



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

BALANÇO DE CO₂ PARA UMA UNIDADE INDUSTRIAL PRODUTORA DE BEBIDAS

Discente: Camila Campos Freire
Orientador: Hugo Barbosa Amorim

Seropédica-RJ
Fevereiro/2008



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

BALANÇO DE CO₂ PARA UMA UNIDADE INDUSTRIAL PRODUTORA DE BEBIDAS

Discente: Camila Campos Freire
Orientador: Hugo Barbosa Amorim

Monografia apresentada ao Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Seropédica-RJ

Fevereiro/2008

Seropédica, 13 de Fevereiro de 2008.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Hugo Barbosa Amorim
IF/DS-UFRRJ
(Orientador)

Prof.^a Natália Dias de Souza
IF/DPF-UFRRJ
(Membro Titular)

Prof. Tokitika Morokawa
IF/DS-UFRRJ
(Membro Suplente)

A Deus dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por agir sobre mim no saber e efetuar segundo a tua boa vontade.

Aos meus Pais Clarice e Mauro pelo amor, dedicação, carinho e por sempre acreditar em mim mesmo quando tudo parecia ser impossível, talvez realmente fosse... se eu não tivesse vocês ao meu lado. Ao meu irmão Murilo pelo amor, apoio, carinho e pela ajuda sempre prestativa quando precisei. Amo muito vocês!

Ao meu noivo Leandro pela cumplicidade, amor e dedicação. Por estar sempre disposto a virar noites ao meu lado me auxiliando sempre que precisei. Obrigada pela grande ajuda nesta monografia e por sempre escutar minhas idéias, muitas vezes “mirabolantes”. Te amo!

Ao meu orientador Hugo pela amizade, orientações, pelas conversas, pelos cafés e pela confiança depositada em mim. Você é uma pessoa muito especial.

Aos professores da UFRRJ pelo conhecimento compartilhado ao longo desses anos.

Aos meus amigos e colegas da UFRRJ pela troca de experiências e por muitas vezes me ajudar a enxergar que não estive desesperada sozinha em tantos momentos. Obrigada pela convivência e aprendizado. Em especial a Lídia pela ajuda prestativa de última hora nesta monografia.

A minha amiga e supervisora Luciana, ao meu antigo supervisor Wallace por me ajudar sempre que possível, a seguir nesta caminhada dupla entre trabalho e faculdade, agradeço também especialmente a Ana Carla por isso.

Aos gestores PC, Eduardo e Pedersen pelo apoio e disposição ao me auxiliar nesta monografia. Obrigada pelo carinho e respeito!

Aos meus amigos e colegas de trabalho que me auxiliaram nesta caminhada. Em especial ao Elson, Valtinho, Eric, Rodrigo e Raoni pela paciência, trocas de idéias e críticas construtivas a este projeto.

A todos os meus amigos e familiares presentes em minha vida e que me ajudaram a me tornar o que hoje sou.

A meu filho (a) que está por vir para me mostrar que todo esse esforço faz sentido!
Obrigada!

Essa monografia é de todos vocês!

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo quantificar as emissões de gás carbônico (CO₂) gerado durante os processos que antecedem o envasamento da cerveja, ou seja: fermentação alcoólica, geração e consumo de energia elétrica, movimentação da matéria-prima e subprodutos da cerveja. Em uma unidade fabril produtora de bebidas, localizada no município do Rio de Janeiro, foram coletados dados mensais, pelo período de um ano, através de sistemas corporativos tais como: ferramenta MES, SAP e Excel, sobre a produção de cerveja, produção e consumo de energia elétrica, perdas de gás carbônico (CO₂) durante o processo de beneficiamento e registros de carregamento de caminhões responsáveis pelo transporte de matéria-prima e subprodutos. Depois de quantificadas a captura e emissão do gás carbônico (CO₂) nos processos que antecedem o envasamento da cerveja, com o balanço desses quantitativos, foram calculadas o número de árvores necessárias para neutralizar a emissão de gás carbônico (CO₂) no ano estudado, sendo considerado o plantio de cinco árvores para cada tonelada de CO₂ emitido.

Palavras-chave: Emissões de CO₂, Neutralização, Cerveja.

ABSTRACT

The present work had as objective to quantify carbonic the gas emissions (CO₂) generated during the processes that precede the planting of the beer, or either: alcoholic fermentation, generation and consumption of electric energy, movement of the raw material and by-products of the beer. In a producing manufacturer unit of drinks, located in the city of Rio De Janeiro they had been collected given monthly, for the period of one year, through corporative systems such as tool MES, SAP and Excel, on the production of beer, production and consumption of electric energy, losses of carbonic gas (CO₂) during the improvement process and registers of shipment of responsible trucks for the raw material transport and by-products. After quantified the capture and emission of the carbonic gas (CO₂) in the processes that precede the planting of the beer, with the rocking of these quantitative ones showed was calculated the number of trees necessary to neutralize the carbonic gas emission (CO₂) in the studied year, being considered the plantation of five trees for each ton of emitted CO₂.

Key-words: CO₂ Emissions, Neutralization, Beer.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1.	O CO ₂ na Atmosfera.....	3
2.2.	O Aquecimento Global.....	3
2.3.	O Desenvolvimento de Políticas Ambientais de Combate ao Aquecimento Global e a Evolução nos Debates.....	6
2.4.	A Empresa e o Meio Ambiente	8
2.5.	O Processo Produtivo de Indústria de Bebidas Produtora de Cerveja.....	9
2.5.1.	Definição de cerveja	9
2.5.2.	Matéria-prima	9
2.5.2.1.	Malte.....	9
2.5.2.2.	Levedura	10
2.5.2.3.	Lúpulo.....	10
2.5.2.4.	Água	11
2.5.3.	Processamento da Cerveja	11
2.5.3.1.	Elaboração do Mosto	11
2.5.3.2.	Fermentação	12
2.5.3.3.	Maturação	13
2.5.3.4.	Filtração	13
2.5.4.	A Geração de CO ₂	14
2.5.5.	O Processo de Beneficiamento de CO ₂	15
2.5.5.1.	Captação do CO ₂	17
2.5.5.2.	Beneficiamento do CO ₂	18
2.5.5.2.1.	Lavagem de CO ₂	18
2.5.5.2.2.	Secagem de CO ₂	19
2.5.5.2.3.	Desodorização de CO ₂	20
2.5.5.2.4.	Condensação de CO ₂	21
2.5.5.2.5.	Armazenamento de CO ₂	22
2.5.5.3.	Distribuição do CO ₂	22
2.5.6.	O Processo de Geração de Energia.....	23
3.	OBJETIVOS.....	25
3.1.	Geral	25
3.2.	Específicos.....	25
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1.	A Unidade Fabril Produtora de Bebidas.....	25
4.2.	Método de abordagem do estudo.....	25
4.3.	Coleta dos dados.....	25
4.3.1.	Emissão de CO ₂	25
4.3.2.	Captura de CO ₂	26
4.4.	Balanço entre a captura e emissão de CO ₂	26
4.5.	Opções para o resultado do balanço	26
4.6.	Modelo conceitual proposto para o balanço de CO ₂	27
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1.	Emissão de CO ₂	28
5.1.1.	Energia elétrica.....	28

5.1.2.	Beneficiamento de CO ₂	30
5.1.3.	Carregamento de Matéria-Prima e Subprodutos por Caminhões	32
5.2.	Captura de CO ₂	34
5.3.	Balanço das emissões de CO ₂ no processo de produção de cerveja.....	35
5.4.	Opções para o resultado do balanço	35
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	36
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tanque Propagador de Levedura	10
Figura 2: Produção de álcool pelas leveduras, a partir do açúcar fermentescível	12
Figura 3: Fluxograma de Produção da Cerveja	13
Figura 4: Resumo do processo cervejeiro.....	14
Figura 5: Fluxograma de uma usina de Beneficiamento de CO ₂	17
Figura 6: Ilustração do compartimento onde o CO ₂ é inicialmente armazenado. (Balão)	17
Figura 7: Ilustração dos lavadores de CO ₂ por coluna de água	18
Figura 8: Ilustração dos secadores de CO ₂	20
Figura 9: Ilustração de um desorizador de CO ₂	21
Figura 10: Ilustração de um condensador de CO ₂	22
Figura 11: Ilustração de um tanque reservatório	22
Figura 12: Esquema de um processo de co-geração.....	24
Figura 13: Modelo conceitual para balanço de CO ₂	27
Figura 14: Consumo de energia x Produção de cerveja	28
Figura 15: Perda de CO ₂ no Beneficiamento x Produção de Cerveja.....	31
Figura 16: N°. de Caminhões (Matéria Prima e Subprodutos) x Produtividade de Cerveja	33

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Concentrações Globais de alguns Gases de Efeito Estufa.....	1
Tabela 2: Contaminantes gerados a partir da fermentação alcoólica e aromas característicos.	16
Tabela 3: Valores mensais de consumo e produção de energia elétrica (Mwatts).....	29
Tabela 4: Quantidade de CO ₂ emitido (ton) pelo consumo e produção de energia elétrica	29
Tabela 5: Quantidade de CO ₂ emitido por perda no beneficiamento	31
Tabela 6: Quantidade de CO ₂ Emitido pelo Carregamento de Caminhões.....	33
Tabela 7: Quantidade de CO ₂ beneficiado.....	34
Tabela 8: Emissões de CO ₂ geradas no processo de produção de cerveja	35

1. INTRODUÇÃO

As ações decorrentes das atividades econômicas e industriais têm provocado alterações na biosfera, resultando na quase duplicação da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera durante o período de 1750 a 1998; como mostra a tabela 1. A alteração da concentração dos GEE pode desencadear um aumento da temperatura média no planeta entre 1,4 e 5,8°C nos próximos cem anos (IPCC, 2001a). A preocupação crescente com processos como mudanças climáticas ocasionadas pelo aquecimento global originados, de acordo com dados científicos, em debates internacionais principalmente a partir dos últimos 10 anos, pelo excesso de emissão de carbono para a atmosfera terrestre, têm prejudicado potencialmente a economia mundial e a qualidade de vida da população, levando os países a um acordo mundial que visa à diminuição das emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE).

São considerados GEE: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (SF₆), e as famílias dos perfluorcarbonos (compostos completamente fluorados, em especial erfluormetano CF₄ e perfluoretano C₂F₆) e dos hidrofluorcarbonos (HFCs) (MIGUEZ, 2000).

Tabela 1: Concentrações Globais de alguns Gases de Efeito Estufa

	CO ₂ (gás carbônico)	CH ₄ (metano)	N ₂ O (óxido nitroso)
Concentração em 1750	280 ppm	700 ppb	270 ppb
Concentração em 1998	365 ppm	1745 ppb	314 ppb
Taxa de Alteração ^a	1,5 ppm/ano ^b	7 ppb/ano ^b	0,8 ppb/ano
Residência na atmosfera (anos)	50-200	12	114

Fonte: Adaptado de Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2001a)

Legenda:

ppm=partes por milhão; ppb=partes por bilhão

a- Calculada durante o período de 1990 a 1999

b- A taxa para CO₂ tem flutuado entre 0,9 e 2,8 ppm/ano e para CH₄, entre 0 e 13 ppb/ano durante o período de 1990 a 1999.

Com o advento da Revolução Industrial, aprofundam-se as transformações econômicas, sociais, políticas e culturais na humanidade. Nos estados-nações que compõem o eixo da economia mundial, o modelo produção-capital baseia-se na pilhagem do sistema natural. O sistema econômico, comandado pela alta burguesia, imprime o ritmo do sistema produtivo, operado pela massa proletariada. O *modus operandi* deste supersistema considera a natureza como amplas e inesgotáveis reservas de matéria-prima e energia (ALMEIDA *et al.*, 2004).

O dióxido de carbono (CO₂) ocorre naturalmente na atmosfera. Sem ele, a Terra seria um lugar muito frio, porque a maior parte da luz do Sol absorvida pela superfície da Terra seria reirradiada de volta para as profundezas frias do espaço. Como está agora, o CO₂ forma um cobertor isolante sobre a superfície terrestre que deixa o ultravioleta de comprimento de onda curta e a luz solar visível passarem, mas retarda a perda de calor na forma de radiação

infravermelha de comprimento de onda longo; e assim a função do CO₂ na atmosfera é conhecida como efeito estufa (RICKLEFS, 2001). Porém, o homem industrial desenvolveu poderes capazes de alterar a composição da atmosfera, modificar o curso dos rios, desmatar florestas, mudar a composição dos solos, extinguir espécies, enfim, interferir de acordo com os seus interesses no ambiente natural (ALMEIDA *et al.*, 2004). O nível de dióxido de carbono na atmosfera representa um equilíbrio entre os processos que adicionam CO₂ e os que o removem. Antes da Revolução Industrial, a adição de CO₂ à atmosfera pela respiração de organismos terrestres era equilibrada pela produção primária bruta da vegetação terrestre, e a quantidade total na atmosfera era mantida em equilíbrio (RICKLEFS, 2001).

A constatação da existência de limites ambientais ao crescimento econômico vem levando a uma preocupação crescente com a elaboração de políticas que permitam a conciliação da atividade econômica com a proteção ambiental, ainda que em um primeiro momento pareça inviável conciliar essa dualidade (SEIFFERT, 2006); conseqüentemente, segmentos de vários setores da economia, em busca de mercado consumidor, tem-se mostrado interessados em apoiar programas de responsabilidade social, no qual tem sido gradativamente envolvidos em projetos que buscam soluções ambientais com redução de resíduos, utilização de energia limpa e economia dos recursos naturais, através de uma gestão ambiental pró-ativa aliada aos conceitos de sustentabilidade, sendo essas ações denominadas de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, estipulada no Protocolo de Quioto; surgindo como uma atividade voluntária de contribuição de combate ao agravamento do Aquecimento Global.

