



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**

**FEIS – FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE LOGÍSTICA E AMBIENTAL NO SISTEMA DE CORTE,
CARREGAMENTO E TRANSPORTE DA CANA-DE-AÇÚCAR**

DANIEL ARAUJO GONÇALVES

Ilha Solteira

Junho de 2012



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**FEIS – FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE LOGÍSTICA E AMBIENTAL NO SISTEMA DE CORTE,
CARREGAMENTO E TRANSPORTE DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Daniel Araujo Gonçalves

Orientadora: Dra. Luzenira Alves Brasileiro

Co-Orientado: Jairo Salim Pinheiro de Lima

Dissertação apresentada à FEIS – UNESP,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Engenharia Civil –
Área de conhecimento: Recursos Hídricos
e Tecnologias Ambientais.

Ilha Solteira

Junho de 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação

G635a Gonçalves, Daniel Araujo.
Análise logística e ambiental no sistema de corte, carregamento e transporte da cana-de-açúcar / Daniel Araujo Gonçalves. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2012
67 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2012

Orientador: Luzenira Alves Brasileiro
Co-orientador: Jairo Salim Pinheiro de Lima
Inclui bibliografia

1. Agroindústria sucroalcooleira. 2. Emissões de Co2. 3. Transporte de cana de açúcar.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Análise logística e ambiental no sistema de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar

AUTOR: DANIEL ARAUJO GONÇALVES

ORIENTADORA: Profa. Dra. LUZENIRA ALVES BRASILEIRO

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. JAIRO SALIM PINHEIRO DE LIMA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área: RECURSOS HIDRICOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. LUZENIRA ALVES BRASILEIRO
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. DIB GEBARA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MAX WENDELL DE PAULA LIMA
Fundação Educacional de Ituiutaba / Universidade do Estado de Minas Gerais

Data da realização: 06 de junho de 2012.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha Mãe, Terezinha, ao meu Pai Edmar, ao meu Irmão Rafael e à minha namorada Débora pelo amor, carinho, paciência e incentivos prestados nos momentos mais difíceis.

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”

Albert Einstein

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que colaboraram de forma direta ou indireta para a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais Edmar Gonçalves e Terezinha da Silva Araujo Gonçalves, por terem me apoiado sempre em toda a minha vida, não medindo esforços para que eu pudesse estar concluindo minha formação acadêmica, e sendo meus exemplos pra nunca desistir de lutar e conquistar meus objetivos.

Agradeço à UNESP e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela oportunidade de formação qualificada e a possibilidade de obter o título de mestre.

A minha Orientadora Luzenira Alves Brasileiro por estar sempre disponível para a orientação de minhas dúvidas durante esta dissertação.

A meu Co-Orientadora Jairo Salim pela grande contribuição de sugestões dadas para elaboração desta dissertação.

Aos Profs. Drs. Tsunao Matsumoto, Maurício A. Leite, José Augusto de Lollo, Sérgio Luiz de Carvalho e Jefferson Nascimento de Oliveira pelo apoio e incentivo recebido durante as disciplinas cursadas no meu mestrado.

A meu cunhado Marcio Rodrigues de Lima e amigo Ricardo Luis de Sousa que me ajudaram na elaboração de minha dissertação.

A meus avôs Francisco Gonçalves dos Santos Sobrinho e Helena Martins Gonçalves (paternos) Eduardo Francisco Gonçalves (in memória) e Joana D`arque Gonçalves (maternos) por terem criado com todo respeito e me ajudaram na minha formação.

