
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG
Centro Engenharia Elétrica e Informática - CEEI
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE

A USINA DE AÇÚCAR E SUA AUTOMAÇÃO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

Aluno: Diego Santos Oliveira
Orientador: Francisco das Chagas F. Guerra

Campina Grande – PB
Novembro de 2006



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

A USINA DE AÇÚCAR E ÁLCOOL E SUA AUTOMAÇÃO

Relatório de estágio apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento parcial às exigências para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.

Diego Santos Oliveira
Aluno

Francisco das Chagas F. Guerra
Orientador

Campina Grande – PB
Novembro de 2006

Sumário

1. INTRODUÇÃO	5
2. A EMPRESA	5
3. O PROCESSO PRODUTIVO	6
3.1 Recepção	6
3.2 Descarregamento	7
3.3 Preparo	7
3.4 Extração	8
3.4.1 Automação na área de extração	9
3.4.2 Resultados obtidos com a automação	10
3.5 Tratamento de caldo	10
3.5.1 Caleação e Sulfitação	10
3.5.2 Aquecimento	11
3.5.3 Decantação	11
3.5.4 Automação na área de tratamento de caldo	12
3.5.5 Resultados obtidos com a automação	12
3.6 Filtação	13
3.7 Evaporação	13
3.7.1 Automação na área de evaporação	14
3.7.2 Resultados obtidos com a automação	15
3.8 Cozimento	15
3.8.1 Automação da área de cozimento	16
3.8.2 Resultados obtidos com a automação	16
3.9 Cristalização	16
3.10 Centrifugação	17
3.10.1 Automação na área de centrifugação	18
3.11 Secagem do açúcar	19
3.11.1 Automação da área de secagem	19
3.12 Refinação	20
3.13 Ensacamento	21
4. GERAÇÃO DE VAPOR	21
4.1 Automação na área de geração de vapor	23

4.2 resultados obtidos com a automação	24
5. APLICAÇÃO DE UM PROJETO DE AUTOMAÇÃO	24
5.1 Projeto	24
5.2 Benefícios	25
5.3 Programação por linguagens de sinais (Ladder)	25
5.4 Controlador Clic 02 - WEG	28
5.4.1 Características	28
5.4.2 Vantagens de uso	28
5.4.3 Aplicações	29
5.5 Programação do projeto	29
5.6 Esquema elétrico	30
5.7 Princípio de funcionamento	31
6. PERSPECTIVAS DO SETOR SUCROALCOOLEIRO	32
7. CONCLUSÃO	33
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
9. ANEXOS	35

1. INTRODUÇÃO

O estágio foi realizado na S. A. Leão Irmãos – Açúcar e Alcool, unidade constituída por uma usina de açúcar e uma destilaria de álcool localizada em Rio Largo, interior de Alagoas, bem próximo à capital Maceió. No dia 20 de fevereiro de 2006 iniciou-se um intenso aprendizado sobre todo o processo produtivo destas unidades com intuito de futuramente poder contribuir de alguma forma com os conhecimentos adquiridos na Universidade Federal de Campina Grande e ao longo da vida acadêmica.

Após a integração realizada em todas as partes da indústria, processo que durou pouco mais de um mês, foi apresentado um programa de atividades para ser seguido ao longo do estágio, objetivando diversas melhorias como: organização, padronização e especificação dos materiais elétricos da indústria; automação em sistemas de acionamento de motores (projeto de automação do controle de uma ponte rolante industrial), adequação da indústria às exigências do Ministério do Trabalho e Emprego perante a Norma Regulamentadora Número 10 (Segurança em Instalações e Serviços com Eletricidade); análise da viabilidade de automação de processos, e outras. A implementação de uma dessas atividades será apresentada com maior ênfase nesse trabalho.

2. A EMPRESA

A S. A. Leão Irmãos, popularmente conhecida como Usina Leão, teve sua primeira unidade fundada em 1894 e passou por diversas modificações ao longo do tempo, melhorando continuamente suas instalações e adaptando-se muito bem ao desenvolvimento tecnológico bastante acentuado nas últimas décadas. Atualmente, em sua terceira unidade (construída no final da década de 70), está entre as cinco maiores produtoras de açúcar e álcool em um estado predominantemente açucareiro (total de 26 usinas).

A família Leão, proprietária da Usina, uma das mais tradicionais produtoras do nordeste no setor, de olho nas oportunidades que surgem num mercado cada vez mais competitivo viu a necessidade de um processo de reestruturação em sua organização. Então, em meados dos anos 90 iniciou-se uma gestão profissionalizada

montando uma equipe de executivos gabaritados, muitos vindo de São Paulo e com histórico de atuação em outros segmentos, que vêm obtendo ótimos resultados.

Outra preocupação marcante da unidade é com o meio ambiente. Muito antes do surgimento de normas ambientais, sempre houve uma preocupação com a preservação ambiental nas áreas da empresa. Atualmente possui 7,5 mil hectares preservados de mata atlântica, totalizando a maior área privada desta vegetação no estado de Alagoas.

3. O PROCESSO PRODUTIVO

O processo produtivo do açúcar é constituído por diversas etapas, envolvendo as áreas agrícola (plantio, colheita, transporte) e industrial (transformação da matéria prima em produto final). Além do açúcar, também é produzida uma grande quantidade de álcool na destilaria da indústria. Entretanto este processo não será tratado no trabalho, visto que não foram realizadas muitas atividades e projetos relacionados a Engenharia Elétrica nesta área da indústria.

Deste modo, será apresentada uma descrição sucinta das etapas da produção do açúcar refinado e os principais controles utilizados no processo industrial.

3.1 Recepção

Levando-se em consideração o processo de produção na indústria, ou seja, a partir da chegada dos caminhões carregados de cana-de-açúcar do campo, a primeira etapa consiste na pesagem desta cana em uma balança rodoviária (para controle agrícola e industrial) e amostragem aleatória para análise em laboratório, onde será feita verificação da qualidade de alguns parâmetros, como: teor de açúcar (sacarose) e porcentagem de matéria sólida (fibra da cana). Isto também permite uma avaliação da cana que é fornecida por terceiros (não produzida nos territórios da usina).

3.2 Descarregamento

Após a pesagem, o caminhão se direciona para a pista de descarregamento, onde a cana será descarregada, por intermédio de um tombador, na mesa alimentadora. Neste momento a cana encontra-se com matéria estranha, materiais ferrosos, pedra, madeiras e até roedores provindos do campo, então é realizada uma lavagem na tentativa de remover todos esses corpos inúteis e danosos para o processo.

3.3 Preparo

A mesa alimentadora conduz a cana para uma esteira metálica, onde será realizado todo o preparo para a moagem. A esteira metálica transporta lentamente a cana para o picador, onde facas oscilantes transformam a cana em pedaços pequenos. O processo de picotamento ainda não é suficiente para que se possa extrair ao máximo o caldo da cana nas moendas. Assim, esta ainda é conduzida a um desfibrador onde será obrigada a passar através de uma abertura bem pequena entre martelos oscilantes e uma placa de aço, tornando o preparo bem mais eficiente.

Ainda nesta etapa, o colchão de cana é submetido à passagem por um eletroímã, capaz de retirar materiais metálicos que conseguiram permanecer mesmo após a lavagem. Todo esse processo de descarregamento e preparação está ilustrado na Figura 1.

Concluindo-se a etapa de preparação, a cana que foi picota e desfibrada, encontra-se pronta para ser esmagada no processo de moagem (extração do caldo).

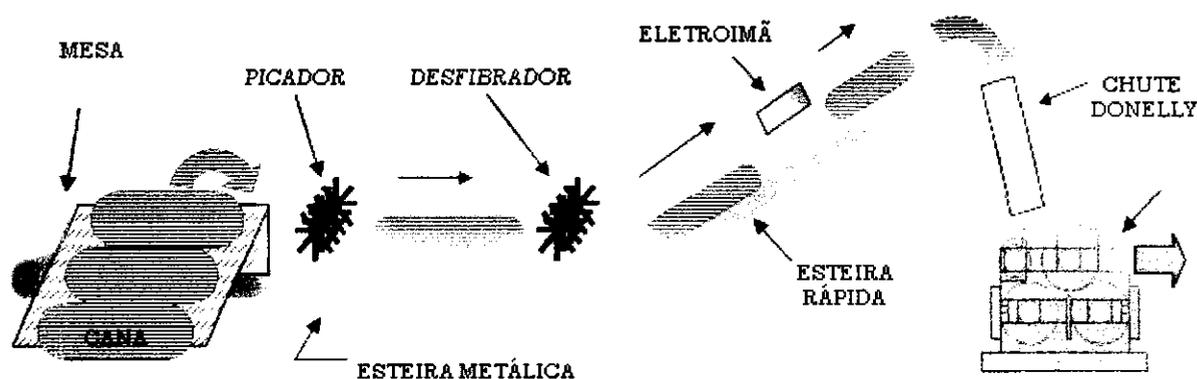


Figura 1 – Ilustração do sistema de descarregamento e preparo

3.4 Extração

A extração é isoladamente o principal processo da indústria e consiste em separar o caldo (parte líquida da cana) da parte sólida (fibra, areia, argila, cinzas, etc). Isto é feito através de uma moenda que possui 5 unidades de moagem chamados de ternos. Cada terno possui 3 massas (rolos) e ainda uma quarta massa (rolo de pressão) para realização da alimentação forçada. Os três rolos de um terno de moenda convencional são montados em triângulo de modo que a cana desfibrada seja esmagada duas vezes: uma entre o rolo superior e o rolo de entrada, e outra entre o rolo superior e o rolo de saída (ver Figura 2).

Ao passar pelo rolo superior e de entrada, a cana desfibrada é conduzida por sobre uma bagaceira até o rolo de saída. Os rolos de entrada e de saída são fixos, enquanto o rolo superior levanta e abaixa por meio de um sistema de pressão hidráulica. Os ternos de moendas são acionados, individualmente, por turbinas a vapor.