A questão ambiental deve, portanto, se transformar numa questão ideológica, freqüentada pela ciência, pela política, pela filosofia e pela cultura. É preciso considerar que as modificações naturais agora ocorrem aceleradas pelo forte impacto das modernas tecnologias (ALMEIDA *et al.*, 2004). O problema que nós enfrentamos no aquecimento global não é que a Terra não tenha nunca estado tão quente, mas o que o clima mudará tão rapidamente que os sistemas ecológicos não serão capazes de acompanhar (RICKLEFS, 2001). Desta forma, a neutralização de carbono é uma ação de compensação de dano ambiental específica, voltada ao combate ao efeito estufa, no qual se torna necessário a quantificação das emissões geradas, a fim de desenvolver projetos de diminuição das mesmas, ou a neutralização dessas emissões através do plantio de árvores, da utilização de energia limpa ou através de inovações tecnológicas que reduzam estes impactos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O CO₂ na Atmosfera

A presença de vapor de água, dióxido de carbono, metano e outros gases na atmosfera a tornam relativamente opaca à luz infravermelha, que possui comprimentos de onda mais longos que 700 nm e sendo percebida principalmente como calor. Esses gases absorvem muito da porção infravermelha da luz do Sol, e essa energia absorvida contribui para o aquecimento do ar. Por causa dessa opacidade ao infravermelho a atmosfera também absorve radiação vinda da superfície da Terra que, portanto age como um cobertor envolvendo a Terra e mantendo a sua superfície aquecida. Como este efeito de aquecimento se assemelha ao modo pelo qual o vidro mantém uma estufa aquecida, ele é chamado de efeito estufa. Por fim, esta energia absorvida alcança os níveis superiores da atmosfera e é perdida para o espaço, mas a uma taxa muito mais baixa do que seria a ausência dos assim chamados gases de estufa. Acima de tudo, o efeito estufa beneficia grandemente a vida por manter as temperaturas na Terra dentro de um intervalo de variação favorável. (RICKLEFS; 2003)

Entretanto, segundo ALMEIDA *et al.* (2004) com a Revolução Industrial, o sistema econômico, comandado pela alta burguesia, imprime o ritmo do sistema produtivo onde considera a natureza como amplas e inesgotáveis reservas de matéria-prima e energia submetendo completamente o sistema natural ao supersistema produtivo-econômico. No final do milênio, finalmente a humanidade começa a tomar consciência da crise ambiental.

Portanto, desde 1850, a concentração do dióxido de carbono na atmosfera aumentou de aproximadamente 270 partes por milhão (ppm) para algo próximo de 365 ppm atualmente devido ao uso de combustíveis fósseis, tais como carvão, óleo e gás natural, à exploração do solo, à destruição e queima de florestas durante pelo menos as duas últimas décadas do século XX, o conteúdo do dióxido de carbono da atmosfera tem se elevado a uma taxa de 0,4% ao ano. (RAVEN *et al.*, 1999)

Antes da Revolução Industrial, a adição de CO₂ à atmosfera era mantida em equilíbrio pela ação metabólica da vegetação terrestre e a quantidade total na atmosfera era mantida em equilíbrio; no qual na fotossíntese, os seres vivos incorporam o dióxido de carbono da atmosfera em compostos orgânicos que contêm carbono. Na respiração, estes compostos são quebrados em dióxido de carbono e água. E seres fotossintetizadores irão sintetizar carboidratos a partir do dióxido de carbono e água e liberam o oxigênio para a atmosfera. Estes processos que ocorrem em escala mundial resultam no ciclo do carbono. (RAVEN *et al.*, 1999)

2.2. O Aquecimento Global

O dióxido de carbono é um gás-traço na atmosfera, sendo presentemente responsável por cerca de 0,037% ou 370 ppm do ar. A pressão parcial de CO₂ do ambiente varia com a pressão atmosférica e é de aproximadamente 36 pascais (Pa) no nível do mar. A atual concentração de CO₂ atmosférico é quase o dobro da que prevalecia durante a maior parte dos últimos 160.000 anos, conforme medições de bolhas de ar apreendidas no gelo glacial da Antártica. Exceto para os últimos 200 anos, as concentrações de CO₂ durante o passado geológico recente tem sido baixas, flutuando entre 180 e 260 ppm. Tais concentrações baixas eram típicas de tempos que retrocedem ao cretáceo, quando a Terra era muito mais quente e a concentração de CO₂ pode ter sido de 1200 ppm a 2800 ppm (EHLERINGER *et al.*, 1991)

A concentração atual do CO₂ da atmosfera está aumentando mais ou menos 1 ppm por ano, principalmente por causa da queima de combustíveis fósseis. Desde 1958, quando começaram as medições sistemáticas de CO₂ em Mauna Loa, Havaí, as concentrações têm aumentado em mais do que 17% (KEELING *et al.*, 1995).

As conseqüências do aumento de CO₂ atmosférico estão na mira de cientistas e agências governamentais por causa das predições que o efeito estufa está alterando o clima do mundo. O aumento da concentração de CO₂ e da temperatura associada com o efeito estufa pode influenciar a fotossíntese. Nas concentrações de CO₂ atmosférico atual, a fotossíntese de plantas C3 está limitada, mas tal situação poderia mudar se a concentração do CO₂ atmosférico continuasse a crescer. Em condições de laboratório, a maioria das plantas C3 cresce de 30 a 60% mais rápido quando a concentração de CO₂ é duplicada (para 600 a 700 ppm) e a taxa de crescimento altera-se de acordo com o estado nutricional (BOWES, 1993). O desempenho de plantas C3 com aumento do CO₂ é elevado porque a fotorrespiração decresce; vale ressaltar que o ponto de compensação do CO₂ expressa o balanço entre a fotossíntese e respiração em função da concentração do CO₂; em plantas C3, o aumento de CO₂ acima do ponto de compensação estimula a fotossíntese em um amplo espectro de concentração, desta forma, plantas C3 podem se beneficiar com o aumento das concentrações de CO₂ atmosférico.

Já a fotossíntese de plantas C4, ao contrário, é saturada por CO₂ em concentrações baixas, com isso, tais plantas não se beneficiam com o aumento das concentrações de CO₂ atmosférico, pois plantas com metabolismo C4 tem um ponto de compensação do CO₂ de zero ou próximo ao zero, refletindo seus níveis muito baixos de fotorrespiração. Desta forma, fatores ambientais distintos podem limitar as taxas fotossintéticas (TAIZ *et al.*, 2004).

Com a elevação das concentrações de CO₂ na atmosfera, aumenta a carga de calor na biosfera, tal processo poderia provocar mudanças danosas no clima mundial e também poderia reduzir as limitações de CO₂ para a fotossíntese.

Segundo o IPCC (2001b), os impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes do aquecimento global afetarão todos os países, porém, serão sentidos de maneira diferenciada.

Para que fosse possível o crescimento do padrão material da população, foram necessárias várias transformações, como por exemplo, aumentar o número e tamanho de fábricas, a quantidade de veículos e aumentar a produção na agricultura através da “revolução verde”. Isto teve como conseqüências a ocorrência de vários problemas ambientais como a poluição do ar e da água e a contaminação dos solos por pesticidas e fertilizantes, desta forma, espécies estavam sendo extintas com esta expansão como relatado por vários intelectuais, tal como, o livro celebre “Primavera Silenciosa” de Rachel Carson em 1962. Nele a autora alertava sobre o desaparecimento dos pássaros com a destruição de seus *habitat's*, no qual a cada primavera em que ia para o campo, ela via que existiam menos pássaros cantando (OLIVEIRA, 2005). SEIFFERT (2006) cita que a preocupação com o esgotamento dos recursos naturais surgiu com a percepção, após a Revolução Industrial, de que a capacidade do ser humano de alterar o meio ambiente aumentou significativamente, levando a conseqüências positivas e negativas e evidenciando uma interdependência entre a economia e o meio ambiente.

No quarto relatório do GT II do IPCC, que foi reconhecida politicamente na 13ª Conferência das Partes da Convenção do Clima (COP-13), conclui-se que a partir das evidências obtidas por meio de observações de todos os continentes e da maior parte dos oceanos mostram que muitos sistemas naturais estão sendo afetados pelas mudanças climáticas regionais, principalmente pelos aumentos de temperatura.

Com relação às mudanças na neve, no gelo e no solo congelado (inclusive no *permafrost* – solo e subsolo permanentemente congelados), há um nível alto de confiança de que os sistemas naturais sejam afetados. Exemplos disso são: o aumento do volume e do número dos lagos glaciais, o aumento da instabilidade do solo nas regiões de *permafrost* e avalanches de pedras nas regiões montanhosas, as mudanças em alguns ecossistemas árticos e antárticos, inclusive nos biomas do gelo marinho, bem como nos predadores no alto da cadeia alimentar.

Com base em um número cada vez maior de evidências, há um nível alto de confiança de que estão ocorrendo os seguintes efeitos nos sistemas hidrológicos: Aumento do escoamento superficial e antecipação da descarga de pico durante a primavera em muitos rios alimentados por geleiras e neve, aquecimento de lagos e rios em muitas regiões, afetando a estrutura térmica e a qualidade da água. Há um nível muito alto de confiança, com base em um número maior de evidências obtidas de uma gama mais ampla de espécies, de que o aquecimento recente esteja afetando fortemente os sistemas biológicos terrestres, inclusive com mudanças como: antecipação dos eventos da primavera, tais como a emissão de folhas, migração dos pássaros e postura de ovos, deslocamento, em direção aos pólos e para cima, da distribuição das espécies vegetais e animais.

Com base em observações de satélite feitas desde o início da década de 80, há um nível alto de confiança de que houve, em muitas regiões, uma tendência de esverdeamento precoce da vegetação na primavera, relacionado com épocas de cultivo mais longas provocadas pelo aquecimento recente. Há um nível alto de confiança, com base em novas e significativas evidências, de que as mudanças observadas nos sistemas biológicos marinhos e de água doce estão relacionadas com temperaturas mais elevadas da água, bem como com as correspondentes mudanças na cobertura de gelo, salinidade, níveis de oxigênio e circulação. Entre essas mudanças estão: deslocamentos da distribuição e mudanças na quantidade de algas, plâncton e peixes em oceanos de latitude alta, aumentos na quantidade de algas e zooplâncton em lagos de latitude e altitude altas, deslocamentos da distribuição e migrações antecipadas dos peixes nos rios. Segundo o relatório, os impactos refletem com frequência as mudanças projetadas na precipitação e outras variáveis do clima além de temperatura, nível do mar e concentrações de dióxido de carbono na atmosfera e a magnitude e a duração dos impactos irão variar de acordo com a magnitude e a duração da mudança do clima e, em alguns casos, com a capacidade de adaptação.

Quanto aos recursos hídricos, segundo o quarto relatório do IPCC, até meados do século, projeta-se que o escoamento anual médio dos rios e a disponibilidade de água aumentem em 10-40% nas altas latitudes e em algumas áreas tropicais úmidas e diminua em 10-30% em algumas regiões secas nas latitudes médias e nos trópicos secos, algumas das quais já sofrem atualmente de escassez de água, além disso, é provável que aumente a extensão das áreas afetadas por secas. Os eventos de precipitação extrema, cuja frequência é muito provável que aumente, elevarão o risco de inundações. Projeta-se que, ao longo do século, os estoques de água armazenados nas geleiras e na cobertura de neve diminuam, reduzindo a disponibilidade de água em regiões abastecidas pela água derretida de grandes cadeias montanhosas, onde atualmente mora mais de um sexto da população mundial.

Quanto aos ecossistemas, segundo o quarto relatório do GT II do IPCC, é provável que a resiliência de muitos ecossistemas seja superada neste século por uma combinação sem precedentes de mudança do clima, perturbações associadas (por exemplo, inundações, secas, incêndios florestais, proliferação de insetos, acidificação dos oceanos) e outros fatores de mudança global (por exemplo, mudança no uso da terra, poluição, exploração excessiva dos recursos). Ao longo deste século, é provável que a absorção líquida de carbono pelos

ecossistemas terrestres atinja o ápice antes de meados do século e então diminua ou até mesmo reverta, ampliando a mudança do clima. É provável que aumente o risco de extinção de aproximadamente 20% a 30% das espécies vegetais e animais avaliados até agora se os aumentos da temperatura global média ultrapassarem 1,5 a 2,5°C. Para os aumentos da temperatura global média que ultrapassem 1,5 a 2,5°C e os aumentos das concentrações correspondentes de dióxido de carbono na atmosfera projeta-se que haja grandes mudanças na estrutura e na função do ecossistema, e nas interações ecológicas e distribuições geográficas das espécies, com conseqüências predominantemente negativas para a biodiversidade e bens e serviços do ecossistema, como por exemplo, a oferta de água e alimento. A acidificação progressiva dos oceanos decorrente do aumento do dióxido de carbono na atmosfera deve ter impactos negativos nos organismos marinhos formadores de conchas (por exemplo, os corais) e as espécies que deles dependem.

Este Relatório de Avaliação deixa claro que os impactos da futura mudança do clima serão mistos entre as regiões, porém, apesar dos impactos da mudança do clima variar entre as regiões, se o seu valor for agregado e descontado para o presente, é muito provável que imponham custos anuais líquidos que aumentem ao longo do tempo na proporção do aumento das temperaturas globais. A adaptação será necessária para tratar dos impactos provocados pelo aquecimento que já não pode ser evitado, por ser decorrente das emissões passadas. Estima-se que as emissões passadas envolvam um pouco de aquecimento inevitável (em torno de 0,6°C a mais até o final do século em relação a 1980-1999), mesmo que as concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa permaneçam nos níveis do ano 2000, há impactos para os quais a adaptação é a única resposta possível e adequada. Há uma vasta gama de opções de adaptação, mas é necessária uma adaptação mais ampla do que a que está ocorrendo atualmente para reduzir a vulnerabilidade à futura mudança do clima. Barreiras, limites e custos existentes ainda não são completamente conhecidos.

2.3. O Desenvolvimento de Políticas Ambientais de Combate ao Aquecimento Global e a Evolução nos Debates

Em 1988 a Organização Meteorológica Mundial (WMO) e Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para melhorar o entendimento científico sobre o tema através da cooperação dos países membros da ONU. E sob recomendação do IPCC, a Assembléia Geral da ONU em 1990, foi iniciado as negociações para a adoção da Convenção sobre Mudanças Climáticas.

