**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

JULIA RIBEIRO XAVIER

# ANÁLISE DO ETANOL PROVENIENTE DA CANA DE AÇÚCAR COMO UMA ALTERNATIVA DE ENERGIA SUSTENTÁVEL

**JUIZ DE FORA**

**2012**

JULIA RIBEIRO XAVIER

# ANÁLISE DO ETANOL PROVENIENTE DA CANA DE AÇÚCAR COMO UMA ALTERNATIVA DE ENERGIA SUSTENTÁVEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: D. Sc, Bruno Milanez

**JUIZ DE FORA**

**2012**

Xavier, Julia Ribeiro
Análise do etanol proveniente da cana de açúcar como uma alternativa de energia sustentável / Julia Ribeiro Xavier. – 2012.
70 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção)–Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

1. Sustentabilidade. 2. Etanol de cana de açúcar. 3. Impactos socioambientais. I. Título.

JULIA RIBEIRO XAVIER

**ANÁLISE DO ETANOL PROVENIENTE DA CANA DE AÇÚCAR COMO UMA ALTERNATIVA DE ENERGIA SUSTENTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em janeiro de 2012.

BANCA EXAMINADORA

_____

Bruno Milanez.
Universidade Federal de Juiz de Fora, D.Sc

_____

Prof. Carlos Frederico da Silva Crespo
Universidade Federal de Juiz de Fora, D.Sc

_____

Prof. Márcio de Oliveira
Universidade Federal de Juiz de Fora, M. Sc

**RESUMO:** O uso do etanol de cana como substituto a combustíveis fósseis apresenta vantagens em relação a outros agrocombustíveis por possuir melhor balanço energético entre todos os combustíveis de biomassa, porém, seu uso representa uma série de impactos ambientais e socioeconômicos. Uma produção sustentável significa uma produção que atenda as necessidades das gerações atuais sem comprometer as gerações futuras no que diz respeito a aspectos econômicos, sociais e ambientais e nesse contexto o presente trabalho visa analisar o etanol brasileiro proveniente da cana de açúcar como uma alternativa de energia sustentável. A expansão da produção do etanol de cana de açúcar produzido no Brasil se deve principalmente ao aumento do preço do petróleo, entrada dos carros flex no mercado e maior demanda internacional. As extensas e contínuas áreas de produção em monocultivo geram empobrecimento da biodiversidade e afetam flora e fauna. A cadeia produtiva, principalmente onde não é mecanizada, a produção e distribuição do etanol emitem gás carbônico, sendo assim, dependendo das circunstâncias, ele não pode ser considerada uma atividade que minimiza a emissão deste gás de efeito estufa. A produção de cana de açúcar causa muitos impactos no uso da água. Existe precariedade da mão de obra usada nos canaviais e trabalho infantil. Dessa forma, a pesquisa indica quão complexa e multidimensional é a questão da sustentabilidade, mostrando a possibilidade de se adotar o conceito na construção de modelos de avaliação, que permitam observar uma atividade em seus múltiplos aspectos e contribuir para a melhoria das condições ambientais e da qualidade de vida das pessoas.

**Palavras-Chave:** sustentabilidade, etanol de cana de açúcar, impactos socioambientais

**ABSTRACT:** The use of sugarcane ethanol as a substitute for fossil fuels has advantages over other biofuels because it has better energy balance among all biomass fuels, however, its use represents a series environmental and socioeconomic impacts. Sustainable production means production that meets the needs of current generations without compromising future generations regarding economic, social and environmental context that this paper aims to analyze the Brazilian ethanol from sugarcane as an alternative energy sustainable. The increase of ethanol production from sugar cane produced in Brazil mainly due to the rising price of oil, flex fuels cars and international demand. The extensive and continuous areas of monoculture production, generate loss of biodiversity and affect flora and fauna. The production chain, especially where is mechanized, production and distribution of ethanol emit carbon dioxide, so depending on the circumstances, it cannot be considered an activity that minimizes the emission of this greenhouse gas. The production of cane sugar causes many impacts on water use. There precariousness of labor used in the cane fields and child labor. Thus, research indicates just how complex and multidimensional is the issue of sustainability, showing the possibility of adopting the concept in the construction of assessment models, which allow to observe an activity in its many aspects and contribute to the improvement of environmental conditions and quality of life.

**Keywords:** sustainability, ethanol from sugar cane, socioenvironmental impacts

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Mapa da produção de cana de açúcar no Brasil ..... 32

Figura 2 – Ciclo da cana de açúcar ..... 35

Figura 3 – Rotas tecnológicas para a produção de etanol ..... 37

Figura 4 – Processo produtivo do etanol ..... 39

Figura 5 – Análise de sustentabilidade da cadeia de produção, distribuição e uso do etanol .. 58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Venda de veículos no Brasil por tipo de combustível. ..... 31

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Cronograma da eliminação da queima na produção de cana de açúcar no estado de São Paulo segundo a Lei 11.241/2002 ..... 47

Quadro 2 – Cronograma da eliminação da queima na produção de cana de açúcar no estado de São Paulo segundo o Protocolo Agroambiental. ..... 48

Quadro 3 – Uso médio de água na produção de cana de açúcar, finalidades mais significativas ..... 50

Quadro 4 – Perda de solo por erosão em cana de açúcar com presença ou ausência de palhada. ..... 52

Quadro 5 – Impactos positivos e negativos do setor canavieiro..... 59

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção de cana de açúcar no Brasil ..... 30

Gráfico 2 – Curva de produtividade dos Colmos . ..... 36

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento

CAI – Complexo Agroindustrial

CEPAL – Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

COP – Conferência das Partes (Conference of the Parties)

CTC – Centro de Tecnologia Canavieira

DS – Desenvolvimento Sustentável

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

ET – Evapotranspiração

GEE – Gases do Efeito Estufa

IEA – Agência Internacional de Energia (International Energy Agency)

IEA – Instituto de Economia Agrícola

IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

INPE – Instituto Nacionais de Pesquisas Espaciais

MOP – Reunião das Partes (Meeting of the Parties)

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

NIPE – Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético

OIT – Organização Internacional do Trabalho

ONU – Organização das Nações Unidas

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

UNFCCC – Convenção- Quadro das Nações Unidas Sobre a Mudança do Clima

UNICA – União da Indústria de cana de açúcar

**SUMÁRIO**

**1 INTRODUÇÃO ..... 14**

1.1 CONSIDERACÕES INICIAIS ..... 14

1.2 ESCOPO DO TRABALHO ..... 15

1.3 JUSTIFICATIVA ..... 16

1.4 OBJETIVOS ..... 16

**1.4.1 Objetivo geral ..... 16**

**1.4.2 Objetivos específicos ..... 17**

1.5 METODOLOGIA ..... 17

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO ..... 18

**2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ..... 19**

2.1 SUSTENTABILIDADE E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL ..... 19

2.2 SUSTENTABILIDADE, MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EMISSÃO DE GEE ... 22

**3 ETANOL DE CANA DE AÇUCAR: ASPECTOS GERAIS ..... 25**

3.1 A NECESSIDADE DOS AGROCOMBUSTÍVEIS ..... 25

3.2 A PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASL ..... 27

**3.2.1 A cana na colônia e no império ..... 27**

**3.2.2 A cana no século XX ..... 28**

**3.2.3 A cana no século XXI ..... 30**

3.3 PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DA CANA DE AÇÚCAR EM ETANOL 33

**3.3.1 O ciclo produtivo da cana de açúcar ..... 33**

**3.3.2 O ciclo produtivo do etanol ..... 36**

**4 A SUSTENTABILIDADE DO ETANOL NO BRASIL: UMA ANÁLISE CRÍTICA 41**

4.1 FATORES SOCIAIS ..... 41

**4.1.1 Condições de trabalho ..... 41**

**4.1.2 Uso da terra ..... 43**

**4.1.3 Preço dos alimentos** ..... **44**

**4.1.4 Trabalho infantil** ..... **45**

**4.1.5 Saúde da população** ..... **46**

4.2 FATORES AMBIENTAIS ..... 48

**4.2.1 Uso e poluição da água** ..... **49**

**4.2.2 Monocultivo e biodiversidade** ..... **51**

**4.2.3 Perda de solo** ..... **52**

**4.2.4 Mudanças climáticas** ..... **53**

4.3 FATORES ECONÔMICOS ..... 54

**4.3.1 Geração de emprego e distribuição de renda** ..... **54**

**4.3.2 Contribuição para a economia nacional** ..... **56**

**4.3.3 Inserção no mercado internacional** ..... **56**

**5 CONSIDERAÇÕES FINAIS** ..... **58**

**REFERÊNCIAS** ..... **63**

**ANEXO A - TERMO DE AUTENTICIDADE** ..... **70**

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERACÕES INICIAIS

A base do modelo capitalista é o capital, que existe como processo ou movimento, no circuito do capital. A base de funcionamento do capitalismo está dada pela busca de expansão do capital, obtida na produção de mercadorias com valor de troca suplante o despendido na produção. A busca de expansão constante é inerente ao capitalismo, trata-se de um objetivo quantitativo. Calcado em um critério monetário, quantitativo e unidimensional, o mercado direciona e sanciona os desenvolvimentos compatíveis com a lógica de acumulação e de expansão capitalista (MARX, 1988). Nesse modelo de produção a demanda por bens é cada vez maior, demandando assim mais energia.

Na atualidade, tem sido observada a necessidade de se pesquisar sobre fontes de energia alternativas ao petróleo. Embora, esse recurso tenha se tornando a principal fonte de energia primária ao longo do século XX, o uso excessivo tem tornado sua obtenção cada vez mais difícil.

> A energia se constitui em um dos principais pilares de sustentação do padrão de vida das sociedades industriais. À medida que a população mundial cresce e os cidadãos almejam uma maior qualidade de vida, as quantidades de energia necessárias à manutenção dos serviços associados a estes padrões de consumo tendem a crescer. Simultaneamente, a disponibilidade de recursos não renováveis em particular dos combustíveis líquidos, tendo ao aumento, ao mesmo que os aspectos ambientais questionam o uso crescente destes insumos (FERREIRA & LEITE, 2010, p.17).

Neste contexto, emergem estudos sobre novas fontes de energia que possam ser produzidas de modo mais sustentável e garantir a manutenção e a qualidade de vida no planeta.

O BNDES (2005) apontou que a predominância de uma fonte energética pode ter fortes impactos em toda a economia. Mudanças no mercado da fonte de energia principal agem diretamente nos mercados de outras fontes energéticas. Ao longo do tempo fontes de energia dominantes têm sido substituídas por diferentes energéticos disponibilizados pelo desenvolvimento tecnológico. No período pré-industrial, o carvão vegetal e a lenha foram as principais fontes de energia, com a Revolução Industrial, o carvão mineral passou a ser a energia dominante, mas a partir do final do século XIX, os derivados do petróleo começaram

a substituir o carvão mineral, e mais recentemente o crescimento no setor automobilístico fez do petróleo a mais importante fonte de energia da matriz energética mundial.

Outro aspecto a ser analisado é que a queima de combustíveis derivados do petróleo geram emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), que têm sido apontados como um dos fatores das alterações climáticas do planeta.

Por outro lado, há mais de vinte anos, foi formulado o conceito Desenvolvimento Sustentável (DS), tomando como ponto referência o relatório "Nosso Futuro Comum", também conhecido como Relatório Brundland escrito pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1987 (HAMDOUCH, ABDELILLAH e ZUINDEAU, 2010), como uma tentativa de propor modelos alternativos de produção e consumo que não sejam tão dependentes de recursos não-renováveis e, ao mesmo tempo, não venham a ameaçar o equilíbrio ecológico do planeta.

## 1.2 ESCOPO DO TRABALHO

De um modo interessante e dinâmico, há uma relação intrínseca da Engenharia de Produção com a sustentabilidade social e ambiental e essa relação de responsabilidade tem ganhado mais importância na sociedade no decorrer dos anos e é neste âmbito que o trabalho foi desenvolvido. Segundo a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO):

> Compete à Engenharia de Produção o projeto, a implantação, a operação, a melhoria e a manutenção de sistemas produtivos integrados de bens e serviços, envolvendo homens, materiais, tecnologias, informação e energia. Compete ainda especificar, prever e avaliar resultados obtidos destes sistemas para a sociedade e meio ambiente, recorrendo a conhecimentos especializados da matemática, física, ciências humanas e sociais, conjuntamente com os princípios e métodos de análise e projeto de engenharia.

A energia proveniente da biomassa tem menor contribuição para o aumento do efeito estufa do que os combustíveis fósseis, porém seu grau de sustentabilidade depende da forma como ela é colhida, produzida e manejada. Dessa forma, a integração de fontes de energias de biomassa à matriz energética possui um potencial impacto positivo sobre o modelo de desenvolvimento dos países.

Entretanto avaliar o grau de sustentabilidade de um agrocombustível é uma tarefa bastante complexa, que deve considerar mais do que sua contribuição para as mudanças climáticas. Dessa forma, esse trabalho se propõe a discutir quais elementos devem ser

considerados para se avaliar o grau de sustentabilidade do etanol produzido a partir da cana de açúcar, como fonte de energia no contexto brasileiro. Para tanto, serão verificados aspectos sociais, ambientais e econômicos da produção do etanol.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONUBr, 2011), hoje no planeta existem sete bilhões de habitantes, e estimativas apontam para nove bilhões em 2050. Tais números podem ser um indicador da necessidade de se estabelecer novos padrões de produção e utilização de energia para atender a esta demanda crescente.

Devido ao aumento da demanda de energia, à escassez do petróleo, às mudanças climáticas causadas pela emissão de GEEs, observou-se a necessidade de verificar o grau de sustentabilidade de fontes de energias derivadas de biomassa. A concentração de GEE tem aumentado devido a atividades industriais, agrícolas e de transporte, que fazem uso, principalmente, de combustíveis fósseis. Tais ações têm feito aumentar a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera, causando mudanças no clima do planeta. Apesar de o etanol de cana de açúcar estar sendo apresentado como um importante substituto para o petróleo para as atividades de transporte, o processo de produção vem recebendo uma série de críticas devido a efeitos sociais e ambientais no contexto local e regional. Dessa forma, justifica-se a necessidade de se pesquisar o grau de sustentabilidade da produção do etanol de cana de açúcar no Brasil para avaliar as vantagens e desvantagens do seu uso.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo geral

O objetivo central do presente trabalho é levantar questões a respeito da problemática atual do etanol de cana de açúcar, bem como verificar até que ponto ele pode ser considerado uma fonte energética sustentável do ponto de vista local, regional e nacional.

### 1.4.2 Objetivos específicos

Para a realização desse objetivo geral, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

1. Averiguar os fundamentos históricos e conceituais da sustentabilidade;
2. Estudar o contexto social e histórico da implantação da cultura de cana de açúcar no Brasil;
3. Descrever as principais características dos processos atuais de produção de etanol;
4. Descrever os impactos ambientais, sociais e econômicos da produção do etanol.

## 1.5 METODOLOGIA

Considerando os objetivos propostos, foram adotados procedimentos da pesquisa exploratória, pois esta busca proporcionar ao pesquisador uma familiaridade com o problema em estudo.

Tal metodologia, de acordo com Vieira (2002) tem a finalidade de tornar um problema complexo mais claro, ou ainda, ajudar na construção de hipóteses mais adequadas. Este é o contato inicial com o tema a ser analisado e com as fontes secundárias disponíveis, sendo tais estudos baseados na pressuposição de que através do uso de procedimentos relativamente sistemáticos, podem-se desenvolver hipóteses relevantes a um determinado fenômeno.

Em apontamentos de Vieira (2002) a pesquisa exploratória utiliza métodos versáteis, que podem compreender: levantamentos em fontes secundárias (bibliográficas, documentais, etc.), levantamentos de experiência, estudos de casos selecionados e observação informal (a olho nu ou mecânico).

A presente monografia será elaborada por meio de pesquisa bibliográfica em livros e artigos científicos e ainda fará utilização de dados disponibilizados em documentos governamentais.

A pesquisa ainda terá natureza descritiva pois, conforme Alencar (1999), esta tem como objetivo principal a descrição das características de fenômenos, e ainda, possibilita estabelecer relações entre variáveis.

A avaliação do grau de sustentabilidade da produção de cana e etanol pode ser feita a partir de diferentes perspectivas. Ao longo do estudo, foi possível identificar alguns aspectos mais freqüentemente discutidos na literatura, que foram organizados da seguinte maneira:

1. Fatores sociais: condições de trabalho, competição pelo uso da terra, impacto no preço dos alimentos, trabalho infantil, efeitos sobre a saúde da população;
2. Desempenho ambiental: uso e poluição de água, redução de biodiversidade, perda de solo, mudanças climáticas;
3. Desempenho econômico: geração de emprego e distribuição de renda, contribuição para aumento do PIB, inserção no mercado internacional.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para uma melhor apresentação do trabalho, o mesmo será divido em capítulos, sendo o primeiro dedicado a introduzir o trabalho, apresentando os dados preliminares da pesquisa.

O segundo capítulo visa apresentar a fundamentação teórica sobre o conceito de sustentabilidade e sua relação com o uso de combustíveis de biomassa.

O terceiro capítulo apresenta um estudo sobre o ciclo produtivo na cana de açúcar e do etanol.

O quarto capítulo trata da questão principal da monografia, a análise crítica da produção de etanol do ponto de vista ambiental, econômico e social.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as considerações finais.

# 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 2.1 SUSTENTABILIDADE E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Na atualidade, devido ao agravamento dos problemas ambientais e sociais, emergem as iniciativas em busca de alternativas para a solução destes problemas, assim o presente capítulo tem por finalidade apresentar os fundamentos históricos e conceituais relacionados às idéias de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável.

