

Aplicação da produção mais limpa no processo de clarificação do caldo de cana para produção de açúcar

Rodolfo Benedito da Silva (UNEMAT, MT, Brasil) – rodolfoengenheiro@hotmail.com
• UNEMAT – Departamento de Engenharia de Produção – R. A s/n, São Raimundo, Barra do Bugres-MT, CEP: 78390-000
Alexandre Gonçalves Porto (UNEMAT, MT, Brasil) – agporto@hotmail.com
Célia Szuchman Wolquind (UNEMAT, MT, Brasil) – celinhawolquind@hotmail.com
Fabrício Schwanz da Silva (UNEMAT, MT, Brasil) – fabricio.silva@vsp.com.br
Flávio Teles Carvalho da Silva (UNEMAT, MT, Brasil) – ftcilva@gmail.com

Recebido em: 09/09/08 Aprovado em: 15/11/08

Resumo

O presente artigo tem por objetivo verificar a aplicação dos princípios que norteiam a Produção mais Limpa (P+L) no processo de clarificação do caldo de cana para produção de açúcar. A P+L divide seus objetivos em três níveis: nível 1 (evitar resíduos e emissões), nível 2 (retorno dos resíduos ao processo produtivo) e nível 3 (reciclagem externa e deposição final de resíduos). O processo de clarificação tradicional utilizado pelas agroindústrias sucroalcooleiras é caracterizado por uma etapa conhecida por sulfitação, onde ocorre a introdução do enxofre (SO₂), sendo este um insumo que libera resíduos prejudiciais à saúde do ser humano e ao meio ambiente. No entanto, a necessidade de produzir um açúcar de boa qualidade e livre de resíduos tóxicos vem incentivando as empresas deste segmento a buscarem alternativas que sejam viáveis do ponto de vista técnico, para substituir este produto no processo produtivo. Neste trabalho, são apresentadas duas alternativas tecnicamente viáveis à substituição do enxofre (o ozônio e os bicarbonatos) no processo de clarificação, com intuito de minimizar os resíduos e emissões, atendendo ao nível 1 dos níveis de aplicação da P+L, reduzindo, na fonte geradora, os poluentes e modificando o processo de sulfitação através da substituição do insumo (SO₂).

Palavras-chaves: Produção mais Limpa; Clarificação do caldo; Açúcar.

Abstract

This paper's objective is to verify the application of those principles that guide cleaner production of sugar. Cleaner production divides its objectives into three levels: level 1 (avoid waste and emissions), level 2 (return wastes to the production process) and level 3 (external recycling and final disposal of wastes). The traditional clarification process used for sugar and alcohol agribusiness is characterized by a step known as sulphiting, where sulphur (SO₂) is introduced, and this is an input that releases residue which is harmful to human health and the environment. However, the need to produce high quality sugar and free of toxic residue, is encouraging factories in this segment to seek alternatives that are technically viable to substitute this product in the production process. In this study, two technically viable alternatives were presented to replace sulphur, ozone and bicarbonates in the clarification process, in order to minimize residues and emissions. This meets level 1 for cleaner production applications, reducing pollutants at the source and modifying the sulphiting process by replacing the input (SO₂).

Keywords: Cleaner Production; Gravy clarification; Sugar.

1. INTRODUÇÃO

As agroindústrias canavieiras no Brasil atualmente se encontram em destaque por exercerem papéis fundamentais na economia, sendo elas agentes responsáveis pela geração de empregos e renda, bem como, por realizar a produção de produtos e subprodutos considerados essenciais no cotidiano, tais como açúcar, álcool e energia.

As empresas que realizam o processamento da cana-de-açúcar geram diversos resíduos durante esta atividade: água de lavagem da cana, bagaço, vinhaça, vinhoto, torta de filtração e outros, que, se não forem armazenados, tratados, depositados ou reaproveitados de maneira adequada, acarretam sérios prejuízos ao meio ambiente. Além disso, utilizam insumos durante o processo de fabricação de seus produtos que afetam o meio ambiente e a saúde de funcionários e consumidores, como é o caso do enxofre utilizado no processo de clarificação do caldo para a produção de açúcar.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2002) percebeu que a geração de resíduos é resultado da ineficiência de transformação de insumos (matérias-primas, água e energia) em produtos, acarretando danos ao meio ambiente e custos para as empresas. A geração de resíduos passou a ser considerada como um desperdício de dinheiro com compra de insumos, desgaste de equipamentos, horas de empregados, etc., além dos demais custos envolvidos com o seu armazenamento, tratamento, transporte e disposição final.

Delgado e César (1990) qualificam o açúcar como uma commodity que pode ser extraída tecnicamente da cana-de-açúcar em grande escala. O açúcar é um dos produtos alimentícios que se configurou como alimento comum à dieta dos habitantes de todos os países.

O açúcar é obtido do caldo de cana por um processo chamado tratamento do caldo que tem como objetivo eliminar parte das impurezas (terra, bagacilho e materiais corantes). Ele é dividido em oito etapas, entre as quais se encontra a sulfitação, caracterizada pela adição do enxofre (SO₂) para facilitar o processo de clarificação. No entanto, o enxofre utilizado libera resíduos prejudiciais ao meio ambiente e funcionários das empresas e sais de enxofre no açúcar que provocam danos a saúde dos consumidores, desgastes de equipamentos, etc., o que impulsiona o estudo de alternativas para substituí-lo neste processo.

