

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE DOURADOS
RELATÓRIO FINAL DE ESTÁGIO

MARIANA MOREIRA SIDEL

PRODUÇÃO DE ÁLCOOL E SUBPRODUTOS
DA CANA-DE-AÇÚCAR

DOURADOS

2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE DOURADOS
RELATÓRIO FINAL DE ESTÁGIO

MARIANA MOREIRA SIDEL

PRODUÇÃO DE ÁLCOOL E SUBPRODUTOS
DA CANA-DE-AÇÚCAR

*Relatório Técnico Científico de Estágio Curricular
Supervisionado Obrigatório II apresentado ao Curso
de Química Industrial da Universidade Estadual de
Mato Grosso do Sul sob Supervisão Técnica de
Carlos Galindo e orientação da Professora Dr.^a
Marcelina O. Solaliendres.*

DOURADOS

2012

BANCA EXAMINADORA

Marcelina Ovelar Solaliendres
Professora da disciplina de ECSO II/ Orientadora

Jandira Aparecida Simoneti
Professora da disciplina de ECSO II

Leila Cristina Konradt Moraes
Professora da disciplina de ECSO II

Gilberto José de Arruda
Professor da disciplina de ECSO II

Dourados, 20 de novembro de 2012.

AGRADECIMENTO

A Usina IACO Agrícola S/A pela realização do estágio e também aqueles que estiveram diariamente comigo, ajudando com seus ensinamentos e pela paciência nas tarefas as quais me foram designadas. Muito obrigada a todos.

A Professora Marcelina Ovelar Solaliendres por quem tenho muito carinho e respeito, pela atenção, amizade, paciência e principalmente pela dedicação como orientadora.

A todos os Professores do Curso de Química Industrial pela cooperação e pela amizade.

Aos amigos que fiz durante o curso na Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, em especial aos meus amigos Anderson, Bibiana, Elliel, Luiz Affonso, Giovanna, Gilvan, Heloiza, Hérisson e Heverton.

A Deus e ao Divino Pai Eterno que na sua infinita bondade compreendeu os meus anseios e deu a necessária coragem para atingir meus objetivos e aos meus pais José Silva Sidel e Maria Madalena Moreira Sidel, juntamente com meus irmãos Salmo M. Sidel e Stenio J. M. Sidel, pelo incentivo, apoio e compreensão nos momentos mais difíceis. Vocês foram às pessoas mais importantes na realização deste sonho. Obrigada por tudo!

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| AGRADECIMENTOS | iv |
| SUMÁRIO | v |
| LISTA DE FIGURAS | vi |
| RESUMO | vii |
| PALAVRAS-CHAVE | vii |
| 1 – INTRODUÇÃO | 8 |
| 1.1 – Cana-de-açúcar | 8 |
| 1.2 – Cana-de-açúcar em Chapadão do Sul | 9 |
| 2 – OBJETIVOS | 10 |
| 2.1 – Gerais | 10 |
| 2.2 – Específicos | 10 |
| 3 – CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA | 11 |
| 3.1 – Histórico da Empresa | 11 |
| 4 – DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO | 12 |
| 4.1 – Processo Geral | 12 |
| 4.2 – Análises Laboratoriais | 12 |
| 4.2.1 – Laboratório do pagamento da cana-de-açúcar pelo teor de sacarose (PCTS) | 12 |
| 4.2.2 – Moenda | 13 |
| 4.2.3 – Estação de Tratamento de Água (ETA) | 14 |
| 4.2.4 – Fermentação | 14 |
| 4.2.5 – Destilaria | 15 |
| 4.3 – Processo Industrial | 16 |
| 4.3.1 – Estação de Tratamento de Água (ETA) | 16 |
| 4.3.1.1 – Torres de Resfriamento | 17 |
| 4.3.2 – Caldeira | 18 |
| 4.3.2.1 – Equipamentos | 19 |
| 4.3.2.2 – Água na Caldeira | 19 |
| 4.3.2.3 – Funcionamento | 20 |
| 4.3.3 – Vinhaça | 22 |
| 4.3.4 – Tratamento de Efluentes Industriais | 23 |
| 4.3.5 – Moenda | 23 |
| 4.3.6 – Tratamento de Caldo | 25 |
| 4.3.7 – Fermentação | 27 |
| 4.3.8 – Destilaria | 30 |
| 4.3.8.1 – Peneira Molecular | 32 |
| 4.3.9 – Central de Operações Interligadas (COI) | 33 |
| 5 – CONTRIBUIÇÕES DO ESTÁGIO PARA A FORMAÇÃO PROFISSIONAL | 34 |
| 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS | 35 |
| 7 – REFERÊNCIAS | 36 |
| ANEXOS | |
| PLANO DE ATIVIDADES | |
| TERMO DE COMPROMISSO | |
| DECLARAÇÃO DE CONCLUSÃO DE ESTÁGIO | |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------------|---|----|
| Figura 01: | Desfibrador de cana | 13 |
| Figura 02: | Prensa hidráulica | 13 |
| Figura 03: | Refratômetro | 13 |
| Figura 04: | Sacarímetro | 13 |
| Figura 05: | Espectrofotômetro | 14 |
| Figura 06: | Destilador | 15 |
| Figura 07: | Densímetro digital de GL e INPM | 15 |
| Figura 08: | Redutec | 15 |
| Figura 09: | Floculação e decantação da água bruta | 16 |
| Figura 10: | Secção longitudinal da tubulação onde ocorre a osmose reversa | 17 |
| Figura 11: | Sistema de resfriamento de água | 18 |
| Figura 12: | Foto de um desaerador | 20 |
| Figura 13: | Incrustações retiradas da caldeira | 20 |
| Figura 14: | Sistema dos tubulões | 21 |
| Figura 15: | Esquema de uma caldeira | 21 |
| Figura 16: | Caldeira | 22 |
| Figura 17: | Decantador | 23 |
| Figura 18: | Filtro de secagem de lodo | 23 |
| Figura 19: | Picador | 24 |
| Figura 20: | Desfibrador | 24 |
| Figura 21: | Esteira de borracha | 24 |
| Figura 22: | Moendas | 24 |
| Figura 23: | Sistema de rolos | 24 |
| Figura 24: | Diagrama de produção de caldo | 25 |
| Figura 25: | Decantador convencional | 26 |
| Figura 26: | Filtro rotativo a vácuo | 27 |
| Figura 27: | Pré- evaporador | 27 |
| Figura 28: | Dornas e Cubas | 28 |
| Figura 29: | Centrífugas | 29 |
| Figura 30: | Jogo de pratos da centrífuga | 29 |
| Figura 31: | Tratamento de fermento na cuba | 29 |
| Figura 32: | Representação de um processo de fermentação | 30 |
| Figura 33: | Colunas de destilação | 31 |
| Figura 34: | Condensadores | 32 |
| Figura 35: | Peneira molecular | 33 |
| Figura 36: | Idéia de uma peneira molecular | 33 |
| Figura 37: | Exemplo de uma tela no COI | 33 |

RESUMO

Neste relatório estão descritas as atividades desenvolvidas na Usina IACO Agrícola S/A durante a realização do Estágio Curricular Supervisionado Obrigatório. O objetivo geral do estágio foi acompanhar o processo industrial, desde a recepção da matéria prima (cana-de-açúcar) até a obtenção do álcool hidratado e anidro e seus subprodutos. Foram acompanhadas as análises físico-químicas realizadas no laboratório, através de matérias coletadas em vários pontos do processo. Foram realizadas análises laboratoriais do controle de qualidade da cana, para fins de pagamento, e no laboratório de qualidade da produção de álcool, são realizadas análises do caldo, bagaço, fermento, mosto, vinhaça, flegmaça, álcool anidro e hidratado, entre outros obtidos no processamento da cana. Também são realizadas análises na água da estação de tratamento e da caldeira. Acompanhou-se todo o processo industrial, compreendendo assim o funcionamento e a finalidade de cada setor, sendo estes: moenda, tratamento de caldo, fermentação, destilaria, peneira molecular, tratamento de água, tratamento de vinhaça, de efluentes industriais e a central de operações interligadas.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar, álcool hidratado, álcool anidro.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar provém do território asiático, e era aí semeada desde tempos ancestrais. Durante a antiguidade, o açúcar não passava de uma especiaria exótica, que era utilizada apenas como tempero ou remédio. Para adocicar alimentos usava-se mel de abelhas (Revista Rural, 2005).