As preocupações com o meio ambiente são antigas, por exemplo, ainda no século XIV foi decretada por Eduardo I a proibição do uso do carvão em fornalhas abertas na região de Londres, como forma de melhorar as condições do ar respirado na capital (SOUZA, 2007). Contudo, apesar dessas primeiras iniciativas, os debates mais politizados e críticos sobre o problema do meio ambiente na agenda internacional iniciaram-se apenas na segunda metade do século XX (HAMDOUCH, ABDELILLAH e ZUINDEAU, 2010).

A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano, conhecida como Conferência de Estocolmo, realizada em 1972 na Suécia, foi a primeira conferência global voltada para o meio ambiente. Esta é considerada um marco histórico político internacional, pois contou com a presença de 113 países e mais de 400 instituições governamentais e não-governamentais, momento em que surgiram as primeiras propostas de políticas ambientais. Dentre os documentos produzidos, estava a Declaração de Estocolmo sobre o Ambiente Humano que contava com 26 princípios sobre ambiente e desenvolvimento e, pela primeira vez, afirmava que o meio ambiente era responsabilidade de todos (MILANI, 2009).

A sustentabilidade pode ser entendida como o estabelecimento de procedimentos que normatizem a utilização dos recursos naturais de forma a viabilizar existência de uma sociedade, sem comprometer a satisfação das necessidades das gerações futuras. Por conseqüência, a sustentabilidade tem uma forte inter-relação com a ética nos negócios, e uma produção sustentável significa uma produção que atenda às necessidades das gerações atuais sem comprometer as gerações futuras no que diz respeito a aspectos econômicos, sociais e ambientais (CORRÊA e CORRÊA, 2006).

A utilização da expressão "sustentabilidade" tem sido incorporada ao vocabulário das populações, dos gestores empresariais, nos meios de comunicação de massa e nas organizações da sociedade civil. Contudo o que é sustentabilidade? De acordo com Sachs (1990) ela pode ser definida como tendo:

> [...] cinco dimensões principais, que são a sustentabilidade social, a econômica, a ecológica, a geográfica e a cultural. A sustentabilidade social está vinculada a uma melhor distribuição de renda com redução das diferenças sociais. A sustentabilidade econômica está vinculada ao fluxo constante de inversões públicas e privadas, além da destinação e administração correta dos recursos naturais. A sustentabilidade ecológica está vinculada ao uso efetivo dos recursos existentes nos diversos ecossistemas e, como um dos resultados, mínima deterioração ambiental. A sustentabilidade geográfica está ligada a uma espacialização rural-urbana mais equilibrada. A sustentabilidade cultural procura a realização de mudanças em harmonia com a continuidade cultural vigente.

Observa-se que para Sachs (2002) a sustentabilidade ambiental constitui-se num conceito dinâmico que leva em conta as necessidades crescentes das populações num contexto local, regional, nacional e internacional, que estão em constante expansão. Ainda em considerações do autor existiriam mais quatro dimensões: ambiental, territorial (em lugar de geográfica), política nacional e política internacional. A sustentabilidade ambiental permitiria que ecossistemas naturais realizassem autodepuração. A territorial visa o fim de diferenças inter-regionais, a destinação igualitária de investimentos públicos e a conservação da biodiversidade pelo eco-desenvolvimento. A sustentabilidade das políticas nacionais passaria por um nível razoável de coesão social, democracia e capacidade institucional do Estado em implantar um projeto nacional. Em relação às políticas internacionais, a sustentabilidade garantiria paz assegurada pelo fortalecimento da ONU (Organização das Nações Unidas), controle do sistema financeiro internacional, verdadeira cooperação científica e diminuição das disparidades sociais entre os hemisférios norte-sul .

Apesar dessa divisão em múltiplas dimensões, após consulta a trabalhos de autores como: ELKINGTON (1998), MILANEZ (2002), BILLING & CAMILATO (2008), e SINGH, MURTY & DIKSHIT (2007) sobre sustentabilidade notou-se que se costuma trabalhar com três dimensões principais – social, ambiental e econômica, que incorporariam, algumas das dimensões mencionadas anteriormente. Estas três dimensões principais serão consideradas na avaliação da produção do etanol proveniente da cana de açúcar.

Além do conceito de sustentabilidade, a expressão “Desenvolvimento Sustentável” também tem sido bastante utilizada desde a década de 1980, quando as nações, empresas e organizações da sociedade civil, perceberam a necessidade de desenvolver e não apenas crescer a economia.

A partir de então foram estabelecidas bases para um desenvolvimento sustentável, pautado em um novo tipo de exploração e utilização dos recursos renováveis e não renováveis do planeta. Entretanto o que vem a ser desenvolvimento sustentável? Para esclarecer tal dúvida seguem elencadas, algumas definições.

> O desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender as necessidade e aspirações humanas (NOSSO FUTURO COMUM apud CAMARGO, 2003, p. 71).

O *Center of Excellence for Sustainable Development* (2001 apud CAMARGO, 2003, p. 73) assim conceituou:

> O desenvolvimento sustentável é uma estratégia através da qual comunidades buscam um desenvolvimento econômico que também beneficie o meio ambiente local e a qualidade de vida. Tem se tornado um importante guia para muitas comunidades que descobriram que os métodos tradicionais de planejamento e desenvolvimento estão criando, em vez de resolver, problemas sociais e ambientais.

Observa-se que, na concepção, acima, o desenvolvimento sustentável deve buscar estabelecer uma estrutura de exploração mais eficaz dos recursos. Um conceito mais aproximado do que se quer verificar com esta monografia seria:

> Desenvolvimento sustentável busca simultaneamente a eficiência econômica, a justiça social e a harmonia ambiental. Mais do que um novo conceito, é um processo de mudança onde a exploração de recursos, a orientação dos investimentos, os rumos do desenvolvimento ecológico e a mudança institucional devem levar em conta as necessidades futuras (MAIMON, 1996, p.10).

Para Cunha e Guerra (2009), o desenvolvimento sustentável deve atender a três princípios; o social, o ambiental, e o social. A sustentabilidade ambiental envolve a manutenção dos ecossistemas de modo a permitir a sua utilização pelas gerações futuras. A sustentabilidade social pauta-se no equilíbrio e humanização da economia, promovendo os componentes humanos e culturais. A sustentabilidade econômica é o conjunto de medidas e políticas que buscam incorporar preocupações e conceitos ambientais e sociais, aos econômicos.

Sustentabilidade é um conceito amplo, conceituado como sendo a função da natureza que dá suporte, condição e potencial para os processos de produção. Porém o desenvolvimento sustentável designa um campo prático no qual se promovem e realizam diversas ações conducentes, produzindo e aplicando os conhecimentos científicos e as técnicas necessárias para o aproveitamento integrados dos recursos. Ainda, vale ressaltar algumas reservas ao tema, que partem da constatação de que a ciência econômica não se fundamenta na ciência ecológico/ ambiental. Este argumento serve para assinalar justamente uma crítica, a de que é certo que a dissolução das externalidades socioambientais depende da possibilidade de incorporar as condições de sustentabilidade ecológica nos processos produtivos (LEFF, 2009).

## 2.2 SUSTENTABILIDADE, MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EMISSÃO DE GEE

A Primeira Conferência sobre o Clima, datada de 1979, reconheceu o problema do clima como grave e de dimensão global e resultou na criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e da Organização Meteorológica Mundial, entidades que formam o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e estão entre as responsáveis pela realização da Convenção- Quadro das Nações Unidas Sobre a Mudança do Clima (UNFCCC).

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano, realizada em 1992 no Rio de Janeiro, teve como principais temas de discussão o desenvolvimento sustentável, bem como estratégias para reverter o atual processo de degradação ambiental. Entre as conferências de 1972 e de 1992 houve um maior entendimento de que as intervenções humanas sobre a natureza teriam sido de tal dimensão que provocariam modificações irreversíveis para a estrutura e funcionamento dos ecossistemas. Para Milani (2009) um dos fatores importantes para o desenvolvimento sustentável seria a diminuição da emissão dos GEE.

Com a entrada em vigor da Convenção do Clima, em 1994, representantes dos países signatários da UNFCCC passaram a se reunir anualmente para discutir a sua implementação. Estes encontros são chamados de Conferências das Partes (COPs), e constituem o órgão supremo da Convenção do Clima (MILANI, 2009).

Durante a 3ª Conferência das Partes da UNFCCC (COP-3), em 1997, o Protocolo de Quioto foi elaborado com o objetivo de regulamentar a Convenção Climática determinando

metas específicas de redução de emissões de seis dos principais gases causadores do efeito estufa: dióxido de carbono ($CO_2$), metano ($CH_4$), óxido nitroso ($N_2O$), hexafluoreto de enxofre ($SF_6$), hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs), a serem alcançadas pelos países desenvolvidos que o ratificassem (SOUZA, 2007). A Reunião das Partes (MOP), órgão supremo do Protocolo de Quioto, acontece simultaneamente à Conferência das Partes da UNFCCC (COP), somente os países que assinaram o protocolo têm direito a participar e tomar decisões pelo MOP (MILANI, 2009).

O Protocolo de Quioto culminou na decisão de que os países industrializados reduziriam suas emissões combinadas de GEE em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 até o período entre 2008 e 2012. Esse compromisso, com vinculação legal, buscaria uma reversão da tendência histórica de crescimento das emissões iniciadas nesses países há cerca de 150 anos. Contudo, deve-se apontar que nem todos os países presentes a Conferência foram signatários do Protocolo de Quioto, como os Estados Unidos da América (INPE, 1997).

O Protocolo dividiu os países em dois grupos. Os países incluídos no “Anexo I" correspondem aos países mais industrializados, e principais responsáveis históricos pelas emissões de $CO_2$. Por outro lado, os "países não-Anexo I" são aqueles que, precisavam ainda aumentar a sua oferta energética e, potencialmente, suas emissões. O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi regulamentado em Marrakesh em 2001, durante a COP-7. Esse instrumento foi proposto para permitir que países do Anexo I financiassem projetos de redução ou comprassem os volumes de redução de emissões resultantes de iniciativas desenvolvidas nos países não-anexo I que, no período 2008 a 2012, não tinham metas definidas de redução de emissões (SOUZA, 2007).

A quantificação da redução de emissão de gases causadores do efeito estufa proporcionada por uma atividade ou projeto deve ser certificada por entidades operacionais independentes, designadas como certificadoras pela reunião da COP. Para receberem a certificação os projetos devem oferecer benefícios de longo prazo, reais e mensuráveis para os propósitos de redução da mudança do clima e do efeito estufa e promover uma redução de emissões adicional (SOUZA, 2007).

De acordo com Souza (2007), o Brasil tem condições favoráveis à implantação de MDL, pois, além de possuir condições ambientais de produzir energia em bases menos emissoras, é um país com excelência nas atividades de agronegócios e indústria florestal. Outro fator a ser analisado, é que o Brasil tem investido na produção de agrocombustíveis,

como o etanol proveniente da cana de açúcar, como uma fonte de energia que é renovável e menos poluente.

Todavia, a questão das mudanças climáticas não deve ser usada como justificativa para uma expansão irresponsável das plantações de cana de açúcar ou de sistema de produção e consumo de etanol que causem outros problemas ambientais, econômicos e sociais. Dessa forma, para esse trabalho entende-se que uma produção de etanol sustentável depende da redução real nas emissões de GEEs em relação ao uso de combustíveis fósseis, considerados os ciclos de vida completos, bem como outros efeitos tais como, mudança do uso da terra, desmatamento, oferta de alimentos e condições de trabalho nas lavouras. Portanto, o etanol "sustentável" deve ser socialmente justo, ambientalmente correto, e, economicamente viável.

# 3 ETANOL DE CANA DE AÇUCAR: ASPECTOS GERAIS

## 3.1 A NECESSIDADE DOS AGROCOMBUSTÍVEIS

Desde o século XX, os combustíveis derivados do petróleo têm sido considerados a principal fonte de energia em nível mundial. Entretanto existem previsões de que esse recurso deva se esgotar (GHASSAN *et al.*, 2003).

De acordo com a Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP, 2011) no ano de 2010 as reservas mundiais de petróleo totalizam 1.383,20 bilhões de barris e o consumo anual deste combustível fóssil está estimado em 87.382 milhões de barris/dia. Considerando a redução na taxa de descoberta de novos poços de qualidade e o aumento do consumo de energia, é de se esperar que o preço do petróleo continue a se elevar. Este contexto e o rápido desenvolvimento tecnológico pelo qual passa o setor tenderão a aumentar a viabilidade econômica de combustíveis alternativos, resultando na redução da importância relativa do petróleo na matriz energética mundial. Estimativas indicam que a participação do petróleo deve passar de 34% (em 2007) para 29,8% em 2030 (IEA, 2010).

Após as crises do petróleo na década de 1970 e o número de descobertas terem caído significadamente, sentiu-se uma maior necessidade da substituição deste. Mas a substituição não é simples, o petróleo é uma fonte energética flexível, com alto teor de energia e de fácil transporte. Mas se for substituído, será de grande valia, pois flexibiliza a fonte energética mundial minimizando riscos de abastecimento (BNDES, 2005).

Neste contexto a energia nuclear surgiu como uma possível substituta às energias fósseis, como o petróleo, mas devido à tecnologia, à transferência de energia e aos riscos, essa alternativa enfrenta forte oposição de segmentos da sociedade. Além disso, esta fonte de energia é considerada cara, com resíduos radioativos e tóxicos, não sendo, portanto, consideradas seguras.

Por outro lado, novas fontes de energia vêm sendo propostas como a eólica, a geotermal e a energia das marés, apresentando cada uma vantagens e limitações (FERREIRA & LEITE, 2010). Ao mesmo tempo, pesquisas sugerem o aumento da utilização de biomassa para produção de energia, principalmente como combustível (RAMOS, 2003). Nesse mesmo sentido, há estudos que apontam que o uso mundial da biomassa para fins energéticos deverá dobrar até o ano de 2050 (FISCHER & SCHRATTENHOLZER, 2001).

Para Ghassan *et al*. (2003) somadas às preocupações com as possibilidades de esgotamento do petróleo, existem as crescentes preocupações com o ambiente, o que têm acirrado a busca de fontes de energia renovável. Para Camargo (2003), uma das medidas para se alcançar as metas estabelecidas pelo Protocolo de Quioto seria a utilização de combustíveis alternativos, o que pode diminuir as emissões de GEEs. Para o autor, este seria um processo necessário para que se possa garantir o uso sustentável de combustíveis.

> A sustentabilidade requer maior responsabilidade, austeridade e equidade nos padrões mundiais de consumo e uso da energia, cuja demanda tem contribuído para a especialização e homogeneização do uso da terra e para a disponibilização de recursos naturais ao mercado global, fatores que podem colocar em risco a sustentabilidade das populações e do ambiente nos países produtores. É preciso que os diversos atores deste mercado, notadamente a sociedade civil internacional, façam uso deste momento de forte discussão sobre as vantagens e problemas da adoção de biocombustíveis para pressionar por mudanças nos padrões de produção e consumo de energia (RODRIGUES & ORTIZ, 2006, p. 06).

Entretanto, Ferreira e Leite (2010) apontam que somente 12,2% da energia consumida mundialmente é derivada de fontes renováveis, para os autores, se for considerada somente a biomassa proveniente de atividades agroindustriais, calcula-se que o potencial desse material seja equivalente a, aproximadamente, 6.587 milhões de litros de petróleo ao ano.

> Na atualidade, pesquisar temas relacionados à energia trata-se, basicamente de refletir sobre sustentabilidade, olhando para o futuro, pensando nas limitações dos recursos naturais, e no direito das gerações futuras de usufruírem um meio ambiente ecologicamente sustentável (FERREIRA & LEITE, 2010, p.19).

Neste contexto, pode-se observar a necessidade de se desenvolver estudos que apontem fontes de combustível renovável, que seja produzida de forma sustentável, e que reduza a emissão de GEEs.

> Assim, sendo, a utilização de agrocombustíveis ou biocombustíveis tem sido apresentada como uma solução que pode atender, ao menos em um futuro próximo, tanto os aspectos relacionados à depleção como àquelas vinculadas ás emissões oriundas dos combustíveis fósseis (FERREIRA & LEITE, 2010, p. 17).

Existem diferentes critérios de sustentabilidade para agrocombustíveis, discutido em diversos países consumidores, particularmente na Europa (UNICA, 2009). Para fins desta monografia, para que a produção do etanol, proveniente da cana de açúcar possa ser considerado sustentável, é necessário que ele apresente as seguintes características: ser socialmente justa, ambientalmente correta, e, economicamente viável.

## 3.2 A PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASL

### 3.2.1 A cana na colônia e no império

Nesta seção, é apresentado um quadro histórico geral da cultura de cana de açúcar no Brasil, bem como a sua exploração econômica de forma a mostrar como essa cultura foi ganhando importância no processo de desenvolvimento da economia brasileira e como foi sendo criada a infraestrutura produtiva que permitiu a instalação do atual parque sucroalcooleiro.

A cana de açúcar, gramínea originária da Nova Guiné, começou a ser cultivada na Índia no ano de 640. Segundo a UNICA (2008), as primeiras descrições de cultivo e fabricação de açúcar datam do século IX no território indiano. Ela foi trazida para o ocidente e se aclimatou no arquipélago português dos Açores, na costa africana onde foi desenvolvida a tecnologia de extração do caldo e produção de açúcar em engenhos.

