-Para-o-Setor-de-Automa%C3%A7%C3%A3o-de-Processos.pdf> Acesso em: 21 fev. 2013.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica.** 6ª Ed. São Paulo: Makron, 2002.

CHEN, J. C. P.; CHOU, C. **Cane Sugar Handbook:** A manual for cane sugar manufactures and their chemists.12 Ed. John Wiley & Sons, New York, 1993, 1090p.

GUTIERREZ, R. M. V.; PAN, S. S. K. Complexo eletrônico: automação do controle industrial. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 28, p. 189-232, 2008.

KALLAJIAN, G. C. **Implicações da tecnologia digital no trabalho docente de ensino superior**. 2012. 147p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade de Uberaba, UNIUBE, Uberaba, 2012.

MORESI, E. **Metodologia de pesquisa**. Programa de Pós-Graduação Strictu Sensu em Gestão do Conhecimento e Tecnologia da Informação – Brasília 2003. Disponível em <http://www.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/metodologia_da_pesquisa.pdf > Acesso em: 18 fev/2013.

PAYNE, J.H., **Operações Unitárias na Produção de Açúcar de Cana**, São Paulo: Nobel, 1989.

PINTO, S. S. **Qualificação do trabalho dos operadores de equipamentos automatizados em uma empresa sucroalcooleira paulista**. 2000. 221p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSCar, São Carlos, 2000.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas.** São Paulo: Atlas, 1985.

RODEGHER, A. **Análise e observação da implementação de um centro de operações, integradas em uma usina sucroalcooleira**. 2011. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

TEIXEIRA, P. R. F. **Supervisor de instrumentação**: fundamentos de controle. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, 2006. Disponível em <http://pt.scribd.com/doc/32732415/Fundamentos-de-Controle> Acesso em: 15 fev. 2013.

VALETE – **Tecnologia da informação e automação** – Revista Controle e Instrumentação - 2008 - Disponível em <http://www.editoravalete.com.br/site_controleinstrumentacao/arquivo/ed_143/cv2.html> Acesso em: 10 fev. 2012