A meu irmão Rafael Gonçalves, e meus primos, tios e conjugues Adriana Gonçalves; Ana Laura Rodrigues Gonçalves; Célia Martins Gusmão (in memória); Cláudio Gusmão; Cleílton; Edilaine Gonçalves; Edna Gonçalves dos Santos Ribeiro; Eduardo

Francisco Gonçalves Junior; Elaine Gonçalves doa Santos Toscano; Fernanda Castilhano; Gabriel Gonçalves (in memória); Gilmar Gusmão; Henrique Castilhano; Iara Gonçalves; José Aparecido Toscano; José Eduardo Gonçalves Cavalcante; Jucelena Gonçalves; Lázaro Gusmão; Leila Maria Gonçalves; Liliam Gusmão; Lucas Gonçalves; Lúcia Gusmão; Marco Túlio Gonçalves dos Santos; Maria de Lara Gonçalves; Maria Eduarda Gonçalves; Mariela Gusmão; Mario Sérgio Gonçalves dos Santos; Mauro Augusto Gonçalves dos Santos; Mauro Ribeiro; Max Whendell; Nilton Ladislal Araujo; Patrícia Gonçalves; Rafael Araujo Gonçalves; Ricardo Gusmão; Silvia Gusmão; Tânia Mara Araújo Rodrigues; Taís; Wlader Rodrigues.

Aos meus amigos do Departamento de Engenharia Civil, assim como meus amigos do Departamento de Física e Química, Salmo, João, Michael, Cícero, Elton, Santim, Glauco, Paulo Rebeque, Gilberto, Adilson, Junior Sumai, Wilson e todos os demais.

A toda família de minha namorada que me receberam muito bem durante o período de estive cursando meu mestrado, Sra. Nadicir, Sr. Benedito, Fernando, Gabriel e Luiz Otávio.

E um agradecimento especial a Débora Silva Lima que me apoiou nos momentos mais difíceis, sempre me motivando e agüentando minhas crises de nervosismos, sempre com um sorriso no rosto.

ANÁLISE LOGÍSTICA E AMBIENTAL NO SISTEMA DE CORTE, CARREGAMENTO E TRANSPORTE DA CANA-DE-AÇÚCAR.

RESUMO

Atualmente, as usinas de produção de açúcar e etanol das regiões sudeste e centroeste têm iniciado investimentos em novas tecnologias, aplicadas às unidades industriais, atividades de Corte, Carregamento e Transporte (CCT) da cana-de-açúcar. O presente trabalho busca quantificar as emissões geradas pelo sistema CCT e comparar com emissões geradas por sistema de colheita 100% manual.

O estudo foi realizado no município de Pereira Barreto-SP com dados da safra 2010/2011. O método consiste basicamente de duas equações: a primeira leva em conta o consumo energético de certa atividade da fonte móvel. A segunda equação considera a quantidade em massa de poluente emitido por tonelada de cana transportada, utilizando o método “top-down” recomendado pelo Ministério das Minas e Energia - MME em 1999 no Balanço Energético Nacional – BEN.

A emissão total de CO₂ foi de 150.409,6 t na safra de 2010, considerando procedimentos híbridos com 92% do corte mecânico e 8% do corte manual. Empregando-se técnicas tradicionais, considerando toda a produção feita pelo corte manual as emissões seriam de CO₂ 143.986,1 t, e somando com emissões geradas pela queima da palha, daria um total de 173.430,92 t CO₂. Isto demonstra a eficiência tanto logística como ambiental no uso do corte mecânico.

Palavra-chave: Agroindústria sucroalcooleira. Emissões de CO₂. Transporte de cana de açúcar.

LOGISTICS AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF THE COURT SYSTEM, CHARGING AND TRANSPORT OF CANE SUGAR

ABSTRACT

Currently, the plants produce sugar and ethanol in the region have started investing in new technologies, applied industrial units, activities Cutting, Loading and Transport (CCT) of cane sugar. This study seeks to quantify the emissions generated by the system and compare with CCT emissions from harvesting system 100% manual.

The study was conducted in Pereira Barreto-SP with data from the 2010/2011 harvest. The method consists basically of two equations: the first takes into account the energy consumption in a mobile source activity. The second equation considers the amount by mass of pollutant emitted per ton of cane transported using the method "top-down" recommended by the Ministry of Mines and Energy - MME in 1999 the National Energy Balance - BEN.

The total emission t. CO₂ was 150,409.6 t. In the season 2010 using a mix of 92% of mechanical cutting and 8% of manual cutting, it was like before and all production was done by manual cutting this would give a total of 143,986.1 t. CO₂. and most emissions generated by burning the straw would give a total of 173,430.92 t.CO₂. This shows both the efficiency and environmental logistics in the use of mechanical cutting.