Em 1516, o rei D. Manuel, de Portugal, promulgou o primeiro alvará promovendo o plantio da cana. Para melhor organizar a colônia, o rei resolveu dividir o Brasil em capitanias hereditárias. O território foi dividido em faixas de terras que foram entregues aos donatários. Estes podiam explorar os recursos da terra, porém ficavam encarregados de povoar, proteger e estabelecer o cultivo da cana de açúcar. No geral, o sistema de capitanias hereditárias fracassou em função da grande distância da metrópole, da falta de recursos e dos ataques de indígenas e piratas. As capitanias de São Vicente e Pernambuco foram as únicas que apresentaram resultados satisfatórios, graças aos investimentos do rei e de empresários. Em 1532, Martin Afonso de Souza fundou o primeiro engenho de açúcar brasileiro: o, Engenho do Senhor Governador, em São Vicente, no litoral de São Paulo. Posteriormente a cana foi levada para outras regiões do país, ocupando os vales férteis do Rio de Janeiro e do Nordeste, especialmente o Recôncavo Baiano. Posteriormente, ela ocupou os famosos solos de massapé da Zona da Mata Nordestina, especialmente de Pernambuco (WWF-Brasil, 2008).

Os portugueses tinham duplo interesse com a introdução da cana no Brasil: ocupação do território e produção de açúcar que estava em ascensão no mercado europeu. A mão de obra escrava, de origem africana, foi utilizada nesta fase.

Após 50 anos de dificuldades, o Brasil passou a ser o principal produtor mundial de açúcar. Portugal e Holanda, que comercializavam o produto, tinham uma elevada lucratividade. O mundo passou a ser grande consumidor de açúcar. As regiões brasileiras

produtoras, principalmente Salvador e Olinda, cresceram rapidamente. As refinarias se multiplicavam na Europa causando, em 1559, a proibição por parte dos portugueses de novas centrais de refino devido ao grande consumo de lenha e insumos para a clarificação do caldo (MACHADO, 2003).

Em 1578, a inesperada morte de D. Sebastião, rei de Portugal, fez com que Felipe II, rei de Espanha, anexasse Portugal ao seu reinado. Embora não se preocupasse com as atividades açucareiras no Brasil, Felipe II se opunha aos holandeses e aos ingleses, protestantes (MACHADO, 2003). Com a diminuição do abastecimento de açúcar no país, os holandeses invadiram o Brasil em 1630, permanecendo em Pernambuco até 1654, quando foram expulsos, fazendo com que eles iniciassem a produção açucareira no Caribe, acabando com a hegemonia brasileira (MACHADO, 2003).

A descoberta do ouro no final do séc. XVII em Minas Gerais fez com que o açúcar não mais fosse a principal riqueza brasileira, e a produção se retraiu até o final do séc. XIX. Essa decadência foi intensificada com o fim da escravatura, pois o modelo de produção teve de passar por grandes mudanças. Enquanto as modernas fábricas se multiplicavam e novas regiões produtoras surgiam, os engenhos brasileiros tradicionais persistiam. Somente na metade do século XIX é que medidas para reverter essa situação começaram a ser tomadas (MACHADO, 2003).

A decadência dos bangüês[1] entre 1870 e 1930 resultante de uma luta política entre os usineiros, os proprietários dos engenhos centrais, e os proprietários dos bangüês. Os usineiros e os proprietários dos engenhos centrais se aliavam contra os proprietários dos bangüês, porque queriam torná-los meros produtores de cana, fornecedores das usinas e dos engenhos centrais, que estavam impedidos de plantar cana.

### 3.2.2 A cana no século XX

A passagem da hegemonia dos bangüês[1] para as usinas trouxe mudanças na técnica de produção e nas relações de trabalho com o a adoção de outras relações de trabalho, que perduraram até a década de 60 do século XX, quando foi introduzida na lavora canavieira

---

[1] Bangüês eram formados pela plantação de cana de açúcar, a casa de engenho, a casa grande (casa do proprietário), a senzala e tudo que pertencia à propriedade.

relações assalariadas de produção, com o surgimento dos “bóias-frias” (WWF-Brasil, 2008). Essa fase do setor canavieiro foi marcada pela transformação de uma parcela dos usineiros em empresários capitalistas, pelo crescimento do papel do Estado, pelo processo da proletarização da mão de obra e pelo deslocamento da cana do nordeste para o centro-sul, principalmente São Paulo (WWF-Brasil, 2008).

Em 1975, o governo lançou o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), programa bem-sucedido de substituição em larga escala dos derivados de petróleo, desenvolvido para evitar o aumento da dependência externa de divisas quando dos choques de preço de petróleo (BIODIESELBR, 2010). O Proálcool provia linhas de créditos específicas para a compra de terras, para a montagem de destilarias anexas e autônomas e para a modernização da produção em geral. Estes créditos foram fornecidos a juros reais abaixo da inflação com três anos de carência e 16 anos para o pagamento do principal (WWF-Brasil, 2008).

> O ciclo do Pró-Álcool teve fim no final da década de 80 com uma crise de governança e de confiabilidade do setor sucroalcooleiro, gerada pelo desabastecimento do vasto mercado nacional que havia sido criado. O financiamento público ao programa escasseou a partir de 1987 enquanto o mercado internacional de açúcar teve preços em ascensão. Estes fatores por um lado desestimularam a expansão e a renovação dos canaviais e, por outro, levaram os produtores a desviar a matéria-prima da produção de etanol para a de açúcar, visando principalmente à exportação. Como resultado ocorreu um forte desabastecimento do biocombustível no final de 1989, e grandes filas nos postos de todas as cidades brasileiras. Ironicamente, chegou-se a importar metanol de origem fóssil e a adicionar 5% de gasolina no álcool carburante para ajudar a abastecer a frota de veículos. (RODRIGUES & ORTIZ, 2006, p. 06).

A partir da década de 1990, o setor canavieiro foi marcado pela saída parcial do Estado na regulamentação e pela abertura comercial. Ao mesmo tempo, houve uma redução das exportações de todo o setor do agronegócio causada por sobrevalorização do dólar, crise de liquidez e endividamento do setor.

> No início da década de 90 o governo brasileiro acabou com os descontos no Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) dos carros a álcool. Ao mesmo tempo o setor sucroalcooleiro foi desregulado e acabaram-se as cotas regionais, o controle da exportação e dos preços. Das medidas que compunham o programa original, resta hoje apenas a obrigatoriedade da mistura de 25% de álcool anidro à gasolina (RODRIGUES & ORTIZ, 2006, p. 06).

### 3.2.3 A cana no século XXI

A partir de 2002, houve o aumento na demanda pelo consumo dos derivados da cana de açúcar brasileira devido a fatores como: a retomada dos preços internacionais do açúcar, a queda dos subsídios para o açúcar no hemisfério norte, a entrada em vigor do Protocolo de Quioto (2005) e o crescimento da demanda interna por álcool com o lançamento no Brasil dos carros "flex", que funcionam com álcool e com gasolina (WWF-Brasil, 2008).

De acordo com o IPEA (2010) entre 2000 e 2007, a produção de cana de açúcar no Brasil cresceu em torno de 11,4% ao ano, conforme ilustrado pelo Gráfico 1.

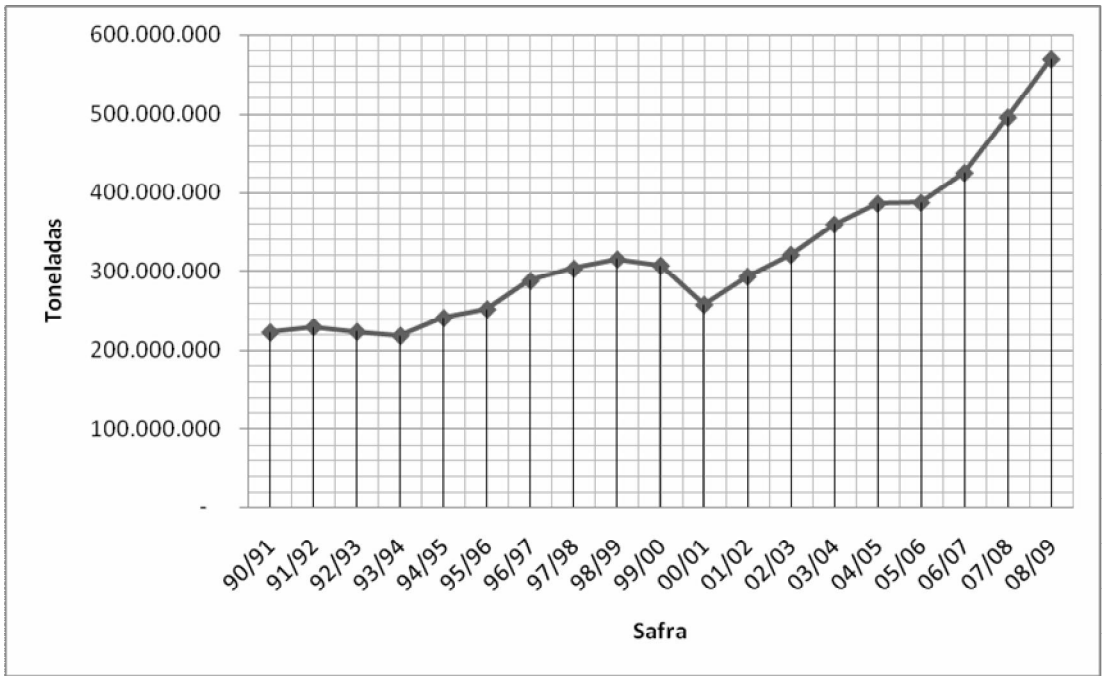


Gráfico 1 - Produção de Cana de Açúcar no Brasil
Fonte: UNICA, 2011

Em parte, esta expansão da produção de cana foi devida à crescente utilização de combustíveis provenientes de biomassa no setor de transporte, impulsionada pela produção crescente dos carros flex, conforme apresentado na Tabela 1.

| ANO | GASOLINA | ÁLCOOL | FLEX-FUEL | TOTAL |
|---|---|---|---|---|
| **2000** | 1.310.479 | 10.292 | - | **1.320.771** |
| **2001** | 1.412.420 | 18.335 | - | **1.430.755** |
| **2002** | 1.283.963 | 55.961 | - | **1.339.924** |
| **2003** | 1.152.463 | 36.380 | 48.178 | **1.237.021** |
| **2004** | 1.077.945 | 50.949 | 328.379 | **1.457.273** |
| **2005** | 697.004 | 32.357 | 812.104 | **1.541.465** |
| **2006** | 316.561 | 1.863 | 1.430.334 | **1.748.758** |
| **2007** | 245.660 | 107 | 2.003.090 | **2.248.857** |
| **2008** | 217.021 | 84 | 2.329.247 | **2.546.352** |
| **2009** | 221.709 | 70 | 2.652.298 | **2.874.077** |

Tabela 1 - Venda de veículos no Brasil por tipo de combustível
Fonte: UNICA, 2010

Com a produção de combustíveis de biomassa, o país foi aumentando sua independência energética e reduzindo a emissão de gás carbônico, além de gerar empregos nas áreas rurais (IPEA, 2010). Ao longo da primeira década do século XXI, a produção de cana foi se consolidando no interior de São Paulo, além de retomar áreas decadentes no nordeste, conforme a Figura 1 (IEL, 2006). De acordo com a UNICA (2011), na safra de 2008/2009 a região Norte-Nordeste foi responsável por aproximadamente 11 % da produção de cana no Brasil e a região Sul-Sudeste por 89%.

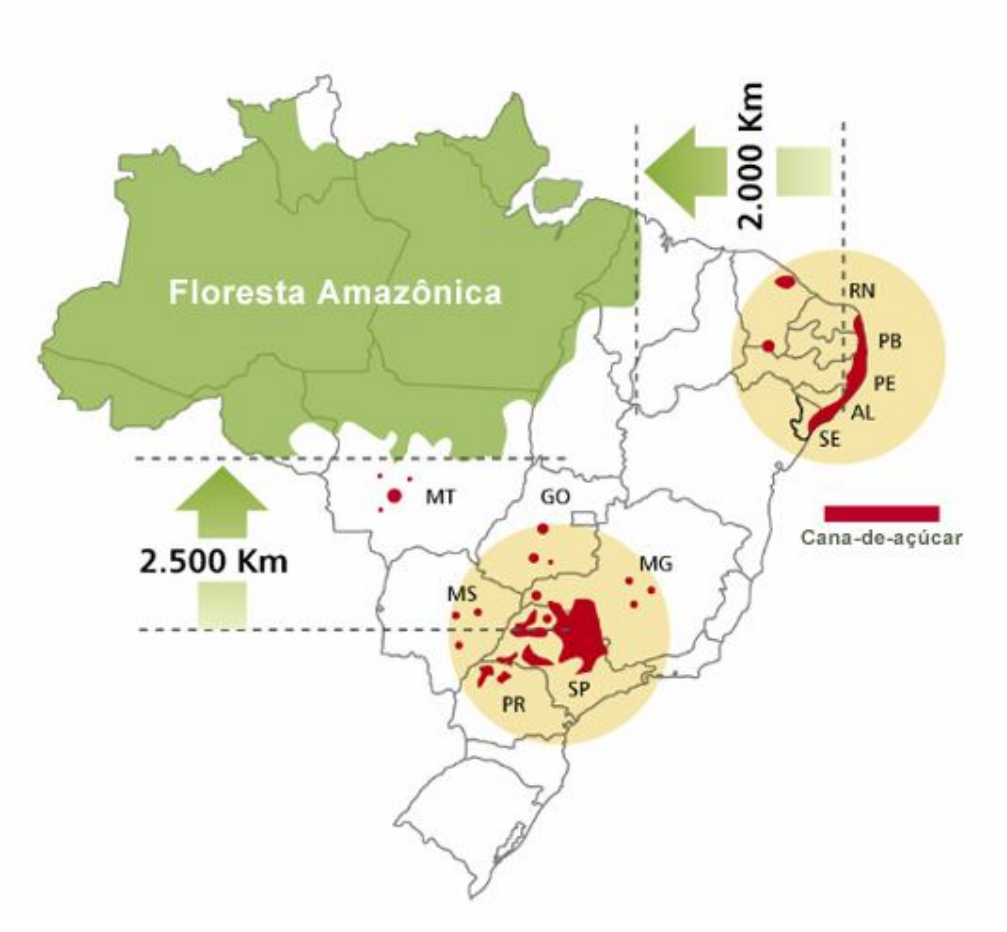


Figura 1 - Mapa da produção de cana de açúcar no Brasil
Fonte: NIPE – Unicamp, IBGE e CTC, 2008

A partir da descrição do processo descrito nesta seção, pode-se perceber que a cultura da cana de açúcar esteve presente ao longo de toda a história moderna do país. Ao longo desse tempo, foram sendo testadas e aprimoradas diferentes técnicas de plantio e de processamento. Sendo assim, o "sucesso" do etanol no Brasil não foi devido apenas a uma idéia ou política isolada, mas também a todo o contexto que foi criado ao longo de 500 anos de experiências e desenvolvimento de tecnologias produtivas.

Além disso, esta descrição sugere que a produção de cana de açúcar no Brasil buscou ao longo de sua história, principalmente os benefícios econômicos. Questões sociais, como trabalho escravo, ou ambientais, como desmatamento, foram pouco incorporadas no desenvolvimento canavieiro. Conforme será disuctido na seção 4, este pensamento fundamentado apenas na visão econômica, ainda orienta a maior parte das decisões do setor e

sua superação surge como um dos principais desafios para o aprimoramento da sustentabilidade da produção canavieira no país.

## 3.3 PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DA CANA DE AÇÚCAR EM ETANOL

Nesta seção, será apresentado um estudo sobre o ciclo produtivo da cana de açúcar e do etanol. Esta descrição oferece bases para a avaliação da tecnologia disponível para a produção de cana e etanol, assim como fornece subsídios para o debate sobre alternativas produtivas que possam ser utilizadas para aumentar a sustentabilidade do setor.

### 3.3.1 O ciclo produtivo da cana de açúcar

A cana de açúcar, planta C4[2], herbácea da família das gramíneas, foi escrita cientificamente pela primeira vez em 1753, e foi nomeada genericamente de *Saccharum*. A cana é cultivada numa faixa de latitudes que variam desde 35º N até 30º S e em altitudes que vão desde o nível do mar até 1.000 metros (FREITAS, 2007). Considerada tropical, com cultivo de longa duração, convive com todas as estações durante seu ciclo de vida. Os mais importantes componentes do clima que controlam o crescimento, a produção e qualidade da cana são temperatura, luz e umidade disponível (NETAFIM, 2011). O clima ideal para o cultivo de cana possui duas estações, uma quente e úmida, para a germinação, perfilhamento e desenvolvimento vegetativo, outra fria e seca, para a maturação e conseqüente acúmulo de sacarose nos colmos (SZMRECSÁNYI, 1979).

Em relação ao regime de chuvas, um volume entre 1.100 e 1.500 mm durante o ano, abundante nos meses de crescimento vegetativo, motiva o crescimento, alongamento e formação de entrenós. No período de amadurecimento, procedente ao de crescimento, o volume de chuva tem de ser baixo para não prejudicar a qualidade do suco e operações de transporte (NETAFIM, 2011). Durante o crescimento da planta, uma umidade entre 80 e 85% favorece um alongamento de cana rápido e durante a fase de amadurecimento a umidade

---

[2] Plantas C4 são aquelas que apresentam uma alta taxa de fotossíntese líquida associado com incidência de luz e uma grande afinidade por $CO_2$. Ela cresce em forma de touceiras, constituídas por uma parte aérea, constituindo em colmo, folhas e flores, e outra subterrânea formada pelas raízes e rizomas (SZMRECSÁNYI, 1979).

relativa favorável seria entre 45 e 65 % junto com um suprimento de água limitado (FREITAS, 2007).