Atualmente, é relevante e crescente, tanto em âmbito nacional quanto internacional, a preocupação com os impactos ambientais decorrentes das atividades industriais e do crescimento populacional desorganizado e também com a produção de alimentos que trazem segurança para os consumidores. Devido a isso, surgiram diversas técnicas com o objetivo de minimizar estes problemas, dentre as quais podemos citar a Produção mais Limpa, conhecida também pela sigla P+L. De acordo com Domingues (2007), a Produção mais Limpa é um conceito internacionalmente reconhecido como uma abordagem moderna e eficaz de se analisar e gerenciar os recursos de produção, dentro de uma visão preventiva e pró-ativa quanto à geração de resíduos e desperdícios.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo verificar a aplicação do conceito de Produção mais Limpa em agroindústrias sucroalcooleiras, apresentando alternativas tecnicamente viáveis à substituição do enxofre (SO₂) no processo de clarificação do caldo da cana para a produção de açúcar.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Histórico e conceito de produção mais limpa

Em 1989, a United Nation Environmental Program (UNEP) conceitualiza o termo Produção mais Limpa (Cleaner Production) e inicia um trabalho de divulgação deste conceito mundialmente. Especificamente, a UNEP concentrou-se no intercâmbio de informações, capacitação e assistência às organizações e difusão da estratégia de Produção mais Limpa (KAZMIERCZYK, 2002).

A metodologia do conceito de P+L foi desenvolvida pela United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) e é a base do programa de prevenção proposto pela UNIDO e pela UNEP para nações em desenvolvimento, com a seguinte abordagem:

Produção mais Limpa é a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada nos processos produtivos, nos produtos e nos serviços, para reduzir os riscos relevantes aos seres humanos e ao ambiente natural. São ajustes no processo produtivo que permitem a redução da emissão/geração de resíduos diversos, podendo ser feitas desde pequenas reparações no modelo existente até a aquisição de novas tecnologias, simples e/ou complexas (UNEP – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE, 1989).

A estratégia de redução (ou eliminação) de resíduos (ou poluentes) na fonte geradora consiste no desenvolvimento de ações que promovam a redução de desperdícios, a conservação de recursos naturais, a redução ou eliminação de substâncias tóxicas (presentes em matérias-primas ou produtos auxiliares), a redução da quantidade de resíduos gerados por processos e produtos e, conseqüentemente, a redução de poluentes lançados para o ar, solo e águas (CETESB, 2002).

A implantação de um programa de Produção mais Limpa é constituída de uma avaliação técnica, econômica e ambiental do processo produtivo através de sua análise detalhada e posterior identificação de oportunidades que possibilitem melhorar a eficiência dos processos produtivos da empresa. A metodologia pode ser aplicada em todos os setores, incluindo indústria, comércio e serviços, além de atividades do setor primário (CNTL, 2003).

De acordo com a definição da UNEP (1994), a Produção mais Limpa é a melhoria contínua dos processos industriais, produtos e serviços, com os seguintes objetivos:

- Reduzir o uso de recursos naturais;
- Prevenir na fonte a poluição do ar, da água e do solo;
- Reduzir a geração de resíduos na fonte, visando reduzir os riscos aos seres humanos e ao ambiente natural;

Segundo o Centro Nacional de Tecnologias Limpas no Brasil (CNTL, 2003) a implementação da Produção mais Limpa exige ações voltadas para três benefícios básicos:

- Benefício ambiental (eliminação ou redução de resíduos e emissões; atender às exigências da legislação ambiental, etc.);
- Benefício de saúde e segurança ocupacional (eliminar ou reduzir substancialmente os riscos à saúde e segurança dos empregados);
- Benefício econômico (reduzir os custos com compra de matéria-prima e insumos; com a disposição final de resíduos e produtos, etc.).

Para Hinz; Valentina; Franco (2006), as empresas precisam descobrir que não basta pensar apenas em questões econômicas, mas também em questões ambientais e sociais relacionadas a seus produtos, processos e serviços. Ações neste sentido poderão levar a empresa ao sucesso e em alguns casos apenas mantê-la no mercado, onde sua sobrevivência depende de um equilíbrio entre seu desempenho econômico, social e ambiental.

2.2. Níveis de aplicação da produção mais limpa

A Figura 1 ilustra os níveis de aplicação da Produção mais Limpa, que a UNIDO disponibiliza por meio do CNTL, trazendo um delineamento e fluxo seqüencial de trabalhos a serem realizados para a sua implementação, assim como foi apresentado por Domingues (2007).