Keyword: Sugarcane Agroindustry. CO₂ Emissions. Transport of Sugar Cane.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Influência do CO ₂ para aumento do efeito estufa.	17
Figura 2 - Representação do protocolo selo verde (2011).	21
Figura 3 - Eliminação da queima da cana no Estado de São Paulo	22
Figura 4 - Evolução da área plantada de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.	23
Figura 5 - Zoneamento Agroambiental no Estado de São Paulo	25
Figura 6 - Esquema logístico destacando a área de estudo.	29
Figura 7 - Corte de cana-de-açúcar manual.	31
Figura 8 - Colheita mecanizada.....	31
Figura 9 - Carregamento a partir do corte manual	33
Figura 10 - Carregamento em corte mecanizado.....	34
Figura 11 - Etapa de carregamento de caminhões.....	35
Figura 12 - Representa a etapa de engate de caminhão ao vagão.	36
Figura 13 - Representa a etapa de engate de caminhão ao vagão.	37
Figura 14 - Representa a etapa de engate de caminhão ao vagão.	37
Figura 15 - Caminhão de Transporte de cana de açúcar.	38
Figura 16 - Produção de cana de açúcar da unidade em estudo	53
Figura 17 - Produção total processada pelos métodos manual e mecânico	54
Figura 18 - Produção diária processada pelos métodos manual e mecânico	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores médios dos fretes por modo de transporte 40

Quadro 2 - Consumo de diesel por tonelada de cana transportada..... 41

Quadro 3 - Consumo de combustível no sistema CCT 53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frota necessária para cada tipo de corte utilizado no sistema CCT55

Tabela 2 - Consumo de combustível para o sistema manual56

Tabela 3 - Consumo de combustível para o sistema mecânico.....56

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	15
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	17
1.3	OBJETIVO.....	19
1.4	JUSTIFICATIVA.....	20
2.	CENÁRIO SUCROALCOOLEIRO.....	23
2.1	ZONEAMENTO AGROAMBIENTAL PAULISTA	24
2.2	PROTOCOLO AMBIENTAL	26
2.3	O MERCADO DE MÁQUINAS AGRICOLAS NO SETOR SUCROENERGÉTICO	27
3.	SISTEMA CCT – CORTE, CARREGAMENTO E TRANSPORTE	28
3.1	CORTE	30
3.2	CARREGAMENTO.....	33
3.3	TRANSPORTE	36
4	MATERIAL E MÉTODO	39
4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	39
4.2	PARÂMETROS ECONÔMICOS PARA O TRANSPORTE DE CARGA	40
4.3	DIMENSIONAMENTO E RENDIMENTO ENERGÉTICO DO SISTEMA CCT	41
4.4	MÉTODO TOP-DOWN PARA O CÁLCULO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO SISTEMA CCT	51
4.4.1	Conversão para unidade comum.....	51
4.4.2	Conteúdo de carbono	52
4.4.3	Emissões de CO ₂	52
5.	ANÁLISE LOGÍSTICA.....	53
6.	ANÁLISE AMBIENTAL	58

7.	CONCLUSÃO.....	62
	REFERÊNCIAS.....	63

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Um sistema logístico eficiente permite uma região explorar e especificar seus esforços produtivos naquele produto em que tem vantagem e também, obter ganhos através das exportações (DEMARIA, 2004). No caso, em específico do setor sucroenergético, uma logística bem planejada, visando o suprimento da indústria, promove maior rendimento líquido, uma vez que reduz-se custos no CCT e perdas no quantitativo e na qualidade de açúcar disponível na matéria prima.

Atualmente, as usinas de produção de açúcar e etanol da Região Sudeste do Brasil investem em novas tecnologias, implantando unidades industriais, desenvolvendo atividades de Corte, Carregamento e Transporte (CCT) da cana-de-açúcar e realizando o escoamento da produção, afiliando-se a cooperativas e formando parcerias (TABOADA, 2002).