Com o intuito de tentar reverter o problema, foram criadas abordagens internacionais para conservação e desenvolvimento sustentável com o Encontro da Terra em junho de 1992 no Rio de Janeiro, conhecida oficialmente como a Conferência sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas (UNCED), no qual reuniu representantes de 178 países, além de líderes das Nações Unidas e as maiores Organizações Não-Governamentais de conservação. A conferência obteve sucesso em intensificar a consciência sobre a seriedade da crise ambiental e colocar o assunto no centro da atenção mundial (HAAS et al., 1992).

Os participantes da conferência discutiram e assinaram os cinco principais documentos, dentre eles, a convenção sobre Mudança Climática, no qual este acordo exige que os países industrializados reduzam a emissão de dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa e que apresentem relatórios regulares sobre seus procedimentos. Embora os limites específicos de emissão não tenham sido decididos no Encontro da Terra, a convenção estabelece que os gases de efeito estufa devam ser estabilizados em níveis que não interfiram

no clima da Terra. No dia 7 de abril, em Berlim (Alemanha), aconteceu a primeira reunião anual dos representantes dos países signatários da UNFCCC, o encontro é denominado Conferência das Partes (COP) e na COP - 1 foi proposta a constituição de um protocolo e decisões sobre o acompanhamento das obrigações da Convenção e em 1996, entre os dias 8 e 19 de julho aconteceu a COP - 2, em Genebra (Suíça) e neste encontro, por meio da Declaração de Genebra, foi firmada a criação de obrigações legais com metas de redução na emissão de gases que aumentam o efeito estufa.

Subseqüentemente, na COP - 3, no dia 11 de dezembro, em Quioto (Japão), foi dada continuidade às negociações da conferência anterior e culmina com a adoção do Protocolo de Quioto, no qual foram estabelecidas metas para reduzir a emissão de gases que causam o efeito estufa. Por sua vez, os Estados Unidos tem mostrado grande resistência para obedecer às normas de redução dos gases propostos em Quioto (1997) que prevêem que em 2012, as emissões de dióxido de carbono (CO₂) seriam 5,2% menores do que em 1990. (PRIMACK et al., 2001)

A Conferência das Partes realizada em Quioto em 1997 destaca-se como uma das mais importantes, uma vez que durante sua realização foi estabelecido um acordo onde se encontram definidas metas para redução da emissão de GEE para os países que se comprometeram de reduzir suas emissões, além de critérios e diretrizes para a utilização dos mecanismos de mercado. Este acordo estabelece que os países industrializados devam reduzir suas emissões em 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990 entre 2008 – 2012 (primeiro período de compromisso). O protocolo criou o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). A idéia do MDL consiste que em cada tonelada de CO₂ deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento, poderá ser negociada no mercado mundial através de Certificados de Emissões Reduzidas (ROCHA, 2003).

Em 16 de março de 1998, em Nova Iorque, o Protocolo de Quioto foi aberto à assinatura e na COP - 4 que aconteceu em Buenos Aires, foi direcionado os trabalhos para implementar e ratificar o Protocolo de Quioto. A COP – 5 que ocorreu em Bonn (Alemanha) no ano seguinte, no qual foi dada continuidade aos trabalhos iniciados em Buenos Aires. Em 2000, na COP - 6, de 13 a 24 de novembro, em Haia (Países Baixos), as negociações foram suspensas pela falta de acordo entre a União Européia e os Estados Unidos em relação aos sumidouros e às atividades de mudança do uso da terra. Enquanto isso, no Brasil, um Decreto Presidencial cria o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas.

Em 2001 as discussões são retomadas na COP - 6 1/2, em 27 de junho, em Bonn (Alemanha), já sem contar com os Estados Unidos, que se retira sob a alegação de que os custos para a redução de emissões seriam muito elevados para a economia norte-americana. Os Estados Unidos contestam também a ausência de metas de redução para os países do Sul, em especial a China, Índia e o Brasil. No mesmo ano, entre 29 de outubro e 10 de novembro, em Marrakesh (Marrocos), foi realizada a COP - 7. Em 2002, ocorreu a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+10) que aconteceu entre os dias 26 de agosto e 4 de setembro, em Johannesburg, África do Sul. As negociações internacionais não tiveram grandes avanços, mas inicia-se a discussão sobre o estabelecimento de metas de uso de fontes renováveis na matriz energética dos países e entre os dias 23 de outubro e 1º de novembro aconteceu a COP - 8, em Nova Deli, na Índia. A conferência Mundial sobre Mudanças Climáticas realizada em Moscou entre 29 de setembro e 3 de outubro em 2003 teve como objetivo a ratificação do Protocolo de Quioto pela Rússia, porém, diante da insegurança econômica dos russos, o Presidente Vladimir Putin não ratificou o Protocolo e adiou sua decisão para o segundo semestre de 2004. O governo russo também reforçou as incertezas científicas sobre a existência do aquecimento global, seguindo o discurso do governo

americano, o que é inconcebível já que muitos estudos científicos concordam que o aquecimento global está em curso e que se dá por razões antropogênicas. Finalmente em 30 de setembro de 2004 a Rússia ratifica sua adesão ao Protocolo de Quioto. A Rússia, terceiro maior emissor (cerca de 17% do total global), era o único país capaz de fazer o protocolo entrar em vigor. Na COP – 10, delegados de cerca e 150 governos marcaram o relançamento das negociações sobre a mudança climática, com o novo impulso imprimido pela ratificação russa ao protocolo de Quioto, e em 16 de fevereiro de 2005, o mesmo, entra em vigor.

A COP - 11 foi marcada por um pacto estabelecido entre União Européia, Canadá e países em desenvolvimento (G77), o pacto ainda tem de se tornar oficial com a aceitação formal de todas as partes e concentra-se na adoção de oficinas de trabalho para definir passos contra o efeito estufa e as mudanças climáticas. A 12ª Convenção das Partes na Convenção-COP – 12, realizada em Nairóbi, no Quênia, entre os dias 6 e 17 de novembro de 2006, aprovou a criação de um fundo para financiar a adaptação de países pobres aos efeitos das mudanças climáticas, nações da África e do Pacífico, como Samoa, por exemplo, corre o risco de ter sua atividade econômica seriamente comprometida. O fundo de adaptação será formado com uma parcela dos recursos gerados no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

No dia 12 de dezembro de 2007 ocorreu a 13ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (COP - 13) em Bali, Indonésia. Na COP - 13, a União Européia se aliou ao Grupo dos 77 (os países em desenvolvimento, entre eles o Brasil) para travar uma luta com os Estados Unidos para colocar no texto de Bali uma menção de que a nova fase do Protocolo de Quioto, marcada para começar em 2013, deve ter metas de redução de emissões que variem de 25% a 40% até 2020, pois segundo os europeus, frente às evidências do 4º Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), não seria possível abrir mão destes objetivos.

Infelizmente, a integração entre economia, ecologia e política ainda representa uma perspectiva em construção nos debates sobre mudanças climáticas.

2.4. A Empresa e o Meio Ambiente

A questão ambiental aliada ao esgotamento gradual da idéia do desenvolvimento a qualquer custo revela a urgência de uma perspectiva estratégica de planejamento (MAGLIO, 1995); levando a medidas que se incorporam nas avaliações de custo-benefício ambiental associadas ao desenvolvimento de projetos econômicos. A relação entre meio ambiente e desenvolvimento está associada à necessidade da adoção de posturas fundamentadas na compreensão de qual deve ser o caráter do desenvolvimento adotado, analisando-se de forma integrada os custos sociais, econômicos e ambientais dele decorrentes e estes conceitos começam a sair do âmbito acadêmico e das organizações não governamentais (ONG) para se tornar um dos principais norteadores das decisões de investimentos governamentais e privados (LERIPIO, 2001). A partir do surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável que procura condicionar a busca de um novo modelo de desenvolvimento aliado à noção de conservação do meio ambiente, os pressupostos associados a esse conceito vem sendo discutido, porém o amadurecimento deste conceito pôde ser observado por SACHS, (1986) que define que o desenvolvimento só poderia ser alcançado através de um equilíbrio integrado entre cinco dimensões de sustentabilidade ou pressupostos básicos: econômica, ecológica, social, geográfica ou espacial (cujo foco é uma configuração rural-urbana equilibrada) e cultural (respeito às especificidades culturais e à importância da conscientização ambiental através da educação). Porém, existe a preocupação de que as

políticas de desenvolvimento e o planejamento integrado das atividades setoriais levem em consideração os limites existentes para a renovação dos recursos naturais. Isso evidencia que todo processo de análise e realização de intervenções no meio ambiente deve ser executado através de uma ótica globalizante e integradora, por meio de um enfoque holístico, o qual servirá como base para a estruturação de um sistema de gestão descentralizado e participativo (SEIFFERT, 2006).

A crescente busca por parte das empresas de uma imagem ambientalmente mais adequada vem sendo induzida por uma mudança de hábitos de consumo, patrocinada pelo crescimento da preocupação ambiental, a qual repercute negativamente na compra de produtos provenientes de produtores identificados como ambientalmente inadequados (ARORA e GANGOPADHYAY, 1995). Desta forma, a mudança de hábitos do consumidor tem despertado no setor privado o interesse por uma gestão ambiental efetiva.

Entretanto, a gestão ambiental dentro de um contexto organizacional não é somente uma forma de fazer com que as organizações evitem problemas com inadimplência legal e restrições ou riscos ambientais, como também uma forma de adicionar valor a elas (HAVERMAN E DORFMAN, 1999), principalmente porque o valor das ações de empresas pode ser drasticamente alterado por seu histórico ambiental (SEIFFERT, 2006) e o acesso ao mercado e ao lucro é cada vez maior para as empresas que não poluem (NOVAES, 1999). Isso fez com que as empresas aprimorassem seu desempenho ambiental ao longo dos últimos anos adotando inovações tecnológicas que venham a aperfeiçoar seus processos produtivos, por estarem mais expostas a cobranças de posturas mais ativas no que diz respeito aos seus processos industriais, resíduos e efluentes produzidos e descartados.

Dentro desta ótica, a análise do processo produtivo e seus impactos para o aquecimento global devem ser considerados dentro de uma indústria a fim de diminuir tais impactos, através da utilização de tecnologias mais limpas ou se necessário a criação de projetos de compensação de CO₂.

2.5. O Processo Produtivo de Indústria de Bebidas Produtora de Cerveja

2.5.1. Definição de cerveja

Segundo as Normas Técnicas Relativas a Alimentos e Bebidas, cerveja é o produto obtido da fermentação alcoólica, pela *Saccharomyces cerevisiae*, de um mosto preparado com cevada maltada, adicionado ou não de outros cereais não maltados, lúpulo e água.

2.5.2. Matéria-prima

2.5.2.1. Malte

O malte é a cevada germinada. Pode ser preparado com outros cereais como o milho, o arroz e o trigo, entre outros. Para se proceder à maltagem que é a operação que envolve a germinação e posterior secagem do grão, a cevada é colocada sob maceração em água e a germinação deve ser feita em condições controladas de temperatura, umidade e aeração e depois ocorre a secagem. As enzimas presentes são α -amilase, β -amilase, maltase e proteases. Estas enzimas transformam o amido, presente no próprio malte e originalmente na cevada, em açúcares para a ação das leveduras e produção de álcool. Os complementos do malte são as fontes de carboidratos principalmente o amido, que são fornecedores dos açúcares redutores fermentescíveis. As enzimas do malte agem sobre o amido da cevada que lhe deu origem,

porém precisam de mais substrato para uma maior sacarificação; As indústrias vêm adotando o xarope de maltose como fonte de açúcar fermentescível, que tem a função de acelerar a mosturação e fornecer substrato para a ação das maltases.

2.5.2.2. Levedura

Quanto às leveduras, As mais utilizadas são as do gênero *Saccharomyces cerevisiae* e *Saccharomyces uvarum*, Essas leveduras têm que ter habilidade em produzir álcool, além de flocular e sedimentar, o que permite a separação da cerveja obtida do inóculo. A forma melhor e mais rápida de se multiplicar o fermento é a partir de uma fermentação vigorosa, onde o mosto em fermentação é diluído em mosto estéril. O fermento deverá ter 10^6 a 10^8 células/ml. Nos aparelhos fermentadores de cultura pura, o volume vai aumentando de 1:10 até se chegar a 4000 L. Diluições de 1:1000 são feitas no processo Galland, chegando ao volume de 800.000 L nos propagadores. (Ver Figura 1)

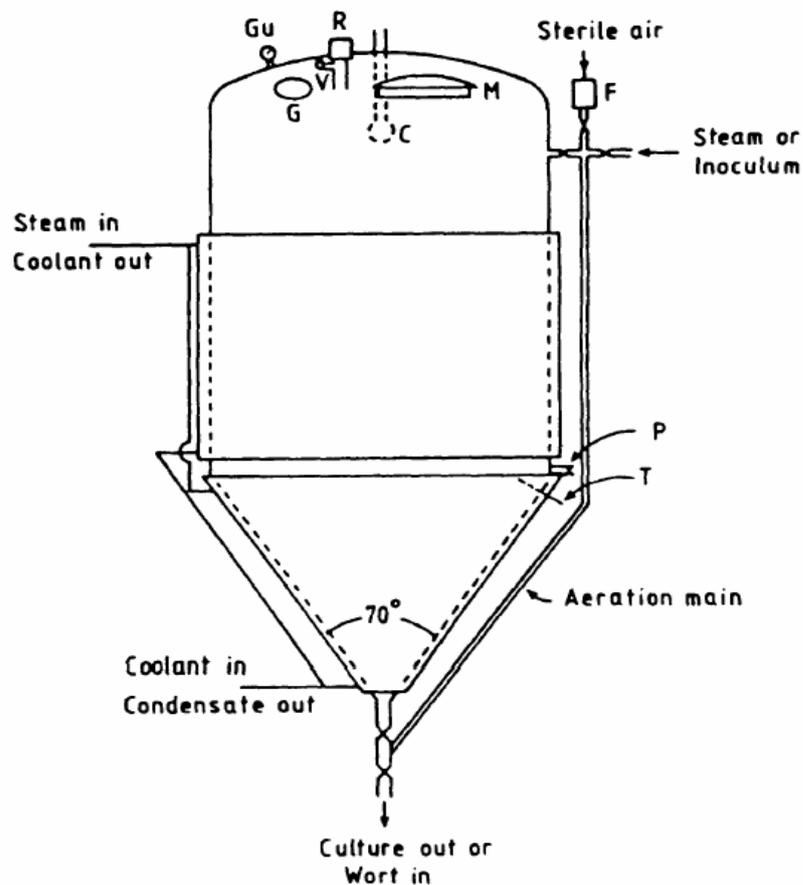


Figura 1: Tanque Propagador de Levedura

2.5.2.3. Lúpulo

É uma planta cultivada na Alemanha. Os cachos florais são colhidos da trepadeira e as flores são secas e comercializadas na forma de *pellets*. As flores contêm a lupulina, que é um

material resinoso, de sabor amargo, onde predominam resinas, antocianinas, anino e α -ácidos. O lúpulo tem dupla função, a aromática e a que propicia o sabor amargo. O lúpulo é adicionado na fase final de fervura do mosto.