O crescimento do canavial também está ligado diretamente à temperatura. Ao decorrer dos meses as temperaturas médias devem ficar entre 30ºC e 34ºC favorecendo o acúmulo de açúcar, abaixo de 20ºC e acima de 35ºC o crescimento é lento e além de 38ºC o crescimento é nulo (FREITAS, 2007).

A luz está relacionada ao espaçamento, quando os espaçamentos são pequenos há uma competição por luz tendo assim problemas na fotossíntese causando perda de nutrientes e açúcar. O perfilhamento é afetado por intensidade e duração do brilho do sol, dias longos e com alta incidência de luz promovem o perfilhamento enquanto dias curtos e com pouca incidência de luz afetam de forma inversa (NETAFIM, 2011).

A cana não requer nenhum tipo específico de solo. O pH ideal do solo é entre 5 e 6,75; mas a cana pode tolerar níveis de acidez e alcalinidade do solo variáveis. A fertilidade do solo, por usa vez, pode ser reservada e conservada por meio de adubação adequada (SZMRECSÁNYI, 1979). Os nutrientes que devem ser fornecidos por adubação são os macronutrientes, elementos básicos necessários em maior volume: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, e também os micronutrientes, os quais são necessárias pequenas quantidades: boro, cobre, manganês, molibdênio e zinco (VITTI, 2005).

O ciclo completo da cana de açúcar é variável, dependendo do clima da região, de variedades e práticas do cultivo. No Brasil, o ciclo é, geralmente, de seis anos onde ocorrem cinco cortes, quatro tratos de soqueiras e uma reforma (CGEE, 2010).

Na região centro-sul do Brasil, efetua-se o plantio em duas épocas do ano: a primeira época vai de setembro a novembro, no começo da estação chuvosa e quente, onde a cana apresenta um ciclo médio de 12 meses, denominada “cana de ano”; a segunda época vai de janeiro a abril, no meio da estação chuvosa e quente, onde o ciclo varia de 14 a 21 meses, denominada “cana de ano e meio” (SEGATO *et al.*, 2006).

A Figura 2 ilustra o ciclo da cana; a primeira etapa recebe o nome de cana planta, e a segunda de cana soca. A brotação do tolete ocorre entre 20 e 30 dias após o plantio, surgindo o perfilho primário, da base deste colmo primário, surgem os perfilhos secundários, da base destes colmos secundários, surgem os perfilhos terciários, e assim sucessivamente. Os colmos mais antigos morrem devido à concorrência por fatores limitantes, principalmente a luz. Os perfilhos sobreviventes prosseguem o processo iniciando a maturação da cana, com o

acúmulo de açúcar da base em direção ao ápice. Quando os colmos industrializáveis estiverem com a máxima maturação, a colheita será realizada. Após colheita da cana, sobram os rizomas das antigas touceiras que darão origem à cana soca. Durante aproximadamente 25 dias, o sistema radicular da antiga planta supre os novos brotos com água e nutrientes. O sistema radicular renova-se, então ocorre o perfilhamento, seguido da maturação e a colheita dos colmos industrializáveis, assim realizando-se mais um ciclo (SEGATO *et al.* 2006).

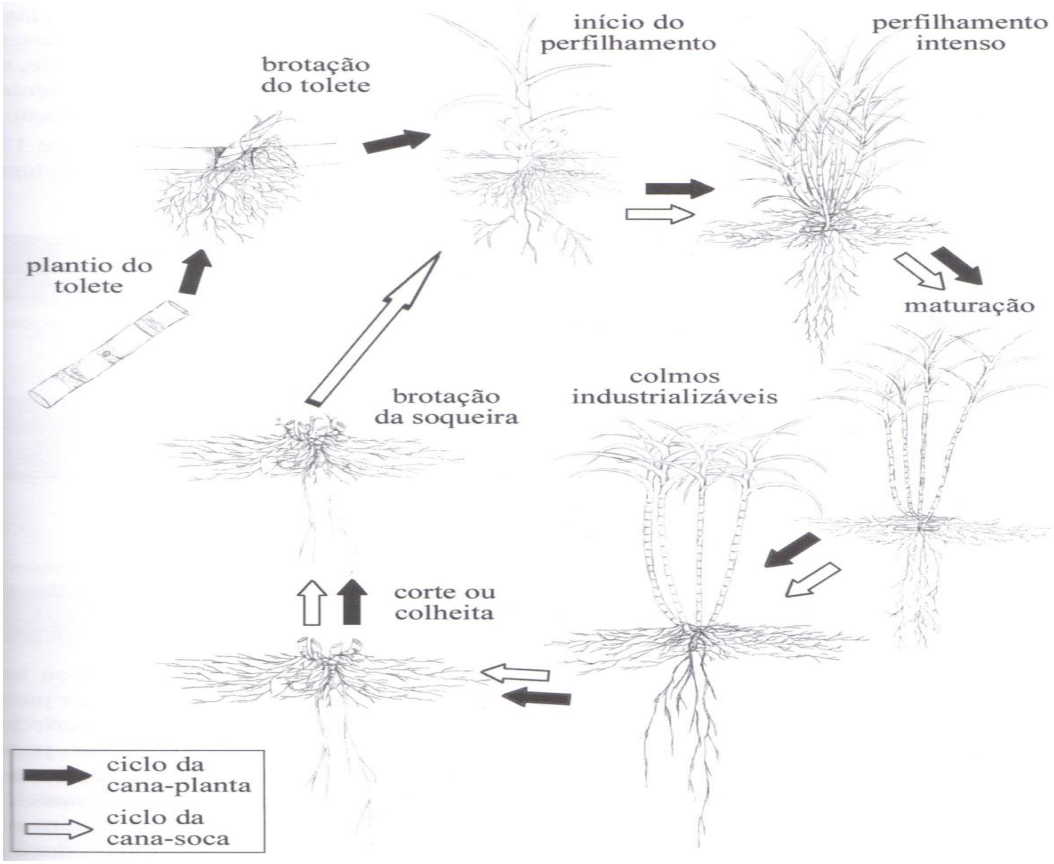


Figura 2 – Ciclo da cana de açúcar
Fonte: SEGATO *et al*., 2006.

Conforme apresentado no Gráfico 2, a produtividade do canavial tente a diminuir se tornando antieconômica a partir do quinto ou sexto ano de plantio, necessitando de uma “reforma”. Essa reforma é necessária para retomar a produtividade elevada dos cortes iniciais.

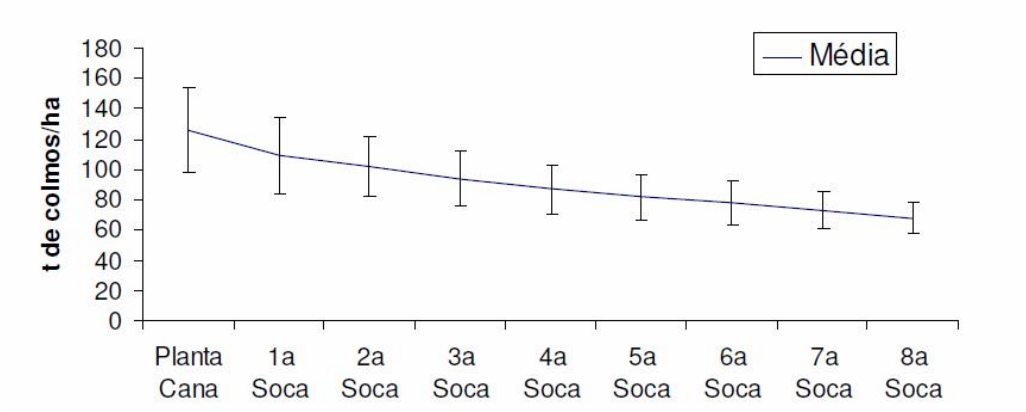


Gráfico 2 - Curva de produtividade dos colmos
Fonte: CGEE, 2010

A reforma do canavial é realizada normalmente com rotação de culturas, utilizando-se para isso alguma espécie leguminosa. Esse processo envolve operações de retirada da cana, destruição da soqueira, calagem, preparo do solo, plantio da cultura anual, colheita e novo plantio da cana. A opção pela renovação depende dos objetivos sendo que ela pode trazer melhorias das condições físico-químicas do solo e aumento da renda (EMBRAPA, 1999).

### 3.3.2 O ciclo produtivo do etanol

A produção de etanol a partir biomassa é efetuada em bases comerciais por duas rotas tecnológicas; elas podem se utilizar de matérias-primas doces, diretamente fermentáveis, ou a partir de plantas cujo amido deve ser convertido em açúcares (sacarificado) antes da fermentação. Existe ainda uma terceira rota, utilizando a biomassa disponível em materiais como o bagaço e a palha, porém ainda sem ampla utilização comercial. Esta terceira rota consiste na hidrolisação das cadeias celulósicas e produz uma solução fermentável de açúcares, apresentando grande interesse graças ao baixo custo da matéria-prima (BNDES, CGEE, FAO e CEPAL, 2008). Os processos relativos às três rotas são resumidos na Figura 3.

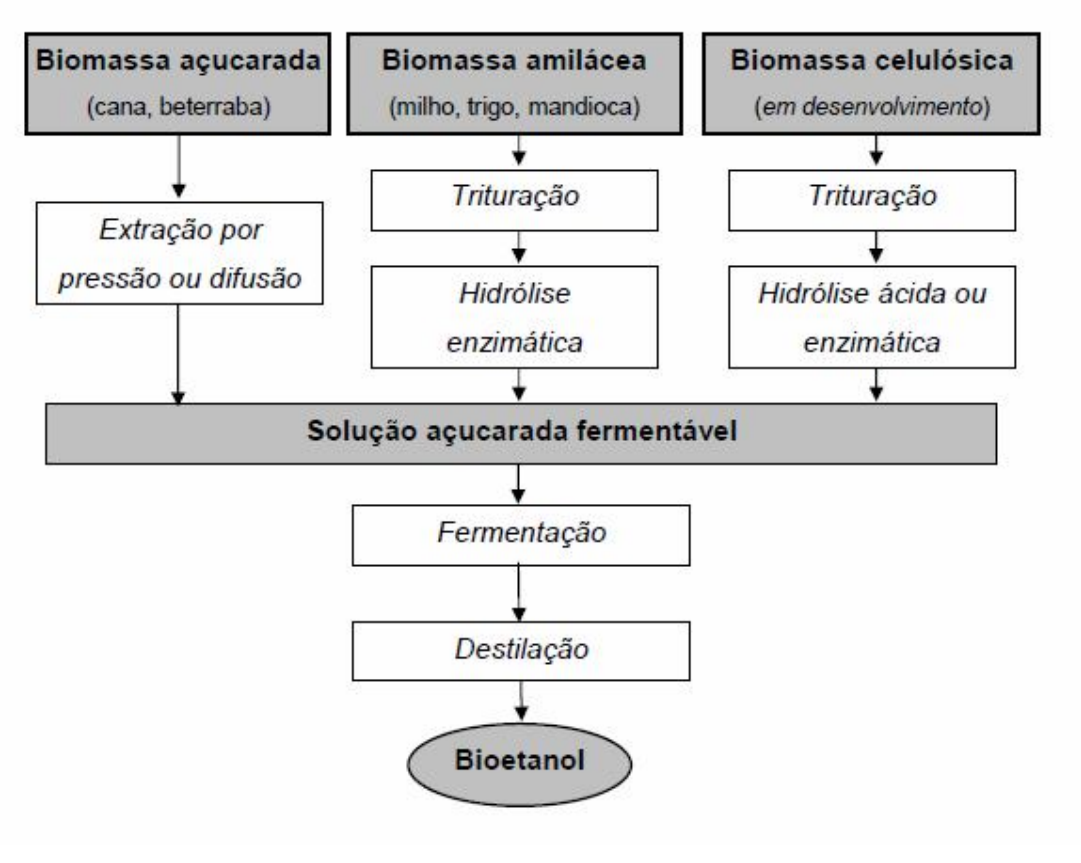


Figura 3 - Rotas tecnológicas para produção de etanol
Fonte: BNDES, CGEE, FAO e CEPAL, 2008

O etanol brasileiro é originado principalmente da fermentação dos açúcares contidos na cana. A fermentação é um processo utilizado na fabricação de bebidas alcoólicas, pães e outros alimentos, é realizado através da atividade de microorganismos, como bactérias, fungos e leveduras, e permite a obtenção de etanol com elevado teor de água. Em outros países, o etanol é obtido através da fermentação de materiais amiláceos ou por meio da hidratação do etano. Esse último processo está restrito aos países ricos em hidrocarbonetos e tende a perder importância rapidamente com a disseminação do etanol de biomassa (BNDES, CGEE, FAO & CEPAL, 2008).

Conforme resumido na Figura 4, na usina, a cana é lavada e segue para o sistema de preparo e extração em moendas, isto sob pressão de rolos. No conjunto de rolos da moenda, o caldo, que contém a sacarose, é separado da fibra (bagaço), que segue para a planta de energia da usina. Em algumas novas unidades implantadas no Brasil, tem sido adotada a extração por difusão, com expectativas de vantagens do ponto de vista energético. Nos difusores, a cana picada e desfibrada passa por sucessivas lavagens com água quente, cedendo por lixiviação

seus açúcares e, ao final, passa por um rolo de secagem, de onde sai o bagaço a ser utilizado nas caldeiras (BNDES, CGEE, FAO & CEPAL, 2008).

As etapas iniciais do processamento para etanol e açúcar são basicamente as mesmas. Para a produção de açúcar, o caldo é peneirado e tratado quimicamente, para coagulação, floculação e precipitação das impurezas, que são eliminadas por decantação. A torta de filtro resulta da recuperação de açúcar do lodo do decantador através de filtros rotativos a vácuo. O caldo tratado é concentrado em evaporadores de múltiplo efeito e cozedores para cristalização da sacarose. Nem toda a sacarose disponível na cana é cristalizada e a solução residual rica em açúcar (mel) pode retornar mais de uma vez ao processo para recuperação de mais açúcar. O mel final, também chamado de melaço e que não retorna ao processo de fabricação de açúcar, contém ainda alguma sacarose e um elevado teor de açúcares redutores (como glicose e frutose, resultantes da decomposição da sacarose), podendo ser utilizado como matéria-prima para a produção do etanol através de fermentação (BNDES, CGEE, FAO & CEPAL, 2008).

A produção de etanol de cana pode se basear na fermentação tanto do caldo da cana direto quanto de misturas de caldo e melaço. No etanol de caldo direto, as primeiras etapas do processo de fabricação, da recepção da cana ao tratamento inicial do caldo, são semelhantes ao processo de fabricação do açúcar. Em um tratamento mais completo, o caldo passa pela calagem, aquecimento e decantação, assim como no processo do açúcar. Após o tratamento, o caldo é evaporado para ajustar sua concentração de açúcares e é misturado com o melaço, dando origem ao mosto, uma solução açucarada e pronta para ser fermentada. O mosto é adicionado com leveduras e fermentado, dando origem ao vinho (mosto fermentado, com uma concentração de 7% a 10% de álcool). Após a fermentação, as leveduras são recuperadas e tratadas para novo uso, enquanto o vinho é enviado para as colunas de destilação (BNDES, CGEE, FAO & CEPAL, 2008).