Com a proximidade do fim da colheita manual da cana-de-açúcar, muitas unidades sucroalcooleiras focaram-se em modernizar seus maquinários agrícolas, para uma nova forma de colheita mecânica de cana-de-açúcar. A iniciativa de mudança do sistema de corte manual para o sistema mecânico vem apresentando vantagens por minimizar o impacto ambiental resultante da dispensa da queima da cana.

O aumento da produção de açúcar e álcool faz com que outros setores também aumentem seus lucros (MORAES, 2005). O mercado de caminhões e máquinas agrícolas voltadas ao setor sucroalcooleiro obteve alta vendagem de implementos (ANFAVEA, 2011).

Contudo todos esses processos de crescimento devem ser analisados com equilíbrio pois, tratando-se de um aumento de produção, é evidente que também há aumento no número de caminhões de cana-de-açúcar e caminhões utilizados no escoamento de açúcar e álcool nas rodovias (SCHROEDER et al., 1996). Isto

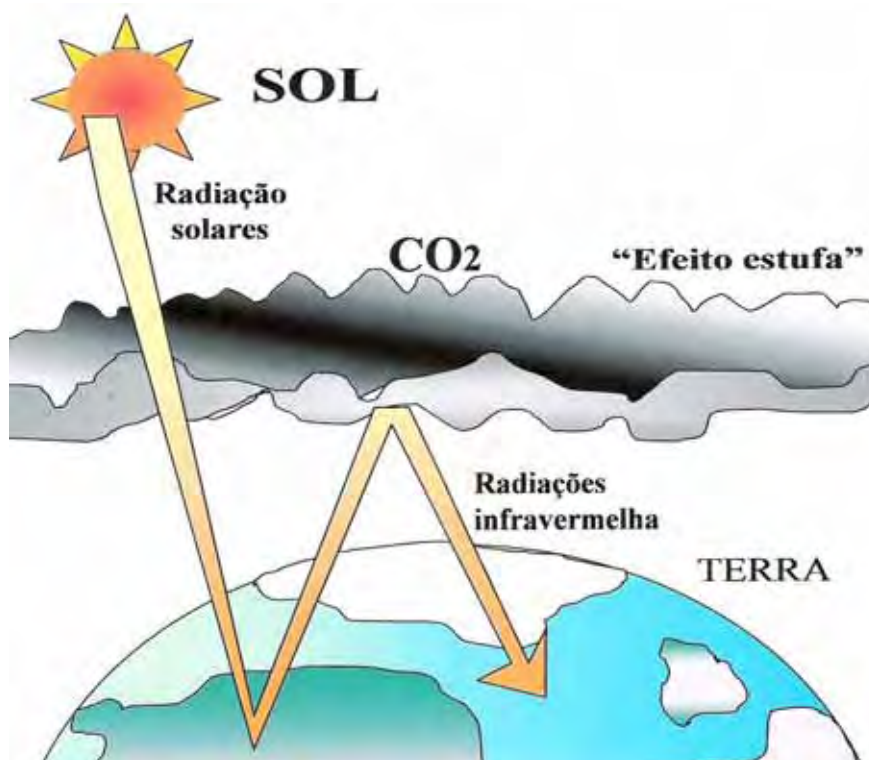
produz um grande aumento nas emissões de gases de efeito estufa, gerado pelo transporte, processamento da cana na usina e, sobretudo, pelo corte e queima da palha e tratos culturais do solo (FIOMARI, 2004).

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A atmosfera é composta por gases e vários deles interferem nas radiações; tanto as emitidas pelo Sol, quanto as irradiadas pela Terra (NOBRE et al., 2002). Alguns gases são liberados diretamente por meio da absorção ou reflexão, tais como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), e o óxido nitroso (N_2O); outros são liberados indiretamente, tais como os hidrofluorcarbonos (HFC's) que destroem o ozônio permitindo a passagem de ondas solares como os raios ultravioletas (PAULA et al., 2010).