2.5.2.4. Água

É fator importante na escolha do local para a cervejaria, pois o volume usado é da ordem de 1000 L para cada 100 L de cerveja obtida. Deve ser potável, não alcalina, e corrigida quimicamente, se estiver fora dos padrões. A água bruta utilizada por qualquer fábrica de bebidas deve atender a todas as normas e diretrizes locais com relação à seleção da fonte de água bruta a ser tratada para ser utilizada como água potável e quaisquer componentes químicos, físicos, microbiológicos ou radiológicos, caso detectados, devem estar presentes em quantidades passíveis de serem tratados com toda a segurança para que atendam e estejam de acordo com as especificações adequadas de água tratada definida nas diretrizes reguladoras da saúde para qualidade de água potável estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde. Além disso, a água tratada deve satisfazer todas as exigências específicas do produto em relação à estabilidade, vida útil da bebida e sensorial.

2.5.3. Processamento da Cerveja

2.5.3.1. Elaboração do Mosto

O processo, dentro da fábrica de cerveja, inicia-se com a moagem do malte. O malte estocado nos silos é moído. O importante é que a moagem não seja muito severa para não prejudicar a fase de filtragem e os complementos do malte devem ser moídos mais finamente. A seguir, as matérias primas devem ser agrupadas e a seqüência de operações será: a mosturação, fervura, fermentação e maturação.

A mosturação é a fase de preparação do mosto. Consiste em se misturar o malte moído, a água e os sucedâneos do malte, em dornas que trabalham a temperaturas baixas de início, e vão aquecendo por etapas até 75°C. O objetivo é gomificar o amido para facilitar a hidrólise deste por parte das enzimas do malte. Quando se deseja obter a cerveja escura, na fase de mosturação é que se incorpora o caramelo.

Há duas formas de se proceder à mosturação, que são a infusão e a decocção, esta a utilizada para processos de baixa fermentação. Quando a massa estiver a 50°C, estarão agindo as proteases, a 60°C - 65°C, ocorre a sacarificação pela β -amilase e a 70°C - 75°C, a dextrinização do amido pela α -amilase. O amido ao ser atacado pela α -amilase e β -amilase, quebrará as ligações α -1,4 com produção de maltose, que será degradada a glicose pela ação da maltase. As dextrinas com ligações α -1,6 permanecerão sem degradar e propiciarão o "corpo" à cerveja, além de colaborarem no sabor e aroma da cerveja. O ponto fundamental da mosturação é a degradação do amido, que se hidrolisa a açúcares fermentescíveis como maltose, glicose e maltotrioses, além de formar dextrinas. O amido hidrolisado se liquefaz. Na mosturação é importante a ação das enzimas proteolíticas. Os aminoácidos produzidos pelas enzimas proteolíticas devem estar presentes para servirem de nutrientes às leveduras, na fase de fermentação. As proteínas não degradadas também são necessárias para proporcionar boa qualidade e estabilidade à espuma da cerveja.

Ao final da mosturação, quando as enzimas já estão inativas a 75°C, procede-se à clarificação ou filtração do mosto, por gravidade. A operação anterior de mosturação e esta de fervura são designadas de brassagem na cervejaria.

Após a filtragem, o mosto é levado à fervura no qual o objetivo principal é esterilizar o mosto, para receber a levedura. Também ocorre a concentração deste, a aromatização e a caramelização de alguns açúcares. O lúpulo é adicionado ao final da fervura, uma vez que os óleos essenciais responsáveis pelo aroma são voláteis e podem se perder na fervura. O mosto é filtrado novamente e vai para o resfriamento em trocadores de calor; a temperatura cai para 8°C a 10°C.

2.5.3.2. Fermentação

Ocorre em dornas fechadas de aço inox, que recebem o mosto resfriado de 4°C a 8°C. Quanto mais baixa a temperatura, melhor a qualidade da cerveja. O fermento preparado com uma concentração de células de 106 a 108/ml, que equivale a 77 g de levedura (matéria seca) em 100 L de mosto, é adicionado inicialmente nas dornas abertas e o mosto é então transferido para a dorna fechada, com serpentinas para resfriamento. Durante a fermentação, ocorre a utilização do açúcar pelas leveduras e produção de CO₂ e álcool. Assim temos:

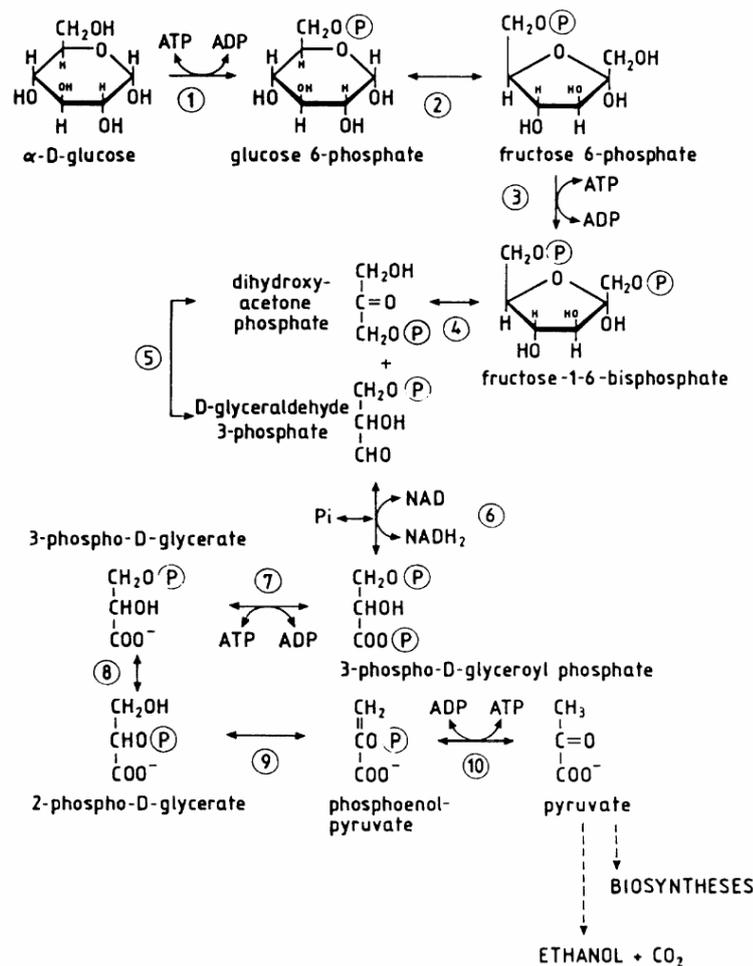


Figura 2: Produção de álcool pelas leveduras, a partir do açúcar fermentescível.

O acompanhamento da fermentação pode ser feito através da medida dos sólidos em solução, graus Brix. Dependendo da quantidade de sólidos no início, traduzidos pelos açúcares fermentescíveis, tem-se uma quantidade maior ou menor de álcool na fase final da fermentação. No final da fermentação (7 a 10 dias), a temperatura cai de 6°C para 2°C; as leveduras floculam e decantam e podem ser recuperadas. O CO₂ se mantém solubilizado dentro da cerveja porque está frio; o mosto vai sendo manuseado e ele vai se desprendendo. O CO₂ poderá ser beneficiado para uso no engarrafamento de cerveja ou de refrigerantes e para venda à outras unidades produtoras.

2.5.3.3. Maturação

Após a fermentação principal ocorrer, a cerveja “verde” que ainda possui uma suspensão de leveduras e uma parte de material fermentescível passa por uma fermentação secundária, chamada maturação. Na verdade, é um repouso prolongado a temperaturas frias, de 0°C a 3°C que contribui para a clarificação da cerveja e melhoria do sabor. Há precipitação de leveduras e proteínas. Os ésteres formados, como o acetato de etila e o acetato de amila é que caracterizam a cerveja "madura". As células restantes vão ao fundo; o amargor do lúpulo se atenua e o sabor da cerveja se estabelece.

2.5.3.4. Filtração

A seguir são feitas a clarificação, a carbonatação e a filtragem, como operações de acabamento da cerveja. A etapa de filtração é o processo de separação de material particulado contaminante de um fluido pela passagem do fluido através de um meio poroso permeável que poderá ou não deixar passar o particulado. A filtração tem um papel vital na melhoria da eficiência dos processos e na satisfação do consumidor, pois aprimora o aspecto visual, garante maior estabilidade organoléptica e garante maior vida de prateleira.

Na Figura 03 é apresentado o diagrama do fluxo de produção da cerveja e na figura 04 o resumo do processo cervejeiro.

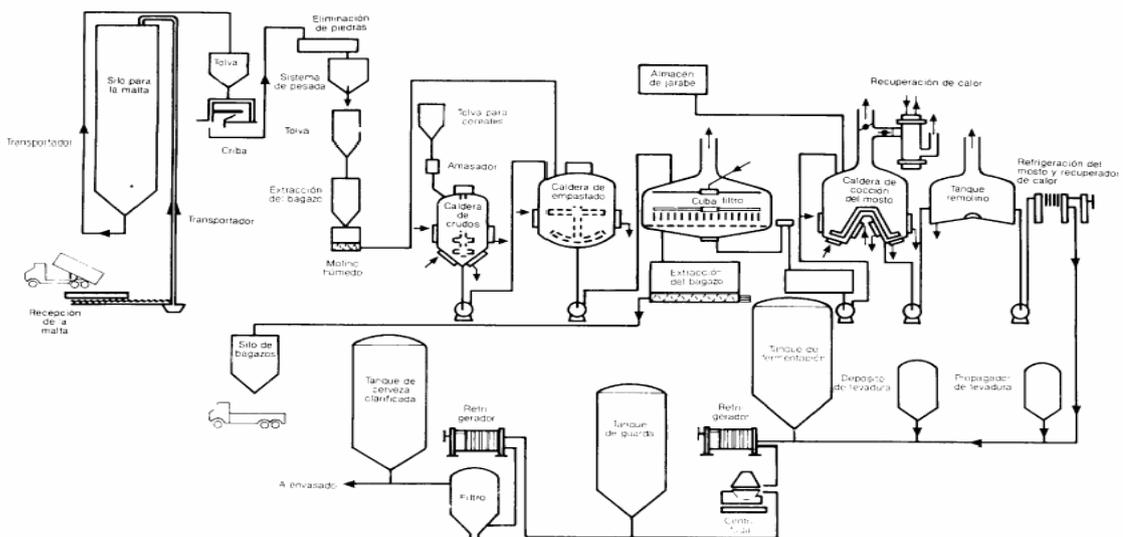


Figura 3: Fluxograma de Produção da Cerveja

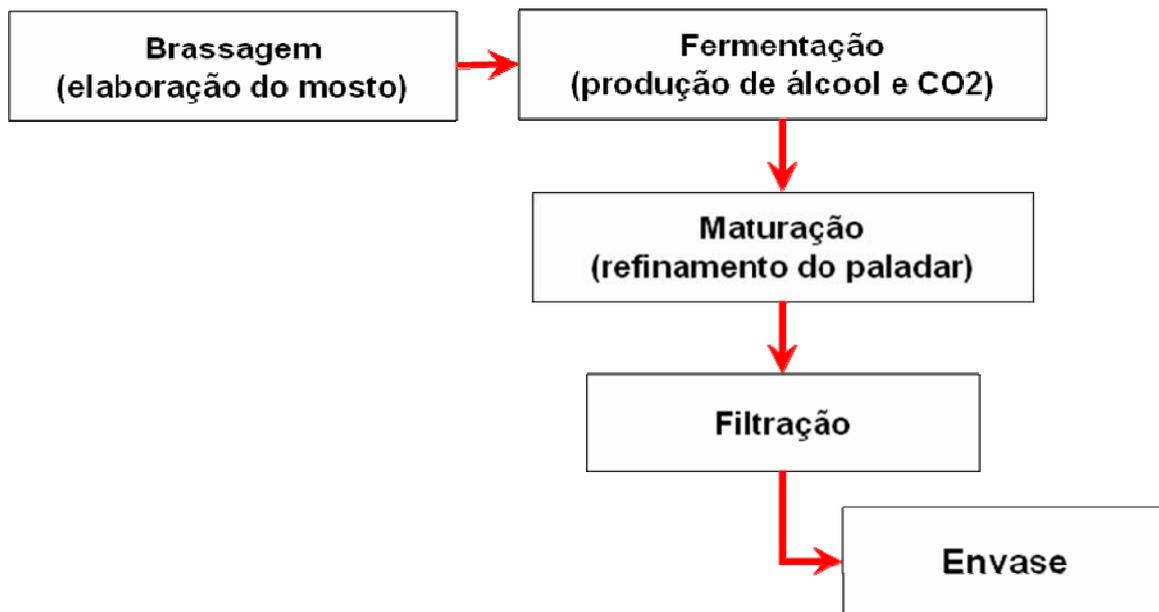


Figura 4: Resumo do Processo Cervejeiro

2.5.4. A Geração de CO₂

O gás carbônico (CO₂) é utilizado pela indústria de engarrafamento/enlatamento para carbonatação. Em seu estado natural, o CO₂ é gasoso. O gás não tem cor e em seu estado puro é inodoro e sem sabor. Seu peso molecular é 44,01.