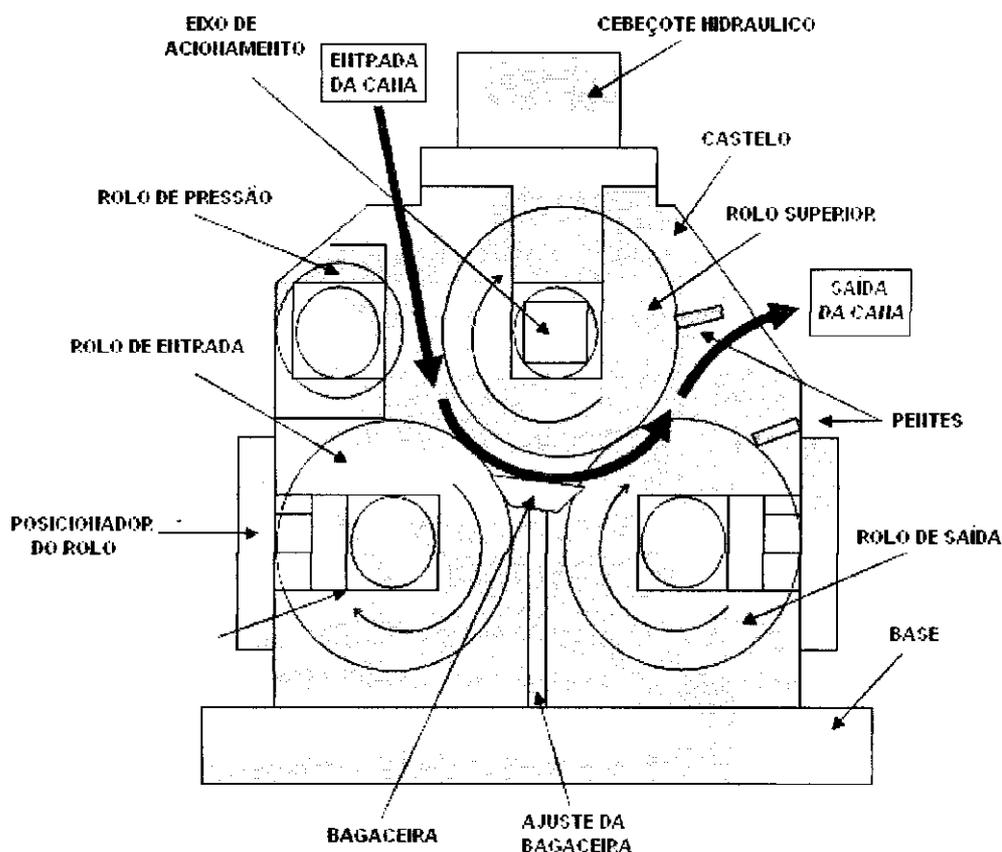


Figura 2 - Esquema de um terno de moenda

O caldo que é extraído do primeiro terno é chamado de Caldo Rico ou Primário e o caldo do segundo terno de Caldo Pobre ou Secundário, já que este possui um percentual maior de água (embebição), utilizada para se extrair ainda mais a quantidade de sacarose existente na cana. A embebição mais utilizada consiste em se aplicar água quente ao bagaço no último terno, em seguida o caldo extraído no último terno é aplicado no penúltimo terno, e assim sucessivamente até o segundo terno, conforme é apresentado na Figura 3.

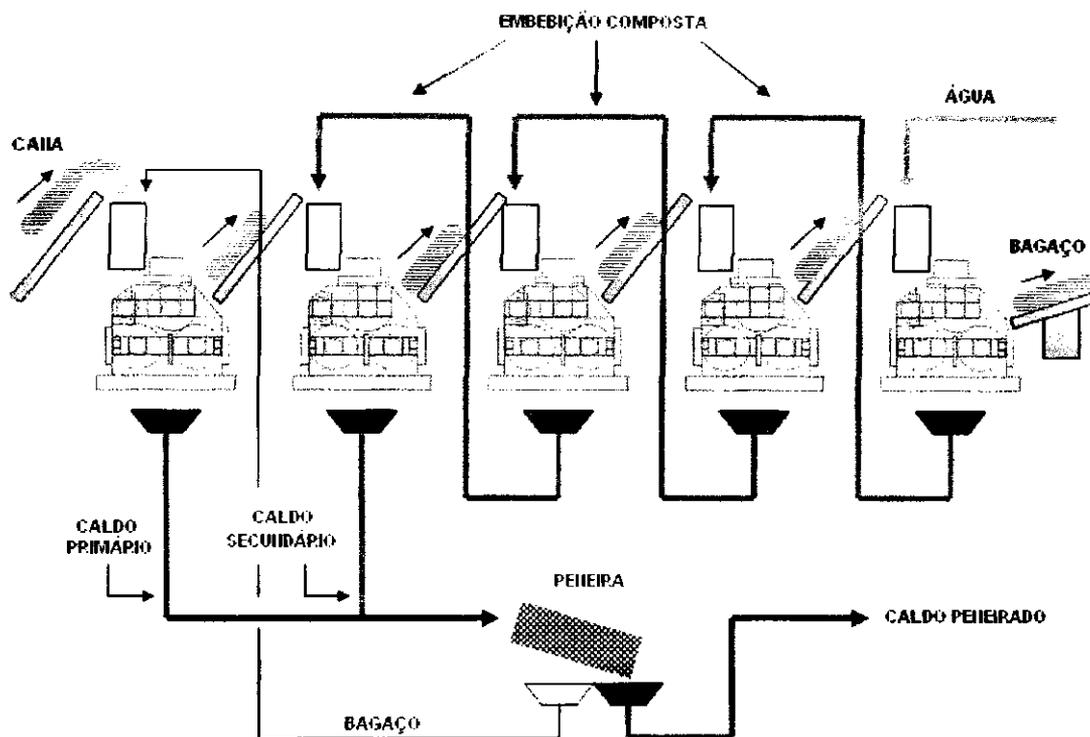


Figura 3 – Esquema de um conjunto de moagem

3.4.1 Automação na área de extração

Automatização da alimentação de cana: este controle consiste em medir e controlar o nível de cana no primeiro terno da moenda, atuando na velocidade da esteira de borracha (ou esteira rápida, mostrada na Figura 1). A velocidade da esteira metálica é sincronizada com a velocidade da esteira de borracha, controlando assim as esteiras de alimentação de cana para a moenda.

Controle de velocidade das turbinas das moendas: permite o controle e medição do nível de cana desfibrada no *chute-donelly* do segundo ao último terno da moenda, atuando na velocidade da turbina de acionamento do respectivo terno.

3.4.2 Resultados obtidos com a automação

- Estabilidade de moagem;
- Aumento da extração de caldo;
- Diminuição das perdas de açúcar no bagaço ;
- Melhor embebição e umidade do bagaço;
- Economia de energia e vapor;
- Facilidade e segurança na operação.

3.5 Tratamento do caldo

3.5.1 Caleação e Sulfitação

O caldo extraído na moagem chega à etapa de cristalização com uma mistura complexa, contendo os componentes integrais da cana-de-açúcar e mais as matérias estranhas incorporadas ao caldo acidentalmente, através do corte de cana, da colheita, do transporte, das operações na moagem. Por isso o caldo deve passar por um processo de Clarificação Simples, que consiste em um tratamento com cal (caleação) antes da etapa de evaporação.

Os principais objetivos da Clarificação Simples são:

- Elevar o pH do caldo a um nível onde as perdas de sacarose por inversão permaneçam num nível mínimo durante o processo subsequente de recuperação de açúcar;
- Incremento da pureza;
- Eliminação de colóides;
- Separação de matérias estranhas como a terra, bagacilhos finos e outras substâncias solúveis que sejam prejudiciais;
- Produzir um caldo limpo.

O processo de Clarificação Simples é utilizado para a fabricação do açúcar demerara ou VHP, porém para a fabricação do açúcar cristal (conhecido como brando direto) é necessário melhorar a cor e o brilho do açúcar. Para produzir tal açúcar é necessário recorrer a procedimentos mais complexos como a sulfitação, que consiste na queima de enxofre para a formação do SO₂ que passará continuamente em contracorrente com o caldo através de uma torre (coluna de sulfitação).

3.5.2 Aquecimento

Este processo consiste em elevar a temperatura do caldo caleado a 105 °C com vapor servido para diminuir sua densidade e a viscosidade, acelerar a decantação das impurezas, pela formação de partículas de maior tamanho e de maior densidade, eliminar o ar e outros gases dissolvidos no caldo através do tanque flash e esterilização do caldo em aquecedores cilíndricos horizontais fechados.

3.5.3 Decantação

Depois que o caldo é sulfitado, caleado e aquecido, ele é enviado para os decantadores (Figura 4), que são equipamentos cilíndricos verticais fechados com a finalidade de separar as impurezas que acompanham o caldo, através da precipitação dos sólidos em suspensão que irão formar a cachaça. Desta forma, o caldo se torna neutro, transparente e limpo (caldo clarificado), separando entre 15 e 20% do total dos não-açúcares. O tempo de retenção do caldo nos decantadores varia de 2 a 4 horas.