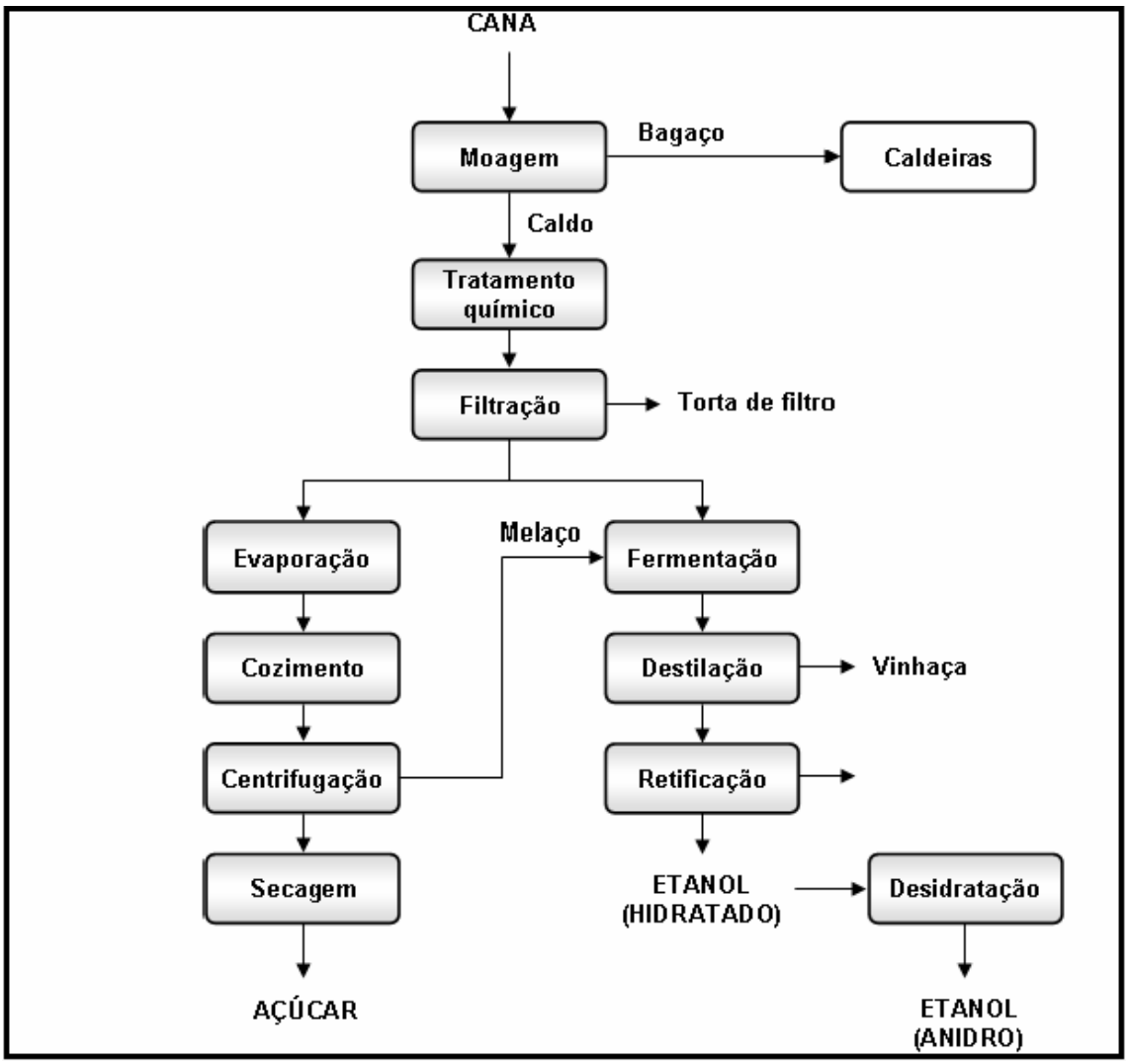


Figura 4 – Processo produtivo do etanol
Fonte: BNDES, CGEE, FAO e CEPAL, 2008

Na destilação, o etanol é recuperado inicialmente na forma hidratada, deixando a vinhaça, ou vinhoto, como resíduo. Nesse processo, outras frações líquidas também são separadas, dando origem aos alcoóis de segunda e ao óleo fugiu. O etanol hidratado pode ser estocado como produto final ou pode ser enviado para a coluna de desidratação. A tecnologia mais utilizada no Brasil é a desidratação pela adição do cicloexano, formando uma mistura azeotrópica ternária, com ponto de ebulição inferior ao do etanol anidro. Na coluna de desidratação, o cicloexano é adicionado no topo, e o etanol anidro é retirado no fundo. A mistura ternária retirada do topo é condensada e decantada, enquanto a parte rica em água é enviada à coluna de recuperação de cicloexano. A desidratação do etanol também pode ser realizada por adsorção com peneiras moleculares ou pela destilação extrativa com

monoetilenoglicol (MEG), que se destacam pelo menor consumo de energia e pelos custos mais elevados (BNDES, CGEE, FAO & CEPAL, 2008).

A apresentação do ciclo produtivo da cana de açúcar e do etanol já é suficiente para indicar alguns pontos importantes relativos à sua sustentabilidade do ponto de vista social, ambiental e econômico. A produção de cana foi desenvolvida no Brasil, baseada na monocultura e, dessa forma exige grandes extensões de terra, mão de obra, água para irrigação e uso de adubos e agrotóxicos. A produção de etanol, por sua vez, é intensiva em água e energia, além de produzir efluentes líquidos poluentes, como a vinhaça. Estes aspectos são importantes para avaliar o grau de sustentabilidade da produção de etanol, conforme será discutido na próxima seção.

# 4 A SUSTENTABILIDADE DO ETANOL NO BRASIL: UMA ANÁLISE CRÍTICA

Para fins da discussão, reafirma-se que a produção do etanol, proveniente da cana de açúcar será considerada sustentável, se apresentar as seguintes características: ser socialmente justa, ambientalmente correta, e, economicamente viável. A necessidade de se analisar o grau de sustentabilidade do etanol deve-se ao fato de, embora ele seja uma fonte de energia de baixo carbono, sua produção não está isenta de causar impactos socioambientais negativos.

> Dos agrocombustíveis, a cana de açúcar representa atualmente uma das fontes mais viáveis, todavia, sua produção implica observar não somente os aspectos de seu rendimento, mas também os aspectos socioambientais como o desmatamento, as queimadas, o impacto sobre o solo e o trabalho análogo a condição de escravo (FERREIRA & LEITE, 2010, p. 237).

Para Rodrigues e Ortiz (2006), o Brasil tem sido reconhecido mundialmente por assumir posição de liderança na produção e eficiência do setor sucroalcooleiro, contudo esta não se reflete na mesma medida na responsabilidade social, ambiental e na governança no setor. Assim, nesta seção serão debatidas algumas questões consideradas críticas na avaliação da sustentabilidade do etanol brasileiro.

## 4.1 FATORES SOCIAIS

Nesta seção, serão analisados os fatores sociais associados à produção da cana de açúcar, pois conforme a análise dos conceitos sobre sustentabilidade apresentados anteriormente, esta implica na promoção da qualidade de vida do homem.

### 4.1.1 Condições de trabalho

As condições precárias de trabalho da indústria da cana estão associadas principalmente à colheita manual de cana. Esta precariedade se deve à intensidade física do trabalho, à falta de vínculos trabalhistas formais, bem como inadequação da alimentação e do alojamento desses trabalhadores.

As usinas de cana utilizam, em sua maioria, trabalhadores migrantes temporários, que não têm trabalho fixo. Embora o salário recebido por esses trabalhadores seja 1,8 vezes maior do que o salário mínimo, eles são considerados o grupo mais vulnerável da cadeia produtiva

da cana. Uma das principais causas é a alta carga de trabalho em combinação com a precariedade da saúde, dieta inadequada e falta de equipamento de proteção. A colheita mecanizada de cana se tornou uma referência para a quantidade a ser cortada pelos trabalhadores e, conseqüentemente, a carga de trabalho aumentou de 6 toneladas por trabalhador por dia na década de 1980, para 10 toneladas na década de 1990, e 12-15 toneladas atualmente (MENDONÇA, 2006). No ano de 2007, a Comissão Pastoral da Terra (2009 apud FERREIRA & LEITE, 2010) apontou a expansão da lavoura canavieira como a maior responsável pela exploração do trabalho escravo.

> Como o uso de equipamentos encarece a produção, o corte da cana de açúcar é a atividade que causa mais impactos sociais, pois, é nela em que são utilizados "bóias frias", trabalhadores recrutados muitas vezes longe das usinas e, consequentemente, afastados por quilômetros de suas residências (FERREIRA & LEITE, 2010, p. 248).

O movimento repetitivo do corte de cana causa tendinites e problemas de coluna, descolamento de articulações e câimbras, provocado pela perda excessiva de potássio, freqüente espasmos seguidos por tontura, dor de cabeça e vômitos. No total, 14 casos de mortes imediatas causados pelo corte da cana foram relatados nas safras de 2004-2005 e 2005-2006, todos os trabalhadores migrantes jovens (PASTORAL DO MIGRANTE, 2011). O corte da cana também está associado diretamente com câncer, provocado pela fuligem da cana e também pelo uso de agroquímicos, este último causou cerca de 700 casos de intoxicação e 15 mortes em 1998 (MENDONÇA, 2006).

Os piores casos de más condições de trabalho incluem situações em que as usinas obrigam a esterilização de cortadores de cana do sexo feminino e os casos de escravidão. A legislação, em princípio, parece suficientemente rigorosa para garantir condições adequadas de trabalho e também permite a livre organização de entidades para defesa de direito dos trabalhadores. No entanto, o cumprimento da legislação é muitas vezes inexistente e aplicação da lei é fraca. Existem estratégias de aplicação da legislação, que podem ser usadas para formular critérios e indicadores de desempenho, dessa forma o cumprimento da legislação em vigor deve ser uma questão fundamental e de extrema importância para que haja melhoria na qualidade de vida dos trabalhadores (CSILLAG & ZORZETTO, 2000).

### 4.1.2 Uso da terra

Um segundo aspecto crítico da produção do etanol deve-se ao modelo de produção baseado em monoculturas implantadas em grandes propriedades. No contexto brasileiro, a expansão de tal modelo torna-se preocupante, pois dados históricos sugerem que a legislação existente é insuficiente e fraca demais para proteger pequenos agricultores e para evitar conflitos violentes associados a disputas pela terra. Assim, a posse da terra ainda é um grande problema no Brasil.

A monocultura traz desvantagens ambientais porque, no curto prazo, reduz a biodiversidade e, no longo prazo, empobrece o solo. As desvantagens sociais ocorrem porque reduz o uso da mão-de-obra no campo e expulsa as populações rurais para a cidade, intensificando o êxodo rural. A ineficiência jurídica, que regula e limita o uso das propriedades, tem contribuído para a expansão das monoculturas. Como consequência, impactos sobre a agricultura familiar e mudanças no padrão de produção agrícola têm ocorrido nos municípios do estado de São Paulo que se especializaram na produção de cana de açúcar (GUEDES *et al.*, 2006 apud RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

Durante os anos 1970 e 1980 a expansão exacerbada da produção cana causou inúmeros conflitos pela posse da terra. Casos foram relatados onde agricultores foram forçados a deixar suas terras por pressão legal ou econômica, ou por força física intimidação (ESMAP, 2005).

Ao longo dos anos 1990, o aumento da produção da cana talvez tenha tido um limitado impacto direto sobre os conflitos de posse da terra, pois se concentrou em São Paulo, onde a agricultura comercial é uma atividade bem estabelecida (BRADLEY *et. al*, 2005). Indiretamente, porém promoveu a expulsão de trabalhadores que podem ter migrado para a fronteira agrícola no norte do país, onde os conflitos são mais violentos. Por outro lado, a partir dos anos 2000, houve uma intensificação da produção de cana no estado do Mato Grosso do Sul, onde a propriedade fundiária não é clara e muitas disputas ainda são resolvidas de forma violenta (SIMMONS, 2005).

Em resumo, problemas associados a disputas fundiárias não são inerentes à cultura da cana e se aplicam a qualquer cultivo em larga escala, como algodão, soja ou eucalipto. Todavia a superação desse problema é uma condição para aumentar o grau de sustentabilidade

da cana. Neste sentido, porém, o problema parece não estar na insuficiência de legislação, mas sim na sua execução (SMEETS *et al.*, 2008).

### 4.1.3 Preço dos alimentos

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009) no período entre 2008 e 2009, 4,3% da população masculina e 3,9% da população feminina no Brasil era desnutrida. Este cenário porém era principalmente resultado da pobreza e não da falta de capacidade de produção. A incidência de desnutrição em São Paulo é menor do que no resto do país, provavelmente porque a renda média neste estado é mais elevada. Esta questão é associada à produção de cana para a produção de etanol, porque esta cultura pode competir com a produção de alimentos, ameaçando a garantia de fornecimento de alimentos. A disponibilidade de terras produtivas é um fator chave que limita a área de terras agrícolas, uma vez que estas não podem ser expandidas indefinidamente, sob pena de ameaçar a biodiversidade do país.

A maior parte do aumento da produção de cana em São Paulo durante o período 2002-2004 ocorreu principalmente na extensão de terra usada para criação de gado (COULHO *et al.*, 2005). Por outro lado, o aumento da produção de cana de açúcar durante a safra 2005-2006 causou redução da produção de tomate, amendoim e laranja no estado São Paulo (IEA, 2006) bem como de café em Minas Gerias, Espírito Santo e São Paulo (CONAB, 2007). Houve também um grande aumento nos preços da terra no oeste da São Paulo, entre 2002 e 2005, que é uma importante área para expansão da cana, que também sugere um impacto nos preços dos alimentos (FILHO, BURNQUIST & VIAN, 2006). Segundo Rodrigues e Ortiz (2006), a cana de açúcar roubou áreas tradicionais de grãos em São Paulo. Na terra roxa da região sudoeste do estado, onde predominavam culturas como o feijão, a produção de cana avançou e mudou a paisagem local. De acordo com dados do Instituto de Economia Agrícola (IEA) e da Secretaria de Agricultura do Estado, a região tinha 7 mil hectares em áreas novas com cana, totalizando 20,8 mil hectares no ano de 2006. Em Taquarituba, foram plantados no mesmo ano, 2 mil hectares de cana e em Avaré, a cana ocupava 7,4 mil hectares, tomando lugar de alguns grãos (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

Ainda verificando sobre os impactos que a monocultura da cana de açúcar pode causar ao meio ambiente, Quartaroli *et al.* (2005) analisou as alterações causadas pela expansão da

produção de cana de açúcar no uso do solo da região nordeste de São Paulo entre 1988 e 2003. Na região, que compreende 125 municípios e 51.725 $km^2$, a cana ocupava em 1988, 10.857 $km^2$, equivalentes a 21% da área analisada. Esta ocupação ampliou para 22.935 $km^2$ (44% da área analisada) em 2003. A proporção de terras utilizadas para atividades agrosilvopastoris permaneceu estável no período, a expansão da cana se deu principalmente através da substituição de áreas antigamente ocupadas por culturas anuais, que cederam neste período 5.964 $km^2$ para a cana, por pastos que cederam 4.748 $km^2$ e pela fruticultura que cedeu 1.577 $km^2$ de sua área para a cana. Quartaroli et al. (2005) analisou também que, da área plantada com cana em 1988, 9.897 $km^2$ (91% do total) permaneceram com a mesma cultura em 2003, de maneira que a área total de expansão entre 1988 e 2003 foi de 13.038 $km^2$ (25,5% da área total analisada).

A pobreza é atualmente um dos principais gargalos para a segurança alimentar, muito mais do que uma falta de meios de produção como a terra ou à expansão da produção de cana. Contudo, a concorrência por terras entre cana e alimentos poderia se tornar um gargalo, principalmente porque a conversão de vegetação natural em terrenos agrícolas é insustentável.

### 4.1.4 Trabalho infantil

De acordo com Schwartzman & Schwartzman (2004), em 2003, o total de ocorrência de trabalho infantil no Brasil foi de 6,3 milhões. Naquele ano, a presença de trabalho infantil na produção de etanol (incluindo produção de cana) em todo o país foi calculada em 0,01% do total de trabalhadores nas lavouras, para crianças com idade entre 10 e 14 anos, e 0,3% para jovens entre 15-17 anos. O número de crianças entre 10 e 17 anos de idade envolvidas na produção de cana no Brasil foi estimado em 23.000, o que equivaleria a 5,5% do número total de trabalhadores envolvidos na produção de cana e 3,0% do número total de trabalhadores vinculados à produção de etanol de cana.

Estimativa da Fundação Abrinq (2011), porém, são muito mais preocupantes. Segundo esses dados, em 2009, para cada adulto, existiria uma criança ou adolescente trabalhando nas plantações de cana no Brasil. Em São Paulo, seriam aproximadamente 60 mil crianças. Em Alagoas, 50 mil trabalhadores teriam entre 6 e 13 anos e, só no município de Campos no estado do Rio de Janeiro, haveria 4 mil crianças trabalhando nos canaviais. No período de safra, as crianças trabalham no corte, na formação de feixes e no transporte da cana para o

engenho ou do bagaço para o terreiro, numa jornada que vai das 5 da manhã às 5 da tarde. Outras tarefas exercidas pelas crianças dentro das usinas, das 6 da manhã às 11 da noite, são as de tomador[3], bagaceiro[4] e caldeeiro[5],em locais onde a temperatura ambiente pode chegar a 60 ºC, provocando rachadura na pele e inchaço nas pernas.

A discrepância entre os dados apresentados acima sugerem a fragilidade do sistema de monitoramento no país. As estatísticas indicam que o número de crianças trabalhando no processamento do etanol seria menor do que na plantação de cana, pelo fato do trabalho infantil está associado às tarefas mais simples e devido à uma fiscalização mais freqüente nas usinas. (SCHWARTZMAN & SCHWARTZMAN, 2004). Independente desta distribuição, a existência de trabalho infantil na cadeia produtiva da cana é marcante e preocupante.

A legislação brasileira está em linha com as normas da Organização Internacional do Trabalho (OIT): a mínima idade (oficial) é de 16 anos, com exceção de estágios. Além disso, o trabalho é proibido para os menores de 18 anos de idade quando representa uma tensão física ou quando se trata de trabalhos noturnos, condições insalubres ou perigosas, que incluem colheita da cana (ILO, 2006). No entanto, a execução da lei é fraca; as inspeções do trabalho infantil não são realizadas numa base regular, mas sim movidos por denúncias pelos trabalhadores, sindicatos, ONGs e da mídia. Quando essas denúncias são investigadas e comprovadas, porém, os fiscais procuram chegar a acordos com os empregadores antes aplicar multas; penalidades brandas, porém, tendem a ser um meio pouco eficaz de coibir a contratação de crianças (USDS, 2006).

### 4.1.5 Saúde da população

A colheita da cana pode ser feita de forma mecanizada, com a cana crua, ou seja, em um processo que não envolve a queimada do canavial. Entretanto o processo mais utilizado no Brasil é o semimecanizado, que envolve a queima da lavoura, o corte manual e o

---

[3] O tomador retira amostras de cana para serem analisadas no laboratório, onde são obtidos resultados para qualificar a matéria-prima.

[4] O bagaceiro deve transportar o bagaço verde da moenda para a bagaceira ou o bagaço seco da bagaceira para fornalha.

[5] O caldeeiro é o posto responsável pelas caldeiras nas usinas de cana de açúcar.

carregamento mecanizado. Este método gera, dentre outros danos ao meio ambiente, a emissão de gases na atmosfera e o empobrecimento do solo (FERREIRA & LEITE, 2010). Além disso, a prática da queima impacta a saúde das pessoas, conforme tem sido observado em cidades da região sudeste onde há maior concentração de cultivo de cana de açúcar (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

Para Arbex (2001), o material particulado emitido pela queima do canavial torna o ar tão poluído quanto o da cidade de São Paulo. Em seus estudos, o autor, verificou haver relação entre esta prática e a morte por doenças respiratórias na cidade de Araraquara.