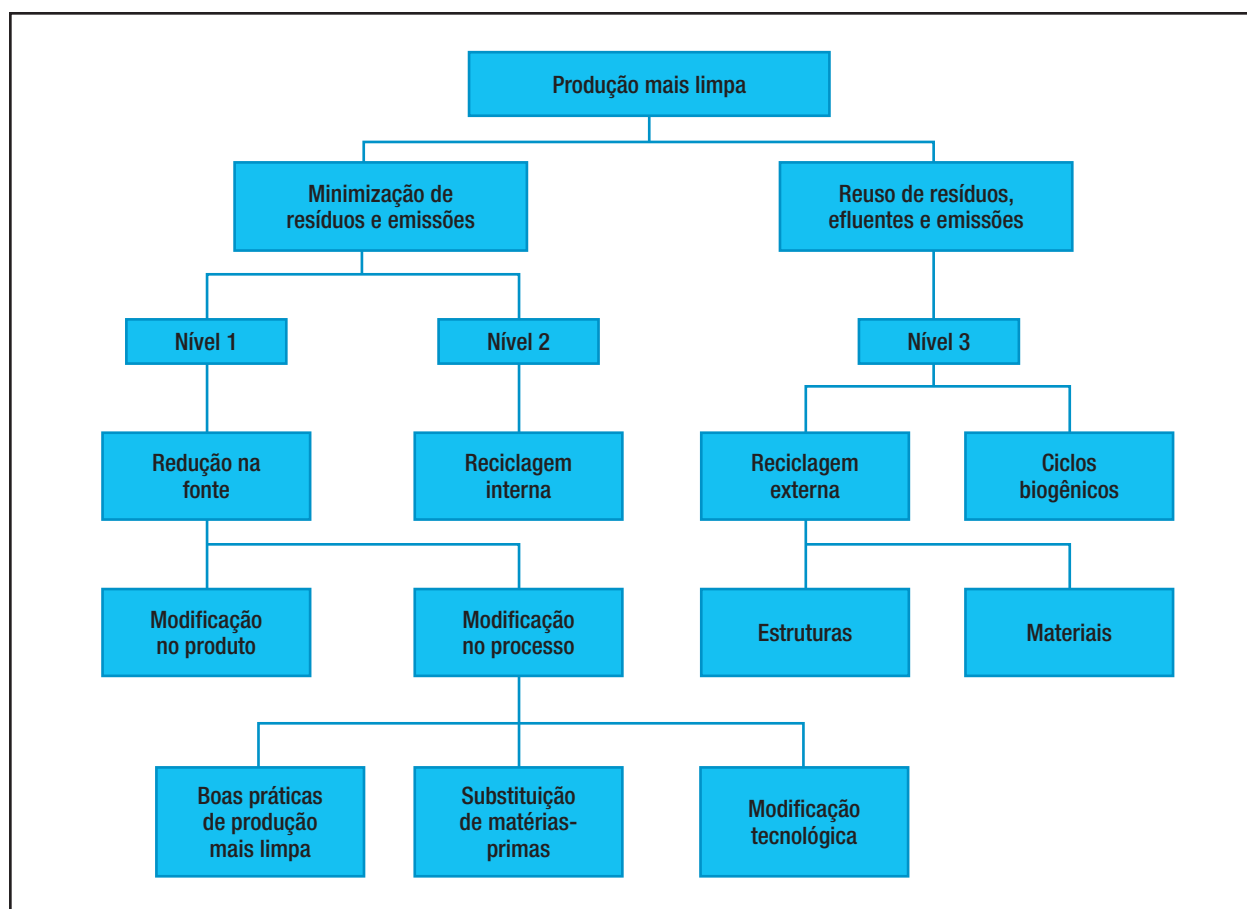


Figura 1 – Fluxograma da geração de opções de produção mais limpa

Fonte: CNTL (2003)

De acordo com Domingues (2007), é possível observar, na Figura 1, os objetivos da P+L como sendo:

- Nível 1 – evitar geração de resíduos e emissões;
- Nível 2 – reintegração no processo produtivo dos resíduos que não puderam ser evitados;
- Nível 3 – adoção de medidas de reciclagem externa ou a deposição dos resíduos em local apropriado na impossibilidade de execução dos níveis acima;

A produção mais limpa é caracterizada por ações que privilegiem o nível 1 como prioritário, seguidas do nível 2 e nível 3, nesta ordem. Deve ser dada prioridade a medidas que busquem eliminar ou minimizar resíduos, efluentes e emissões no processo produtivo onde são gerados. A principal meta é encontrar medidas que evitem a geração de resíduos na fonte (nível 1). Estas podem incluir modificações tanto no processo de produção quanto no próprio produto (CNTL, 2003).

As opções de reciclagem só devem ser adotadas depois que as técnicas de prevenção foram implantadas, pois a P+L não significa maximizar o uso de reciclagem ou de tecnologias de controle da contaminação, conhecidas como de fim-de-tubo, e sim saber aproveitar os equipamentos e as tecnologias existentes com o objetivo de gerar o mínimo possível de impacto ambiental (DOMINGUES, 2007).

3. PROCESSO PRODUTIVO DO AÇÚCAR

No Brasil, as usinas não se diferenciam muito uma das outras quanto ao modo de produção, fato este que permite apresentar uma descrição do processo que serve praticamente para qualquer usina.

Na Figura 2 é apresentado o fluxograma do processo de produção do açúcar, visando proporcionar maior percepção do mesmo, ressaltando, principalmente, a importância da etapa de clarificação do caldo devido à presença do enxofre (SO₂).

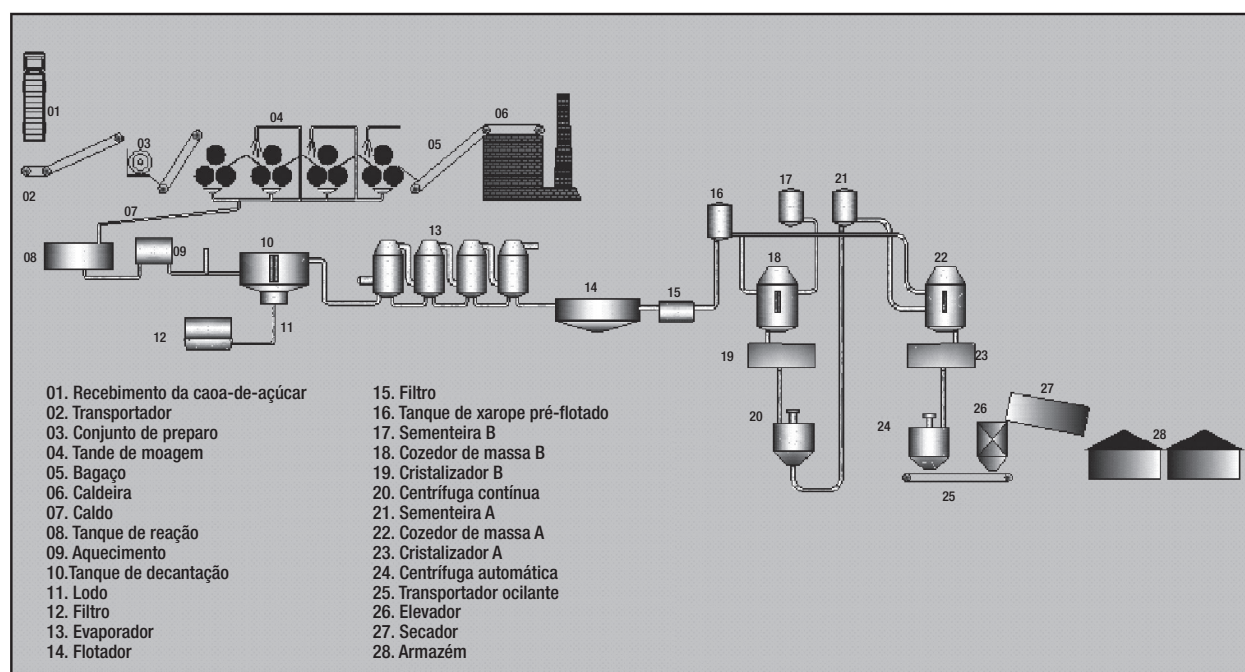


Figura 2 – Processo produtivo do açúcar

Fonte: Adaptado de Geocities (2008)