No século XII, o açúcar chegou à Europa. Outras regiões produtoras surgiram nos séculos seguintes, especialmente no Extremo Oriente. O interesse pela especiaria aumentou depois do século XV, quando bebidas, como o café, o chá e o chocolate passaram a ser adoçados com açúcar. Em 1493, Cristóvão Colombo iniciou o cultivo da cana-de-açúcar nas Antilhas. A partir daí, a história do açúcar no mundo ganhou novas dimensões (Revista Rural, 2005).

No Brasil, o açúcar é produzido a partir da cana, enquanto na Europa é quase totalmente fabricado a partir da beterraba. Hoje, a cana também é utilizada para produção de álcool (Revista Rural, 2005).

A cana-de-açúcar é uma gramínea da mesma família do capim e bambu que se destaca, principalmente, por proporcionar um aproveitamento total no seu processamento industrial. Basicamente, a sacarose é o principal componente da cana-de-açúcar (sólido) (UNICA).

O Brasil além de ser o maior produtor de cana do mundo, é também o primeiro na produção de açúcar e etanol, e esta conquistando cada vez mais o mercado externo. No contexto energético, a cana pode ser utilizada para produzir etanol anidro, utilizado misturado à gasolina, etanol hidratado, usado como combustível nos veículos exclusivos a álcool e flex fuel e para produzir excedentes de eletricidade (Revista Rural, 2005).

A cana-de-açúcar é matéria-prima de grande flexibilidade. Com ela é possível produzir açúcar e álcool de vários tipos, fabricar bebidas como cachaça, rum e vodka e gerar eletricidade a partir do bagaço. Da cana se aproveita absolutamente tudo: bagaço, caldo, torta e resíduos de colheita (UNICA).

Na média, 55% da cana brasileira viram álcool e 45%, açúcar. Plantada, a cana demora de ano a ano e meio para ser colhida e processada pela primeira vez. A mesma cana pode ser colhida até cinco vezes, mas a cada ciclo devem ser feitos investimentos significativos para manter a produtividade. São usinas e destilarias que processam a

biomassa proveniente da cana-de-açúcar e que alimentam um círculo virtuoso: produzem açúcar como alimento, energia elétrica vinda da queima do bagaço nas caldeiras, álcool hidratado para movimentar veículos e álcool anidro para melhorar o desempenho energético e ambiental da gasolina (UNICA).

Vapor e calor são muito importantes no processo de obtenção de açúcar e de álcool. O vapor, obtido pela queima do bagaço da cana, movimenta turbinas, gerando energia elétrica que torna auto-suficientes unidades industriais e excedentes, vendidos às concessionárias (Revista Rural, 2005).

1.2 - Cana-de-açúcar em Chapadão do Sul

O município de Chapadão do Sul, situado no nordeste do estado de Mato Grosso do Sul, vangloria-se de ser considerada a capital agrícola de MS. Culturas como soja, milho, algodão, sorgo, girassol, entre outras, encontraram no clima e solos do município condições ideais para o bom desenvolvimento e, conseqüentemente boa produtividade. A pecuária de corte e a suinocultura também são exploradas com muito sucesso na região (Informativo IACO Agrícola S/A).

No início, por volta dos anos 70, plantava-se apenas soja. Os gaúchos, pioneiros no desenvolvimento deste município, tinham conhecimento sobre o cultivo de soja lá no Rio Grande do Sul, trouxeram sementes e deram início à fase de desenvolvimento do município. Posteriormente, com a obtenção de tecnologias desenvolvidas para a região do cerrado, outras culturas foram sendo introduzidas e hoje, Chapadão do Sul é destaque como grande produtor de cereais e gado de corte (Informativo IACO Agrícola S/A).

Há pouco tempo, uma nova cultura começou a ser introduzida em terras Chapadenses. A cana-de-açúcar de origem Asiática encontrou no Brasil ótimas condições para seu desenvolvimento e está sendo cultivada com sucesso desde a região Nordeste até o Paraná. O clima, o solo e a topografia da região de Chapadão do Sul são excelentes para o bom desenvolvimento da cana-de-açúcar (Informativo IACO Agrícola S/A).

2. OBJETIVOS

2.1 - Gerais

Colocar em prática os ensinamentos teóricos adquiridos no decorrer do curso para exercer o pleno exercício profissional, vivenciando situações reais de trabalho; adaptando e aperfeiçoando habilidades e competências.

2.2 - Específicos

Acompanhar e compreender os processos industriais realizados na usina, desde a chegada da cana até a produção do álcool e seus subprodutos, passando pelos seguintes setores: moenda, tratamento de caldo, fermentação, destilaria e peneira molecular;

Acompanhar e compreender a análises realizadas no laboratório de cana e álcool;

Acompanhar e compreender as atividades realizadas no Laboratório PCTS (pagamento da cana-de-açúcar pelo teor de sacarose):

Acompanhar e compreender a estação de tratamento de água (ETA);

Acompanhar e compreender o funcionamento da caldeira;

Acompanhar e compreender o tratamento de vinhaça e dos efluentes industriais (ETE);

Acompanhar e compreender a central de operações interligadas (COI).

3. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa IACO Agrícola S/A se encontra no ramo de atividade profissional voltada à fabricação de álcool hidratado e anidro, estando localizada rodovia MS 425, Km 31 – Zona Rural, na cidade de Chapadão do Sul – MS.

3.1 - Histórico da Empresa

A IACO Agrícola S/A iniciou seus investimentos em Chapadão do Sul na década de oitenta, no ramo da pecuária, acreditando e investindo pesado em genética de gado de corte, criando a raça “Ribeirão Adaptado” hoje reconhecido pelo seu alto potencial genético na região Centro-Oeste.

Já na década de noventa, trouxe para sua propriedade o confinamento de bovinos, que na época pouco se acreditava na possibilidade de êxito, e sendo hoje um verdadeiro sucesso no período de entre safra. Na mesma década, lançou a cultura de leguminosas que em consorciação com as gramíneas já existentes, proporcionaram enriquecimento do solo em se tratando de nitrogênio, através da fotossíntese, e pelo seu próprio valor protéico, gerando alto rendimento e ganho de peso.

Em 2005, a Ribeirão, hoje IACO, surpreendeu a todos com seu espírito pioneiro, trazendo a cultura de cana-de-açúcar, não para ser apenas mais uma cultura, mas representando um largo passo em direção ao progresso, tanto da região quanto do meio ambiente. Pois o álcool, por ser uma fonte renovável de energia, representa o combustível do futuro, e não só do nosso presente.

4. DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO

4.1 - Processo Geral

O estágio foi realizado nos laboratórios de cana e álcool, desenvolvendo todas as atividades de controle do processo. Passando pelos processos envolvidos na fabricação do álcool, desde a recepção da matéria prima (cana-de-açúcar) até a obtenção do álcool hidratado e anidro e seus subprodutos, podendo assim identificar as diversas operações unitárias envolvidas no decorrer do processo para a obtenção dos produtos desejados.

4.2 - Análises Laboratoriais

4.2.1 - Laboratório do pagamento da cana-de-açúcar pelo teor de sacarose (PCTS)

É um laboratório de controle de qualidade. As análises da qualidade da cana são realizadas em amostras coletadas aleatoriamente de forma mecânica (sonda oblíqua). São realizadas análises de impureza vegetal e mineral, para analisar a quantidade de impureza vegetal, que é feita manualmente, pesa-se determinada quantidade da cana coletada, em seguida, retira-se dos colmos da cana a palha, folhas e quaisquer restos de galhos que possam ter vindo junto na colheita, e então se pesa novamente, tendo assim um coeficiente de quanto de impureza esta entrando na usina. Já para analisar a impureza mineral, a amostra coletada é desfibrada (Figura 1) e homogeneizada, em seguida, é submetida à pressão de uma prensa hidráulica (Figura 2) para separar a parte fibrosa e o caldo.



Figura 1: Desfibrador de cana



Figura 2: Prensa hidráulica

A parte fibrosa resultante da prensagem fornece o peso do bolo úmido (PBU) e com o caldo extraído é analisado o brix (porcentagem de sólidos totais solúveis numa solução) (Figura 3) e a pol (porcentagem em massa de sacarose aparente numa solução) (Figura 4). Esses valores servem então para avaliar a qualidade da cana para fins de pagamento.



Figura 3: Refratômetro



Figura 4: Sacarímetro

4.2.2 – Moenda

O caldo obtido no processo de moagem da cana, precisamente o do último terno, passa por um processo de controle no laboratório. As análises realizadas neste caldo são para verificação do brix, pol, pureza, pH, teor de sacarose e acidez sulfúrica. O bagaço também passa por uma análise laboratorial, onde é verificado umidade, brix, pol e fibra. Essas análises verificam se o processo está fluindo corretamente, para que não ocorra perda do caldo e nem baixa qualidade na produção do álcool.

4.2.3 - Estação de tratamento de água (ETA)

A água em geral é essencial em muitos processos industriais, como em resfriamentos, aquecimentos e carregamento de resíduos. Impurezas na água são os principais problemas que afetam a sua qualidade.

As análises realizadas na água da caldeira e da ETA são: sílica de alto e baixo teor (Figura 5), cloro livre, pH, condutividade, naftol, ferro, fósforo, dureza e alcalinidade.



Figura 5: Espectrofotômetro

4.2.4 – Fermentação

O processo de fermentação começa nas dornas de fermentação. Nessa etapa são analisados GL (Figura 6 e Figura 7), pH, % de levedo, brix (Figura 4) e ART (açúcares totais recuperáveis) (Figura 8) nas dornas, cubas e centrífugas, mosto, dorna volante e colunas de CO₂.



Figura 6: Destilador para análise



Figura 8: Redutec



Figura 7: Densímetro digital de GL e INPM

4.2.5 – Destilaria

A etapa final da produção de álcool ocorre na destilaria. As análises realizadas são as seguintes: pH, temperatura, INPM (porcentagem de álcool em peso ou grau alcóolico) (Figura 6 e Figura 7), acidez, % alcoólica na vinhaça e na flegmaça. Estas análises são feitas nas colunas de destilação e no tanque onde é depositado o álcool, antes de ir para os tanques de abastecimento. Estando o álcool dentro dos padrões determinados de pH (≈ 6), INPM (A.A. >98,3; A.H. 92,6 a 93) e acidez sulfúrica (mg/L < 10,0), ele passa para os tanques de abastecimento, onde está pronto para ser carregado.

4.3 - Processo Industrial

4.3.1 - Estação de Tratamento de Água (ETA)

A água utilizada na IACO é capturada de um rio próximo à usina. No geral, a água é utilizada em muitos processos envolvidos na usina, como meio de aquecimentos, resfriamento e transporte de resíduos. É essencial para a vida útil e bom funcionamento das caldeiras que a água seja livre de impurezas que afetem sua qualidade. As impurezas mais comuns são sílica (SiO^{2-}), cloretos (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), ferro (Fe), gás carbônico (CO_2), oxigênio dissolvido (O_2), gás sulfídrico (H_2S), amônia (NH_3) e manganês (Mn). Por isso, a água bruta passa pelos seguintes processos, ilustrados na Figura 9:

- Coagulação: processo no qual é feita a adição de produtos químicos (coagulante para formação de flocos, soda para controle de pH, polímero para melhor eficiência na floculação, hipoclorito de sódio para adição de cloro na água bruta) para que seja possível ocorrer o início da floculação;
- Floculação: consiste na aglomeração de vários flocos pequenos mediante suave agitação, para que formem partículas maiores, tendo assim maior velocidade de decantação;
- Decantação: etapa final do processo de clarificação da água. À medida que os flocos agregados vão sendo decantados, a água clarificada eleva-se e pode então ser separada do sedimento. Os flocos decantados são removidos como lodo. A floculação e a decantação ocorrem nos flocudecantadores.

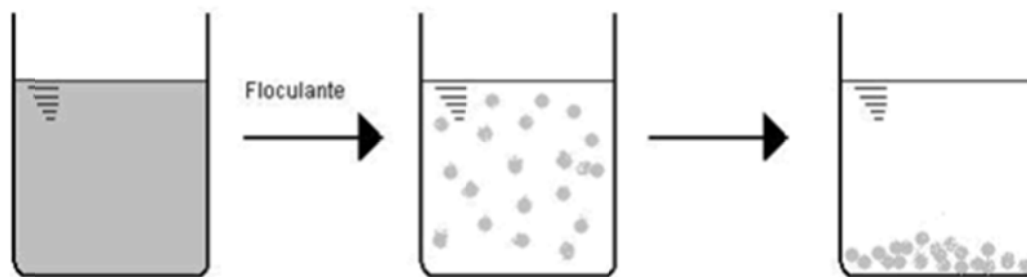


Figura 9: Floculação e decantação da água bruta

A seguir a água passa para os filtros, com vazão de 100 m³, para melhor clarificação, em seguida é bombeada para o tanque de água filtrada. Deste tanque parte da água passa para o uso na usina, e outra parte vai para os filtros de carvão ativado, e em seguida para a osmose para que seja obtida a água desmineralizada que é utilizada na caldeira.

Na IACO usa-se o tratamento de osmose reversa (Figura 10), que consiste basicamente em um equipamento composto por vasos de pressão tubulares arranjados em série ou paralelo, que em seu interior contém membranas, em formas de espiral, de osmose reversa, e no meio externo, bombas de alta pressão e válvulas. O funcionamento do equipamento consiste na pressurização da água para dentro dos vasos em forma de fluxo, que percorre os espaços entre a parede interna do vaso e as membranas. A permeabilidade da membrana absorve a água, retendo os sais dissolvidos.

A água desmineralizada que sai da osmose é enviada para os tanques de água desmineralizada, para ser utilizada na caldeira.