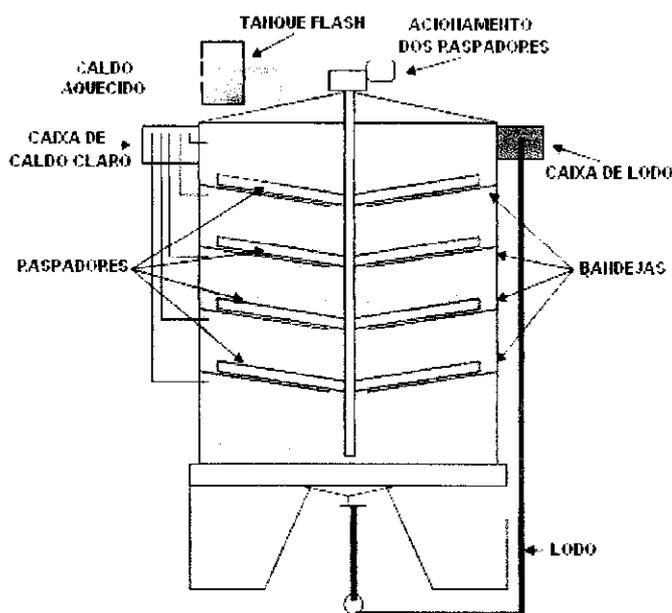


Figura 4 – Esquema de um decantador

3.5.4 Automação da área de Tratamento do Caldo

Controle de Ph do caldo sulfitado: consiste em medir o pH do caldo após a sulfitação e controlar a velocidade do inversor de frequência da rosca sem fim que alimenta a vazão de enxofre para forno rotativo.

Controle de Ph do caldo caleado: possibilita a medição e controle do pH do caldo caleado regulando a vazão de leite de cal para correção do pH do caldo. A dosagem de leite de cal pode ser feita através de válvula de controle ou de bomba dosadora com inversor de frequência, sendo este último a mais recomendada.

Controle de temperatura do caldo: esse controle consiste em medir a temperatura na saída dos aquecedores de caldo e controlar a vazão de vapor para os aquecedores, mantendo a temperatura ideal para a decantação.

Controle de vazão e divisão do caldo para os decantadores: esse controle consiste em medir e controlar a vazão de caldo para os decantadores. Como a Usina possui dois decantadores é recomendado fazer a divisão do caldo, medindo a vazão geral de caldo e distribuindo o caldo proporcionalmente para cada decantador..

Controle de dosagem de polímero para os decantadores: permite o controle da dosagem de polímero (substância que contribui para a precipitação dos sólidos indesejáveis) para cada decantador, em função da vazão de caldo, mantendo uma relação caldo x polímero.

3.5.4 Resultados obtidos com a automação

- Conteúdo de SO₂ do caldo (ppm) dentro dos parâmetros estabelecidos;
- Estabilidade do pH do caldo;
- Temperatura ótima para decantação;
- Maior remoção do lodo (ou cachaça);
- Menor afetação na cor;
- Diminuição das perdas por inversão;
- Melhor recuperação dos filtros (diminuição da quantidade de açúcar na torta);

3.6 Filtração

Este processo que tem como objetivo recuperar o açúcar contido no caldo residual da cachaça, proveniente dos decantadores e retorná-lo para a decantação de

suas impurezas. O resíduo deste processo é chamado de torta que é incorporado ao solo no canavial.

A filtração é feita através de filtro rotativo a vácuo. O filtro é um tambor rotativo como mostra a Figura 5, onde a parte inferior está imersa no cocho da cachaça, que é misturado com um bagacilho fino para a formação da torta.

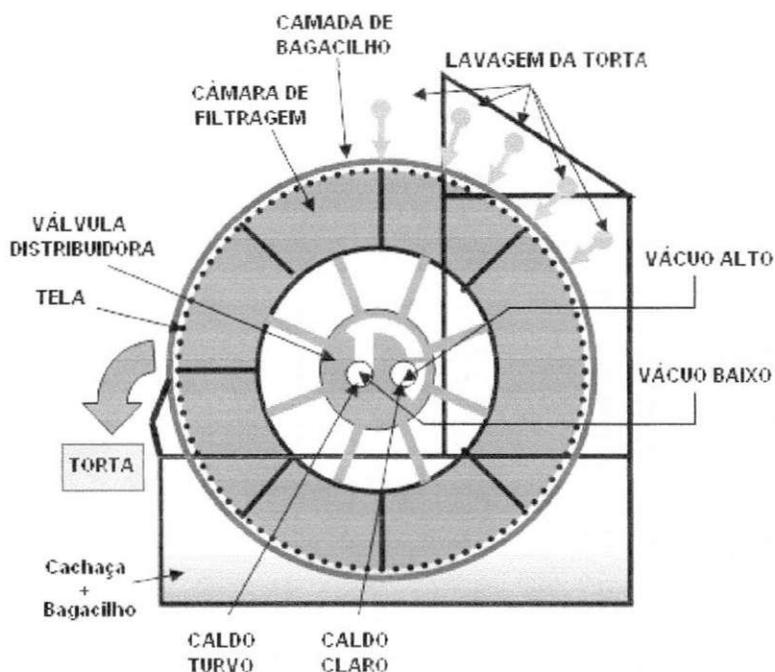


Figura 5 - Esquema de um filtro rotativo

3.7 Evaporação

O caldo clarificado obtido nos decantadores é submetido a um processo de concentração através da eliminação da água presente. A primeira etapa da concentração é realizada no equipamento chamado evaporador, que opera de forma contínua. O evaporador é formado por quatro por caixas ligadas em série (Figura 6), de maneira que o caldo sofra uma concentração progressiva da primeira à última. Para isto, é necessário injetar vapor somente na primeira caixa, pois a própria água evaporada irá aquecer o caldo nas caixas seguintes.

Este procedimento, obtido devido à diferença de pressão existente entre os corpos, é mantido por um sistema gerador de vácuo ligado à última caixa. O caldo apresenta inicialmente uma concentração de 14 - 17° Brix (porcentagem de matéria sólida contida no fluido) chegando ao final com 60° - 65° Brix, quando recebe a denominação de xarope.

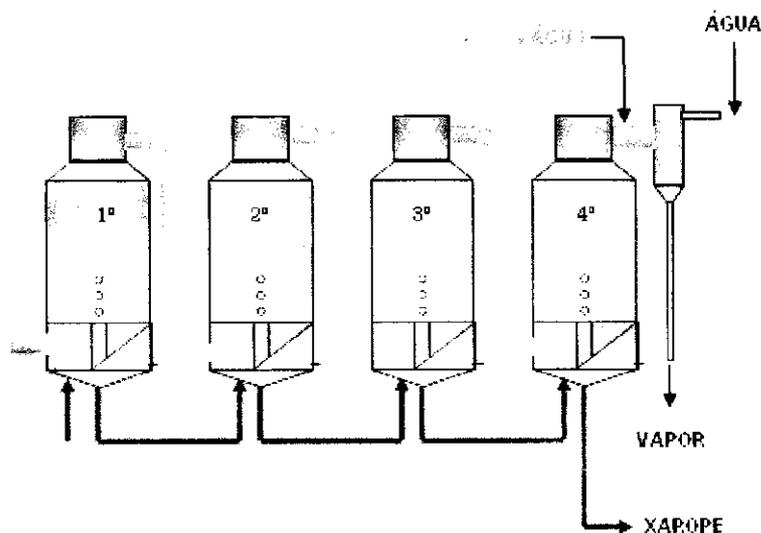


Figura 6 - Esquema de evaporação a múltiplos efeitos

3.7.1 Automação da área de evaporação

Controle de nível da caixa de caldo clarificado: esse controle consiste em medir o nível da caixa de caldo clarificado, abrindo uma válvula on/off de água quente, caso o nível chegar a um nível crítico muito baixo. Considera-se muito importante este controle, pois ele não permite a falta de líquido para os evaporadores, o que poderia aquecer os tubos da calandra e parar a geração do vapor vegetal, causando falta de vapor para os cozedores e aquecedores.

Controle de temperatura do caldo: consiste em medir a temperatura do caldo antes da entrada no pré-evaporador, e controlar a vazão de vapor para o aquecedor de caldo. Isto se torna muito importante pois o caldo deve entrar no pré-evaporador perto de sua temperatura de ebulição, não prejudicando a eficiência do equipamento.

Controle de vazão de caldo para a evaporação: permite a medição e controle da vazão de caldo na entrada do 1º efeito da evaporação.

Controle de brix de xarope: possibilita a medição do brix do xarope e controla a vazão de xarope na saída do último efeito da evaporação.

3.7.2 Resultados obtidos com a automação

- Estabilidade do brix do xarope;
- Melhora na eficiência da evaporação;
- Diminuição da incrustação;

- Menor afetação na cor;
- Melhor aproveitamento da energia;

3.8 Cozimento

Neste processo, são utilizados equipamentos denominados cozedores ou tachos, semelhantes às caixas dos evaporadores, trabalhando individualmente sob vácuo e de forma descontínua. A evaporação da água dá origem a uma mistura de cristais envolvidos em mel (solução açucarada), após ter recebido uma pequena quantidade de açúcar finamente moído, diluído em álcool isopropílico. Os cristais deste açúcar crescem à medida que absorvem as moléculas de sacarose do xarope até atingir o tamanho desejado, iniciando o fim do cozimento e recebendo o nome de massa cozida. A consistência da massa cozida não mais permite fervê-la em tubos estreitos e nem fazê-la circular facilmente de um corpo para ao outro. Por isso a utilização do cozedor a vácuo (Figura 7).