As queimadas dos canaviais têm sérios impactos sobre a saúde das populações vizinhas, pois emitem eteno, além de outros hidrocarbonetos que são precursores da formação do ozônio troposférico, responsável pelo aumento na freqüência de problemas respiratórios. Além disso, a queima da cana também emite ácidos e compostos que podem ser convertidos em ácidos que, não apenas agridem o sistema respiratório, como também, uma vez depositados na água e solo, causam declínio florestal e mortandade de peixes, prejudicando indiretamente a saúde das pessoas (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

Como forma de minimizar esse problema, foi proposto para o estado de São Paulo um cronograma de mecanização da colheita, que visa reduzir a necessidade de queima. De acordo com esse programa, existia a proposta da total mecanização até o ano de 2021, conforme apresentado pelo Quadro 1. Esta proposta foi oficializada por meio da lei nº 11.241/2002 (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2008). Apesar desses avanços em São Paulo, iniciativas semelhantes não têm sido adotadas por outros estados ou pelo governo federal, um dado preocupante, devido à expansão da plantação de cana para estados do Centro Oeste.

| ANO | | Área mecanizável onde não se pode efetuar a queima da cana de açúcar |
|---|---|---|
| | | Percentagem de eliminação |
| 1º Ano | 2002 | 20% da queima eliminada |
| 2º Ano | 2006 | 30% da queima eliminada |
| 3º Ano | 2011 | 50% da queima eliminada |
| 4º Ano | 2016 | 80% da queima eliminada |
| 5º Ano | 2021 | Eliminação total da queima |
| ANO | | Área não mecanizável, declividade superior a 12% e/ou da queima menor de 150 hectares |
| | | Percentagem de eliminação |
| 1º Ano | 2011 | 10% da queima eliminada |
| 2º Ano | 2016 | 20% da queima eliminada |
| 3º Ano | 2021 | 30% da queima eliminada |
| 4º Ano | 2026 | 50% da queima eliminada |
| 5º Ano | 2031 | Eliminação total da queima |

Quadro 1 - Cronograma de Eliminação da Queima da cana de açúcar no Estado de São Paulo, segundo a Lei 11.241/2002
Fonte: Governo de São Paulo, 2002

No dia 4 de junho de 2007, a UNICA, que representa a indústria paulista produtora de açúcar, etanol e bioeletricidade e o Governo do Estado de São Paulo, assinaram o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro. Esse Protocolo, de adesão voluntária, estabeleceu princípios e técnicas, de natureza ambiental, a serem observadas pelas indústrias da cana (UNICA, 2007), conforme descrito no Quadro 2.

| ANO | Área mecanizável onde não se pode efetuar a queima da cana de açúcar |
|---|---|
| | Percentagem de eliminação |
| 2010 | 70% da queima eliminada |
| 2014 | Eliminação total da queima |
| ANO | Área não mecanizável, declividade superior a 12% e/ou da queima menor de 150 hectares |
| | Percentagem de eliminação |
| 2010 | 30% da queima eliminada |
| 2017 | Eliminação total da queima |

Quadro 2 - Cronograma de Eliminação da Queima da cana de açúcar no Estado de São Paulo, segundo o Protocolo Agroambiental.
Fonte: UNICA, 2007

Conforme pode ser observado, a proposta do Protocolo Agroambiental é mais exigente do que o cronograma estipulado em 2002. Essa mudança de postura deve-se a preocupação ambiental que levou o governo federal e o estado de São Paulo a estabelecerem prazos para o fim da queima da cana, o que acabou acelerando o processo de mecanização. Sendo que esse processo de erradicação das queimadas foi instituído pelos: Decreto Federal de 1998, pela Lei 11.241 de 2002 do governo paulista e pelo Protocolo Agro Ambiental, firmado pela Secretaria de Meio Ambiente, Agricultura e Abastecimento e a União da Indústria da cana de Açúcar (UNICA) em 2007, sendo que as usinas que aderirem ao protocolo e cumprirem as metas estabelecidas serão beneficiados com o certificado Agro Ambiental, que facilitará a comercialização do etanol (IEA, 2009).

## 4.2 FATORES AMBIENTAIS

Nesta seção, serão analisados os fatores ambientais associados à produção da cana de açúcar, pois conforme a análise dos conceitos sobre sustentabilidade apresentados anteriormente, esta implica na manutenção dos recursos naturais.

### 4.2.1 Uso e poluição da água

A relação da produção de etanol com os recursos hídricos se dá de duas formas principais. Por um lado, há o consumo de água para irrigação e para as atividades industriais. Por outro, há a possível poluição dos recursos hídricos, seja pelo uso de agrotóxicos nas plantações, seja pela disposição inadequada dos efluentes industriais, em particular o vinhoto.

Para a produção de etanol duas categorias do uso da água são relevantes, irrigação para a plantação de cana e a água para os processos industriais. Com relação ao consumo agrícola, um importante indicador de perda é a taxa de evapotranspiração (ET), que compara a quantidade de água perdida de um solo cultivado. No caso do estado de São Paulo, a irrigação da cana geralmente não é percebida como um importante contribuinte para a falta de água, embora haja casos de escassez pontuais pelo excesso de irrigação em geral, bem como pela demanda excessiva de atividades industriais. Além disso, a contaminação dos rios pela disposição irregular de efluentes pode tornar a água inadequada para alguns usos específicos (FAO, 2003).

A baixa sensibilidade com relação ao consumo de água pelas plantações de cana se deve, principalmente por duas razões. Primeiro, a relação entre a chuva e a ET é favorável na bacia Paraguai-Paraná, que abrange a maior parte de São Paulo; nesta região a precipitação é de 2.140 mm por ano e a ET é de 1.657 mm por ano (FAO, 2003). No entanto, durante o outono e inverno, período de seca, a ET é superior à precipitação. A irrigação não é necessária durante este período, porque as plantas reduzem seu crescimento vegetativo e começam a acumular sacarose (este período é, portanto, essencial para alcançar altos teores de açúcares. A segunda razão é que a ET nas plantações de cana é geralmente inferior em comparação com pastagens ou vegetação natural; todavia, esse impacto pode ser compensado por um aumento do escoamento. Além disso, a irrigação da cana, geralmente não é economicamente viável e não é aplicada, exceto nas áreas mais secas no oeste de São Paulo. Nesta região, a irrigação deverá aumentar como resultado do crescimento da produção de cana, o que poderá vir a criar conflitos pelo uso água em um futuro próximo (MATIOLI, 1998).

A contribuição da produção do etanol para o consumo total de água (excluindo ET de precipitação) foi de 5%, em 2003. No entanto, o pico da produção de etanol é durante o inverno, relativamente seco, e que indica que o impacto do uso da água na indústria no inverno deve ser avaliado dentro de um contexto de possível escassez (MATIOLI, 1998).

O consumo de água industrial, todavia, tenderá a se reduzir, nos próximos anos, principalmente devido ao aumento da eficiência do uso da água (IEA, 2006). De acordo com o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC, 2011) a meta de 1,0 $m^3$ por tonelada de cana será atingida em 2015, o que significa que o consumo total de água para produção de etanol deverá aumentar em 11% entre 2005 e 2015. Esses dados mostram que as taxas de consumo de água na produção de cana pode ser reduzido significativamente, em especial através do aumento da reciclagem água ou pela substituição da lavagem da cana pela lavagem a seco (WB, 1998; GTZ, 2005). O Quadro 3 mostra as principais finalidades do uso da água no ano de 1995, onde nota-se a redução significativa do uso da água para produção de cana.

| Finalidade | Uso Específico | Uso Médio ($m^3$/t. cana total) | Participação (%) |
|---|---|---|---|
| Lavagem de Cana | 1,4 a 8,26 $m^3$/t. cana total | 5,330 | 25,4 |
| Condensadores/ Multijatos Evaporação | 4 a 6 $m^3$/t. cana para açúcar | 2,000 | 9,5 |
| Condensadores/ Multijatos Cozedores | 8 a 10 $m^3$/t. cana para açúcar | 4,000 | 19,0 |
| Produção de Vapor | 424 a 602 kg/t. cana total | 0,500 | 2,4 |
| Resfriamneto do Caldo | 10 a 30 $m^3/m^3$ álcool | 1,000 | 4,8 |
| Resfriamento de Dornas | 61 $m^3/m^3$ álcool | 3,000 | 14,3 |
| Resfriamento Condensadores | 80 $m^3/m^3$ álcool | 4,000 | 19,0 |

Quadro 3 - Uso médio de água na produção de cana de açúcar, finalidades mais significativas
Fonte: Elia Neto, 1995

Com relação à contaminação dos recursos hídricos, os principais problemas dizem respeito ao uso de agrotóxicos e à disposição dos efluentes industriais.

Os agrotóxicos são usados principalmente para o controle e prevenção do crescimento de ervas daninhas. Além dessa estratégia, outras práticas como o uso do cobre verde, rotação de culturas e espaçamento adequado das culturas pode minimizar esse problema. Ervas daninhas resistentes a herbicidas na produção de cana não foram encontradas até agora, mas o aumento rápido da resistência a herbicidas por ervas daninhas em outras culturas indica que isso pode mudar (WEED SCIENCE, 2006).

Um controle eficaz das doenças de pragas e ervas daninhas é fundamental, porque podem ocorrer perdas de rendimento de mais de 80% na produção de cana (MACEDO, 2007). Os agrotóxicos são comumente usados, mas em quantidades limitadas por hectare, quando comparados a outras culturas: a cana utiliza 40% a menos do que o milho e 90% menos do que café, cítricos ou soja (MACEDO, 2007). No entanto, estudos indicam que o uso de agrotóxicos é um importante contribuinte para a poluição da água em áreas com uma grande quantidade de produção de cana (LARA *et al.*, 2001).

Com relação à disposição dos efluentes, durante os anos 1970 e 1980, a descarga descontrolada de águas residuais em corpos d'águas, em particular de vinhaça, resultou em grave degradação ambiental. Atualmente, esses resíduos líquidos são mais utilizados para ferti-irrigação, que é uma técnica de aplicação simultânea de fertilizantes e água, através de um sistema de irrigação. A ferti-irrigação tem aumentado gradativamente durante as últimas décadas, reduzindo a degradação ambiental e otimizando o uso de nutrientes (SMEETS *et al*., 2008).

A vinhaça utilizada na irrigação da cana de açúcar é um líquido de cor marrom escuro, de natureza ácida, corrosivo, altamente poluidor e com elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Este efluente é composto por 93% de água e 7% de sólidos, dentre os quais 75% são matéria orgânica e 25% fração mineral. Esse efluente é produzido na razão de 13 litros por litro de álcool destilado (LUDOVICE, 1997; FREIRE, 2000).

Por outro, lado a vinhaça caracteriza-se pelo alto nível de matéria orgânica e potássio, quantidades significativas de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e sulfato e quantidades pequenas de zinco, ferro, manganês e cobre (HASSUDA, 1989). Por essas características, passou a ser um dos principais componentes do processo de ferti-irrigação.

Apesar dos sucessos dessa técnica, ela deve ser adotada com cautela. Gloeden (1994) estudou a dinâmica dos componentes da vinhaça nas zonas saturadas e não-saturadas, e concluiu que o cloro, o carbono orgânico, a amônia e o nitrogênio orgânico são elementos que causam risco à qualidade da água subterrânea, quando a vinhaça é irrigada em grandes quantidades. A infiltração da vinhaça na água subterrânea prejudica sua potabilidade pela transferência de altas concentrações de amônia, magnésio, alumínio, ferro, manganês, cloreto e matéria orgânica para água subterrânea (HASSUDA, 1989).

### 4.2.2 Monocultivo e biodiversidade

As extensas e contínuas áreas de produção em monocultivo, como conseqüência da concentração de pose da terra, geram perda da biodiversidade e afetam drasticamente a flora e a fauna locais e regionais. Nesse sentido, o monocultivo é considerado o fator de maior impacto ambiental ligado à cana de açúcar (ROSSETO, 2010).

A introdução da cultura de cana de açúcar no Brasil entre os séculos XVI e XVII teve forte impacto sobre a biodiversidade da Mata Atlântica, pois o bioma se viu reduzido a menos

de 7% de sua área original. Contudo, a expansão da produção de cana de açúcar motivada pelo pró-álcool nos anos 1970 e 1980 foi um processo que teve relativamente pouco impacto negativo sobre a biodiversidade já bastante degradada nestas regiões (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

Um estudo realizado pela EMBRAPA, em 2000, revelou que o impacto da atividade canavieira sobre a fauna ocorre em maior grau para mamíferos e répteis por diminuir fontes e alimentos ,bem como locais de abrigo e reprodução. Não existem muitas inovações para reduzir os impactos das monoculturas. A de maior impacto foi a implantação de áreas de produção orgânica aliadas a reflorestamentos, manutenção de áreas de proteção ambiental, matas ciliares, ausência no uso de defensivos químicos e ausência das queimadas. Todos esses fatores juntos podem preservar a biodiversidade da fauna (MIRANDA & MIRANDA, 2004).

Além dos impactos na região de São Paulo, o avanço sobre o Mato Grosso do Sul e sobre o Maranhão poderá também ter impacto negativo sobre a biodiversidade do cerrado (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

### 4.2.3 Perda de solo

Perdas de solo por erosão são impactantes em todas as atividades agrícolas. No cultivo da cana, esse impacto ocorre principalmente durante a época do plantio e o preparo do solo. Se não houver a queima antes do corte, a cultura de cana de açúcar tem perda de solo pequena se comparadas com outras culturas anuais. A grande movimentação do solo ocorre apenas na época de plantio, a cada cinco ou seis anos em média (DE MARIA & DECHEN, 1998).

O cultivo da cana sobre a palhada, nas condições de colheita sem queima, exigiu avanços tecnológicos. Do ponto de vista ambiental, todavia, representa uma diminuição sensível das perdas por erosão, como mostra no Quadro 4.

| Condições de Cultivo | Perdas de Solo (t $ha^{-1}$) |
|---|---|
| Cana de açúcar - sem palhada | 39 a 108,6 |
| Cana de açúcar (média de cana-planta + 5 cortes), sem palhada | 8,3 a 23,2 |
| Cana de açúcar com palha na superfície | 6,5 |
| Cana de a´çucar com palha incorporada | 13,8 |

Quadro 4 - Perdas de solo por erosão em cana de açúcar com presença ou ausência da palhada
Fonte: Raffaella Rossette, 2010

### 4.2.4 Mudanças climáticas

Com o agravamento da problemática do aquecimento global, tem havido a preocupação de reduzir as emissões de GEE. Neste contexto, o etanol tem gerado muitas pesquisas devido à sua baixa emissão de $CO_2$, sobretudo em relação aos combustíveis derivados do petróleo.

A queima de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás, colabora significativamente para o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, intensificando o efeito estufa (FERREIRA & LEITE, 2010). Tal problema, todavia, por ser reduzido com a utilização de fontes de energia que liberem quantidades menores de $CO_2$; neste contexto, os agrocombustíveis têm sido apresentados como uma alternativa de energia mais limpa.

> Os padrões atuais de produção e consumo de energia são baseados nas fontes fósseis, o que gera emissões de poluentes locais, gases de efeito estufa e põem em risco o suprimento de longo prazo no planeta. É preciso mudar esses padrões estimulando as energias renováveis, e, nesse sentido, o Brasil apresenta uma condição bastante favorável em relação ao resto do mundo (GOLDEMBERG & LUCON, 2007, p.07).

Esta condição a qual o autor acima citado se refere diz respeito ao fato do Brasil estar, desde a década de 1970, investindo na produção do etanol proveniente da cana de açúcar. Conforme Ferreira e Leite (2010), as propostas governamentais vêm estimulando investimentos na produção de agrocombustívieis para substituir os derivados de petróleo. Estimativas sugerem que tal substituição poderia evitar a emissão de 62 milhões de toneladas de $CO_2$ por ano (FERREIRA & LEITE, 2010).

Um aspecto que pode ser considerado positivo na produção do etanol brasileiro é o fato de que este terem uma baixa emissão de $CO_2$, mesmo quando comparados com outros agrocombustíveis. As usinas geram a sua própria energia elétrica, com a utilização do bagaço, o que pode levar a uma economia energética e a redução de emissão de GEE (FERREIRA & LEITE, 2010).

Macedo *et al.* (2004) calculam que a emissão total de gases estufa para a produção de etanol de cana no Brasil em 0,248 kg de $CO_2$ equivalente por litro de etanol. Para ter uma noção do significado deste número, é necessário compará-lo com as emissões da produção e consumo de gasolina dentro do ciclo de vida dos combustíveis. Como 1 litro de etanol substitui 0,8 litros de gasolina e como a emissão total de gases pela queima de 1 litro de

gasolina emite 2,74 kg $CO_2$ equivalente, a redução de emissões de gases estufa pela substituição de gasolina por etanol produzido da cana de açúcar no Brasil é de 2,43 kg $CO_2$ equivalente por litro de etanol utilizado.

## 4.3 FATORES ECONÔMICOS

O Brasil é o maior produtor de cana de açúcar em nível mundial, seguido por Índia, Tailândia e Austrália. Em 2005, o país foi responsável por 45% da produção mundial de etanol combustível e a cultura da cana permitiu uma produção nacional de etanol de 14,5 bilhões de litros, dos quais mais de 2 bilhões foram destinados à exportação (RODRIGUES & ORTIZ, 2006). Este desempenho tem gerado uma série de impactos econômicos positivos, tanto do ponto de vista local, quanto nacional, conforme discutido nesta seção.