3.1. Extração do caldo

Após a colheita da cana-de-açúcar ela é transportada à indústria através de caminhões adaptados para o serviço. Na usina a cana é descarregada por um guincho hilo, até as mesas alimentadoras, para passar pelo processo de lavagem.

A lavagem tem por objetivo retirar as impurezas devidas ao fato de a cana-de-açúcar trazer do campo muita areia, cinzas, pedras, etc. A fim de evitar o desgaste das moendas e a presença de impurezas, é necessário fazer a lavagem antes da moagem. Logo após sua limpeza a cana é conduzida através de esteiras rolantes para os picadores e desfibradores, sendo esta etapa conhecida também como “preparação da cana”.

Após a preparação da cana, é feita a extração da sacarose, através do esmagamento da cana pelos ternos da moenda, onde, na primeira moenda, sofre duas compressões: uma entre o cilindro superior e o anterior e outra entre o rolo superior e o posterior.

O caldo produzido no primeiro terno das moendas é chamado de caldo primário, o qual é utilizado na fabricação do açúcar (PAYNE, 1989, e SANTOS, 2006).

3.2. Tratamento do caldo

O tratamento do caldo tem por objetivo eliminar parte das impurezas (terras, bagacilhos e materiais corantes) que interferem na qualidade final do açúcar, como por exemplo: cor, resíduos insolúveis e cinzas, entre outros. O caldo resultante da extração passa por algumas etapas de tratamento antes de ser usado na produção do açúcar, como podemos observar na Figura 3.

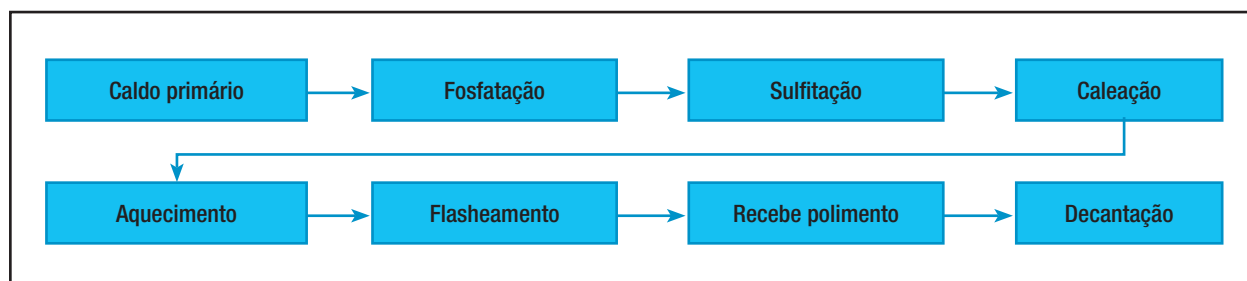


Figura 3 – Fluxograma do tratamento do caldo

Fonte: Payne (1989)

O tratamento do caldo, descrito a seguir, está de acordo com o apresentado por Payne (1989) e Santos (2006). O caldo é sulfitado com dióxido de enxofre (SO₂) para auxiliar na coagulação das matérias coloidais, na formação de precipitados que farão o arraste de impurezas durante a sedimentação e na desinfecção do caldo e, finalmente, caleado com leite cal (Ca(OH)₂) para, também, coagular parte do material coloidal, precipitar certas impurezas e neutralizar o pH.

A sulfitação do caldo tem como objetivos principais inibir reações que causam alterações de cor indesejável no açúcar, diminuir a viscosidade do caldo e, conseqüentemente, do xarope, massas cozidas e méis, facilitando as operações de evaporação e cozimento. A operação consiste em adicionar enxofre (SO₂) obtido do aquecimento de enxofre ao caldo, baixando o seu pH de acordo com parâmetros previamente estabelecidos.

O aquecimento proporciona a redução da viscosidade e densidade do caldo e acelera a velocidade das reações químicas, agrupando as impurezas na forma de pequenos “flocos”. Os sais formados são insolúveis a altas temperaturas, possibilitando a sua decantação.

O flasheamento tem a finalidade de eliminar o ar dissolvido no caldo que arrastaria para o caldo clarificado o bagacilho, que é mais leve e de difícil decantação. A aplicação do floculante utilizado para a decantação é um polímero de alto peso molecular e polaridade negativa, isto é, aniônico, pois os sais formados nas reações químicas são de polaridade positiva. Outro objetivo é promover o agrupamento dos flocos já formados, tornando-os maiores e mais pesados. Desse modo, acelera a velocidade de precipitação dos flocos, reduzindo a necessidade de um tempo de retenção muito alto nos decantadores.

É na decantação que ocorre a precipitação dos flocos formados, eliminados pelo fundo do decantador na forma de lodo. O caldo clarificado sai pela parte superior das bandejas, já isento da maioria das impurezas encontradas no caldo primário ou misto. Ou seja, nos decantadores ocorre apenas a separação física entre o caldo e as impurezas (flocos formados), sendo que a qualidade do caldo clarificado depende mais dos tratamentos químicos e térmicos efetuados antes, do que da própria decantação.