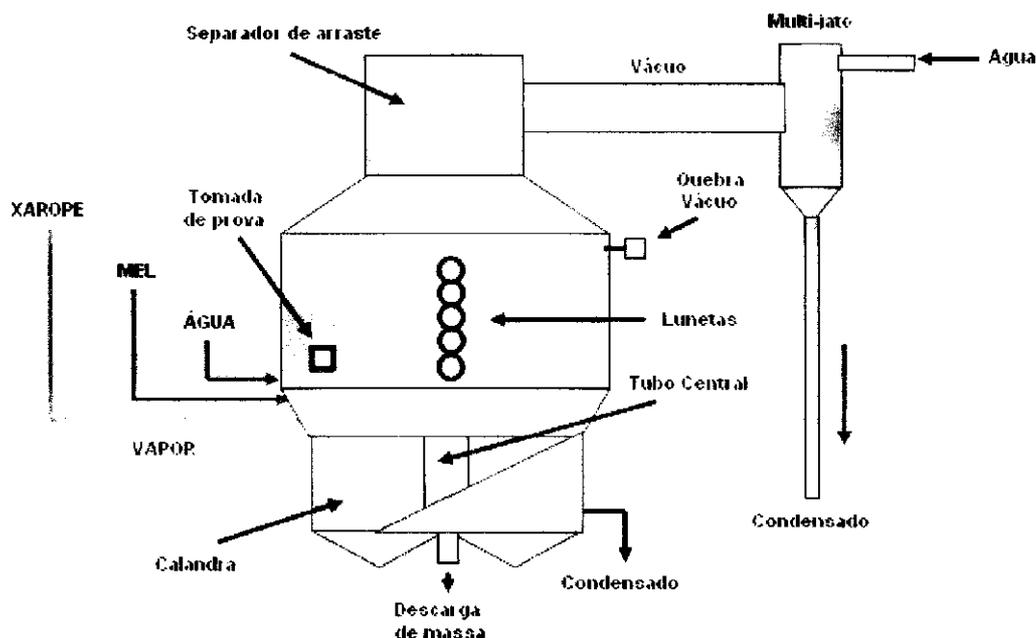


Figura 7 – Esquema de um cozedor à vácuo

O cozedor é essencialmente um evaporador de simples efeito, desenhado para manipular materiais densos e viscosos, no sentido de realizar e controlar a cristalização do açúcar por meio da evaporação da água.

3.8.1 Automação da área de cozimento

Controle de vácuo do corpo do cozedor: este controle consiste em medir o vácuo do corpo do cozedor, e controlar a vazão de água para o multijato e, juntamente com o controle de pressão da calandra, serão responsáveis para manter a temperatura desejada (uma das variáveis que afetam a supersaturação).

Controle de pressão da calandra: consiste em medir a pressão da calandra do cozedor, e controlar a vazão de vapor vegetal.

Controle de alimentação: esse controle é baseado na medição da massa cozida, através de uma sonda de radiofrequência, refratômetro, condutivimento, etc., e controle da alimentação de produto açucarado, permitindo manter a supersaturação.

Controle de nível da caixa de condensado: possibilita a medição do nível da caixa de condensado, e controle da vazão de condensado na saída da caixa, garantindo a extração de condensado da calandra, resultando na máxima eficiência do cozedor.

3.8.2 Resultados obtidos com a automação

- Diminuição do tempo de duração do cozimento: 20 a 30%;
- Uniformidade e repetibilidade dos cozimentos, independente do operador que realiza o cozimento;
- Economia de vapor, água e potência da fábrica;
- Eliminação de formação de cristais falsos e grãos conglomerados;
- Melhor esgotamento da massa cozida;
- Padronização do tamanho e cor dos cristais;
- Melhora no rendimento em cristais;

3.9 Cristalização

A massa cozida é descarregada dos cozedores ou tachos nos chamados cristalizadores - tanques em forma de "U", dotados de agitadores, onde irá ocorrer o resfriamento lento, geralmente com auxílio de água. Esta operação visa recuperar parte da sacarose que ainda se achava dissolvida no mel, pois pelo resfriamento haverá deposição da sacarose nos cristais existentes, aumentando, inclusive, o tamanho dos mesmos.

A cristalização é uma operação unitária do tipo de transferência de massa. A transferência de massa ocorre quando se ultrapassa um ponto crítico na atração molecular da sacarose. Para que os cristais formem-se na massa, é indispensável que haja uma supersaturação acentuada.

À medida que os cristais se formam e crescem, a supersaturação do licor-mãe diminui. Para manter a supersaturação, é preciso haver evaporação de água e alimentação de produto açucarado. A velocidade de cristalização de uma massa cozida depende de alguns fatores, como viscosidade; temperatura, supersaturação e pureza do licor-mãe.

3.10 Centrifugação

A finalidade dos cristalizadores é completar a formação dos cristais e aumentar o esgotamento do licor-mãe. Quando o licor-mãe está praticamente esgotado, é preciso somente separá-lo dos cristais, para obter o açúcar comercial. Esta operação é realizada em turbinas centrifugas de secagem, que são chamadas de turbinas ou centrifugas. Existem dois tipos de centrífugas: contínua e batelada.

A operação completamente automática requer apenas ajustes de tempo para as etapas sucessivas de aceleração inicial, carga, aceleração em baixa velocidade, lavagem, aceleração para alta velocidade, frenagem e descarga do açúcar.

Tais ajustes são determinados pelas características da massa cozida e da qualidade do açúcar desejado. Um ciclo completo leva normalmente cerca de 2 a 3 minutos. A Figura 8 ilustra um esquema do ciclo que vai desde o cozimento até a separação do açúcar na centrifugação.

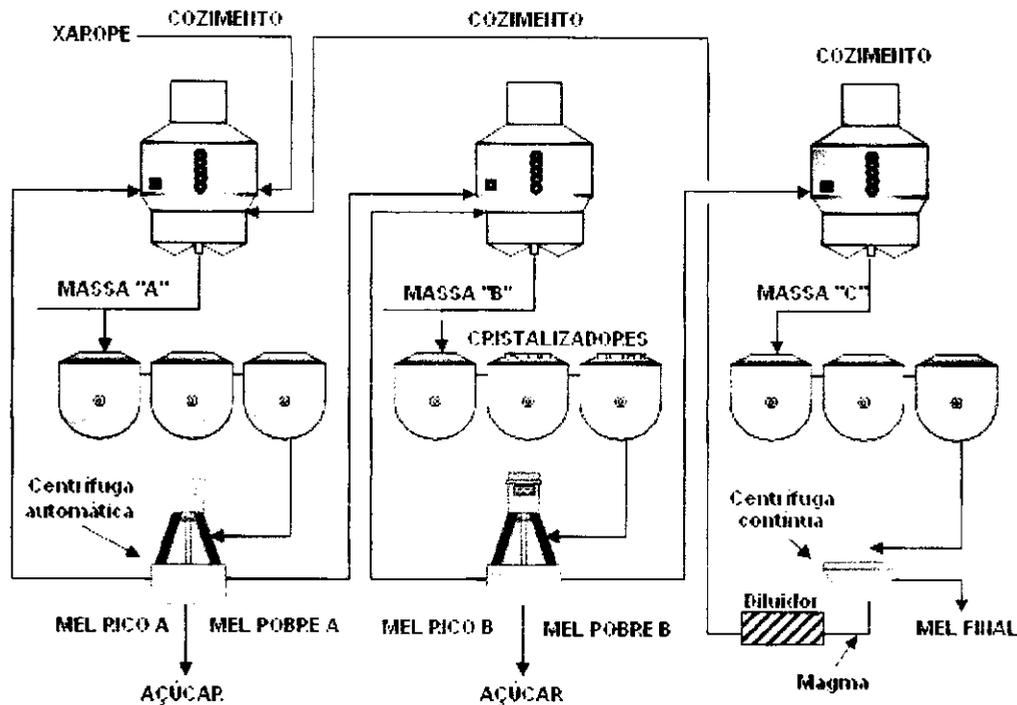


Figura 8 – Esquema de um processo com três massas

3.10.1 Automação da área de centrifugação

Controle de temperatura dos cristalizadores: esse controle consiste em medir a temperatura da massa cozida, e controlar a vazão de vapor para a serpentina do cristalizador. É utilizado nos cristalizadores de massa C, onde o tempo de cristalização é muito grande.

Monitoração do nível dos cristalizadores: permite monitorar o nível de massa nos cristalizadores, e intertravar com a descarga dos cozedores para evitar enchimento e transbordo de massa cozida.

Controle de velocidade da centrifuga batelada: é baseado na medição da rotação da centrifuga, e controle da velocidade do inversor de frequência do motor da centrifuga, intertravada com o sequenciamento lógico e sistema de segurança configurado no CLP, para comando da centrifuga automática. Toda a operação é automática, desde o carregamento de massa até a descarga do açúcar.

Controle de vazão de água para centrifuga contínua: bastante utilizado para medir e controlar a vazão de água de diluição para a centrifuga contínua.

3.11 Secagem do açúcar

O açúcar comercial saindo das centrífugas contém em média, uma umidade de 0.5 a 2%, representando um grave inconveniente à conservação do açúcar.

Com um secador de açúcar é possível diminuir a umidade para 0.1 a 0.2%, obtendo uma melhor conservação do açúcar, além de aumentar a polarização e a titulação proporcionalmente à água extraída. O rendimento financeiro é muito superior à perda de peso ocasionada pela água evaporada.

Um secador compreende um aquecedor de ar com ventilador e é dividido em uma parte de secagem e outra de esfriamento. A secagem por insuflação de ar quente consiste no aquecimento de ar para aumentar sua capacidade de absorção de água e em projetá-lo sobre o açúcar, o que provoca a evaporação da umidade.

Existe secador vertical e horizontal. O secador horizontal, apresentado na Figura 9, é formado por um tambor rotativo, com uma inclinação de 5 a 7%, que facilita a progressão do açúcar.