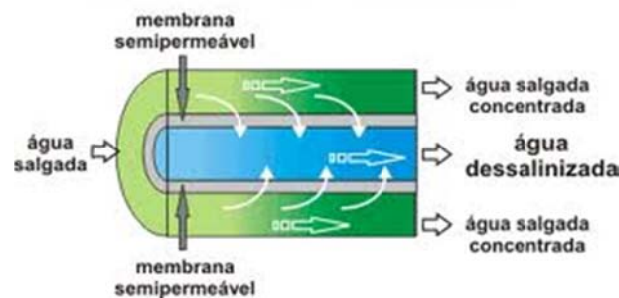


Figura 10: Secção longitudinal da tubulação onde ocorre a osmose reversa.

4.3.1.1 - Torres de Resfriamento

Por motivos econômicos e pela preocupação com o meio ambiente, a água “quente” que sai dos resfriadores é reaproveitada. Para isso, ela passa por um equipamento que a resfria e a retorna ao circuito dos resfriadores do processo, esse equipamento é chamado torre de resfriamento. A Figura 11 mostra o sistema de resfriamento de água.

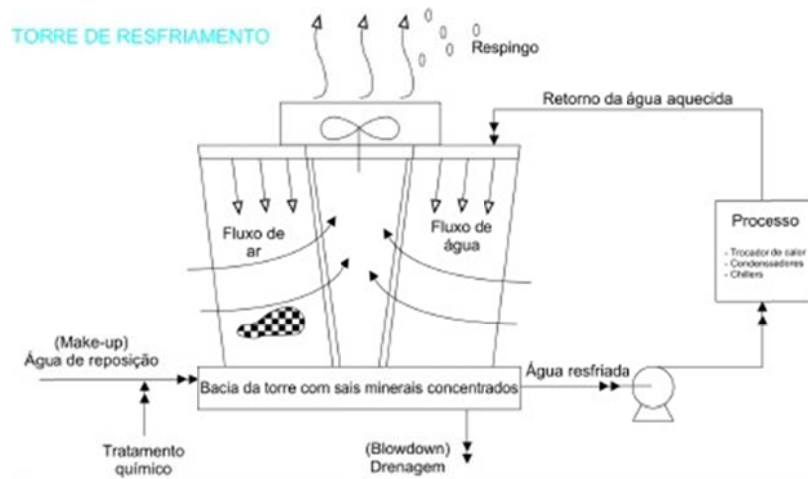


Figura 11: Sistema de resfriamento de água.

A água sai dos resfriadores do processo e é bombeada e distribuída no topo da torre de resfriamento, constituída de um enchimento interno (colméia) para melhor espalhar a água. A colméia permite que a água seja espalhada de maneira uniforme por toda a torre. Essa água passa por um “ventilador” que puxa o ar através da água que está caindo para provocar a evaporação. Assim, parte da água evapora e acontece o seu resfriamento. Essa água resfriada volta a ser utilizada no processo nos trocadores de calor.

4.3.2 – Caldeira

Caldeira é o equipamento destinado a produzir e acumular vapor a uma pressão maior do que a pressão da atmosfera. Para a produção de vapor, é necessário uma fonte de calor aquecida pela água sob condições controladas. Alguns parâmetros de operação da caldeira da IACO são mostrados na Tabela 1:

 ALGUMAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

| | |
|--|------------------|
| Pressão da Caldeira KgF/ cm² | 32,0 |
| Pressão Fornalha KgF/ cm² | -7 a -5 |
| Temperatura da Fornalha °C | 750 a 100 |
| Consumo de bagaço Ton/h | 91,40 |
| Capacidade Ton/h | 200 |
| 1 m³ de água | 1,1 Kg de vapor |
| 1 tonelada bagaço | 2,14 Kg de vapor |
| 1 tonelada de cana | 250 Kg de bagaço |

Tabela 1: Valores de operação da caldeira

4.3.2.1 – Equipamentos

A caldeira é constituída basicamente por uma fornalha, um feixe de tubos interligados a dois recipientes horizontais, denominados tubulão superior e inferior, um sistema de ventilação de ar, um sistema de alimentação de água e uma chaminé para condução dos gases de combustão. Além disso, possui ainda sopradores de fuligem, que são tubos com orifícios, inseridos transversamente em diversos locais da caldeira, são ligados externamente ao sistema de vapor e possuem movimento de rotação. Eles têm finalidade de remover a fuligem depositada nos tubos durante a operação da caldeira.

A caldeira também possui ventiladores que tem por finalidade movimentar o ar de combustão até os queimadores na câmara de combustão e os gases da câmara de combustão até a chaminé. E válvulas de segurança, instaladas no tubulão, para dar saída ao vapor caso este atinja uma pressão superior a um máximo admitido pelas condições de segurança operacional.

4.3.2.2 – Água na Caldeira

A água utilizada na caldeira é a desmineralizada proveniente da ETA, e antes de entrar na caldeira ela passa por um desaerador (Figura 12), cuja função é remover o oxigênio dissolvido, o dióxido de carbono e outros gases que não condensam da água de alimentação das caldeiras, a fim de prevenir corrosão nas tubulações. Na Figura 13 pode-se observar as incrustações retiradas da caldeira.



Figura 12: Foto de um desaerador.



Figura 13: Incrustações retiradas da caldeira.

O condensado é uma água originada da condensação de um vapor, é de altíssima pureza, praticamente isento de sais e materiais dissolvidos. Além disso, encontra-se em uma temperatura elevada, o que aumenta a eficiência do sistema gerador de vapor e contribui para um menor consumo de combustível. Devido a essas enormes vantagens, o condensado é utilizado como alimentação das caldeiras. Pode-se inclusive utilizar condensados de outras fontes, tais como originados de evaporadores e outros equipamentos, desde que não estejam contaminados.

4.3.2.3 – Funcionamento

O funcionamento da caldeira se dá pela alimentação da fornalha pelo bagaço da cana, que vem da moenda, com uma umidade em torno de 50%. A queima desse bagaço libera gases quentes, que servem para aquecer a água que circula no feixe tubular e tubulões. Os tubulões (Figura 14) servem para a circulação de vapor e água dentro da caldeira, permitindo assim a troca de calor entre os gases de combustão e a água ou vapor.

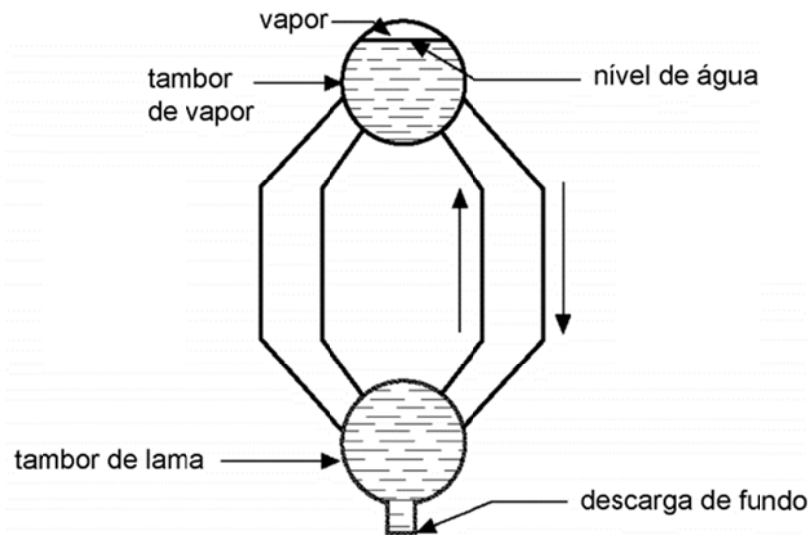


Figura 14: Sistema dos tubulões.