Na peneira é retirado, do caldo, o bagacilho que a decantação não conseguiu eliminar. O aumento de resíduos insolúveis no açúcar indica se o peneiramento está sendo eficiente. O processo seguinte é o da filtração onde o lodo é retirado dos decantadores, pois contém ainda uma grande quantidade de açúcar, que deve ser recuperado e separado das impurezas na forma de caldo. E esse é o objetivo dos filtros rotativos à vácuo.

O processo de evaporação consiste na retirada de água do caldo. E a primeira etapa de fabricação de açúcar. No processo de evaporação, o caldo passa por evaporadores, que utilizam vapor de escape (vapor que sai das caldeiras), no 1º efeito, o 2º, 3º e 4º efeitos utilizam vapor vegetal, proveniente do efeito anterior, como energia térmica e são constituídos de pré-evaporadores, onde o caldo é concentrado com a eliminação de água. A partir desse ponto o caldo é chamado de “xarope”.

O próximo processo é o da flotação, o xarope produzido é enviado para o flotador onde ocorre a separação das impurezas. Para este processo o xarope recebe uma dosagem de fosfato (P₂O₅), é aquecido a aproximadamente 85 °C, logo após é aerado (recebe micro-bolhas de ar) e recebe dosagem de polímero, então entra no flotador.

O xarope flotado vai para os cozedores a vácuo. Nestes equipamentos ocorre a cristalização do açúcar, controlada por meio da evaporação. Durante esta etapa ocorre a transformação física do produto, que resulta em cozimento da massa A e massa B, que é uma mistura de méis com cristais de sacarose.

A cristalização é a parte mais importante dentro das operações de cozimento, é o início da formação do cristal, é daí que depende a qualidade do açúcar. A cristalização pode ser chamada também de granagem e pode ser feita por três métodos: granagem de espera, granagem por choque e granagem por semente.

Depois de cristalizado, o açúcar passa pelos cristalizadores, centrífugas, secador e armazém, onde é envasado. Como pode ser visualizado no processo de produção de açúcar, na etapa de clarificação do caldo existe a utilização de enxofre, material altamente tóxico e corrosivo que continua existindo no produto final como resíduo.

3.3. Clarificação do caldo pelo método tradicional

O desejo de se produzir um açúcar de melhor qualidade tem motivado várias usinas açucareiras a procurarem outros métodos de clarificação do caldo na produção do açúcar, como por exemplo, a substituição do enxofre pelo ozônio ou bicarbonatos. Além da qualidade, outro fator relevante que pontua de forma negativa a utilização do enxofre é o fato de ter um alto poder de corrosão dos metais, reduzindo,

assim, a vida útil de equipamentos e tubulações que tenham contato direto com este material, bem como, a redução da poluição ambiental pela eliminação de dióxido de enxofre (SO₂) para a atmosfera (DELGADO e CÊSAR, 1990).

3.3.1. Enxofre

De acordo com Araújo (2007), no sentido de melhorar as técnicas dos processos de clarificação do caldo de cana destinado à produção do açúcar branco foram desenvolvidos vários métodos. Porém, poucos foram eficientes e os que atualmente são usados nas usinas de açúcar deixam como resíduos sais de enxofre, que são prejudiciais à saúde do ser humano, como é o caso do método da sulfitação, que produz o SO₂, o agente principal de clarificação.

A maioria das usinas que produz o açúcar branco utiliza a sulfitação como método principal no processo do tratamento da clarificação do caldo de cana, e produz o uso de um gás, obtido pela combustão controlada do enxofre, o SO₂, também conhecido por vários nomes como gás sulfuroso, anidrido sulfuroso e dióxido de enxofre. O dióxido de enxofre é uma substância muito tóxica e tem proporcionado vários danos ao ser humano e ao meio ambiente, por ser cancerígeno, muito poluente, provocador de chuvas ácidas, destruidor da camada de ozônio e altamente corrosivo (ARAÚJO, 2007).

No Brasil, os processos de clarificação empregados nas usinas de açúcar são: defecção simples (para obtenção de açúcar bruto) e sulfo-defecção (para obtenção de açúcar cristal branco). O processo de sulfo-defecção consta das seguintes etapas: sulfitação, caleagem, aquecimento, decantação e filtração. No processo de defecção simples, apenas não é realizada a sulfitação, sendo que as demais operações são comuns aos dois processos. Em linhas gerais, os processos consistem de uma mudança de reação do meio pela adição de agentes acidificantes.

A sulfitação é realizada usualmente em uma coluna de absorção que possui em seu interior, pratos perfurados. O caldo então é bombeado na parte superior da torre e desce por gravidade através dos pratos, em contracorrente com o SO₂, aspirado por um exaustor ou ejetor instalado no topo da coluna, conforme podemos observar na Figura 4.