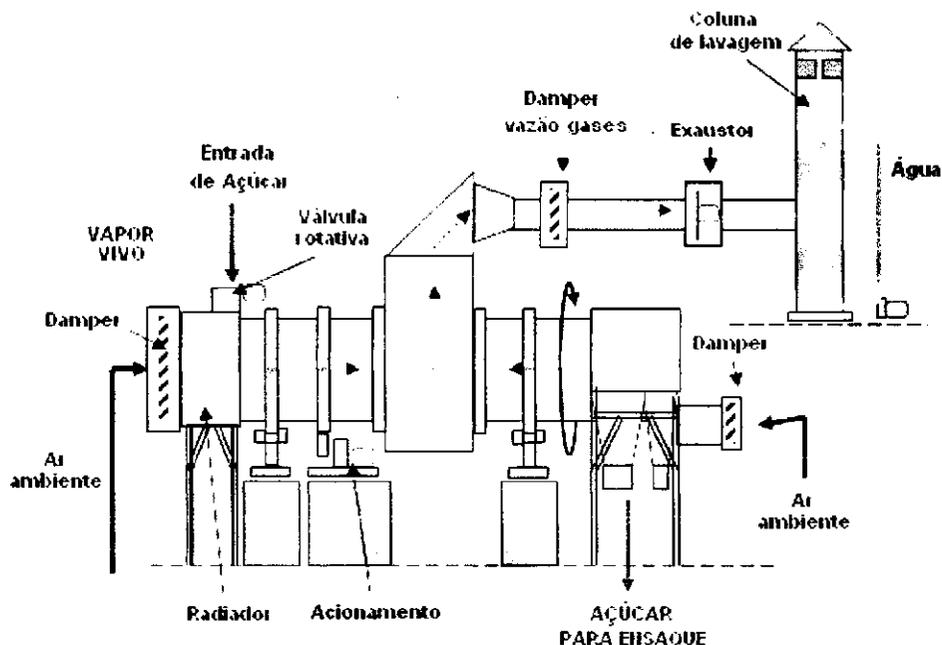


Figura 9 – Esquema de um secador horizontal rotativo

3.11.1 Automação da área de Secagem de Açúcar

Controle da temperatura do açúcar: esse controle consiste em medir a temperatura do açúcar quente, e controlar a vazão de vapor de aquecimento.

Controle do nível do lavador: utilizado para medir o nível de água doce no lavador e controlar sua recirculação.

3.12 Refinação

A fim de produzir um açúcar comercial com melhor preço e mais aceitação do mercado, é produzido o açúcar refinado, que é um produto mais puro, com mais sacarose e com melhor aspecto (polarização, cor, tamanho, etc.).

A produção do açúcar refinado requer a dissolução do açúcar cristal (demerara, VHP). O processo de refinação possui várias etapas. A afinação consiste na extração da película de mel que envolve a superfície do cristal. O cristal em si consiste em uma sacarose quase pura (maior de 99,5%), porém a película de mel pode apresentar uma pureza muito baixa (60°). O açúcar cristal é misturado com um xarope denso (75° brix), para depois ser separado nas centrifugas, uma vez eliminado este xarope na afinação, o cristal é lavado com água quente.

O açúcar lavado que sai da centrifuga de afinação é dissolvido em um derretedor, onde o açúcar é diluído com água e vapor, dando origem a calda com um brix médio de 65°, que passará por um processo de clarificação.

Normalmente a Clarificação é feita pelo processo de adição de cal e ácido fosfórico, que permite uma excelente clarificação de boa supressão de cor, porém o precipitado de fosfato é de difícil filtragem, por isso são utilizados os clarificadores de espuma.

O princípio básico dos clarificadores de espuma é a aeração da calda, para que contenha bolhas de ar finamente separadas, e após o aquecimento da calda, o ar possa sair da solução.

As bolhas de ar arrastam consigo o precipitado floculante para formar uma nata em forma de espuma, que são separadas pelos raspadores do clarificador. A calda limpa é retirada da parte inferior do clarificador, para seguir para o processo de filtragem.

A cor é suprimida do açúcar pela ação de meio de descoloração: carvão de osso animal, resinas químicas, etc. Estas substâncias extraem a cor e parte das cinzas, com muita eficiência. Depois do processo de descoloração, a calda está praticamente incolor e passa para os concentradores.

A concentração da calda consiste em aumentar o brix até 75°, através de concentradores à placa ou através da evaporação da água em um múltiplo efeito (tríplice efeito). A calda concentrada já está pronta para a cristalização, podendo ser utilizado para a produção do açúcar refinado granulado.

O açúcar refinado granulado é cristalizado em cozedores à vácuo, idênticos aos do açúcar cristal, porém com algumas modificações para manejar massas com maior pureza e viscosidade. A massa cozida de refino será centrifugada em centrífugas automáticas, para separação dos méis.

O açúcar amorfo é concentrado em tachos com aquecimento e vácuo, porém imediatamente após a cristalização é descarregado para uma bateadeira para afinação do açúcar, evitando a formação de grãos grandes e empedrados.

3.13 Ensacamento

O ensacamento consiste no armazenamento do açúcar, pronto para a venda, em sacos de 50 Kg.

4. GERAÇÃO DE VAPOR

Uma usina de açúcar é praticamente auto-suficiente em energia, obtendo a potência e calor necessário pela queima de seu próprio combustível, o bagaço.

As caldeiras são responsáveis pela geração de vapor que alimentam as turbinas, movimentando as moendas para a extração do caldo e os geradores para a geração de toda a energia fornecida para a indústria, escritório, vila operária e irrigação. O Vapor Direto (vapor que sai das caldeiras) é produzido a alta pressão, em média a 21 kgf/cm².

O bagaço sai das moendas com umidade de 48% aproximadamente, e é transportado até as caldeiras através de esteiras, que alimentam os dosadores de bagaço. A alimentação da caldeira normalmente é do tipo *spreader-stoker*, que consiste numa alimentação bagaço e ar, através do ventilador espargidor, que permite a maior queima do bagaço em suspensão.

Grelhas rotativas asseguram a queima do restante do bagaço, mostrando muita eficiência na remoção das cinzas. A queima em suspensão também dá uma resposta mais rápida a variações de cargas.

O uso de pré-aquecedores de ar e economizador permitem uma melhor eficiência da caldeira, aproveitando os gases de saída da fornalha. O pré-aquecedor aquece o ar de combustão e o economizador aquece a água de alimentação.

O uso de sopradores de fuligens em pontos estratégicos da caldeira permite a eficiência total do feixe tubular, evitando a permanência de fuligens entre os tubos do feixe tubular, pois causaria perda de calor.

O lavador de gases na saída da fornalha permite que o gás da chaminé seja mais limpo, evitando que o bagacilho fino seja jogado para a atmosfera.

A água de alimentação das caldeiras, não deve causar incrustações ou corrosão ao tubulão e feixe tubular da caldeira, e deve fornecer um vapor livre de contaminantes. A melhor fonte de água capaz de satisfazer esta necessidade é a água da condensação do próprio vapor.

Assim, o condensado do vapor constitui na principal fonte de suprimento de água. Como a quantidade de condensado não é suficiente, devido às perdas, é necessário o complemento com água fria tratada.

Um esquema ilustrativo de uma caldeira a vapor está apresentado na Figura 10.

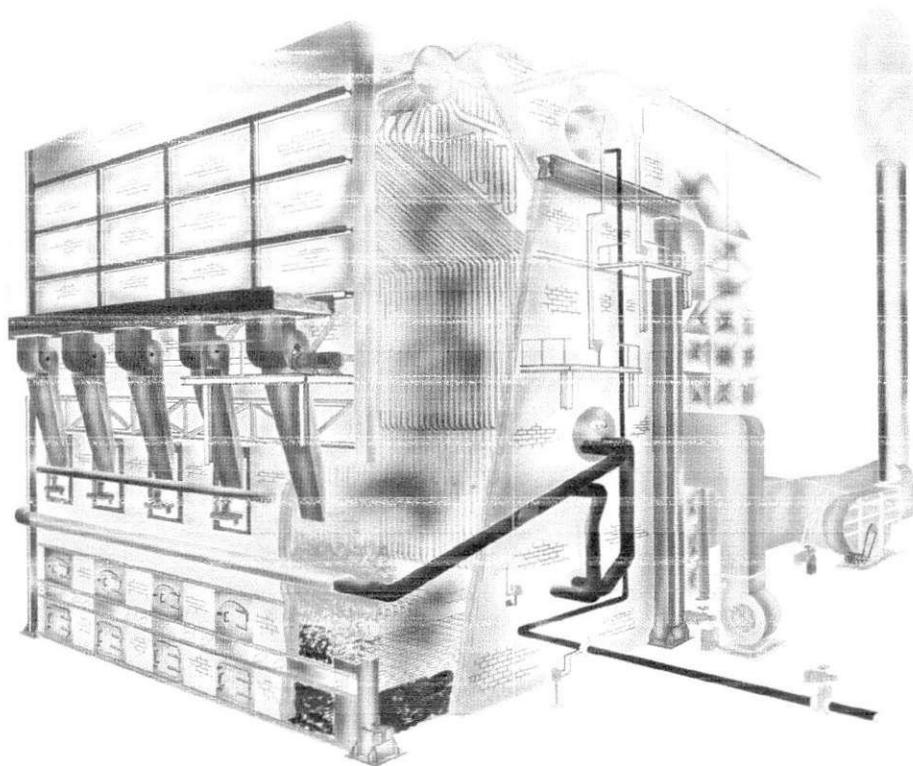


Figura 10 – Esquema de uma caldeira

4.1 Automação da área de geração de vapor

Controle de nível a dois elementos: esse controle consiste em medir o nível do tubulão superior e a vazão de vapor gerada pela caldeira, e controlar a vazão de água de alimentação.

Controle de nível a três elementos: controle idêntico ao de 2 elementos, sé que é incluído um terceiro elemento que será a medição de vazão de água de alimentação. O controle será feito com blocos PID, um para o controle de nível e outro para o controle de vazão de água de alimentação.

Controle de pressão do vapor: consiste em medir a pressão do vapor na saída da caldeira, e controlar a vazão de ar de combustão e bagaço combustível, mantendo uma relação ar/bagaço.

Controle de master de pressão: é utilizado para um conjunto de caldeiras, que consiste em medir a pressão de vapor no coletor, e controlar a combustão de cada caldeira (vazão de ar e bagaço), mediante a um ajuste de carga para cada caldeira.