A água circula várias vezes através do conjunto tubulão-coletores, descendo pelos tubos externos e retornando pelos internos. Essa circulação é provocada pela diferença de pressão exercida pelas colunas líquidas e pelas correntes de convecção formadas. Na coluna externa há apenas água, e é mais pesada do que a coluna interna que contém água e vapor, isso promove então a circulação. O vapor se acumula no tubulão superior, enquanto o líquido volta a circular. A Figura 15 mostra o esquema de uma caldeira.

O vapor saturado que é separado no tubulão passa para um conjunto de serpentinas, denominadas superaquecedor. Depois de passar pelo superaquecedor o vapor atinge a temperatura e pressão ideal para assim passarem para o gerador e servir a usina.

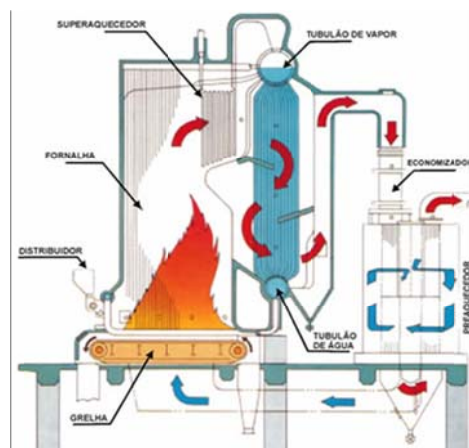


Figura 15: Esquema de uma caldeira

Os gases de combustão circulam no interior da caldeira, sendo conduzidos por exaustores à atmosfera através de chaminés, passando antes por dois pré - ar, o qual aquece o ar que é ventilado para dentro da caldeira e esfria o ar de combustão que vai ser eliminado para a atmosfera. Em seguida esses gases passam pelo lavador de gases, onde é eliminada alguma impureza que ainda possa estar contida neles e para atingirem uma temperatura ideal ($< 100^{\circ}\text{C}$) para assim serem lançados na atmosfera. Na Figura 16 é possível observar os exaustores, chaminé, lavador de gases e os dois pré-ar.

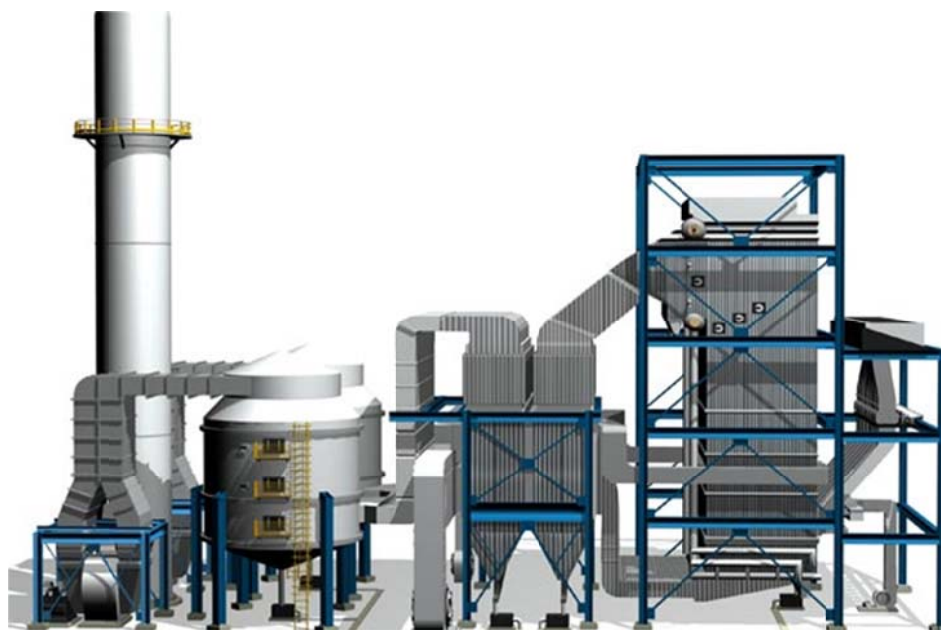


Figura 16: Caldeira

4.3.3 - Vinhaça

Dentre os resíduos gerados na produção do álcool, destaca-se a vinhaça pelo grande volume gerado e pelo alto potencial poluidor. A vinhaça é produzida a partir da destilação da cana no processo de fabricação do álcool. Ela é rica em nutrientes minerais como potássio, cálcio e enxofre. Depois de tratada, a vinhaça é aplicada na lavoura, para fertirrigação. Essa aplicação tem resultados positivos quanto à produtividade agrícola (Previtali, 2011).

4.3.4 - Tratamento de Efluentes Industriais

Na indústria há um uso intensivo de água em todo o sistema para produzir álcool. Esta água após o uso no processo gera um efluente com altas cargas orgânicas, necessitando de tratamento antes ser reutilizada ou até mesmo adicionada à vinhaça.

Os procedimentos utilizados no tratamento do efluente são físicos e químicos. Os efluentes primeiro passam por um pré-tratamento grosseiro de separação dos sólidos de maior dimensão. Em seguida, essa água passa para o decantador (Figura 17), onde há adição de polímero para uma melhor decantação. A água então clarificada está pronta para o reuso e o lodo obtido no decantador passa por um filtro (Figura 18), onde é retirada a “torta” (parte seca) para ser enviada a lavoura.



Figura 17: Decantador



Figura 18: Filtro

4.3.5 - Moenda

Depois de cortada e transportada para a unidade industrial, a cana é enviada para a moagem, onde se dá início o processo de fabricação do álcool. O transporte da cana da lavoura até a indústria é feita por caminhões. A moenda tem capacidade para moer 500 ton/H.

A cana chega picada, em pedaços de aproximadamente 15 cm, após ser descarregada na mesa alimentadora, a cana passa por picadores (Figura 19) que trituram os colmos, preparando-a para a moagem. Neste processo as células da cana são abertas, mas sem ocorrer perda do caldo. Em seguida, a cana passa pelo tambor distribuidor para assim passar pelo desfibrador (Figura 20), onde é desfibrada e enviada à moenda através de esteiras de borracha (Figura 21), passando por um eletroímã para capaz de remover

as impurezas metálicas que possam acompanhar a cana, e depois passa por rolos para ser moída e extrair o caldo. Na moenda (Figura 22), a cana desfibrada é exposta entre rolos (Figura 23) submetidos à pressão, retirando assim o caldo do interior das células. Este processo é repetido por cinco vezes continuamente.



Figura 19: Picador



Figura 20: Desfibrador



Figura 21: Esteira de borracha



Figura 22: Moendas

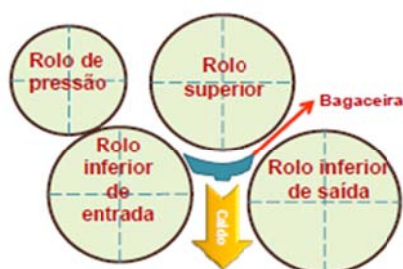


Figura 23: Sistema de rolos

O caldo extraído no primeiro terno já é enviado para um tanque, no quinto (último) terno é adicionado água, para fazer embebição (100% moagem → 145 m³ água), e tem função de embeber o interior das células da cana, retirando assim o açúcar que ainda possa existir, esse caldo obtido no quinto terno, é adicionado no quarto terno

para fazer a embebição do bagaço no mesmo, o caldo obtido nesse terno passa pelo terceiro terno, em seguida no segundo, de onde é enviado para o tanque (Figura 24).