### 4.3.1 Geração de emprego e distribuição de renda

Na discussão sobre desenvolvimento sustentável, o desenvolvimento local tem grande importância como unidade de análise. O desenvolvimento local é um processo endógeno de mudanças que leva ao dinamismo econômico e à melhoria da qualidade de vida da população em pequenas unidades territoriais e agrupamentos humanos (BUARQUE, 1999).

O desemprego é um grande problema em São Paulo e resolver este problema é uma prioridade-chave, principalmente no interior do estado. A produção de cana e etanol é uma fonte importante de emprego na região, tendo três efeitos distintos:

- Direta: emprego gerado na cana e na produção de etanol.
- Indireto: empregos gerados nas atividades de transporte e na produção de máquinas, equipamentos e insumos agrícolas e industriais para a produção de etanol.
- Induzido: empregos gerados ou perdidos devido à mudança causada pela substituição da produção de alimentos (SMEETS, 2008).

A formulação de critérios é dificultada pela falta de dados precisos sobre o efeito do emprego total da rede: impacto direto é positivo, mas os efeitos podem ser tanto positivos como negativos. Várias ferramentas podem ser usadas para calcular os efeitos sobre o emprego líquido, mas estes precisam ser desenvolvidos e avaliados.

Conforme discutido anteriormente, o emprego gerado pelo corte manual da cana é muito precário e há um forte movimento pela intensificação da mecanização deste processo. Existe no país um grande potencial de mecanização; Guilhoto *et al*. (2002) sugerem que a mecanização é possível em aproximadamente 50% das áreas do nordeste e em 80% do resto do país. Como uma colheitadeira substitui até 100 trabalhadores (USTULIN & SEVERO, 2001), o aumento da mecanização, pode levar a uma diminuição significativa do número de postos de trabalho gerados.

Mesmo levando em consideração o processo de mecanização, não se pode desprezar a contribuição do setor sucroalcooleiro para a geração de empregos no país. Scaramucci e Cunha (2006) calcularam que a expansão da produção de etanol prevista para 2025 poderia gerar mais de 5 milhões de empregos, mesmo no caso de produção de cana totalmente mecanizados.

Outro aspecto importante da produção canavieira é uma contribuição para a redução da desigualadae econômica. Um indicador comumente usado para expressar a distribuição de renda é o coeficiente Gini[6]. O Brasil tem um dos maiores coeficientes Gini do mundo, problema que o governo federal vem tentando reduzir por meio de diferentes políticas como, por exemplo, o Bolsa Família.

Estudos sobre a contribuição do setor sucroalcooleiro para a redução da desigualdade vêm apresentando algumas oportunidades de contribuição positivas. O índice de Gini da produção de cana de açúcar corresponde a 0,57, ligeiramente inferior à média nacional (0,58). Por outro lado, a contribuição do etanol é mais significativa, pois este tem um Coeficiente de Gini de 0,39. Além disso, políticas apropriadas para valorização dos trabalhadores rurais poderia ainda trazer impactos significativos para a redução da desigualdade no campo, sem comprometer seriamente o desempenho econômico do setor alcooleiro; por exemplo, o aumento de 50% dos salários dos colhedores de cana resultaria em um aumento dos custos do etanol de apenas 4% (SMEETS, 2008).

---

[6] Coeficiente Gini, é um parâmetro internacional usado para medir a desigualdade de distribuição de renda entre os países. O coeficiente pode variar entre 0 e 1, quanto mais próximo do zero menor é a desigualdade de renda num país, ou seja, melhor a distribuição de renda.

### 4.3.2 Contribuição para a economia nacional

De acordo com dados da CONAB (2006), a distribuição da produção de cana era feita da seguinte forma em 2006: 50,5% eram destinados à fabricação de açúcar, 39,6% ao etanol e os 9,6% restantes para outras finalidades - cachaça, sementes, ração animal, açúcar mascavo etc.

A estrutura dual canavieira tem a vantagem competitiva em relação aos países que produzem apenas açúcar de reagir rapidamente às oscilações nos mercados internacionais. Pois existe uma correlação inversa entre a produção de etanol e produção de açúcar, uma vez que as empresas podem optar por produzir um ou outro de acordo com sua lucratividade (MACEDO, 2007).

A produção de açúcar e etanol está em expansão, a estimativa para a safra 2006/2007 previa o processamento de 469,8 milhões de toneladas, o que representava um aumento de 8,9% em relação à safra anterior. Isso ocorreu em virtude do aumento de 5,4% da área plantada e de um ganho de 3,4% em produtividade neste período (CONAB, 2006 apud RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

As estimativas de crescimento da produção no setor indicam crescimento, Rodrigues e Ortiz (2006) relataram que as expectativas do Brasil, expressas na Política Nacional de Agroenergia, lançaram projeções de crescimento do consumo interno brasileiro de 1,5 bilhões de litro ao ano, o que representaria uma demanda estimada de 25 bilhões de litros para 2013, e uma oferta total de etanol próxima a 30 bilhões de litros para 2015 (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

Devido a toda essa importância, o setor sucroalcooleiro brasileiro tem impactos significativos na economia nacional. Estima-se que a produção de cana e etanol movimente R$ 40 bilhões anuais, equivalentes a 2,35 % do PIB, e recolhe R$ 12 bilhões em impostos e taxas (RODRIGUES & ORTIZ, 2006). Participação que deve aumentar, se as previsões de aumento de demanda nacional e internacional se concretizarem.

### 4.3.3 Inserção no mercado internacional

Um dos entraves para que o etanol, brasileiro possa contribuir ainda mais para a economia nacional está relacionada com barreiras encontradas para a sua penetração nos

mercados mundiais. A expansão da produção de etanol, diferentemente da época Proálcool não vem sendo ditada pelo governo. A corrida para ampliar unidades e construir novas usinas é movida por decisões da iniciativa privada certa de que o etanol terá um papel cada vez mais importante como combustível, no Brasil e no mundo. Entretanto, a expansão é viabilizada por bancos públicos, como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) que, entre 2004 e 2006, investiu mais de R$ 7 bilhões no setor (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

Este apoio vem sendo dado para compensar o setor a superar algumas dificuldades que vem sendo colocadas como barreira à penetração dos agrocombustíveis nos mercados internacionais, muitas delas relacionados à motivação política, financeira, legal, e tecnológica (BNDES, 2005). De acordo com a UNICA (2009), o grande desafio para a exportação do etanol brasileiro é a eliminação de barreiras tarifárias e não-tarifárias, especialmente nos Estados Unidos e na União Européia. Mesmo com as altas tarifas o Brasil está exportando cada vez mais etanol, cujo principal mercado consumidor é os Estados Unidos, que impõem a tarifa de US$ 0,54 por galão (3,78 litros) e a União Européia, da mesma forma, taxa o etanol produzido no Brasil em 0,19 euros por litro, o que eleva o preço do biocombustível e o torna menos competitivo.

# 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A substituição da gasolina pelo etanol de cana de açúcar e sua produção em alta escala possuem pontos positivos e negativos que devem ser avaliados. A Figura 5 mostra o esquema geral da cadeia de produção e uso do etanol. Os diferentes estágios do processo possuem impactos sociais, econômicos e ambientais.

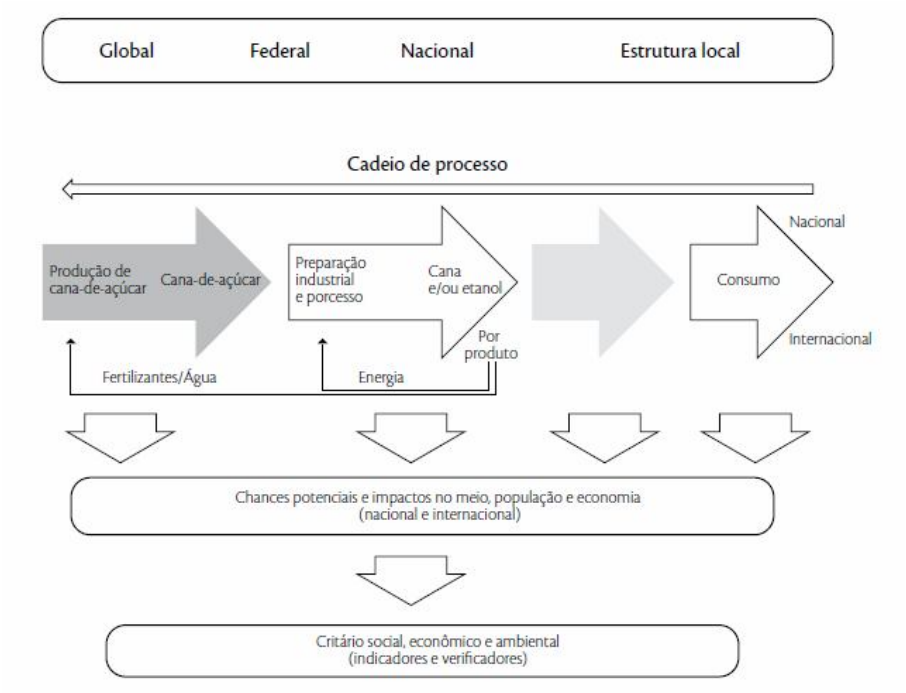


Figura 5 - Análise de sustentabilidade da cadeia de produção, distribuição e uso do etanol
Fonte: Delzeit, Holm-Müller, & Bohle, 2007

A atividade canavieira apresenta uma série de impactos positivos e negativos ao ambiente. O quadro 5 relaciona os principais impactos positivos e negativos da produção de cana de açúcar.

| | Positivos | Negativos |
|---|---|---|
| Social | | Saúde da população |
| | | Condições de trabalho |
| | | Trabalho infantil |
| Ambiental | Qualidade do ar atmosférico | Monocultivo |
| | Balanço energético favorável | Desmastamento |
| | | Impactos no solo |
| | | Uso e Contaminação da água |
| | | Queimadas |
| | | Perda de biodiversidade |
| Econômico | Emprego | |
| | Geração de renda | |
| | Contribuição para a economia nacional | |

Quadro 5 – Impactos positivos e negativos do setor canavieiro
Fonte: Autor, 2012

Devido ao crescimento da demanda por energia, e à diminuição da participação do petróleo, pesquisas vêm sendo estimuladas sobre fontes renováveis de energia, entre elas os agrocombustíveis. Entre eles, o etanol de cana de açúcar tem sido apontado como uma fonte sustentável de energia.

Conforme analisado, anteriormente, a produção canavieira nacional tem sido impulsionada por fatores tais como crescimento econômico, a introdução dos motores bicombustíveis no mercado interno; pelo aumento dos preços do petróleo, pela necessidade de redução dos GEEs, o que demonstra haver a necessidade avaliar os seus impactos sociais e ambientais. Ao fim desta monografia, foi possível verificar que, devido ao agravamento das questões sociais e ambientais, apesar das contribuições do etanol para a redução de emissão de GEE, ainda existem questões que precisam ser enfrentadas por este setor para que ele possa contribuir de forma significativa para a construção de um modelo de desenvolvimento mais sustentável.

- Fatores sociais

Em relação à sustentabilidade social os aspectos com maior impacto são a utilização de mão de obra escrava, trabalho infantil e as condições de trabalho que os cortadores de cana se submetem na produção de etanol.

Com relação a estes aspectos, a legislação brasileira, do ponto de vista, institucional, apresenta uma estrutura considerada adequada, porém ainda existem muitas falhas referentes

ao monitoramento e controle, em especial no que diz respeito ao trabalho degradante e ao trabalho infantil. Além disso, a preocupação com a sustentabilidade social deveria implicar em uma maior responsabilidade corporativa das empresas, em especial na valorização e reconhecimento dos trabalhadores rurais, uma vez que aumentos em sua remuneração não parecem impactar de forma significativa a competitividade do setor.

O impacto da plantação de cana na estrutura fundiária e na segurança alimentar do país apresenta-se ainda como um desafio a ser superado. Observou-se que a o plantio de cana pode contribuir para a concentração fundiária, em detrimento de outras culturas e modos de produção, fator que pode ser considerado negativo, e que pode comprometer a sustentabilidade das populações e do ambiente. Existem no Brasil problemas histórico-estruturais com relação à concentração de terra e ao papel da agricultura familiar. A solução de tal problema não depende exclusivamente dos produtores de cana, mas à medida que o etanol vem se tornando um produto mais dinâmico internacionalmente, seria desejável que novos investidores no setor buscassem contribuir para a solução de tal problema. Todavia, ainda não existem dados que indique que essa mudança ocorrerá efetivamente no futuro.

Outro aspecto significativo refere-se à poluição atmosférica local, principalmente devido à queima da cana. O estado de São Paulo demonstrou ser possível encontrar soluções para essa questão por meio da mecanização, porém tal exemplo precisa ainda ser expandido para outras regiões do país.

- Fatores ambientais

O uso e contaminação de água foram as primeiras questões ambientais avaliadas neste estudo. Nas atividades rurais, o uso moderado da vinhaça em processos de ferti-irrigação é considerado uma boa prática nas plantações de cana do ponto de vista ambiental e produtivo, pois permite reciclagem dos resíduos industriais, aumento da fertilidade do solo, redução da captação de água para irrigação, redução do uso de fertilizantes químicos e custos relativos. Considerando os processos industriais, existem ainda muitas oportunidades para aumento de eficiência e reutilização de águas residuárias, principalmente em atividades que envolvam trocas de calor.

As dificuldades associadas à perda de biodiversidade são bastante semelhantes àquelas mencionadas à expansão da monocultura e competição com a produção familiar. Uma possível estratégia para minorar tais impactos está relacionada ao aumento de produtividade, embora esta deva se basear mais em novas práticas agrícolas do que na intensificação do uso

de fertilizantes químicos e agrotóxicos Nesta linha, estratégias tais como rochagem[7] e controle biológico de pragas podem ter contribuições importantes para o aumento da produtividade, sem criar os mesmos problemas do uso da agroquímica, tais como contaminação do solo e dos corpos d'água.

A contribuição do etanol para a redução de emissões de GEE talvez seja sua principal contribuição do ponto de vista ambiental. Apesar da queima da cana emitir grande quantidade de gás carbônico, um aspecto positivo desta cultura é seu caráter renovável, uma vez que parte desse carbono é reabsorvida pela plantação no ano seguinte, resultando em uma baixa emissão líquida de $CO_2$, mesmo quando comparados com outros agrocombustíveis. Além disso, as usinas geram a sua própria energia com a utilização do bagaço, o que pode levar a uma economia energética. Esta contribuição líquida, porém, só é garantida quando a cana é plantada em áreas já antropizadas. No caso de substituição de mata nativa por plantação de cana, ainda existem variáveis que precisam ser avaliadas para garantir um saldo positivo de carbono.

- Aspectos econômicos

Conforme discutido ao longo do texto, a cana foi introduzida no Brasil em um período onde os resultados econômicos eram os principais indicadores de desempenho. Até meados do século XX, o investimento na produção de cana, álcool e açúcar era feito exclusivamente por empreendedores privados e ao longo desse período a maior parte das adaptações e desenvolvimentos de tecnologia buscavam aumentar a lucratividade dos proprietários. Na década de 1970, houve grande investimento estatal da produção de cana, também buscando solucionar questões econômicas, embora a partir de uma perspectiva macroeconômica.

Dado esse cenário, os fatores econômicos têm sido os principais indutores da produção de cana e etanol, sendo os resultados dentro dessa dimensão normalmente bastante positivos. Na análise apresentada neste trabalho, estes ganhos foram considerados em dois níveis no local e no nacional. Do ponto de vista local, foi possível identificar a importância da produção de cana do ponto de vista de geração de emprego local, seja no contexto direto ou indireto. Considerando o nível nacional, a expansão da produção de etanol desencadeia efeitos

---

[7] Rochagem é a prática agrícola de incorporação de rochas e/ou minerais ao solo. Com a adição de pó de rocha ao solo, a água fará com que haja uma decomposição lenta do material pétreo, liberando assim os elementos químicos de forma gradual. (LEONARDOS *et. al*., 1976).

indiretos em diversos setores da economia, gera um novo ciclo de consumo na economia doméstica, gerando empregos e renda, com efeitos significativos no PIB brasileiro. Ainda sob esse enfoque, existe ainda a questão de inserção internacional do Brasil; se por um lado os agrocombustíveis são uma alternativa para a redução de emissão de GEE e diversificação da matriz energética dos países centrais; por outro eles podem representar desenvolvimento rural e criação de empregos para países como o Brasil.

Como reflexão final, esta pesquisa buscou demonstrar quão complexa e multidimensional é a questão da sustentabilidade. O estudo permitiu vislumbrar que este conceito não deve ser apropriado de forma simplista, nem tratado apenas como mais rótulo de marketing. A avaliação realizada sugere que, dificilmente, alguma atividade econômica poderá se declarar "sustentável". Uma estratégia mais adequada parece ser a adoção do conceito na construção de modelos de avaliação, que permitam observar uma atividade em seus múltiplos aspectos e identificar seus pontos críticos. Acredita-se que uma utilização desta natureza possa contribuir de forma mais coerente para a redução dos problemas ambientais e sociais causados pelas diversas ações humanas, e para a melhoria das condições ambientais e da qualidade de vida das pessoas.

Já existem selos de boas práticas ambientais. A certificação Rainforest Alliance que existe desde 2009, conhecida no mercado mundial, possui uma gama de critérios específicos para a indústria de cana de açúcar. O Instituto Nacional de Meteorologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) tem o objetivo de atestar que o etanol brasileiro atenda a requisitos de sustentabilidade (sociais, ambientais e econômicos).