Os critérios mais importantes para o fornecimento do gás carbônico são que seja de alta qualidade e que não produza sabor, odor ou aparência discrepante à bebida final. As impurezas no gás carbônico dependem geralmente da fonte ou do tipo de processo. A pureza adequada de CO₂ nas indústrias de bebidas é de 99,9%, a faixa de aceitabilidade para o ponto de orvalho deverá ter valores menores que -55°C e presença de água de 20 ppm v/v. O gás carbônico não deverá emitir quaisquer sabores, odores, cores ou aspectos não característicos e o CO₂ nos estados gasoso e líquido não deverá exalar quaisquer sabores ou odores inadequados durante o teste organolépticos.

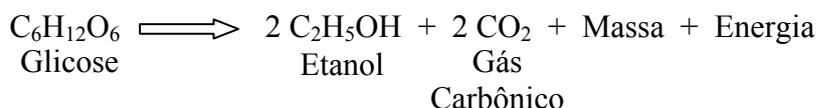
A fonte de gás é uma estação capaz de obter CO₂ cru gasoso e este será refinado para sua purificação, sendo similar à água bruta que entra em estações de tratamento de água. O CO₂ pode se originar de diferentes fontes, com grandes variações de impurezas, sendo estas: recolhimento de gases de combustão/co-geração, fontes naturais de CO₂, fábricas de etanol, processos de fermentação, neutralização ácida, óxido de etileno, reações de síntese de gás, entre outras. As impurezas de cada fonte podem ser muito diferentes e seus níveis de contaminantes podem variar de acordo com as diferentes fontes do CO₂.

Como visto, o CO₂ pode ser obtido como um subproduto de muitas reações químicas diferentes, entre elas, a fermentação alcoólica proveniente do processo de fabricação da cerveja. Porém, este processo de fermentação alcoólica traz com ele uma variedade de contaminantes peculiares e, uma vez conhecidos os desafios apresentados por cada fonte de CO₂, é necessário garantir a capacidade da usina de beneficiamento de tratar esse fluxo de forma a obter um produto de CO₂ que atenda as normas de qualidade. É importante pressupor que após distribuição, a qualidade poderá não se manter intacta, portanto, é necessário

entender a capacidade do sistema de distribuição de manter a integridade do CO₂ como esperado e assegurar que a qualidade seja mantida desde o ponto de distribuição até o ponto de uso em produtos acabados ou para outros fins.

A função do CO₂ no envasamento de bebidas é para contribuir para o perfil sensorial, atuar como inibidor e preservativo eficaz contra microorganismos, faz com que a bebida seja percebida pelo consumidor como “refrescante” e “estimulante” e contribui para a integridade da embalagem. A não utilização de CO₂ de alta qualidade pode afetar negativamente o aspecto sensorial dos produtos acabados, no qual uma pequena quantidade de compostos de enxofre no CO₂, por exemplo, pode causar um odor desagradável na bebida.

No processo de beneficiamento de CO₂ obtido de fonte de fermentação alcoólica o processo ocorre através da levedura que fermenta o açúcar, produzindo álcool etílico e dióxido de carbono, conforme a reação estequiométrica de fermentação (glicólise):



No qual:



2.5.5. O Processo de Beneficiamento de CO₂

O processo de beneficiamento de CO₂ deverá ser realizado de acordo com as boas práticas industriais, pois contaminações identificadas no CO₂ podem causar preocupações de relações públicas relacionadas à segurança alimentar e problemas sensoriais, portanto, é necessário garantir a qualidade durante o processo. Este processo geralmente produz-se CO₂ com uma pureza de 90 – 99%, no qual na usina de beneficiamento o CO₂ impuro recebe tratamento a nível comercial, os processos de tratamento variam de acordo com a fonte do gás e são únicos, ou seja, a planta deverá ser utilizada para um único tipo de fonte de CO₂, uma vez que envolvem componentes nas fases gasosa e líquida. Os principais problemas desta fonte são: presença de água, oxigênio, nitrogênio e compostos orgânicos; a origem pode ser imprevisível, pois depende do produto fermentado e pode conter muitos contaminantes que podem afetar negativamente, tais como: aldeídos, compostos de enxofre e álcoois. Devido ao fato de ser um processo natural, depende muito da fisiologia da cepa de leveduras usada para a fermentação e por isso pode ocasionar resultados muito variáveis. Um problema relacionado com o CO₂ obtido através deste processo resulta nos produtos químicos aromatizantes formados e arrastados junto com o CO₂, desta forma, é necessário que a refinaria ou usina de beneficiamento de CO₂ tenha capacidade para remover contaminantes e manejar as variações na fonte de gás. Os subprodutos da fermentação são formados através de reações paralelas à glicólise durante o processo fermentativo, e podemos agrupá-los genericamente em famílias de compostos, porém trata-se de compostos com aroma característico intenso que conferem cheiro mesmo a baixíssimas concentrações (ppm e ppb) e por isso devem ser eliminados no processo de beneficiamento do CO₂. Os compostos químicos presentes como subproduto da fermentação alcoólica estão descritos na tabela 2.

Tabela 2: Contaminantes gerados a partir da fermentação alcoólica e aromas característicos

Compostos Químicos	Exemplos	Aroma característico
Alcoois	Etanol, i-Propanol, n-Propanol, t-Propanol, i-Butanol, n-Butanol, t-Butanol, Pentanol, Hexanol e Álcool isoamílico	-
Compostos de enxofre	SO ₂ : Dióxido de Enxofre, Cs ₂ : Dissulfeto de Carbono, Mercaptanas (Metil Mercaptana, Etil Mercaptana, Metil Etil Mercaptana, Propil Mercaptana) H ₂ S: Sulfeto de Hidrogênio DMS: Dimetil Sulfeto	- Ovo Milho verde cozido
Ésteres	Acetato de etila Acetato de isoamila Hexanoato de etila Caproato de etila, Caprilato de etila e Acetato de isobutila	Solvente Banana Maçã -
Aldeídos	Formaldeído, Propionaldeído Acetaldeído	- Vinho
Cetonas	Diacetil Pentanodiona	Manteiga -
Gases do ar	O ₂ (Oxigênio), N ₂ (Nitrogênio) e H ₂ (Hidrogênio)	-

Portanto, a corrente de gás bruto na entrada da usina possui muitos contaminantes e estes compostos têm que ser eliminados durante o processo de beneficiamento do CO₂, sob risco de agregar aroma e paladar não característicos ao produto.

A figura 5 mostra um exemplo de fluxograma de uma usina de beneficiamento de CO₂ gerado durante o processo cervejeiro por fermentação alcoólica.

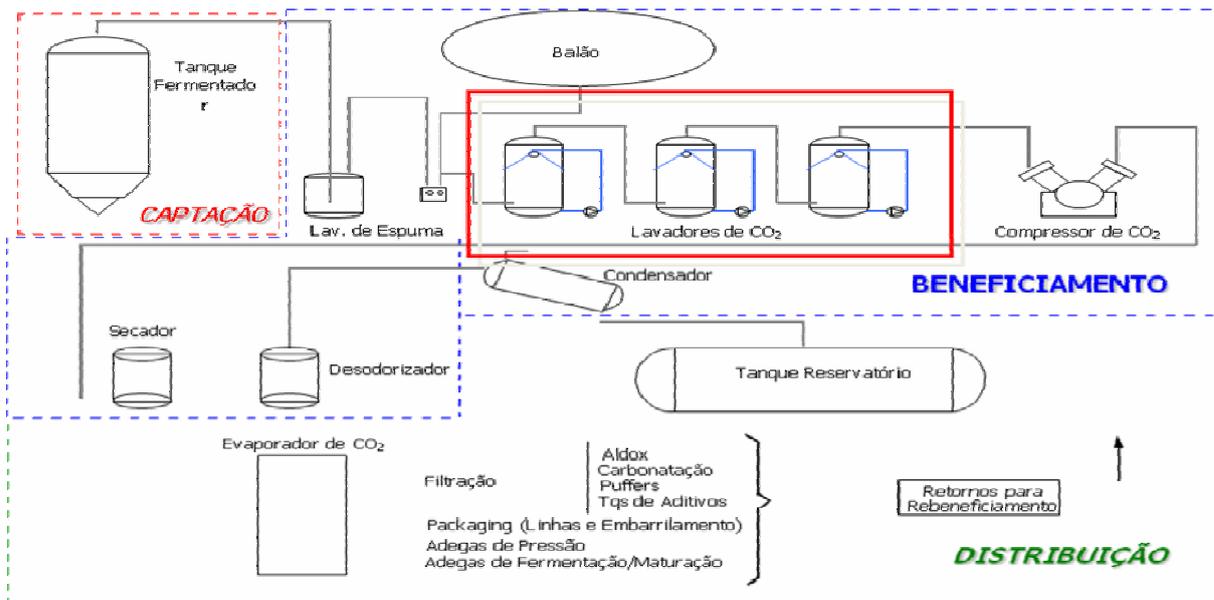


Figura 5: Fluxograma de uma usina de Beneficiamento de CO₂

2.5.5.1. Captação do CO₂

A captação do CO₂ ocorre após a saída do CO₂ pela parte superior dos tanques fermentadores no qual o gás irá, por diferença de pressão, para um reservatório denominado de Balão e deste reservatório será enviado gradativamente para o processo de beneficiamento. Após a saída do CO₂ bruto pelo tanque fermentado, o gás passa por um lavador de espuma que irá tirar o excesso da mesma, reduzindo a quantidade de contaminantes durante o processo. A figura 6 mostra o compartimento denominado de Balão, onde o CO₂ é inicialmente armazenado.



Figura 6: Ilustração do compartimento onde o CO₂ é inicialmente armazenado. (Balão)

2.5.5.2. Beneficiamento do CO₂

2.5.5.2.1. Lavagem de CO₂

Lavagem com água

A função da lavagem com água é de eliminar os compostos solúveis em água, tais como: etanol, álcoois superiores (propanol, butanol) e SO₂ e também de reduzir o número de partículas. As colunas de lavagem com água são similares às colunas de percolação usadas no tratamento de águas residuais, embora o projeto possa diferenciar, envolve a introdução de CO₂ no fundo da coluna em um tanque vertical, e a água é introduzida por cima em forma de chuveiro e à medida que o CO₂ e a água viajam contracorrente, as impurezas solúveis em água se separam do CO₂ e se deslocam para baixo, o “CO₂ limpo” se desloca para cima até a próxima unidade operacional.

Quanto aos problemas deste procedimento podemos ter a qualidade e quantidade de água utilizada no qual as impurezas voláteis na água de recirculação podem se separar da água e entrar na corrente de CO₂, cuidados com a obstrução por impurezas dos bicos do spray de água, além disso, pode ocorrer um aumento nos níveis dos hidrocarbonetos totais e a presença de microorganismos como pseudomas e leveduras podem ocasionar mal odor ou decomposição.

A eficiência média de absorção em água para o etanol é de 99%, para acetaldeído de 85%, para diacetil 30% e para ésteres de 15%. Portanto, ésteres e diacetil não são totalmente eliminados nas torres de lavagem com água, necessitando de um novo processo denominado de lavagem com Permanganato (KMnO₄). A figura 7 mostra um exemplo de ilustração dos lavadores por coluna de água.



Figura 7: Ilustração dos lavadores de CO₂ por coluna de água

Lavagem com Permanganato (KMnO₄)

A limpeza com Permanganato consiste em borbulhar o CO₂ através de uma solução de permanganato ou passar o CO₂ por um leito impregnado. O permanganato de potássio é um oxidante forte e tem sido utilizado por décadas como tratamento *standard* para purificação de muitos processos próprios de geração de CO₂ sendo eficiente para reduzir uma ampla gama de impurezas do CO₂. Dentre eles o KMnO₄ oxida as impurezas orgânicas, reduz os níveis de NO_x, NH₃, H₂S e SO₂, possui reação imediata com acetaldeído, formando um composto não odorífero e decompõe o formaldeído em CO₂ e H₂O. Em geral, é fácil determinar quando deverá ser substituído, pois apresentará mudança de coloração e quando detectado sua baixa concentração, toda a solução deverá ser substituída. Os principais problemas envolvidos durante este processo são problemas potenciais de uso e eliminação em alguns países, é corrosivo, as reações dependem do pH sendo necessário controlá-lo (geralmente com carbonato de sódio ou bissulfato de sódio).

2.5.5.2.2. Secagem de CO₂

Antes do processo de secagem, o CO₂ é comprimido para aumentar a pressão do fluxo de alimentação e aumentar o calor. Os secadores de CO₂ têm como função absorver a umidade da corrente de alimentação de CO₂, no qual é utilizado um tipo de material capaz de adsorver o vapor de água, denominados de agentes secantes. Existem vários tipos de agentes secantes, dentre eles, os mais utilizados são a sílica gel por ser eficiente e apresentar boa relação custo/benefício, a alumina ativa (Al₂O₃) que retém o etanol, porém é relativamente cara, a peneira molecular (silicato de Al) é bastante adequada para teores muito baixos de umidade (ppb) e pode ser utilizada em combinação com outro agente secante. O termo peneira molecular se aplica a uma variedade de adsorventes moleculares microporosos que podem adsorver água e outros compostos, tanto na fase líquida como na fase de vapor. É necessária a substituição da carga do agente secante em até no máximo a cada dois anos. A eficiência na etapa de secagem de CO₂ é extremamente importante, pois quando não realizada adequadamente ocasiona vários problemas tais como: congelamento do condensador, prejuízo à eficiência das trocas térmicas ocasionando maior consumo de energia e formação de gelo no tanque de estocagem.

As dimensões e o ciclo dos secadores são muito importantes e a seqüência dos leitos e válvulas pode ter um efeito importante na vida útil do secador e em sua contaminação por partículas. A figura 8 mostra um exemplo de ilustração dos secadores de CO₂.



Figura 8: Ilustração dos secadores de CO₂.

2.5.5.2.3. Desodorização de CO₂

Tem como função a eliminação de compostos insolúveis. Este processo ocorre nos filtros de carvão ativado no qual o fenômeno físico químico envolvido é a adsorção, que irá ocorrer por condensação do adsorbato nos microporos do carvão, no qual as ligações entre os contaminantes e o carvão ativo são fracas (ligação de Van der Waals). O carvão ativado é um material à base de carbono, proveniente de casca de coco, lignina, etc.; a ativação ocorre com o uso de vapor a temperaturas em torno de 900°C que irão formar os microporos nos grãos de carvão aumentando a sua área superficial. Os tipos de carvão ativado podem ser: o pulverizado, porém ocorre perda de carga elevada e não deve ser utilizado para gases, o granular e o extrudado, sendo mais adequado por possuir menor perda de carga e elevada resistência mecânica. A substituição da carga de carvão ativado deverá ocorrer em no máximo após dois anos de uso. Neste processo, os compostos insolúveis são divididos em:

- **Facilmente adsorvidos** – tais como: ésteres (acetato de etila, acetato de isoamila, entre outros), diacetil, álcoois (etanol, propanol, butanol, entre outros)
- **Moderadamente adsorvidos** – COS (sulfeto de carbonila) e H₂S (sulfeto de hidrogênio).