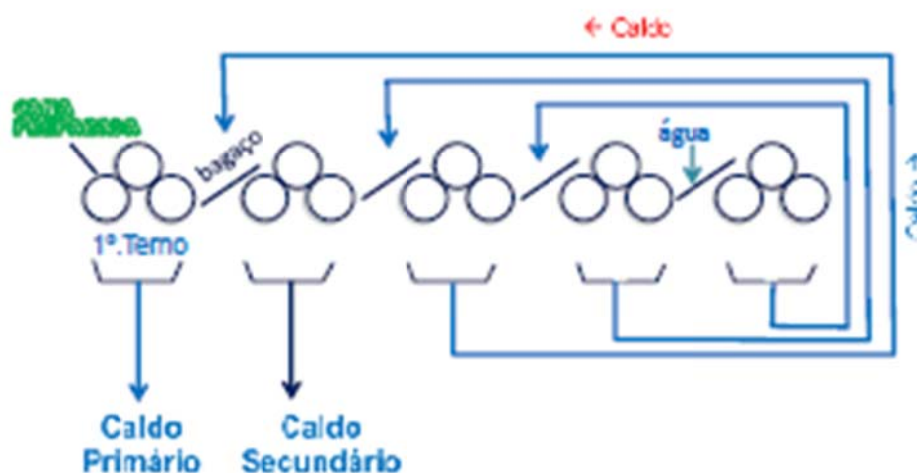


Figura 24: Diagrama de produção de caldo

Deste tanque o caldo passa por uma peneira rotativa elevada sendo que o caldo resultante é enviado ao processo, e o bagacilho é devolvido à moenda para ser reprocessado.

4.3.6 - Tratamento de Caldo

O caldo de cana bruto, vindo da moenda, é opaco, de cor amarelo a esverdeado, escuro e viscoso, o qual recebe o nome de caldo misto. Este caldo contém impurezas em suspensão (terra, areia e bagacilho) e impurezas solúveis (corantes e sais minerais).

O caldo misto que se encontra no tanque de armazenamento, passa pelos trocadores de calor de placas, onde trocam calor com a vinhaça, oriunda da destilaria, e com o caldo pré - evaporado, para que tenha um aumento em sua temperatura, acelerando assim as reações químicas. Em seguida, este caldo passa para outro tanque onde ocorre a dosagem de cal, para auxiliar na purificação do caldo, provocando a floculação e favorecendo a decantação de impurezas e para ajustar o pH em torno de 6,0 e 6,5 , e este caldo passa a ser chamado de caldo dosado.

O caldo dosado é enviado para os aquecedores elevando sua temperatura para aproximadamente 105 °C, utilizando para isso vapor vegetal que trabalha a uma pressão de aproximadamente 0,800 Kgf/cm², vindo dos pré-evaporadores. Esses aquecedores

são formados por uma calandra tubular, onde o caldo circula por dentro dos tubos e o vapor em volta dos tubos.

Após o aquecimento, o caldo vai para o balão flash, que é um recipiente cilíndrico, colocado antes e acima do decantador, com uma chaminé aberta para a atmosfera, no qual o caldo vindo dos aquecedores circula tangencialmente. Esse balão tem a função de liberar todas as partículas em suspensão das bolhas de ar que ali estão agregadas e que comprometeriam a decantação e clarificação, se não fossem retiradas. O flasheamento se dá através da expansão brusca do caldo de sua pressão na tubulação para a pressão atmosférica. Esta ebulição explosiva e violenta faz com que o ar e os gases dissolvidos contidos no caldo, inclusive aquele adsorvido na superfície das partículas de bagacilho sejam eliminadas.

Depois da passagem pelo balão flash o caldo vai para os decantadores que separam as impurezas do caldo. Para auxiliar a decantação, adiciona-se polímero, dentro dos decantadores. O polímero antes de ser dosado é dissolvido em água. O decantador utilizado é do tipo convencional (Figura 25) com 5 bandejas cônicas paralelas ao fundo. As bandejas possuem uma abertura central que faz a comunicação entre os compartimentos, constituindo o espaço por onde sai o lodo. O caldo é alimentado pela parte central onde é distribuído para as bandejas para que decantação ocorra por gravidade.

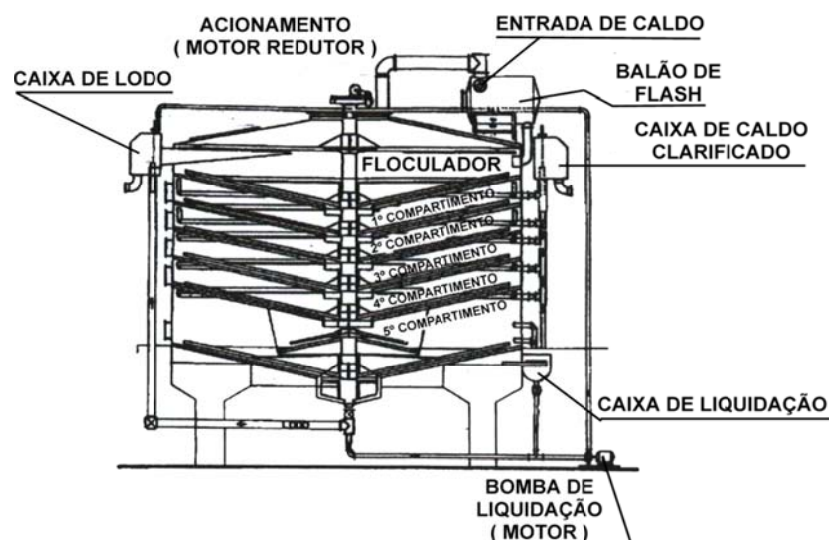


Figura 25: Decantador convencional.

O caldo clarificado é retirado por serpentina externa e sua vazão é controlada através de canecas e o lodo é retirado pelos raspadores contido em cada bandeja e

direcionado para o fundo. O lodo é enviado para um sistema de filtração, utilizando filtro a vácuo (Figura 26), para recuperação de parte de seu conteúdo de açúcar, e obtenção da torta (parte seca) utilizada na lavoura.

Já o caldo passa por uma peneira rotativa para garantir a remoção da maior quantidade de partículas insolúveis, que ainda possa ter restado. Em seguida, passa novamente por trocadores de calor, onde sua temperatura é elevada a aproximadamente 115°C e assim segue para a evaporação (Figura 27), que tem a finalidade de concentrar o caldo elevando seu brix a aproximadamente 25° brix e gerar vapor vegetal a partir da água existente no caldo. O vapor de escape das turbinas entra no condensador, onde transfere calor para o caldo que se encontra dentro dos tubos, produzindo assim a evaporação da água (caldo) dentro dos tubos. A quantidade de água removida na evaporação é cerca de 80% do caldo.

O caldo que sai dos evaporadores, chamado de mosto, troca calor com o caldo misto nos regeneradores, e segue para a destilaria. E todo vapor condensado é coletado para ser reutilizado, na lavagem do lodo e da peneira rotativa.



Figura 26: Filtro rotativo a vácuo



Figura 27: Pré- evaporador

4.3.7 - Fermentação

A fermentação do mosto é feita através de microrganismos vivos, neste caso, levedos. Neste processo as leveduras utilizam o açúcar para obter energia, e conseqüentemente produzem álcool e gás carbônico.

O vinho é o resultado da fermentação do mosto, é deste vinho que se obtém o álcool. O mosto antes de ser enviado para a dorna passa por trocadores de calor, onde troca calor com água, pois precisa ter uma temperatura de aproximadamente 32°C para entrar nas dornas (Figura 28). A dorna recebe o fermento, em seguida o mosto e assim começa o processo de fermentação, esse processo de fermentação dura aproximadamente 7 horas, enquanto ocorre a fermentação, o vinho juntamente com o fermento, ficam re-circulando, e se necessário trocam calor com água.