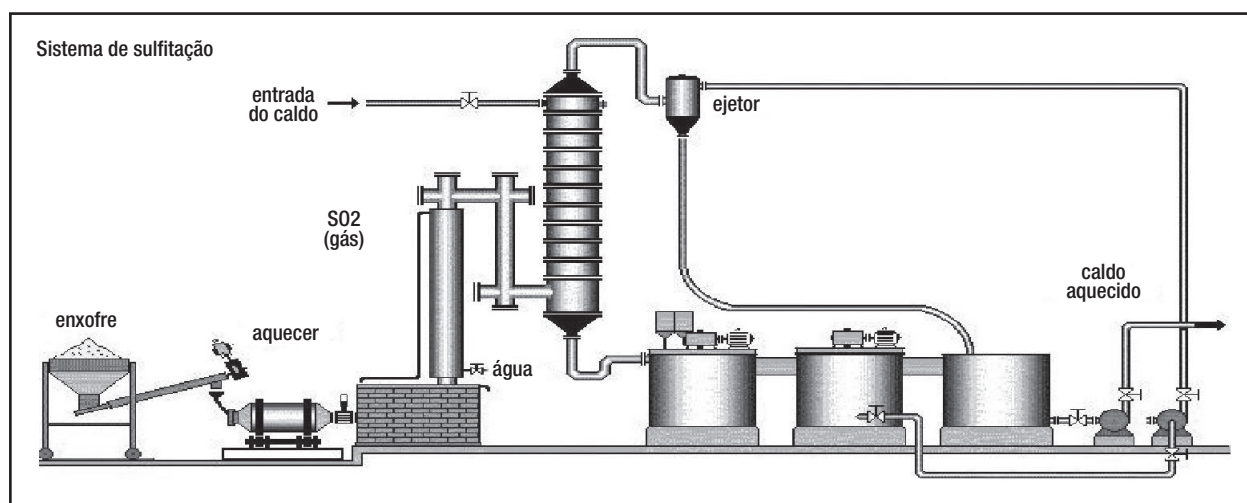


Figura 4 – Sistema de sulfitação do caldo para produção de açúcar

Fonte: Geocities (2008)

4.4. Métodos alternativos para clarificação do caldo de cana

4.4.1. Ozônio

O ozônio é uma forma alotrópica de oxigênio, sua fórmula química é O₃. É um gás à temperatura ambiente, incolor, altamente instável em qualquer estado e, devido à sua instabilidade, tem alto poder de desinfecção e oxidação, sendo altamente solúvel em água. A sua solubilidade pode ser afetada pela temperatura, pressão e a presença de contaminantes. É produzido naturalmente na estratosfera pela ação dos raios ultravioletas sobre as moléculas de oxigênio.

No processo de branqueamento de açúcar por utilização do ozônio, em substituição ao enxofre, é imprescindível a utilização de um catalisador eletrolítico na reação para a formação do radical hidroxila. Trata-se de um equipamento para eletrosíntese de ozônio, utilizados em oxidação de compostos orgânicos no tratamento de clarificação do caldo de cana-de-açúcar.

A ozonização é uma técnica que tem sido sugerida na literatura recentemente, como uma potencial alternativa para a descoloração. Oferece ainda eficiência satisfatória, apresentando um caldo de pouca cor.

De acordo com a Gasil (2004), a clarificação do caldo feita através da utilização do ozônio apresenta diversas vantagens em relação ao uso do enxofre, das quais se pode citar:

- Manutenção e possível melhoria dos padrões de cores obtidos com o enxofre;
- Solução definitiva para os problemas de ordem ambiental e de segurança do trabalho;
- Redução dos problemas de corrosão nos decantadores e evaporadores;
- Melhor qualidade do condensado vegetal;
- Aproveitamento do excedente de oxigênio produzido na manutenção mecânica;
- Aproveitamento do excedente de ozônio produzido como agente germicida nas moendas e fermentação;
- Um grande passo para a fabricação de um açúcar natural;

Além dessas vantagens, a clarificação do caldo por este método pode reduzir significativamente os custos de produção em uma safra de açúcar. Segundo Pedrosa (2007), a Usina Agrovale, localizada no município de Juazeiro – BA, operou a safra 2007 utilizando o ozônio como agente oxidante em substituição ao enxofre, fato este que possibilitou uma redução de custos com produtos no processo de produção na ordem de R\$ 415.000,00.

A principal desvantagem da utilização do ozônio é o alto custo para locação de novos equipamentos, ou seja, de instalar uma usina concentradora de O₃, em substituição ao enxofre. Para isso, a linha de produção deve apresentar algumas modificações em relação a atual. Tais modificações seriam a instalação de equipamentos apropriados com alto índice de eficiência, utilizando-se uma mistura de oxigênio com argônio em proporção previamente dimensionada.

Fazendo-se uma possível mudança do enxofre pelo ozônio na linha de produção, os equipamentos terão maior tempo de vida útil. Com isso, a empresa conta com a possibilidade de ter zero de passivo trabalhista, redução dos custos de manutenção e aumento de eficiência de fermentação do melão produzido. Os novos equipamentos para a aplicação da nova tecnologia serão:

- Compressor de ar tipo parafuso, isento de óleo;
- Secador de ar por refrigeração;
- Tanque pulmão para armazenamento de ar comprimido;
- Usina concentradora de oxigênio com leito molecular misto (oxigênio e argônio);
- Tanque pulmão para armazenamento do gás produzido;
- Medidores de vazão para gases;
- Conjuntos de eletrolítico para a vazão correspondente a 150 ppm sobre a produção;
- Catalisador eletrolítico para a mistura de cana/ozônio/argônio;
- Quadros de comando elétrico e controle;
- Projetos de instalações;

Estes novos equipamentos deverão ser instalados no lugar onde está a enxofreira, substituindo o forno rotativo por colunas de sulfitação para dar melhores condições ao tratamento do caldo de cana-de-açúcar (GASIL, 2006).

A ausência do enxofre no mosto de alimentação das dornas de fermentação proporciona à levedura ambiente mais saudável, aumentando a viabilidade celular, o rendimento fermentativo e, conseqüentemente, redução em cerca de 10% do tempo de fermentação (GASIL, 2004).

A presença do argônio é necessária para que não haja a oxidação da molécula de sacarose que é tanto matéria orgânica quanto o que se pretende oxidar. A mistura de caldo, ozônio e argônio circularão através de um catalisador eletrolítico que aumentará sua potência de oxidação.

3.4.2 Bicarbonatação

De acordo com Wonghon (2005) e Nascimento (2006), outro método alternativo o processo de clarificação do caldo, sem a necessidade do uso de enxofre em nenhuma etapa do processo e com uma quantidade menor de cal, é o de bicarbonatação, que tem como agente principal de clarificação o bicarbonato de cálcio. O método produz um açúcar de qualidade superior, proporcionando melhores condições operacionais da fábrica, com fácil controle químico da clarificação do caldo de cana destinado à produção do açúcar branco, sendo este isento de enxofre.