No qual a eficiência de adsorção será fortemente influenciada pelo ponto de ebulição, tamanho da molécula e forma estrutural do adsorbato. E quanto maior o ponto de ebulição e quanto menor a molécula, melhor será a adsorção. Como os compostos COS, H₂S e SO₂ possuem adsorção apenas moderada devido ao ponto de ebulição baixo é justificada a utilização de permanganato de potássio no processo de beneficiamento. A figura 9 ilustra um exemplo de ilustração de um desodorizador de CO₂.



Figura 9: Ilustração de um desorizador de CO₂.

2.5.5.2.4. Condensação de CO₂

Processo que tem como finalidade a eliminação dos gases incondensáveis, tais como o Oxigênio, o Nitrogênio e demais gases do ar (H₂, He, Ar), no qual o CO₂ é condensado, através de um sistema de refrigeração, porém os demais compostos citados permanecem em estado gasoso, sendo, portanto eliminados através de purgas. A concentração máxima de oxigênio presente no CO₂ beneficiado deverá ser em torno de 20 ppm, essa especificação máxima garante a qualidade na utilização do CO₂ para fins industriais. Quando acima desta especificação, deverá ser realizada uma purga de incondensáveis, no qual pode ser utilizado CO₂ de superfície para inertização. Este processo em geral ocasiona perda de CO₂ e conseqüentemente ocasionará a emissão de CO₂ para a atmosfera, porém a quantidade emitida será consideravelmente menor do que ocorreria se não existisse o processo de beneficiamento. Na figura 10 segue um modelo ilustrativo de um condensador de CO₂.



Figura 10: Ilustração de um condensador de CO₂.

2.5.5.2.5. Armazenamento de CO₂

Após beneficiamento, o CO₂ é armazenado em tanques reservatórios conforme mostra a figura 11.



Figura 11: Ilustração de um tanque reservatório.

2.5.5.3. Distribuição do CO₂

Após o processo de beneficiamento, com o CO₂ purificado e pronto para utilização em processos com sua qualidade assegurada, ou seja, dentro das especificações exigidas pelas

normas dos compradores, é realizada a distribuição do CO₂ puro para as fábricas produtoras de bebidas ou demais compradores, podendo ser realizada por caminhão, tubulações (quando a usina de beneficiamento se encontra na própria planta industrial produtora de bebidas), vagão, etc. Sendo o sistema de distribuição a rota que segue o CO₂ desde os tanques reservatórios da usina até os tanques de armazenagem do cliente. Quando o CO₂ for carregado por um veículo de entrega, este deverá estar conectado a um tanque de armazenagem através de uma linha de líquido e a uma de retorno de vapor, formando uma dupla conexão, isto se faz necessário para manter um ambiente de alta pressão para o CO₂ em forma líquida. Para evitar contaminações, o veículo utilizado para o transporte de CO₂ deverá ser utilizado exclusivamente para transportar CO₂.

2.5.6. O Processo de Geração de Energia

O processo de geração de energia mais utilizado em unidades fabris produtoras de bebidas é o processo denominado de **Co-geração**, que é definida como sendo a produção simultânea de energia térmica e eletricidade de uma mesma fonte de combustível denominada de ciclo térmico, que consiste na transformação de energia contida em um determinado combustível em eletricidade. Estas fontes combustíveis podem ser: gás natural, óleo, bagaço de cana, cavaco de madeira, etc.

Dentre os ciclos térmicos para geração de energia elétrica, os mais utilizados são: ciclo Rankine, ciclo Brayton, além dos grupos geradores de pequeno porte baseados no ciclo Otto e no Diesel.

- **Ciclo Rankine** – É o modo mais convencional de geração de energia térmica, no qual é utilizado o calor proveniente da combustão para geração de vapor num equipamento chamado caldeira ou gerador de vapor. Portanto, a energia térmica acumulada em forma de calor pode ser utilizada para aquecimento, processos industriais e para geração de energia elétrica acionando uma turbina a vapor acoplada a um gerador elétrico. O rendimento térmico máximo deste processo é de aproximadamente 30%. As vantagens desse processo se dão pela facilidade de queima de qualquer biomassa e por produzir vapor para processo; suas desvantagens são: a necessidade de tratamento de água, utilização de caldeiras de alta pressão e possui baixo rendimento do ciclo. A co-geração, entretanto, utiliza o calor residual do vapor, geralmente de baixa pressão da exaustão da turbina a vapor ou de uma extração numa turbina de condensação. Neste caso, o rendimento térmico do ciclo de Rankine com co-geração é calculado somando-se o total de energia utilizado, ou seja, a energia elétrica gerada mais a energia térmica utilizada no processo, dividindo-se pelo total da energia fornecida pelo combustível. A depender do processo, o rendimento térmico da co-geração pode chegar a 80%.
- **Ciclo Brayton** – este método vem se tornando um método cada vez mais utilizado para geração de energia. Neste tipo de máquina, o ar atmosférico é continuamente succionado pelo compressor, onde é comprimido para uma alta pressão. O ar comprimido entra na câmara de combustão, é misturado ao combustível e ocorre a combustão, resultando em gases com alta temperatura. Os gases provenientes da combustão se expandem através da turbina e descarregam na atmosfera. Parte do trabalho desenvolvido pela turbina é usado para acionar o compressor, o restante é utilizado para acionar um gerador elétrico ou um dispositivo mecânico. O rendimento

térmico do Ciclo de Brayton é de aproximadamente 35%, podendo chegar a 41,9%. As vantagens deste processo são: o baixo custo de equipamentos, a alta eficiência do ciclo, possui fácil operação e pode gerar vapor para o processo. Suas desvantagens incluem a baixa pressão do vapor gerado e as turbinas são sensíveis a impurezas. A co-geração neste ciclo é implementada através da adição de uma caldeira de recuperação de calor ao ciclo. Neste caso, os gases de exaustão da turbina são direcionados para a caldeira, de modo a gerar vapor e este será utilizado no processo industrial. Este é o ciclo proposto para a utilização do gás natural na maioria dos sistemas de co-geração, sendo a tendência atual no Brasil.

- Ciclo combinado** – é baseado na junção de dois ciclos de potência, o ciclo de Brayton e o Rankine conjuntamente. Neste tipo de arranjo, o calor liberado pelo ciclo Brayton é usado parcialmente ou totalmente como entrada de calor para o ciclo Rankine. No caso de geração de energia elétrica, através do ciclo combinado gás-vapor (Brayton-Rankine), os gases de exaustão da turbina a gás estão numa temperatura relativamente alta, normalmente entre 450 e 550°C. Deste modo, o fluxo de gás quente pode ser utilizado numa caldeira de recuperação de calor para geração de vapor que serve como fluido de trabalho para o acionamento de uma turbina a vapor, gerando um adicional de energia. Portanto, o ciclo combinado tem uma eficiência térmica maior que a dos ciclos Rankine e Brayton separadamente. Este tipo de processo de co-geração é a melhor opção para os locais onde a demanda de eletricidade é superior a demanda de vapor.

Do ponto de vista empresarial, podemos resumir que a co-geração é sinônimo de diminuição de custos, além disso, a auto-produção é uma das formas de aliviar a demanda no sistema elétrico com diminuição da dependência energética assegurando desta forma a produtividade da empresa privada e a manutenção de sua competitividade. A figura 12 ilustra um esquema de um processo de co-geração com seus componentes.

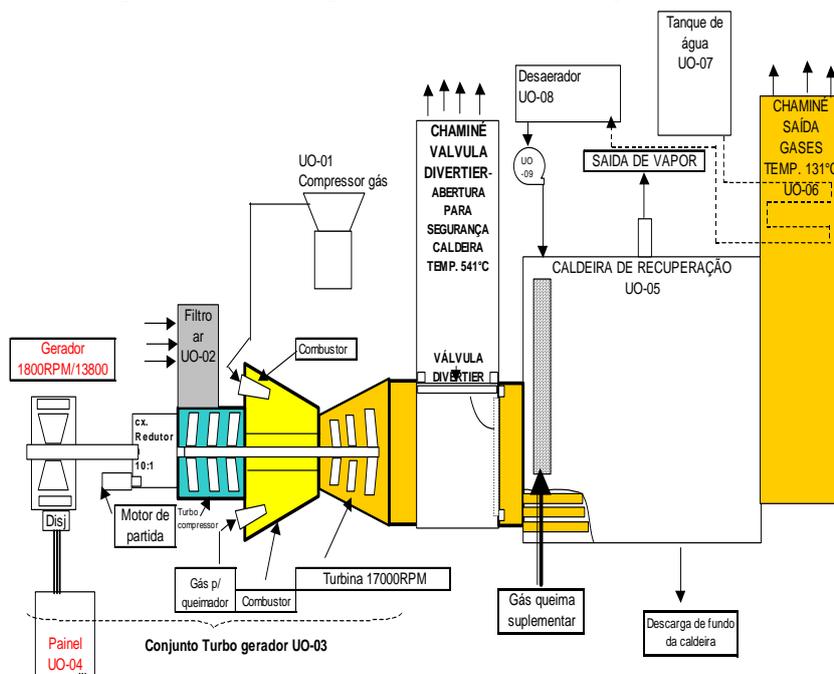


Figura 12: Esquema de um processo de co-geração

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Elaboração de um modelo de balanço de CO₂ para unidades fabris produtoras de bebidas.

3.2. Específicos

- Estimar a quantidade de CO₂ emitido durante o processo de geração de energia elétrica;
- Estimar a quantidade de CO₂ capturada durante o processo de fermentação;
- Estimar a quantidade de CO₂ emitida durante seu processo de beneficiamento;
- Estimar a quantidade de CO₂ emitida durante o processo de carregamento de matéria prima e de subprodutos da cerveja;
- Estimar a quantidade de árvores necessárias para compensar o passivo de CO₂ identificado pelo balanço entre a captura e emissão desse gás nas fases componentes do processo de fabricação da cerveja.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. A Unidade Fabril Produtora de Bebidas

Este estudo foi desenvolvido em uma Unidade Fabril Produtora de Bebidas que fica localizada no município do Rio de Janeiro.

O processo de produção de cerveja que ilustra o item anterior provém dessa Unidade Fabril e é a origem dos dados que serão tabulados e analisados para o balanço entre captura e emissão de carbono de que trata o presente trabalho.

4.2. Método de abordagem do estudo

O método de abordagem utilizado neste estudo foi o método dedutivo, que parte das teorias e leis existentes, examina a ocorrência dos fenômenos particulares, e, baseado nos problemas ambientais expostos, permite a definição de métodos para estudar fenômenos particulares, neste caso representado pelo processo de produção da unidade fabril produtora de bebidas, sendo esta, a delimitação do universo estudado.

4.3. Coleta dos dados

4.3.1. Emissão de CO₂

Para obtenção das informações, foi realizado um levantamento dos dados de produção fabril ao longo do ano de 2007, através de consultas aos sistemas corporativos: ferramentas MES e SAP. Dentre eles, foram feitos:

- o levantamento do número total de entrada de caminhões para abastecimento de matéria prima e carregamento de subprodutos através dos registros mensais do sistema SAP e Excel ao longo do ano em estudo;
- o levantamento mensal da produção de cerveja (HL) e,
- o levantamento da produção e consumo de energia elétrica (Mega Watts) ao longo do ano estudado.

Quando necessário, foram realizadas consultas diretas com os gestores das áreas da Unidade Fabril em estudo.

Após a obtenção de todos os dados fabris, foi realizada uma consulta ao site Carbono Neutro para quantificar os valores de emissão de CO₂ gerado no consumo de energia elétrica e no carregamento dos caminhões.

Além disso, foram realizadas pesquisas bibliográficas e eletrônicas com o intuito de levantar informações a respeito da questão ambiental das emissões atmosféricas, do processo de co-geração de energia elétrica, fermentação alcoólica e beneficiamento de CO₂.

4.3.2. Captura de CO₂

No processo em estudo, a captura de CO₂ acontece de modo direto pelo aproveitamento desse gás gerado no processo de fermentação alcoólica proveniente do processo de fabricação da cerveja.

4.4. Balanço entre a captura e emissão de CO₂

O balanço entre a captura e emissão do CO₂ será efetuado pela comparação entre os totais das atividades que emitem e a atividade que captura esse gás, durante o processo. O resultado indicará se existe um ativo ou um passivo, cuja destinação ou neutralização dependerá da política ambiental da empresa.

4.5. Opções para o resultado do balanço

Caso o resultado do balanço resulte positivo, ou seja, o processo captura mais CO₂ do que emite, a diferença poderá ser contabilizada em algum tipo de crédito ambiental e utilizada ou comercializada pela empresa.

Na hipótese de resultado negativo, ou seja, o processo gerar um passivo ambiental, a empresa deverá encontrar uma forma de neutralizar esse passivo. No presente caso, a sugestão indicará o plantio de árvores como forma de capturar CO₂ da atmosfera.