Figura 28: Dornas e cubas

A fermentação acaba quando o brix da dorna encontra-se o menor possível (abaixo de 2) indicando que o levedo já se alimentou de todo açúcar existente ali. Ao acabar a fermentação, o conteúdo desta dorna é turbinado, passa por um filtro para retirar alguma impureza e depois vai para a centrífuga (Figura 29), onde irá ocorrer a separação do vinho e do fermento. A Figura 30 mostra uma centrífuga aberta:



Figura 29: Centrifugas



Figura 30: Jogo de pratos da centrífuga

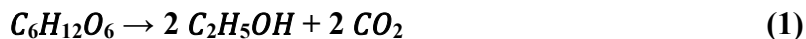
O vinho segue para uma dorna volante, onde ficará disponível para ser enviado para a destilaria e o fermento passa para uma cuba, onde é tratado com água acidificada (Figura 31), para manter o pH ideal de trabalho das leveduras (aproximadamente 2,5), se necessário é dosado antibiótico na cuba para controlar o infecção, e assim o fermento esta pronto para ser enviado novamente para a dorna, reiniciando assim o processo de fermentação.



Figura 31: Tratamento de fermento na cuba

O CO₂ liberado no topo das dornas é coletado em uma coluna, onde ocorre a lavagem com água, para recuperar o álcool que possa ter sido arrastado pelo CO₂. Assim o CO₂ é eliminado para a atmosfera e a água com álcool é enviada para a dorna volante.

Ao término da fermentação em uma dorna, faz-se a assepsia, passando flegmaça (proveniente da destilaria) na mesma, e depois essa flegmaça também é enviada para a dorna volante, de onde segue para a destilação. A reação de fermentação é descrita pela equação (1):



Através da Figura 32, é possível observar a representação do processo completo de fermentação:

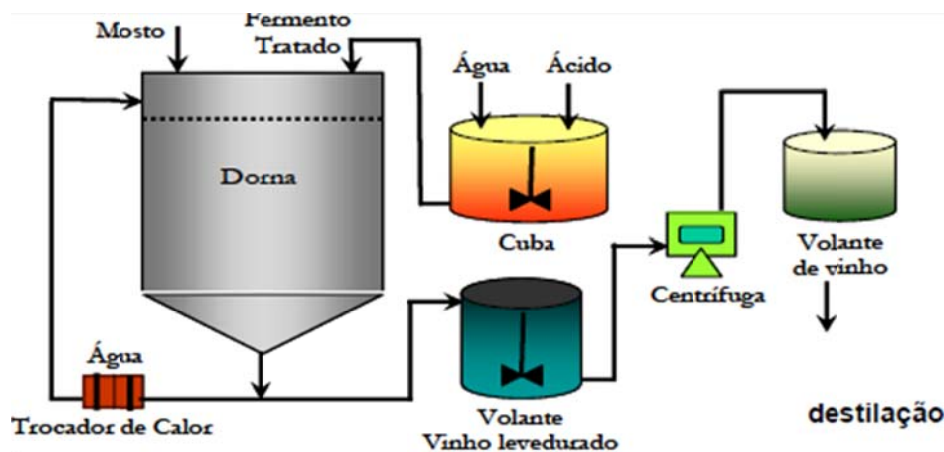


Figura 32: Representação de um processo de fermentação.

4.3.8 – Destilaria

O vinho que vem da fermentação possui de 7 a 10°GL em sua composição de álcool, além de outros componentes líquidos, sólidos e gasosos. O álcool presente neste vinho é recuperado pela destilação, processo que se utiliza dos diferentes pontos de ebulição das diversas substâncias voláteis presentes, separando-as.

A destilação é processada em colunas superpostas. O vinho é alimentado no topo da coluna A (A22) (Figura 33), e desce pelas bandejas sofrendo a depuração, na bandeja A20 ocorre à retirada da flegma que é enviada à coluna B (B15).

No topo da coluna A são retirados os álcoois de segunda, estes vão para um balão, em seguida, passam por dois condensadores R e R1, onde o condensado retorna ao meio da coluna B e o vapor é eliminado (degasação). Ambos condensadores trocam calor com água.

A coluna A tem por finalidade esgotar a maior quantidade possível de álcool do seu produto de fundo, que é a vinhaça. Esta é retirada em uma proporção de aproximadamente 12 litros para cada litro de álcool. A vinhaça ao sair na base da coluna A, passa pelos trocadores de calor, onde troca calor com o vinho e depois segue para os trocadores de calor do tratamento de caldo.

A flegma é alimentada na coluna B (B15), onde é concentrado e purificado, sendo retirado como álcool hidratado, um pouco abaixo desta bandeja. Os voláteis retirados no topo da coluna B passam por uma seqüência de condensadores E, E1 e E2 (Figura 34), o condensado obtido nesta etapa vai para o balão de refluxo e assim retorna ao topo da coluna B, e logo abaixo é retirado como álcool hidratado. O condensador E troca calor com o vinho que vem da fermentação, e esse vinho ainda passa por um trocador de calor com vinhaça antes de entrar na coluna A. O condensador E1 e E2 troca calor com água.

Próximo à bandeja de entrada da flegma são retirados os óleos. O óleo alto retorna a dorna volante e o óleo fúsel (óleo baixo) é resfriado, lavado, decantado, e armazenado para posterior comercialização. Na base da coluna B, ocorre a retirada da flegmaça, que é utilizada em um trocador de calor, e depois segue para a fermentação para ser utilizada para assepsia. A água utilizada para lavagem do óleo é enviado para um tanque de álcool de segunda, em seguida retornam para a dorna volante da fermentação e depois retornam ao processo de destilação.

O aquecimento das colunas é realizado pela injeção de vapor vegetal no fundo das colunas.

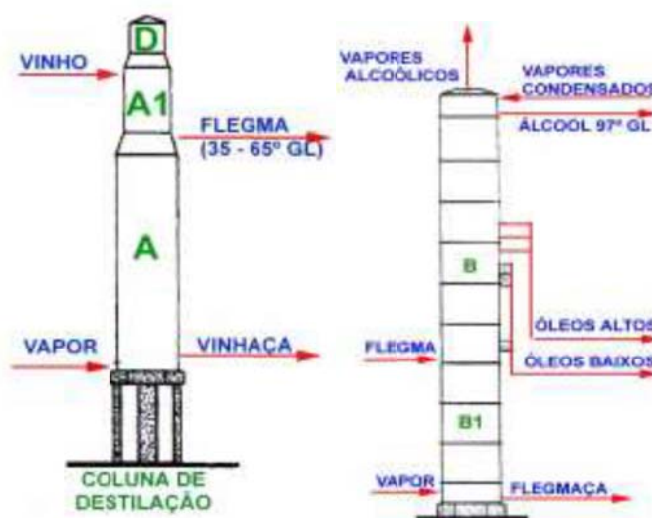


Figura 33: Colunas de destilação.



Figura 34: Condensadores.

4.3.8.1 - Peneira Molecular

O processo de desidratação utilizando peneira molecular (Figura 35) é feito através do uso de zeólitas. A zeólita é um mineral que contém micro poros.

O processo inicia-se com a vaporização e superaquecimento do álcool hidratado. Após este passar por dois trocadores de calor, um com água e outro com flegmaça, este álcool é enviado às colunas de desidratação sendo forçado a passar pelas zeólitas. Devido ao tamanho molecular (Figura 36) a água fica retida nos micro poros, já o álcool por ter maior tamanho molecular passa pela zeólita sem ficar retido. Os vapores de álcool retirados da peneira são condensados na forma de álcool anidro.