O bicarbonato de cálcio é um sal muito solúvel e instável. Estando em solução, é facilmente dosado na linha do caldo e substitui totalmente o uso do gás sulfuroso, de difícil controle de dosagem no caldo. O caldo clarificado com bicarbonato de cálcio apresenta menor dureza cálcica, devido à solubilidade do carbonato de cálcio ser menor do que a dos sais formados pelo sulfito de cálcio e sulfato de cálcio.

Para Araújo (2007), a clarificação do caldo da cana para produção de açúcar branco por meio da bicarbonatação tem como vantagem, em comparação a tecnologia tradicional da sulfitação, benefícios à saúde humana e favorece uma produção industrial menos agressiva ao meio ambiente, além de resultar em maior produção e menos custos operacionais para as usinas. “Elas não precisarão substituir as tubulações, por motivo de corrosão, nas entressafras, bem como, a preferência pelo açúcar isento de enxofre é uma tendência do mercado mundial, que cada vez mais exige produtos alimentícios saudáveis livres de resíduos tóxicos, nos processos de fabricação e conservação”. Ressalta-se a qualidade do açúcar no mercado externo que está de acordo com as normas internacionais e as exigências do tratado de Kyoto.

De acordo com Araújo (2007), as modificações a serem feitas para o processo que utiliza o método da bicarbonatação é a instalação de uma unidade produtora de bicarbonato de cálcio, composta de um sistema de refrigeração, reator, compressor para captação do gás carbônico proveniente das dornas de fermentação e substituição da torre ou coluna de sulfitação pela utilização de um ponto de dosagem do caldo misto frio ou quente com bicarbonato de cálcio.

4. ATUALIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE APLICAÇÃO DA P+L NO PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO DO CALDO DA CANA PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR

Através da contextualização da Produção mais Limpa apresentada no referencial teórico, é possível obter uma concepção que a P+L pode ser aplicada em diferentes etapas de um processo produtivo.

A partir da apresentação das alternativas tecnicamente viáveis para a substituição do enxofre no processo de fabricação do açúcar, é possível utilizar os níveis de aplicação da Produção mais Limpa propostas pela CNTL (2003) e aplicá-los na análise do processo produtivo do açúcar. A Figura 5 apresenta através dos quadros destacados na cor branca, os níveis de aplicação da Produção mais Limpa nas agroindústrias açucareiras, mais especificamente no processo de clarificação do caldo.

Verifica-se, na Figura 5, que a aplicação da P+L neste estudo se dá na redução de resíduos e das emissões na fonte, sejam eles devido ao processamento da cana ou no produto final (açúcar), através da substituição do insumo (SO₂) utilizado no processo de clarificação do caldo da cana por métodos alternativos, o que acarretará na mudança de processo, neste caso, eliminando o processo de sulfitação, como explicado anteriormente.

Diante desta nova atualização dos níveis de aplicação da P+L, as empresas que optarem pelos métodos alternativos no processo de fabricação do açúcar poderão obter diversos benefícios, dentre os quais se pode citar:

- Redução dos custos operacionais;
- Obter um produto livre de resíduos tóxicos que causam danos a saúde dos consumidores;
- Produção industrial menos agressiva ao meio ambiente;
- Redução dos impactos de ordem de segurança do trabalho;
- Obtenção de credibilidade perante a sociedade por uma produção de resíduos que não prejudiquem o meio ambiente;

A substituição do enxofre por um dos métodos alternativos de clarificação, com base nos níveis de aplicação da P+L, pode ser um passo de fundamental importância para a obtenção de certificações na área ambiental, bem como, o surgimento de uma oportunidade de conquistar novos mercados, o Americano e o Europeu, que exigem, cada vez mais, um açúcar orgânico e de excelente qualidade.