Controle de pressão na fornalha: baseado na medição da pressão da fornalha da caldeira e controle da vazão de gás na saída para a chaminé.

Controle da redutora de pressão de vapor direto para escape: esse controle consiste em medir a pressão da linha de vapor de escape, e controlar a válvula redutora do vapor direto para complementação do vapor de escape. Por segurança, será medida a pressão da linha de vapor direto, que entrará como antecipação no controle, para proteger a linha de vapor direto.

Controle da redutora de pressão de escape para vapor vegetal: consiste em medir a pressão da linha de vapor vegetal, e controlar a válvula redutora do vapor de escape para complementação do vapor vegetal. Por segurança, será medida a pressão da linha de vapor de escape, que entrará como antecipação no controle, para proteger a linha de vapor de escape.

Controle de sopragem de fuligem automática: é necessário para estabelecer o tempo entre as sopragens e o comando automático dos sopradores de fuligens, válvulas de vapor e válvula de dreno.

Controle de limpeza automática das grelhas: esse controle consiste em estabelecer o tempo entre as limpezas e o comando automático das grelhas e válvula de dreno para remoção das cinzas.

4.2 Resultados obtidos com a automação

- Maior eficiência energética;
- Controle sobre todo o processo;
- Aumento da eficiência industrial;
- Melhor qualidade do açúcar (menor cor, maior filtrabilidade, menor umidade, melhor fator de conservação, etc.);
- Diminuição das perdas industriais e maior facilidade em descobrir suas causas;
- Elevação da observância aos padrões tecnológicos estabelecidos;
- Maior recuperação de condensado nos equipamentos de troca de calor;
- Elevação do nível técnico dos operadores;
- Eliminação dos trabalhos de rotina que consomem tempo e atenção dos operadores, que podem assim dedicar mais tempo à otimização do processo;
- Maior facilidade de manutenção, já que cada equipamento de processo possui um registro histórico do seu funcionamento e comportamento;
- Possibilidade de estabelecer uma estratégia de operação para cada situação operacional da fábrica, sem que exista interferência entre as áreas;
- Otimização do pessoal de operação;

5. APLICAÇÃO DE UM PROJETO DE AUTOMAÇÃO

5.1 Projeto

O projeto consiste na automação do sistema de controle de uma ponte rolante localizada acima da região das moendas na indústria. Este projeto irá substituir a funcionabilidade de uma série de equipamentos elétricos como contadores, temporizadores e relés, através de uma programação apropriada e implementada pelo CLP Clic 02 (WEG). Conforme o apresentado na apostila de Tecnologia do Açúcar (utilizada na disciplina do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas), a ponte rolante é um equipamento indispensável na locomoção de maquinários pesados (geralmente em períodos de manutenção) e sua estrutura consiste em um guincho ou garra, que tem o papel de suspender o equipamento, e um balanço, responsável pelos movimentos de translação e direção da ponte. Para a

execução destes movimentos são utilizados seis motores: três com rotor bobinado, que permite a variação da velocidade do eixo de acordo com o chaveamento das resistências do rotor, e três motores de indução trifásicos, tipo gaiola de esquilo, funcionando como freios.

5.2 Benefícios

São verificados alguns benefícios com a implantação do projeto, podemos citar:

Aumento da confiabilidade: o sistema de controle a ser implantado substitui uma série de equipamentos, diminuindo o número de possíveis falhas e, conseqüentemente, de manutenções corretivas;

Praticidade do sistema: o sistema de controle poderá ser mudado mais facilmente, basta alterar sua programação caso alguma necessidade vier a acontecer;

Facilidade de manutenção: a manutenção no sistema de controle ficará bem mais simples, já não será necessário fazê-la em uma série de equipamentos elétricos (contatores, relés temporizadores) visto que estes terão suas funções substituídas pela programação no CLP.

Diminuição dos riscos de acidente de trabalho: com as melhorias previstas, os riscos diminuem, já que o sistema será propício a um menor número de falhas, podendo-se ter um menor número de mão-de-obra inativa.

5.3 Programação por linguagens de sinais (Ladder)

Como qualquer computador, o processador do CLP opera com uma série de instruções e dados codificados em forma de números binários; esse código é conhecido como código-objeto. Porém, a programação diretamente em código-objeto é inadequada, devido à dificuldade em lembrar a instrução que cada número representa, além de haver uma grande possibilidade de errar ao digitar-se um programa constituído por números e muita dificuldade para encontrar os erros, caso o programa não execute as ações desejadas. Por essa razão, nasceram as linguagens de programação, que permitem ao programador editar o programa utilizando sentenças e estruturas escritas em forma bem mais próxima da sua linguagem cotidiana e que representam melhor a ação a ser executada. Uma das principais

linguagens de programação utilizadas em CLP's é a linguagem de contatos ou simplesmente Ladder, ela é similar à linguagem de diagramas lógicos de acionamento, desenvolvidos por eletrotécnicos e profissionais da área de controle.

A linguagem Ladder permite que se desenvolvam lógicas combinacionais, seqüenciais e circuitos que envolvam ambas, utilizando como operadores para estas lógicas: entradas, saídas, estados auxiliares e registros numéricos. A estrutura básica da linguagem Ladder é apresentada na Tabela 1.

Tipo	Símbolo	Equipamento elétrico
Contato aberto		
Contato fechado		
Saída		

Tabela 1 - Os três principais símbolos de programação Ladder.

Para o melhor entendimento da linguagem, considere um exemplo bem simples o acionamento de uma lâmpada L a partir do botão liga/desliga B1. A Figura apresenta, para este exemplo, o esquema elétrico tradicional, o programa em Ladder e como seriam as ligações no CLP.

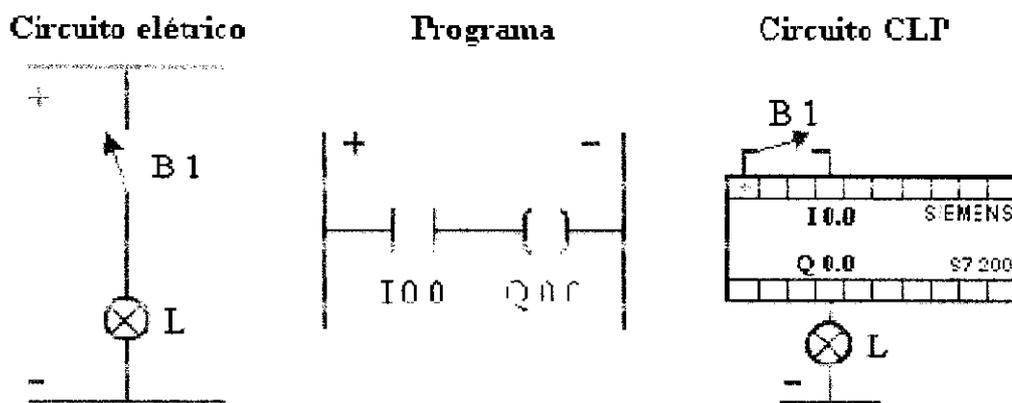


Figura 11 – Representações para o acionamento de uma lâmpada.

Caso a intenção fosse de apagar a lâmpada com o acionamento de B1, trocar-se-ia o contato normal aberto por um contato normal fechado, o que representa a função NOT.

Seguindo este mesmo raciocínio, é possível desenvolver programas para CLPs que correspondam a operações lógicas combinacionais básicas da álgebra de Boole, como as operações AND e OR.

Na área elétrica, a operação AND corresponde à associação em série de contatos, como indicado na Figura 12.

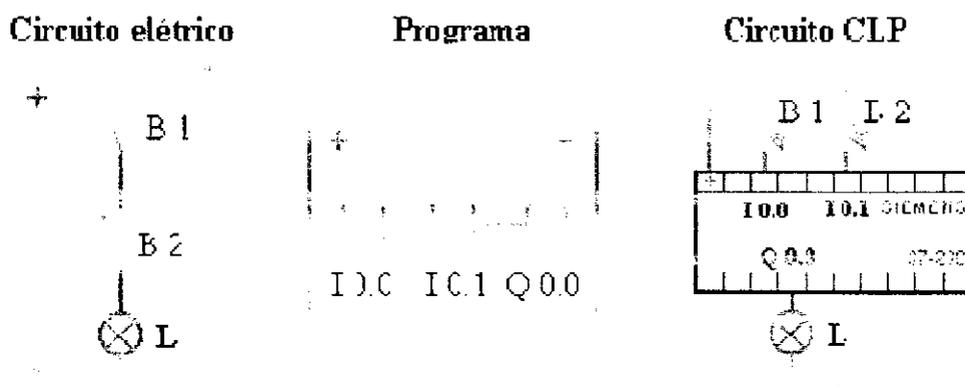


Figura 12 – Representações para a função lógica AND.

A operação lógica OR corresponde à associação em paralelo de contatos. De maneira análoga à operação AND, pode-se obter os esquemas da Figura 13.