No evaporador é injetado vapor vegetal e no superaquecedor vapor direto, para superaquecer o álcool e assim realizar os ciclos. Duas colunas trabalham em um ciclo, enquanto em uma ocorre à desidratação do álcool, a outra faz a regeneração da peneira para retirar a água das zeólitas, essa água é conhecida como flegma rica. Para isso utiliza-se bomba de vácuo.

O vapor alcoólico que sai da coluna passa por condensadores e em seguida troca calor com água e segue então para o tanque de armazenamento. A flegma também passa por condensadores, em seguida troca calor com o álcool hidratado, assim uma parte vai para o tanque de álcool de segunda e outra entra na coluna B para ser retificado.



Figura 35: Peneira molecular

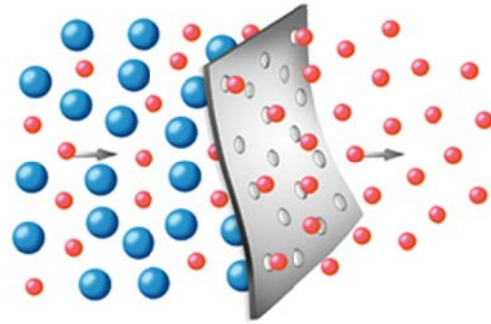


Figura 36: Ideia de uma peneira molecular

4.3.9 – Central de Operações Interligadas (COI)

Como grande maioria da usina é automatizada, essa central é de onde os operadores tem acesso a tudo que está acontecendo no campo da indústria, através de computadores (Figura 37), podendo fazer manobras como: ligar e desligar válvulas, controlar nível de tanques, controlar a porcentagem de moagem, vazões, temperaturas, pressões, entre outros tantos comandos.

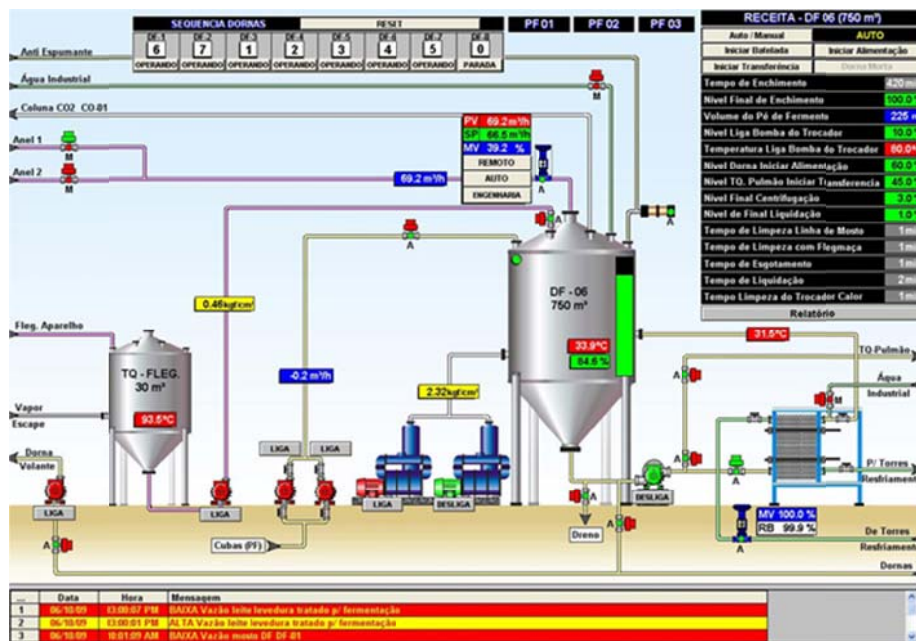


Figura 37: Exemplo de uma tela no COI

5. CONTRIBUIÇÕES DO ESTAGIO PARA A FORMAÇÃO PROFISSIONAL

Durante o período de estágio, foram realizadas as análises laboratoriais e pode-se acompanhar a rotina de execução e elaboração de todas as atividades realizadas no processo industrial, entendendo assim como ocorre à produção de álcool, desde a chegada da cana na usina.

O estágio realizado na IACO Agrícola S/A foi de fundamental importância, o aprendizado adquirido neste período, com certeza será de grande valia para toda vida profissional. Além de se aplicar conceitos vistos em sala de aula, o estágio mostrou-se como portar em um ambiente de trabalho, onde há grande cobrança em questão de resultados, horários a seguir e como se posicionar diante de determinadas situações. Também foi de extrema aprendizagem conviver com pessoas fora do meio acadêmico.

A participação com muita dedicação e interesse em todos os setores, o esforço para entender tudo que estava acontecendo e a grande absorção de conhecimento, permitiu ter uma ligação direta ao campo de atuação e assim ter uma visão de mercado de trabalho.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estágio curricular supervisionado enriquecedor, despertando habilidades e aptidões para lidar com a área profissional. Foi um instrumento importantíssimo para ligar teoria e prática, estimulando assim a pesquisa e atualização dos conhecimentos adquiridos.

Outro aspecto de grande relevância foi à vivência com novas experiências, que irá contribuir muito com a prática profissional.

7. REFERÊNCIAS

Alcon Química LTDA, **Águas**.

ALLTEC Química. **Otimização do tratamento de caldo**. 2005.

Altafini, C. R. **Apostila completa sobre caldeiras**. 2002.

Cachoeira, O. D. **Estágio Supervisionado**.

Disponível em http://w.uniuv.edu.br/mat_pre/odelir_dileto_cachoeira/estagio.pdf.

Acesso em 20 de agosto de 2012.

Carvalho, C. C. G. e Santos, M. F. **Manual de operação e manutenção de estação de tratamento de água**.

Cortinovis, G. F. e Song, T. W. **Funcionamento de uma torre de resfriamento de água**. Disponível em: <http://www.hottopos.com/regeq14/giorgia.pdf>. Acesso em 17 de agosto de 2012.

FERMENTEC S/C LTDA. **Fundamentos dos métodos analíticos laboratoriais**. 2012

Galindo, C. A. M. **Informativo - IACO Agrícola S/A**. Edição 63, p.5, 2011.

Galindo Júnior, J. B. **Informativo - IACO Agrícola S/A**. Edição 67, p.4, 2012.

GE: Water & Process Technologies; **Tratamento de águas industriais**.

IACO Agrícola S/A. **Manual de operação para produção de álcool hidratado e anidro**.

Marafante, L. J. **Tecnologia da fabricação do álcool e do açúcar**. Editora Cone.

Ministério da agricultura. **Cana-de-açúcar**.

Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>. Acesso em 15 de agosto de 2012.

Oliveira, A. B. J. B. **Informativo - IACO Agrícola S/A**. Edição 42, p.3, 2007.

Oliveira, J. C. S. J. B. **Informativo - IACO Agrícola S/A**. Edição 62, p.3, 2011.

Previtali, N. R. **Uso de Vinhaça para fertirrigação**. 2011.

Revista rural. **Moagem: A Transformação da cana em riqueza**. Edição 86 - abril 2005.

Rodrigues, C. D. **Produção de açúcar**. Aulas ministradas no curso de Química Industrial, 2012.

Rodrigues, C. D. **Produção de álcool**. Aulas ministradas no curso de Química Industrial, 2012.

SENAI. **Caldeiras**. 2008.

União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA). **Cana-de-açúcar**.

Disponível em: <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/cana-de-acucar/cana-de-acucar.php>.

Acesso em 15 de agosto de 2012.

UFSCAR. **Produção de açúcar: conceitos gerais**.