4.6. Modelo conceitual proposto para o balanço de CO₂

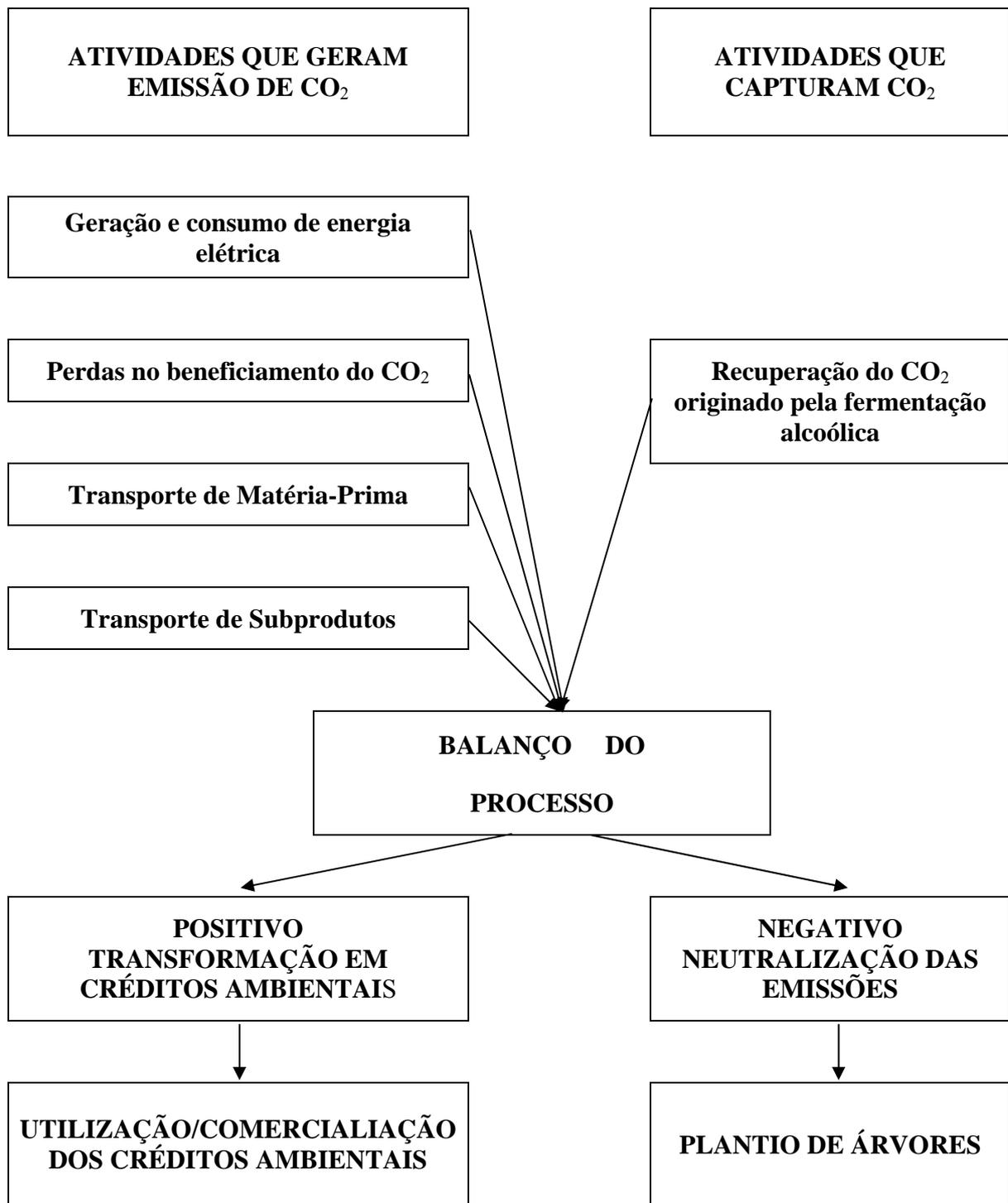


Figura 13: Modelo Conceitual para Balanço de CO₂

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados a seguir, os resultados referentes às diferentes fases do processo, onde ocorre emissão ou captura de carbono.

5.1. Emissão de CO₂

5.1.1. Energia elétrica

Quanto a energia elétrica, a produção mensal na unidade fabril em estudo varia de 12 a 18 Mwatts mensais ao longo do ano, no qual 70-80% são gerados pelo processo de co-geração e de 20 a 30% são gerados pela concessionária de energia elétrica local. O gás utilizado no processo de co-geração desta unidade fabril é o gás natural. Segue abaixo uma ilustração de um gráfico (figura 14) apresentando os valores mensais de consumo de energia de acordo com a produção de cerveja ao longo de um ano de estudo. Foi observado de acordo com o gráfico que os valores de consumo de energia elétrica são proporcionais ao aumento da produção.

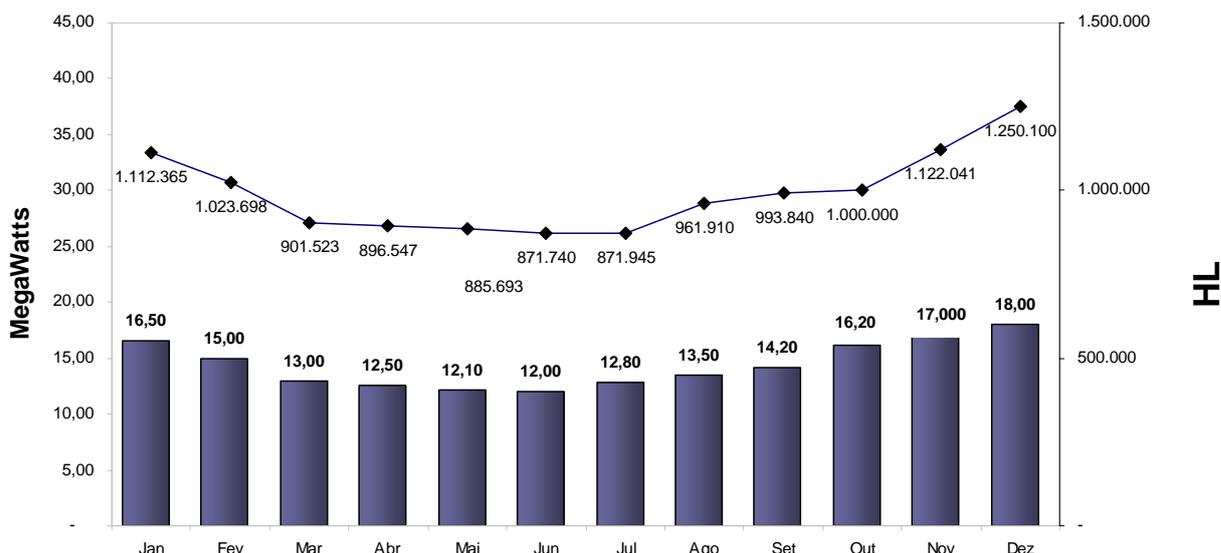


Figura 14: Consumo de energia x Produção de cerveja

Para efeito de cálculo, foram considerados que, para 100% de energia elétrica total consumida pela unidade fabril produtora de bebidas, 80% de energia elétrica foi produzida por co-geração e 20% foi produzida pela concessionária de energia elétrica local. Na tabela 3 encontram-se os valores mensais de energia elétrica em Megawatts consumida ao longo de um ano e os valores mensais de energia elétrica produzida pela usina de co-geração e pela concessionária de energia elétrica local ao longo de um ano de estudo.

Tabela 3: Valores mensais de consumo e produção de energia elétrica (Mwatts)

Meses	Total de Energia Elétrica (Mwatts)	Total de Energia Elétrica por Co-geração (Mwatts)	Total de Energia Elétrica Hidrelétrica - Concessionária (Mwatts)
Jan.	16,50	13,20	3,30
Fev.	15,00	12,00	3,00
Mar.	13,00	10,40	3,40
Abr.	12,50	10,00	2,50
Mai.	12,10	9,68	2,42
Jun.	12,00	9,60	2,40
Jul.	12,80	10,24	2,56
Ago.	13,50	10,80	2,70
Set.	14,20	11,36	2,84
Out.	16,20	12,96	3,24
Nov.	17,00	13,60	3,40
Dez.	18,00	14,40	3,60
Total	172,80	138,24	34,56

De acordo com consulta ao site Carbono Neutro, segue abaixo, na tabela 4, a quantidade total de CO₂ emitido (ton) ao longo de um ano pela unidade fabril produtora de bebidas em estudo de acordo com o tipo de energia elétrica utilizada. Como a energia elétrica fornecida pela concessionária é considerada uma energia limpa por ser hidrelétrica, foi considerada que a emissão de CO₂ neste fornecimento é nula.

Tabela 4: Quantidade de CO₂ emitido (ton) pelo consumo e produção de energia elétrica

Meses	Termoelétrica - Co-geração	
	Energia Elétrica (Mwatts)	Emissão de CO ₂ (tonelada)
Janeiro	13,20	2,508
Fevereiro	12,00	2,280
Março	10,40	1,976
Abril	10,00	1,900
Maio	9,68	1,839
Junho	9,60	1,824
Julho	10,24	1,946
Agosto	10,80	2,052
Setembro	11,36	2,158
Outubro	12,96	2,462
Novembro	13,60	2,584
Dezembro	14,40	2,736
Total	138,24	26,265

Verifica-se que a geração de energia elétrica promove a liberação total de 26,265 toneladas de carbono no período de um ano.

5.1.2. Beneficiamento de CO₂

Quanto à emissão de CO₂ ocasionado pela fermentação alcoólica durante o processo de produção da cerveja na unidade fabril produtora de bebidas em estudo, como o processo de fermentação alcoólica é originado de materiais orgânicos, a emissão de CO₂ seria naturalmente compensada devido ao processo de assimilação de CO₂ pela planta ocorrida durante o seu crescimento, neste caso, durante o cultivo do malte e/ou demais cereais da cerveja. Porém, devido à existência de uma usina de beneficiamento de CO₂, o impacto gerado pela emissão de CO₂ originada das demais atividades de produção da cerveja, tais como, a geração e consumo de energia e o carregamento de caminhões foi consideravelmente compensado pela instalação de uma planta de beneficiamento de CO₂ na unidade fabril, que trouxe não somente benefícios econômicos por não precisar ter contrato de compra com fornecedores de CO₂ e ser dependentes das variações de preços no mercado, como trouxe também benefícios ambientais por reduzir a emissão de CO₂ ocorrido no processo produtivo.

Com a usina de beneficiamento, desde que, os equipamentos e válvulas estejam devidamente calibrados e com a manutenção em dia, as perdas de CO₂ resumem-se nas purgas realizadas para eliminar os gases incondensáveis, pois a produção da cerveja deverá respeitar a capacidade da usina de promover o beneficiamento, neste caso, nesta unidade fabril a capacidade nominal de beneficiamento de CO₂ é de 6000 kg de CO₂/h e de acordo com dados obtidos com os gestores da usina de beneficiamento de CO₂ da unidade fabril em estudo, devido à eficiência da usina de beneficiamento ser tem torno de 90%, a meta de produção de CO₂ é estimada em 5400 kg de CO₂/h, desta forma, a perda por CO₂ de acordo com o cálculo demonstrado abaixo fica em torno de 432000 kg de CO₂ ou 432 toneladas por mês, variando de acordo com os ajustes e manutenção do processo e com a produtividade. Se o processo estiver controlado, não irá ocorrer emissão nos tanques de fermentação, somente ocorrerá emissão nas purgas ocorridas durante a purificação do CO₂. Quanto maior for a eficiência da usina de beneficiamento menor será a perda de CO₂.

Cálculo da perda mensal para 90% de eficiência da usina de beneficiamento:

Capacidade Nominal => 6000 kg CO₂/h

Eficiência do Beneficiamento => 90%

Cálculo da meta => 6000 kg de CO₂/h x 0,90 = 5400 kg CO₂/h

Emissão diária de CO₂ => (6000 kg CO₂/h – 5400 kg CO₂/h) x 24h = 14400 kg CO₂/dia

Emissão mensal de CO₂ => 14400 kg CO₂/dia x 30 dias = 432000 kg CO₂/mês ou 432 t/mês

A figura 15 ilustra um gráfico mostrando a perda real de CO₂ ocorrida durante o processo de beneficiamento de CO₂ relacionado com a produtividade fabril ao longo de um ano e na tabela 5 encontra-se calculada a quantidade total de emissão de CO₂ por perda durante o processo de beneficiamento ao longo de um ano. Verifica-se que a média real desse período (443,52 t/mes) ficou bem próxima da meta de 432 t/mês.



Figura 15: Perda de CO₂ no Beneficiamento x Produção de Cerveja

Tabela 5: Quantidade de CO₂ emitido por perda no beneficiamento

Meses	Eficiência do Beneficiamento (%)	Emissão de CO ₂ por perda (ton)
Janeiro	91,3	375,84
Fevereiro	86,5	583,20
Março	89,8	453,60
Abril	88,0	440,64
Maio	90,0	518,40
Junho	94,0	432,00
Julho	91,0	388,80
Agosto	88,3	518,40
Setembro	94,0	406,08
Outubro	90,2	423,36
Novembro	91,8	354,24
Dezembro	90,1	427,68
Total	-	5322,24
Média mensal		443,52

Como mostram os resultados da Tabela 5, no beneficiamento do CO₂, são emitidas 5.322,24 toneladas de carbono por ano devido às perdas ocorridas durante o beneficiamento. No entanto, essa emissão é considerada nula ser originária de fonte orgânica, ou seja, esse CO₂ foi previamente capturado, estando presente na composição dos cereais utilizados nesse processo.

5.1.3. Carregamento de Matéria-Prima e Subprodutos por Caminhões

Para fins de cálculo e por se tratar da criação de um modelo de balanço de emissões de CO₂, foram considerados valores médios de quilometragem para o carregamento de matéria prima e subprodutos, no qual o valor estimado foi de 200 km/caminhão. Considerando-se que cada caminhão executará uma viagem por dia (ida e volta) será computado o valor de 400 km/caminhão/dia. A tabela 6 expressa a quantidade de CO₂ emitido mensalmente e ao longo de um ano de acordo com o número de caminhões necessários para carregamento e levando em consideração a distância total percorrida em km (abaixo se encontra um exemplo de cálculo) e a figura 16 ilustra um gráfico que representa a relação entre número de caminhões de matéria-prima e subprodutos necessários de acordo com a produção de cerveja ao longo do ano para a unidade fabril em estudo.