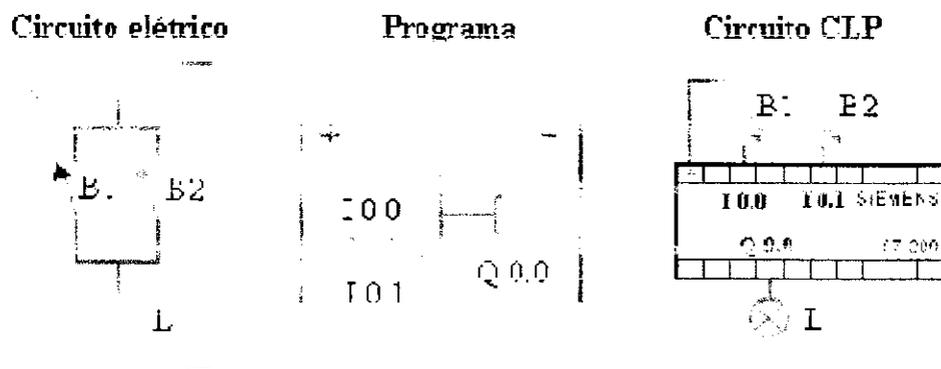


Figura 13 – Representações para a função lógica OR

Após uma série de estudos, foi esclarecido que todas as funções lógicas combinacionais poderiam ser desenvolvidas em programação e executadas por CLPs, uma vez que todas derivam dos básicos: NOT, AND e OR. A Tabela 3 apresenta a simbologia das três principais portas lógicas, suas referentes expressões booleanas e as programações em Ladder

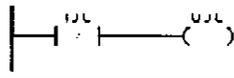
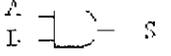
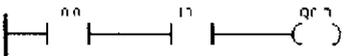
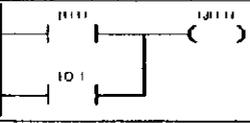
Portas Lógicas	Símbolo	Expressão	Ladder
NOT		$S = \bar{A}$	
AND		$S = A \cdot B$	
OR		$S = A + B$	

Tabela 2 – Representações das funções lógicas NOT, AND e OR

Além da linguagem Ladder, existem outras formas de programação em função do fabricante. Isto possibilita a execução de projetos de automação e controle envolvendo CLPs, reduzindo o trabalho de desenvolvimento de hardware dos circuitos lógicos do acionamento, bem como os dispositivos de potência para acionamento de cargas e dos atuadores, uma vez que podemos escolher módulos de saída já prontos, adequados ao tipo de carga que desejamos acionar. A utilização desses controladores contempla alguns passos genéricos:

- ✓ Definição da função lógica a ser programada;
- ✓ Transformação desta função em programa assimilável pelo CLP;
- ✓ Implementação física do controlador e de suas interfaces com o processo.

5.4 Controlador Clic 02 - WEG

5.4.1 Características

Os microcontroladores programáveis linha Clic 02 WEG, caracterizam-se pelo seu tamanho compacto, fácil programação e excelente custo-benefício. O Clic 02 possui muitos recursos de software e hardware, atendendo uma gama maior de aplicações. Este controlador possui configuração de até quarenta e quatro pontos de entradas e saídas, utilizando até três unidades de expansão. Possui uma tela LCD 12 X 4 embutida e 8 teclas para a entrada do programa Ladder.

5.4.2 Vantagens de uso

Algumas vantagens no uso do controlador Clic 02 da Weg podem ser citadas, tais como:

- ✓ Flexibilidade devido a sua capacidade de expansão;
- ✓ Interface amigável oferecendo fácil programação;
- ✓ Visualizações de mensagens e alterações de parâmetros pela rede;
- ✓ Software de programação que permite editar, monitorar e simular, além de criar toda documentação do programa;

5.4.3 Aplicações

Por ser prático e versátil o Clic 02 possui inúmeras aplicações, das quais é possível citar:

- ✓ Acionamento de motores elétricos;
- ✓ Sistemas de energia;
- ✓ Sistemas de refrigeração e ar condicionado;
- ✓ Sistemas de ventilação e escadas rolantes;
- ✓ Sistemas de transporte;
- ✓ Comando de bombas e compressores;
- ✓ Sistemas de alarme;
- ✓ Sistemas de irrigação;
- ✓ Sistemas de automação para pequenas máquinas;
- ✓ Automação predial.

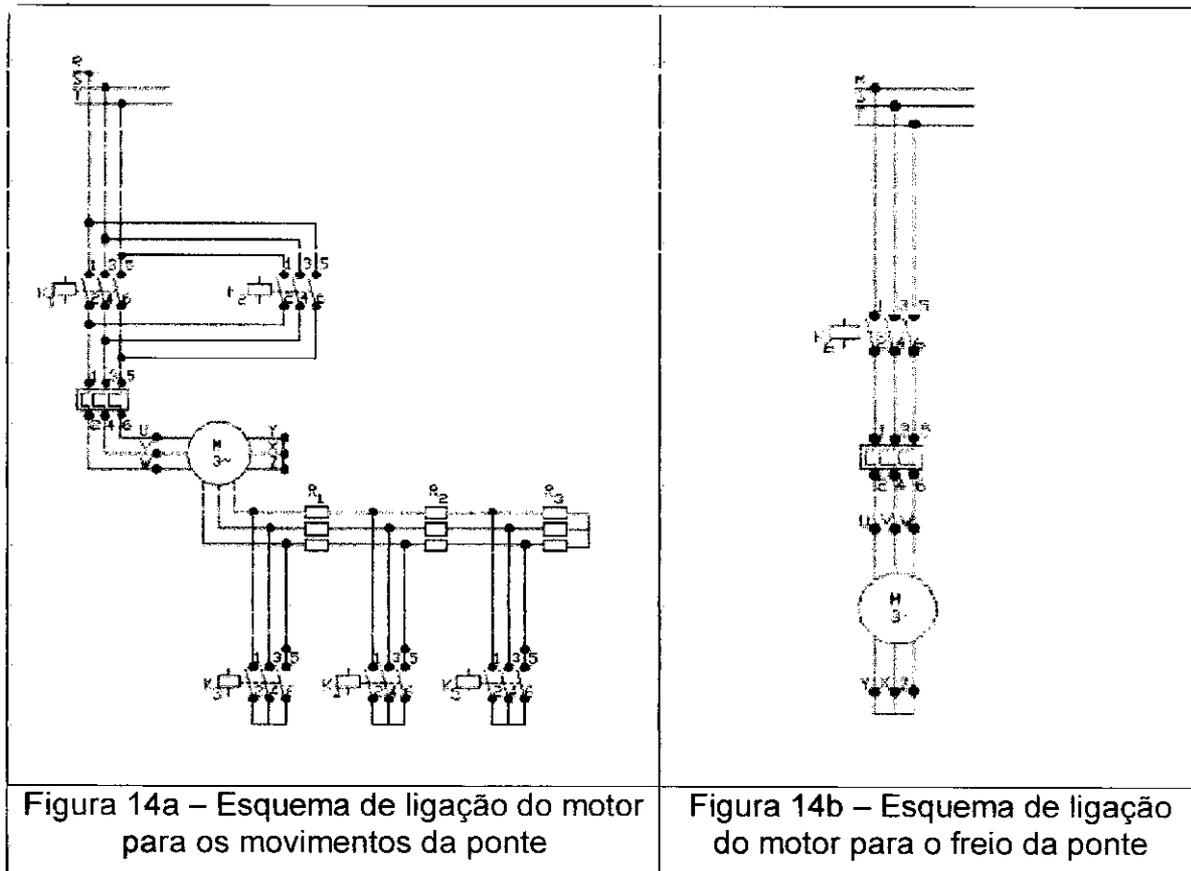
5.5 Programação do projeto

A programação (em anexo) imposta ao CLP foi a linguagem de sinais (Ladder), por ser simples e eficiente atendeu bem aos recursos exigidos pelo projeto.

Como o sistema possui o mesmo tipo de acionamento de motores (partida por rotor bobinado com reversão no sentido de rotação), a programação e o circuito elétrico serão similares para os três movimentos possíveis da ponte: translação e direção do balanço e elevação/descida do guincho. Assim, será apresentado apenas um sistema que é aplicável aos três casos.

5.6 Esquema elétrico

O esquema elétrico apresentado na Figura 14a ilustra as ligações feitas em um motor trifásico com rotor bobinado e com a possibilidade de reversão no sentido de rotação do seu eixo. O motor do freio da ponte rolante é acionado através de uma partida direta, como mostra a Figura 14b. As ligações no CLP estão ilustradas na Figura 15.



As ligações no CLP estão ilustradas na Figura 15.

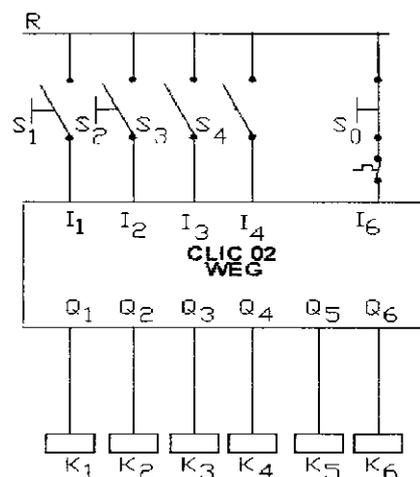


Figura 15 – Esquema de ligação no CLP para controle da ponte rolante

As chaves de entrada (S0 a S4) ativam ou desativam as entradas (I0 a I4) do CLP. As saídas Q1 a Q5 acionam o motor em um determinado sentido, além de variar sua velocidade (como será apresentado no princípio de funcionamento). Já a saída Q6 tem a função de energizar o contator K6, referente ao motor do freio da ponte rolante.

5.7 Princípio de funcionamento

Sucintamente, o princípio de funcionamento do controle da ponte rolante pode ser descrito da seguinte forma: quando o botão S1 for pressionado, será habilitada a entrada I1 do controlador, que por sua vez irá energizar o contator referente à saída Q1, proporcionando a rotação do eixo do motor. Caso o botão S2 for pressionado, liberando-se S2, o contator referente à saída Q2 será energizado, invertendo o sentido de rotação do eixo. Essas operações possibilitam todos os movimentos da ponte, descritos anteriormente.

Caso as entradas (I1 ou I2) continuem energizadas, a cada cinco segundos (ver configuração do temporizador em anexo) serão ativadas as saídas Q5, Q4 e Q3, respectivamente, fazendo o chaveamento das resistências do rotor e, deste modo, aumentando a velocidade de rotação do eixo do motor.