Apesar de tais reflexões, há que se conceber que muito existe, ainda, para ser estudado sobre tais temáticas, sendo necessário que mais pesquisas sejam realizadas. Contudo, espera-se ter contribuído na elaboração de um arcabouço teórico que possa contribuir para debates futuros.

**REFERÊNCIAS**

ABEPRO – Associação Brasileira de Engenharia de Produção. **Engenharia de Produção:Grande área e diretrizes curriculares.** Disponível em:< http://www.abepro.org.br/arquivos/websites/1/Ref_curriculares_ABEPRO.pdf>. Acesso em: 17 jan 2012.

ALENCAR, E., **Introdução à Metodologia de Pesquisa Social,** Lavras,UFLA, 1999.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em: 05 out. 2011.

ARBEX, M. A., **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima de açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara SP**, São Paulo: Tese apresentada a Faculdade de Medicina da USP, 2001.

BILLING, Osvaldo Alencar, CAMILATO, Sérgio Paulo, **Sistema de Gestão Intergrada de Qualidade, Segurança, Meio ambiente e Saúde**, São Leopoldo: PPG – Engenharia de Produção e Sistemas, UNISINOS, 2008.

BIODIESELBR, **História e Biodiesel**, 2010, Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/>. Acesso em: 01 dez. 2011.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento econômico e social, **O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado**, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em:< http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2102.pdf>. Acesso em: 05 ma 2011.

BNDES, CGEE, FAO & CEPAL, **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**, Rio de Janeiro, 2008.Disponível em:< http://www.bioetanoldecana.org/pt/download/bioetanol.pdf>. Acesso em: 10 jun 2011.

BRADLEY, Rob, PERSHING, Jonathan, SCHIPPER, Lee, BAUMERT, Kevin A., DUBASH, Navroz K., MOREIRA, Jose Roberto, MWAKASONDA, Stanford, NG, Wei-Shiuen, NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta, PARENTE, Virginia, WINKLER, Harald, **Biofuels for transport, development, and climate change: lessons from Brazil**. In: Bradley R, Baumers KA, editors. Growing in the greenhouse protecting the climate by putting development first. Washington, DC, USA: World Resources Institute, p. 25–47, 2005.

BUARQUE, S. C. **Metodologia de planejamento do desenvolvimento local e municipal sustentável. Material para orientação técnica e treinamento de multiplicadores e técnicos em planejamento local e municipal**, Brasília, 1999. Disponível em:< http://www.iica.org.br/Docs/Publicacoes/PublicacoesIICA/SergioBuarque.pdf>. Acesso em: 15 dez 2011.

CÂMARA, G.M., OLIVEIRA, E. A. , **Produção da cultura da cana de açúcar**, Piracicaba: ESALQ, USP, 1993.

CAMARGO, Ana Luiza de Brasil, **Desenvolvimento sustentável – Dimensões e desafios**, Campinas: Editora Papirus, 2003.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, **Estudo de Sustentabilidade da Produção de Etanol de Cana-de-açúcar – Fase II. Relatório Técnico Final**, Brasília, 2010. Disponível em:< http://www.cgee.org.br/arquivos/relcontrato2010.pdf>. Acesso em 05 mar 2011.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento, **Cana de Açúcar Primeiro Levantamento Safra 2006–2007**, 2007, Disponível em: < http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/1_levantamento0708_mai2007.pdf >. Acesso em 10 dez. 2011.

CORRÊA, Henrique L., CORRÊA, Carlos A., **Administração de Produção e Operações – Manufatura e Serviços: Uma Abordagem Estratégica**, Rio de Janeiro: Editora Atlas, 2006.

COULHO, ST, GOLDEMBERG, J, LUCON, O, GUARDABASSI, P, **Brazilian sugar cane: lessons learned**. São Paulo, 2005. Disponível em:< http://www.bioenergytrade.org/downloads/coelhonovdec05.pdf>. Acesso em: 10 jun 2011.

CSILLAG, C, ZORZETTO R., **Turning point: environmental health in Brazil. Environmental Health Perspectives**, 2000. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1240173/pdf/ehp0108-a00504.pdf>. Acesso em: 12 out. 2011.

CTC – Centro de Tecnologia Canavieira, Disponível em: <http://www.ctcanavieira.com.br/>. Acesso em: 13 out. 2011.

CUNHA, Sandra Batista, GUERRA, Antônio José Teixeira, **A questão ambiental – diferentes abordagens**, Rio de Janeiro: Editora Bertrand, 2009.

DE MARIA, I.C.; DECHEN, S. **Perdas por Erosão do Solo em Cana-de-Açúcar** . STAB—Açúcar, Álcool e Subprodutos. p 17:20–1, 1998.

DELZEIT, R., BOHLE, H.-G. and HOLM-MÜLLER, K. Towards a certification of biomass: Feasibility of a certifications scheme of sustainability standards for trade and production of bioethanol in Brazil, 2007. Disponível em :< http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/57032/2/dispap07_01.pdf>. Acesso em: 19 dez 2011.

ELIA NETO, André, **Tratamento de Efluentes na Agroindústria Sucroalcooleira**, RT 762-95/96, CTC, 1995.

ELKINGTON, J., **The Triple Bottom line. Sustainability's Accountants**. In: ELKINGTON, J., Cannibals with Forks. The Triple line of 21st century business. New Society Publishers, Gabriola Island, Canadá, pp 69-96, 1998.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, **Rotação e Reforma,** Brasília, 1999. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_75_22122006154841.html>, Acesso em: 14 abr. 2011.

ESMAP – Energy Sector Management Assistance Program, **Potential for biofuels for transport in developing countries**. Washington, DC, USA, Energy and Water Department, World Bank; 2005.

FAO, **World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective: United Nations Food Agricultural Organisation**. Londres: Earthscan Publications Ltd.; 2003.

FERREIRA, H.S.; LEITE, J. R. M. **Biocombustíveis fonte de energia sustentável? Considerações jurídicas, técnicas e éticas**, São Paulo: Editora Saraiva, 2010.

FILHO, João Martines, BURNQUIST, Heloisa, VIAN, Carlos E.F., **Bioenergy and the rise of sugarcane-based ethanol in Brazil**, 2006. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/artigo_heloisa.pdf>. Acesso em 12 nov.2011.

FISCHER, G.; SCHRATTENHOLZER, L. **Global bioenergy potencials through 2050. Biomass & Bioenergy**, *Pergamon*, v.20, n.3, p. 151-159, mar., 2001.

FREIRE WJ, **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Série Engenharia Agrícola, vol. 1.,2000.

FREITAS, C.E., Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – **Embrapa, Qualidade da matéria prima**. Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_138_22122006154842.html>, Acesso em: 20 mai. 2011.

FUNDAÇÃO ABRINQ. Disponível em: < http://www.fundabrinq.org.br/portal/default.aspx>. Aceeso em 10 nov. 2011.

GHASSAN, T. A.; MOHAMAD I. AL-WIDYAN, B.; ALI O, A. **Combustion performance and emissions of ethyl ester of a waste vegetable oil in a water-cooled furnace**. Appl. Thermal Eng., v.23, p.285-293, 2003.

GLOEDEN, E., **Monitoramento da qualidade das águas das zonas não saturadas em área de fertilização de vinhaça**. São Paulo: Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo, 1994.

GOLDEMBERG, J., LUCCON, O**., Energia e meio ambiente no Brasil**. Revista. ESTUDOS AVANÇADOS, A. 21, N. 59, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a02v2159.pdf. Acesso em: 11 out. 2011.

GTZ – Deutsche Gesellschaft für International Zusammenarbeit, **Environmental Handbook, Vol. II – Agriculture, Miningenergy, Trade-Industry**. Eschborn, Germany, 1995. Disponível em: <http://collections.infocollections.org>. Acesso em: 24 set. 2011.

GUILHOTO, J. J. M./A. L. M. de BARROS/M. C. MARJOTTA-MAISTRO/ M. ISTAKE ,**O Impacto da Colheita da Cana-de Açucar sobre a Geração de Emprego nos setores Produtores de Cana-de-Açucar, Álcool e Áçucar e nas Suas Macroregiones**. (Versão Preliminar). Piracicaba: ESALQ/CEPEA, Universidade de São Paulo, 2002.

HAMDOUCH, ABDELILLAH & ZUINDEAU, **Sustainable development, 20 years on: methodological innovations, practices and open issues**, *Journal of Environmental Planning and Management*, Editora: Bertrand, pp. 427- 438, 2010.

HASSUDA, S. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aquífero de Bauru.** (s.l.): Boletim IG-USP: Publicação Especial, v. 9, p. 169-171, 1991.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 nov. 2011.

IEA - INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – **Colheita de cana desemprega 2.700 pessoas a cada um por cento de área mecanizada,** 2009. Disponível em:< http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=9076>. Acesso em: 10 dez 2011.

IEA – Instituto de Economia Agrícola, **Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas de São Paulo,** Brasil, 2006.

IEA – International Energy Agency, **World Energy Outlook**, 2010. Disponível em: < http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010/WEO2010_ES_English.pdf >. Acesso em 07 out. 2011.

IEL – Instituto Euvaldo Lodi, **O Novo Ciclo da Cana: Estudo sobre a Competitividade do Sistema Agroindustrial da Cana-de-Açúcar e Prospecção de Novos Investimentos,** IEL/NC/SEBRAE, 2006. Disponível em: <www.iel.cni.org.br>. Acesso em: 08 jul. 2011.

ILO – International Labour Organization**, Database of international labour conventions,** 2006, Disponível em: http:<//www.ilo.org/ilolex/english/convdisp1.htmS>. Acesso em 14 dez. 2011.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acesso em 14 abr. 2011.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, **Sustentabilidade ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**, Brasília: FGV Editora, 2010.

LARA, L. B. L. S., ARTAXO, P, MARTINELLI, L.A., VICTORIA, R.L., CAMARGO P.B., KRUSCHE A., AYRES, G.P., FERRAZ, E.S.B., BALLESTER, M.V., **Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba River Basin, Southeast Brazil**. Atmospheric Environment 2001. Disponível em: <http://www.mendeley.com/research/chemical-composition-rainwater-anthropogenic-influences-piracicaba-river-basin-southeast-brazil/>. Acesso em: 10 jul. 2011.

LEFF, Enrique, **Ecologia, Capital e Cultura**. Rio de Janeiro: Editora Vozes, 2009.

LEONARDOS, O H. KRONBERG, B. I. & FYFE, W.S. **Rochagem: método de aumento de fertilidade em solos lixiviados e arenosos**. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 19. ,1976, Ouro Preto. Anais...Ouro Preto: SBG, 1976, v. 1, p. 137-145.

LUDOVICE MTF, **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre lençol freático.** Campinas: Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 1997.

MACEDO, I. C., LEAL M. R. L. V., SILVA J. E.: **Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil**; Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo; 2004.

MACEDO, Isaias, **Situação atual e Pespectivas do Etanol**, UNICAMP, Campinas, 2007. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a11v2159.pdf>. Acesso em 10 nov. 2011.

MACHADO**,** Fúlvio de Barros Pinheiro**, Brasil, a doce terra – História do setor**, 2003. Disponível em: <http://www.jornalcana.com.br/Conteudo/HistoriadoSetor.asp>, Acesso em 29 mai. 2011.

MAIMON, Dalia, **Passaporte Verde: Gerência Ambiental e Competitividade**, Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 1996.

MARX, Karl. O capital. Coleção Os economistas. São Paulo: Nova Cultural, 1988.

MATIOLI, C.S., **Irrigação suplementar de cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo**, ESALQ, Piracicaba, 1998. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662002000100001&script=sci_arttext>. Acesso em 05 dez. 2011.

MENDONÇA, Maria Luíza, **The WTO and the destructive effects of the sugarcane industry in Brazil**. Land Research Action Network, 2006.

MILANEZ, Bruno, **Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, São Carlos:** Dissertação Universidade Federal de São Carlos, 2002.

MILANI, Carlos R. S., **Political Ecology, Environmental Movements and Transnational Contention in Latin America**, Revista de Gestão Social e Ambiental V.3, Nº.2, pp. 141-159, 2009.

MIRANDA, José Roberto, MIRANDA, Evaristo Eduardo, **Biodiversidade e Sistemas de Produção Orgânica: Recomendações no Caso da Cana-de-Açúcar,** Campinas, 2004.

NETAFIM, **Clima favorável à produção de cana de açúcar**, Disponível em: http://www.NETAFIMcrops.com/p/climate/, Acesso em: 25 mai 2011.

NIPE – Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Estratégico. Disponível em: http://www.unicamp.br/nipe/. Acesso em: 01 dez. 2011.

ONUBr - Nações Unidas no Brasil. Disponível em: < http://www.onu-brasil.org.br/>. Acesso em: 30 dez. 2011.

PASTORAL DO MIGRANTE, Disponível em: <http://www.pastoraldomigrante.org.br/>. Acesso em: 10 nov. 2011.

POTAL DO GOVERNO DE SÃO PAULO. Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/resultado.asp>. Acesso em: 11 nov. 2011.

QUARTAROLI,C.F.; CRISCUOLO,C.; GUIMARÃES,M.; HOTt,M.C.; MIRANDA,E.E., **Análise da dinâmica espacial da cana-de-açúcar na região nordeste do estado de São Paulo (1988 e 2003)**, Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005.

RAMOS, L.P. et al. **Biodiesel: Um Projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil.** Revista biotecnologia & desenvolvimento, São Paulo**,** v. 31, jul./dez., 2003.

RODRIGUES, D., ORTIZ, L., **Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana de açúcar no Brasil,** 2006. Disponível em: http://www.vitaecivilis.org.br/anexos/etanol_sustentabilidade.pdf, Acesso em: 25 nov. 2011.

ROSSETTO, Raffaella, **A cana-de-Açúcar e a Questão Ambiental,** In: MIRANDA, L.L.D, VASCONCELOS, A.C.M., LANDELL, M.G.A., Cana-de-Açúcar, Campinas, 2010.

SACHS, I. **Desarrollo sustentable, bio-industrialización descentralizada y nuevas configuraciones rural-urbanas. Los casos de India y Brasil**. Pensamiento Iberoamericano 46, 1990.

SACHS, I., **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável**, Rio de Janeiro: Editora Garamond, 2002.

SCARAMUCCI, JA, CUNHA, MP, **Bioethanol as basis for regional development in Brazil: an input–output model with mixed technologies**, European Regional Science Association Conference 2006, 2006.

SCHWARTZMAN, S, SCHWARTZMAN, F**. O trabalho infantil no Brasil. Jornal do Brasil**, 2004.

SEGATO, S.V., PINTO, A. S., JENDIROBA, E., NÓBREGA, J. C. M. (organizadores), **Atualização em produção de cana de açúcar**, Piracicaba: Editora LivroCeres, 2006.

SIMMONS, CS, **Territorializing land conflict: space, place, and contentious politics in the Brazilian Amazon**. Journal GeoJournal, 2005.

SINGH, Kumar Rajesh, MURTY, H. R. & DIKSHIT, A. K., **"Development of composite sustainability performance index for steel industry"**, Ecological Indicators, Elsevier, pp. 565-588, 2007.

SMEETS, Edward, JUNGIGER, Matin, FAAIJ, WALTER, Arnaldo, DOLZANB, Paulo, TURKENBURG, Win, **The sustainability of Brazilian ethanol—An assessment of the possibilities of certified production,** 2008.

SOUZA, Rafael Pereira de (coord.) - LEXNET, **Aquecimento Global e créditos de carbono**, São Paulo: Quartier Latin, 2007.

SZMRECSÁNYI, Tamás, **O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil (1930-1975)**, Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1979.

UNICA – União da Indústria de Cana de Açúcar , Disponível em: <http://www.unica.com.br/>. Acesso em: 12 out. 2011.

USDS. – United States Department of State, **Country reports on human rights practices—Brazil**. Washington, DC, USA, 2006.

USTULIN EJ, Severo JR., **Cana de Açúcar: Proteger o ambiente e continuar gerando empregos. Confederacão da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA)**; 2001 Disponível em: <http:// www.cna.org.br/Gleba99N/Set01/cana01.htmS>. Acesso em: 25 dez.2011.

VIEIRA, V. A. **As Tipologias, Variações e Características da Pesquisa de Marketing.** Rev. FAE, Curitiba, v.5, n.1, p.63-70, jan./abr., 2002.

VITTI, Godofredo César, **Nutrição e Adubação da cana de açúcar,** Piracicaba: ESALQ, USP, 2005.

WB – The World Bank, **Pollution prevention and abatement handboo*k***, Washington, DC, 1998. Disponível em: <http://www-wds.worldbank.org>. Acesso em: 10 set. 2011.

WEED SCIENCE. **International survey of herbicide resistant weeds,** 2006. Disponível em: <http://www.weedscience.org/In.asp>. Acesso em: 10 dez. 2011.

WWF Brasil – Programa de Agricultura e Meio Ambiente, **Análise da expansão do complexo agroindustrial canavieiro no Brasil**, 2008. Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/saibaMais/artigos/impactosAmbientais/rel_cana_wwf.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2011.

ANEXO A - TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

**Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria**

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto a Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção e original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de copia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio visual ou qualquer outro meio. Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que e considerado plagio, não apenas a copia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte. Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da pratica de plagio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], alem das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 17 de Janeiro de 2012.

JULIA RIBEIRO XAVIER MATRÍCULA: 200549048

_____ CPF: 083.081.306-31

ASSINATURA

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e da outras providencias.

[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.