- Exemplo de Cálculo da Distância Total:

Distância total percorrida por caminhão => 200 km (ida) x 200 km (volta) = 400 km/caminhão/dia

Número total de caminhões no mês de janeiro => 2005 caminhões

Distância total percorrida em janeiro => 2005 caminhão x 400 km/caminhão = 802000 km

- Exemplo de Cálculo de Emissões de CO₂:

Distância percorrida por caminhão => 400 km/caminhão/dia

Característica do caminhão => diesel - motor maior que 2 L

Emissão de CO₂ para 400 km/dia (fonte: Carbono Neutro) => 2,35 toneladas de CO₂

Número de caminhões necessários no mês de Janeiro => 2005 caminhões

Total de Emissões de CO₂ => 2005 x 2,35 = 4711,75 toneladas de CO₂

Tabela 6: Quantidade de CO₂ Emitido pelo Carregamento de Caminhões

Meses	Produção de Cerveja (HL)	Número de Caminhões (un.)	Distância Total (km)	Emissões de CO ₂ (ton.)
Janeiro	1112365	2005	802000	4711,75
Fevereiro	1023698	1969	787600	4627,15
Março	901523	1659	663600	3898,65
Abril	896547	1601	640400	3762,35
Mai	885693	1570	628000	3689,50
Junho	871740	1420	568000	3337,00
Julho	871945	1435	574000	3372,25
Agosto	961910	1511	604400	3550,85
Setembro	993840	1690	676000	3971,50
Outubro	1000000	1940	776000	4559,00
Novembro	1222041	2132	852800	5010,20
Dezembro	1250100	2351	940400	5524,85
Total	11991402	21283	8513200	50015,05

Conforme mostra a Tabela 6, as emissões de CO₂ por parte dos caminhões que transportam os insumos e produtos da unidade industrial em estudo totalizam 50.015,00 toneladas por ano. A Figura 16 mostra a associação do número de caminhões utilizados para o transporte de insumos e produtos e a produção de cerveja que, como esperado variam de maneira similar ao longo do ano.

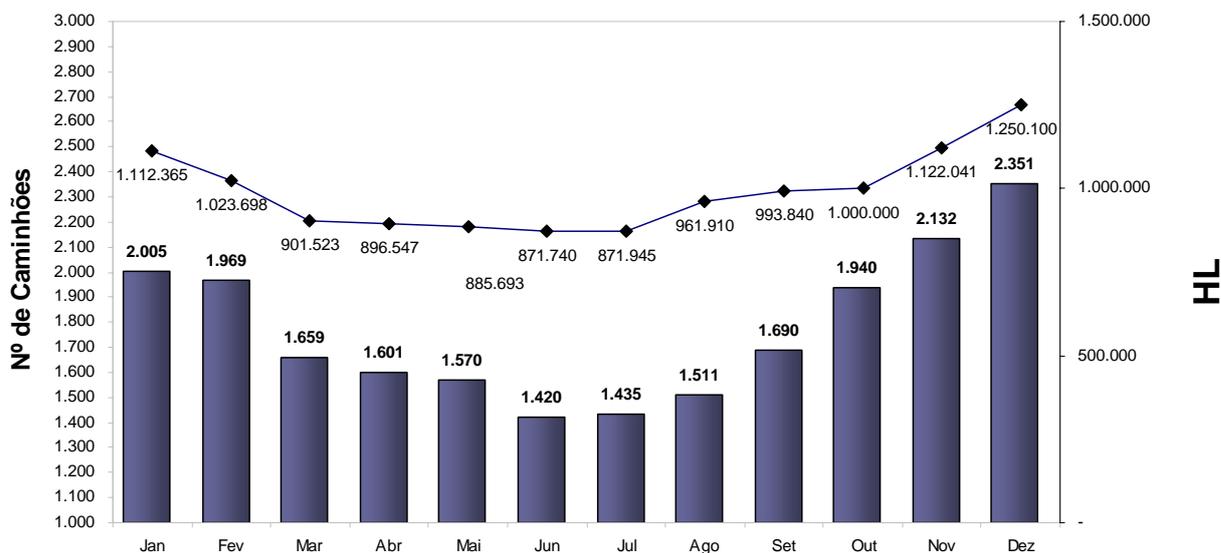


Figura 16: Nº. de Caminhões (Matéria Prima e Subprodutos) x Produção de Cerveja

5.2. Captura de CO₂

A captura de CO₂ no processo industrial sob avaliação, deriva do aproveitamento desse gás gerado na fermentação alcoólica. Como já referenciado, essa operação resultou de decisão estratégica da empresa, que possibilita a compensação do CO₂ emitido nas demais atividades industriais envolvidas no processo produtivo. Essa decisão teve benéficas conseqüências econômicas e ambientais, reduzindo sensivelmente a emissão de CO₂ no processo industrial.

Apresenta-se a seguir, um modelo de cálculo para quantidade total de CO₂ beneficiado pela usina e a Tabela 7 mostra os valores de CO₂ beneficiado durante o processo produtivo ao longo dos meses e o total ao longo do ano em estudo.

Cálculo da quantidade total de CO₂ beneficiado com 90% de eficiência da usina de beneficiamento:

Capacidade Nominal => 6000 kg CO₂/h

Eficiência do Beneficiamento => 90%

Cálculo da meta => 6000 kg de CO₂/h x 0,90 = 5400 kg CO₂/h

Beneficiamento diário de CO₂ => 5400 kg CO₂/h x 24h = 129600 kg CO₂/dia

Beneficiamento mensal de CO₂ => 129600 kg CO₂/dia x 30 dias = 3888000 kg CO₂/mês ou 3888 t/mês

Tabela 7: Quantidade de CO₂ beneficiado

Meses	Eficiência do Beneficiamento (%)	Beneficiamento de CO ₂ (ton)
Janeiro	91,3	3944,16
Fevereiro	86,5	3736,80
Março	89,8	3879,36
Abril	88,0	3801,60
Mai	90,0	3888,00
Junho	94,0	4060,80
Julho	91,0	3931,20
Agosto	88,3	3814,56
Setembro	94,0	4060,80
Outubro	90,2	3896,64
Novembro	91,8	3965,76
Dezembro	90,1	3892,32
Total	-	46872,00

Como mostram os resultados da Tabela 7, são capturadas 46.872 toneladas de CO₂ por ano com a implantação da usina de beneficiamento desse gás.

5.3. Balanço das emissões de CO₂ no processo de produção de cerveja

A Tabela 8 mostra a quantidade de CO₂ emitida no processo de produção de cerveja no período de um ano, totalizando 50.041,315 toneladas, sendo que, 99,95% desse total, representam as emissões geradas no transporte de insumos e produtos.

Tabela 8. Emissões de CO₂, geradas no processo de produção de cerveja

Atividades que geram Emissão de CO ₂	Ton CO ₂ / ano	Participação %
Geração e Consumo de energia elétrica	26,265	0,05
Transporte de Insumos e Produtos	50.015,050	99,95
Total	50.041,315	100,00

A parte industrial do processo, em função da captura do CO₂ gerado no processo de fermentação mostra-se credora quando se analisa apenas essa parte do processo.

No conjunto, comparando-se o total das emissões (50.041,315 t/ano) com o da captura (46.872,000 t/ano), obtém-se um déficit ou passivo quanto às emissões de CO₂ igual a 3.169,315 t/ano.

5.4. Opções para o resultado do balanço

Verificada a existência de um passivo nas emissões de CO₂ no processo de produção de cerveja, cumpre estudar alternativas viáveis para neutralizar esse efeito nocivo sobre o ambiente.

É correto postular que a primeira providência deve contemplar possibilidades tecnológicas que minimizem a emissão desse gás no processo produtivo, como foi a decisão de se aproveitar o gás da fermentação alcoólica.

No presente caso, outra providência emerge como necessária, ou seja, deve haver um trabalho junto à frota de caminhões que serve a empresa, pois, qualquer redução nos atuais níveis de emissão redundará em efeito significativo ao longo do ano.

Finalmente, pode-se lançar mão de outras providências que assegurem a captura do CO₂ disponível na atmosfera, como por exemplo, o plantio de árvores.

De acordo com dados da empresa Max Ambiental e consulta ao *site* Carbono Neutro, são necessárias cinco árvores para neutralizar uma tonelada de carbono.

Considerando-se o déficit estimado de 3.169,315 toneladas de CO₂, torna-se necessário o plantio de 15.847 árvores/ano para que as emissões de CO₂ do ano de 2007 sejam totalmente neutralizadas nas etapas que antecedem ao envasamento da cerveja.

Levando-se em consideração que a produção total de cerveja no ano de 2007 foi de aproximadamente 11.991.402 hl, seria necessário o plantio uma árvore para cada 1000 hl de cerveja produzido.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo permitiu desenhar uma proposta metodológica que permita avaliar e quantificar as emissões de CO₂ durante o processo de produção de cerveja.

Os resultados obtidos evidenciaram que o processo industrial promove a captura de CO₂ que é neutralizada e superada pelas emissões oriundas da frota de veículos que transportam insumos e produtos ligados ao processo produtivo. Constatou-se também que as emissões oriundas da energia elétrica consumida no processo geram emissões consideradas irrisórias.

A busca por alternativas tecnológicas que aumentem a eficiência da usina de beneficiamento de CO₂ e a diminuição das perdas ocorridas durante este processo pelo número de purgas necessárias para purificação do CO₂ apresenta-se como uma das principais sugestões para uma maior eficiência de todo o processo.

Para redução das emissões de CO₂ pela produção de energia elétrica, sugere-se a implantação ou adaptação da planta da usina de beneficiamento de CO₂ para reaproveitamento dos gases emitidos durante o processo de produção de energia elétrica por co-geração.

Para a redução das emissões de CO₂ pelos veículos de carregamento de matéria prima e subprodutos recomenda-se estudar a substituição do diesel pelo biodiesel.

Existe também uma necessidade premente de aprofundamento dos estudos para a determinação mais precisa da capacidade e velocidade de assimilação de carbono por parte das árvores, visando tornar os valores atualmente aceitos, cada vez mais próximos da realidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADGER, N. et al. **Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima**. Tradução de Anexandra Ribeiro. Bruxelas, 2007. 30 p. Original inglês.
- ALMEIDA, J.R. et al. **Política e planejamento ambiental**. 3.ed. Rio de Janeiro: Thex. Ed.,2004. 457 p.
- AMBIENTE BRASIL. Evolução nos debates de mudanças climáticas. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=../carbono/index.php3&conteudo=../carbono/debates.html>> Acesso em: 31 jan.2008.
- ARORA, S.; GANGOPADHYAY, S. Toward a theoretical model to voluntary overcompliance. **Journal of Economic Behavior and Organization**, v. 28, p. 289-309, 1995.
- BOWES, G. Facing the inevitable: Plants and increasing atmospheric. **Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**, v.44, p. 309-332, 1993.
- EHLERINGER, J. R., et al. Climate change and the evolution of C4 photosynthesis. **Trends Ecol. Evol.**, v. 6, p. 95-99, 1991.
- FALEIROS, G. Sai resultado da COP 13. **O Eco**. Rio de Janeiro, 17 dez.2007.
- FERNANDO, P. Geração de energia x Mudanças climáticas. **Com Ciência Ambiental**, São Paulo, p. 50-65, nº 08, 2007.
- FRANÇA, M. A. **Brasil: O aquecimento global e suas conseqüências**. 2004. 19f. Monografia (Especialização em Manejo Sustentável do Meio Ambiente) – Departamento de Agronomia, UNICENTRO.
- FÚZER, L. Energia e mudanças climáticas: barreiras e oportunidades para o Brasil, **Informativo CRQ. III**, Rio de Janeiro, p.6 e 7, jan/fev. 2007.
- HAAS, P. M. et al. Appraising the earth summit: How should we judge UNCED's success? **Environment** 34, nº8, p. 7-35, 1992.
- HAVEMAN, M.; DORFMAN, M. Early efforts at integrating business and environment at SC Johnson. **Corporate Environmental Strategy**, v.6, nº 1, p. 4-13, Winter 1999.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2001: the scientific basis**. HOUGHTON, J. T; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P.J; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. A. (ed). Cambrigde: Cambrigde University Press, 2001 a 881 p.
- IZIQUÉ, C. e MARQUES, F. Caminhos da mudança do Clima. **Edição Imprensa**. São Paulo, dez. 2006.

KANTER, J. Desenvolvimento sustentável: mercado verde. **JB Ecológico**, Rio de Janeiro, p.40-42, nº 43, 08 abr. 2007.

KEELING, C. D., Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980. **Nature**, v.375, p. 666-670, 1995

LERIPIO, A. A. **GAIA: um método de gerenciamento de aspectos e impactos ambientais**. 2001. Tese (Doutorado) – PPGEP/UFSC, Florianópolis.

MAGLIO, I. C. **Análise ambiental: uma visão multidisciplinar**. 2.ed. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 1995. p. 89-97.

MAX AMBIENTAL – CARBONO NEUTRO **Ferramentas de cálculo de emissões de CO2**. Disponível em: <<http://www.carbononeutro.com.br>>. Acesso em 05 fev.2008.

MIGUEZ, J. M. O Brasil e o Protocolo de Quioto. **Cenbio Notícias**, v.3, n.8, p.3, 2000.

OETTERER, M. **Tecnologia de obtenção da cerveja**. 2005. 29f. Material de apoio as aulas – Departamento de Agroindústrias, alimentos e Nutrição, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

PRIMACK, R. B. e RODRIGUES. E. **Biologia da Conservação**. 1. ed. Londrina: E. Rodrigues, 2001. 328 p.

RAVEN, P. H. et al. **Biologia Vegetal**. 6.ed. New York: Freeman and Company, 1999. 906p.
RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. 5.ed. New York: Freeman and Company, 2001.503 p.

ROCHA, M. T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. 2003. 214f. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Economia Aplicada, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

ROMEIRO, T. Previsões seguras sobre aquecimento global. **Agência FAPESP**. São Paulo, 24 jan.2008.

ROSA, V. **Overview de treinamento de técnicos da UTE Norte Fluminense: processo de geração térmica**. COOPFURNAS. Módulo 33, 2002.

SACHS, I. **Ecodesenvolvimento, crescer sem destruir**. São Paulo: Vértice, 1986.

SEIFFERT, M. E. B. **Iso 14001 Sistemas de gestão ambiental**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2006. 258 p.

TAIZ, L. e ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

_____. **Ferramenta de qualidade da água - manual de treinamento PEPSI**, São Paulo, 1999. 183 p.

_____. **Ferramenta de qualidade do gás carbônico - manual de treinamento PEPSI**, São Paulo, 1999. 201 p.