No momento em que as chaves (ou botoeiras) S1 e S2 forem pressionadas, o contator do motor freio (K6) é acionado, liberando os movimentos da ponte.

As chaves S3 e S4 representam sensores de fim de curso (limitando o percurso da ponte rolante). Quando estes forem ativados, executarão a parada do balanço ou do guincho. Finalmente, a botoeira S0 (ligada em série com a chave auxiliar do relé térmico) representa a chave de emergência, impedindo qualquer movimento da ponte quando acionada.

É necessário ressaltar uma pequena diferença na programação do controle do guincho, já que este é apenas limitado por uma chave fim de curso (sensor de altura máxima). Portanto, nesse controlador teremos apenas quatro entradas.

6. PERSPECTIVAS DO SETOR SUCROALCOOLEIRO

Quem vê os índices fantásticos de crescimento do setor sucroalcooleiro, certamente, só acha motivos para comemorar o bom momento. Os bons números não cansam de chegar aos jornais e veículos especializados: a venda acelerada de carros bicombustíveis, a elevada valorização do barril de petróleo, as crescentes exportações de álcool e, agora, a vitória dos produtores brasileiros na OMC (Organização Mundial do Comércio) sobre os subsídios europeus, que podem agregar mais de US\$ 500 milhões às usinas brasileiras.

É um prêmio a um setor que, de 2000 para cá, cresce a taxas superiores a 13% ao ano. Em 2003, as exportações de álcool mal passavam dos 650 milhões de litros. Para 2006, devem se aproximar a 3 bilhões de litros. As exportações dos dois produtos geraram US\$ 3,6 bilhões no ano-safra 2005/06. E, para 2010, a estimativa é que a renda chegue a US\$ 5,5 bilhões.

O avanço das exportações exige, entretanto, cuidados especiais com o crescimento da produção física de cana e com a modernização das usinas. Dados da União da Indústria Canavieira (Unica) indicam que a demanda, em 2010/11, será da ordem de 560 milhões de toneladas, mas, na melhor das hipóteses, o país só poderia colher 510 milhões de toneladas. Ou seja, o cultivo e a produtividade precisam crescer e a gestão das usinas precisa avançar em eficiência, o que requer investimentos em racionalização administrativa, na incorporação de novas terras e em unidades processadoras. Em São Paulo, 30 novas usinas estão sendo construídas. O setor precisa investir US\$ 10 bilhões nos próximos sete anos, a ser mantido o atual ritmo de crescimento mundial de demanda por álcool.

Na medida em que os negócios sucroalcooleiros adquirem novas dimensões, o setor enfrenta novos desafios. No momento, por exemplo, causa certa preocupação o recente relatório do Banco Mundial, que acusa o governo de subsidiar este setor, além imputar à atividade, impactos negativos, sobre as questões fundiária, ambiental e social. Enquanto o documento não for totalmente modificado, pode servir de subsídios para nossos competidores internacionais. Algumas ONGs ambientalistas têm adotado uma linha de ação mais agressiva, opondo-se a novos projetos de construção de usinas e de infra-estrutura energética, como no Mato Grosso do Sul. A ação ambientalista, altamente inibidora de investimentos, também deve se intensificar no cerrado, para onde a cana está migrando com grande potencial tecnológico, inclusive com variedades de bom potencial produtivo e boa adaptabilidade.

7. CONCLUSÃO

O estágio realizado foi bastante produtivo e ofereceu condições para consolidação e desenvolvimento de vários conhecimentos adquiridos na universidade.

Um fator bastante interessante a ser ressaltado é que, apesar de possuir uma formação com ênfase em controle e automação, foi necessário lidar com diversos segmentos da Engenharia Elétrica (eletrônica e eletrotécnica principalmente) e, aliados a um bom relacionamento inter-pessoal, permitiriam o desenvolvimento de projetos e o aprendizado de novas tecnologias em um setor de forte ascensão no cenário nacional e internacional tornando o trabalho bem mais estimulante.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PAYNE, John Howard, *Operações Unitárias na Produção de Açúcar de Cana*, Brasil (tradução para português), 1989, 246 páginas

HUGOT, Emile, *Manual da Engenharia Açucareira*, Brasil (tradução para português), 1977, 1171 páginas

HONING, Pieter, *Principios de Tecnologia Azucarera*, Espanha (tradução para espanhol), 1969, 3 volumes, 1663 páginas

SPENCER e MEADE, *Manual del Azúcar de Cana*, Cuba (tradução para espanhol), 1974, 914 páginas

PUERTAS, Rafael Pedrosa, *Fabricación de Azúcar Crudo de Cana*, Cuba, 178 páginas

Clic 02, **Micro Controlador Programável**, Manual WEG.
<http://www.weg.com.br/index.htm>.

MAMEDE FILHO, João; **Instalações Elétricas Industriais**, 6ª edição. Editora LTC.

NATALE, Ferdina; **Automação Industrial**. Editora Erica.

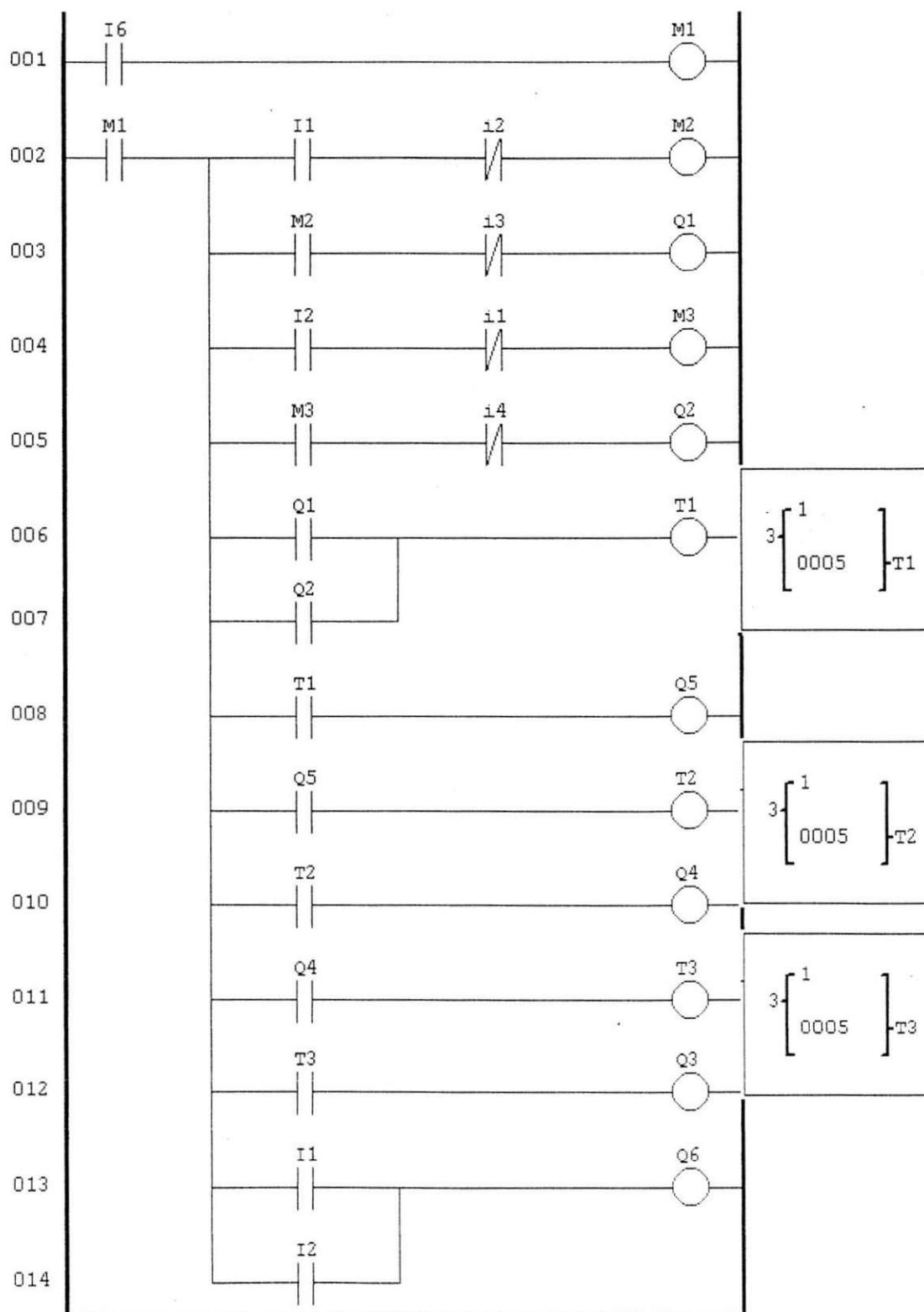
PAZOS, F. A Linguagem de Programação LADDER. *Mecatrônica Atual* nº 5 p29-37, 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS, **Apostila de tecnologia do açúcar**, Curso de Engenharia Química.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, **Controladores Lógicos Programáveis**, apostila do laboratório engenharia elétrica.

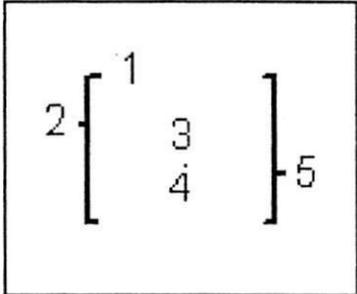
9. ANEXOS

A - Programação de controle de uma ponte rolante industrial



B – Configurações do temporizador

A tabela abaixo apresenta a legenda das configurações do temporizador do Clic 02, como também a utilizada no programas apresentados no Anexo A.

Temporizador	Descrição	Configuração utilizada
	(1) - Modo de operação (2) - Unidade de tempo (3) - Valor atual (4) - Valor meta: (5) - Código do temporizador	Retardo na energização 0 a 9999 segundos 0000 segundos 0005 segundos Tn (Ex: T1, T2, etc.)