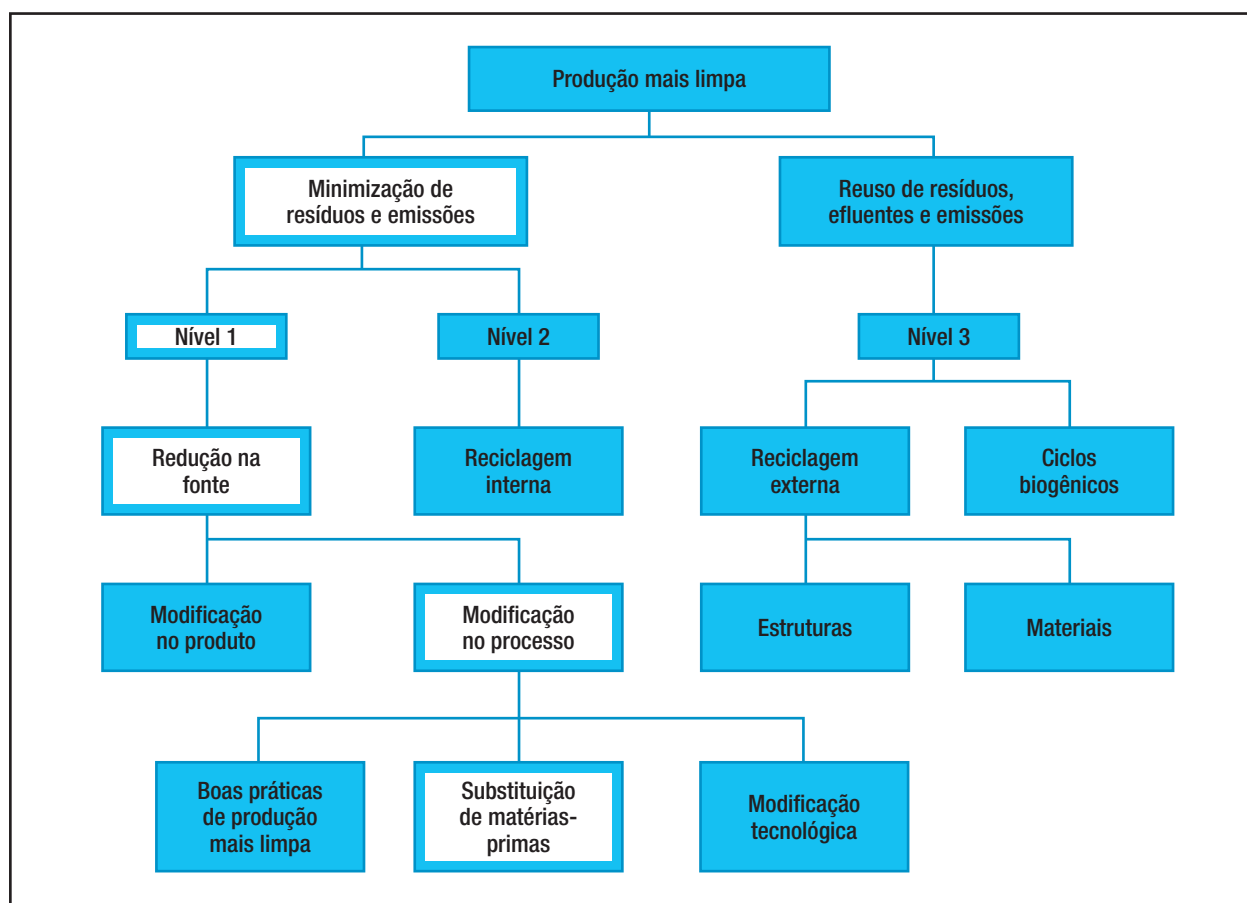


Figura 5 – Atualização dos níveis de aplicação da P+L no processo de clarificação do caldo

Fonte: Adaptado de Domingues (2007)

5. CONCLUSÃO

Com o presente estudo, pode-se concluir que:

- A substituição do enxofre pelo ozônio ou bicarbonatos, no intuito de minimizar os resíduos e emissões, atenderá ao nível 1 dos níveis de aplicação da P+L, reduzindo na fonte geradora os poluentes, acarretando uma modificação no processo de clarificação do caldo (sulfitação) devido à substituição do insumo (SO₂).
- A substituição do enxofre por um dos métodos alternativos no processo de clarificação do caldo utilizado na produção de açúcar, analisada com base na abordagem da P+L (considerando os níveis de aplicação da P+L), mostrou que é possível ocorrer a redução de resíduos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde dos consumidores e funcionários das indústrias, bem como, aumentar a vida útil de equipamentos de transportes e de processamento do açúcar, sendo as duas alternativas viáveis do ponto de vista técnico para as agroindústrias.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, F. A. D. Processo de clarificação do caldo de cana pelo método da bicarbonatação. **Revista Ciências e Tecnologia**. Ano 1, n. 1, 2007. p. 1-5.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **A Produção mais Limpa (P+L) no setor sucroalcooleiro**. São Paulo, Informações Gerais: CETESB, 2002. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/camaras/texto_ca/documentos/procao_mais_limpa_sucroalcooleiro.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2008.
- CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas do Brasil. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. 2003. Disponível em: <http://www.ifm.org.br/moodle/file.php/19/CNTL_guia_P_L.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2008.
- DELGADO, A. A.; CESAR, M.A.A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar-de-cana**. Piracicaba, Departamento de Tecnologia Rural. ESALQ/USP, 1990, 452p.
- DOMINGUES, R. M. **Produção Mais Limpa em Sistemas Locais de Produção**. 2007. 109 p. **Tese de mestrado** (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Centro Universitário de Araraquara – UNIARA. Araraquara-SP. 2007.
- GASIL – Gases e Equipamentos Siltons Ltda. Recife: Design Express, 2006. 10p.
- GASIL – Gases e Equipamentos Siltons Ltda. **Substituição do enxofre por ozônio**. Recife: Design Express, 2004. 18p.
- GEOCITIES. **Processo de fabricação de açúcar em pó**. Disponível em: <<http://br.geocities.com/abgalimtec/acucarpo.html>>. Acesso em: 31 mar. 2008.
- HINZ, R. T. P.; VALENTINA, L. V. D.; FRANCO, A. C. **Sustentabilidade ambiental das organizações através da produção mais limpa ou pela Avaliação do Ciclo de Vida**. 2006. Disponível em: <<http://www.estudostecnologicos.unisinos.br/pdfs/58.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2008.
- KAZMIERCZYK, P. **Manual on the Development of Cleaner Production Policies Approaches and Instruments**. UNIDO CP Programme, Vienna, October 2002. Disponível em: <<http://www.unido.org>>. Acesso em: 06 abril 2008.
- NASCIMENTO, D. Substitutos para o enxofre. **Revista IDEANEWS**, a. 5, n. 56, p. 06-18, marc. 2006.
- PAYNE, J. H. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana**. São Paulo: Editora Nobel – STAB, 1989. 280p.
- PEDROSA, L. **O uso de ozônio no processo fabril da Agrovale**. Disponível em: <www.jornalcana.com.br/pdf/170/%5Ctecindl.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2008.
- SANTOS, L. M. **Manual para tratamento de caldo**. Barra do Bugres-MT, 2006. 6p.
- WONGHON, M. **Tecnologia para clareamento de açúcar sem uso de enxofre entra em fase de testes** – Agência Brasil, Recife. Novembro de 2005. Disponível em: <<http://www.agrisustentavel.com/san/clareamento.htm>>. Acesso em: 15 abril 2008.
- UNEP. **Government strategies and policies for cleaner production**. UNEP, Industry and Environment, Paris, 1994. 32 p.
- UNEP. **Página da United Nations Environment Programme sobre P+L**, 1989. Disponível em: <<http://www.unep.org>>. Acesso em: 02 maio 2008.