A figura 1 representa processo que ocorre quando uma parte da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre é absorvida por determinados gases presentes na atmosfera fazendo com que o calor fique retido, não sendo libertado para fora da atmosfera terrestre é chamada de efeito estufa e atua na manutenção do clima na Terra, provocando temperaturas extremas (CERRI et al., 2009).

Figura 1 - Influência do CO_2 para aumento do efeito estufa.



Fonte: Santos (2012)

A queima da palha da cana-de-açúcar provoca, de uma forma em geral, os seguintes problemas: emissão de material particulado; hidrocarbonetos (HC); e gases do tipo monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (NO) e dióxido de enxofre (SO₂); contribuindo para o aumento do efeito estufa (AZEVEDO et al., 2005). Ainda, de uma forma mais particular, a queima da palha da cana-de-açúcar provoca problemas respiratórios e problemas oculares (CANÇADO, 2003). Esses poluentes não são liberados apenas na queima da palha; mas, também pelo cultivo do solo, pela operação de máquinas agrícolas utilizadas nos serviços do corte da cana-de-açúcar e no carregamento dos caminhões para o transporte (BARTHOLOMEU, 2009).

Dentro da própria unidade sucroalcooleira ocorre a liberação de gases pela queima do bagaço da cana-de-açúcar nas caldeiras para a co-geração de energia e nos processos fermentativos para produção de álcool (ZANIN, 2000). Outra fonte de emissão de gases é o transporte do álcool entre o fornecedor e o cliente (SILVA, 2009).

O ciclo de emissões de gases pelo transporte da cana-de-açúcar deve ser considerado desde o cultivo até a chegada do álcool no cliente (MARQUES et al., 2009). Um constante erro ao fazer o balanço de emissões neste ciclo é a grande dificuldade para coletar dados de forma precisa; pois, geralmente, considera-se como base de cálculo apenas a emissão com a queima da palha e a quantidade de gases absorvida pelos canaviais (CLAROS et al., 2010)

1.3 OBJETIVO

Avaliar os procedimentos de manejo da cana-de-açúcar como matéria prima para a produção industrial, e identificar os mais apropriados considerando-se a eficiência energética e a emissão de gases.

Comparar os sistemas de corte, de carregamento e transporte manual e mecanizado, utilizando ferramentas de planejamento logístico, a partir de informações de campo, obtidos das frentes de trabalho de produção da cana-de-açúcar, atendendo a demanda e oferta da matéria prima para a produção de álcool e açúcar, bem como, a quantificação de parâmetros relacionados à emissão de gases de efeito estufa (GEE) considerando um sistema misto.

1.4 JUSTIFICATIVA

O aquecimento local ou ilhas de calor é um fenômeno climático que ocorre principalmente nas cidades com elevado grau de urbanização. Nestas cidades, a temperatura média costuma ser mais elevada do que nas regiões rurais próximas.

Os fatores que favorecem o aquecimento da temperatura são pouca quantidade de verde (árvores e plantas) e alto índice de poluição atmosférica. A formação e a presença de ilhas de calor no mundo são prejudiciais ao meio ambiente, pois favorecem a intensificação do fenômeno do aquecimento global que é ocasionado pelo desequilíbrio energético no planeta causado pelo efeito estufa (HIRATSHUKA, 2009).

O IPCC (Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas, estabelecido pelas Organização das Nações Unidas e pela Organização Meteorológica Mundial em 1988) no seu relatório mais recente diz que a maior parte deste aquecimento, observado durante os últimos 50 anos, se deve muito provavelmente a um aumento dos gases do efeito estufa.

Cientistas acreditam que o aquecimento global é a principal razão do aumento da frequência e intensidade de todas as catástrofes climáticas (IQBAL; HASEGAWA 2000). Estas progressivas alterações climáticas estão induzindo as pessoas a pensarem sobre a vida do planeta (HIRATSUKA, 2009).

O acordo do Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro assinado em junho de 2007, caracteriza-se por antecipar os prazos de extinção da queima no Estado de São Paulo em 2014 e a Lei Estadual nº 11.241/02 - Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar para evitar problemas ambientais como aquecimento global e o efeito estufa.

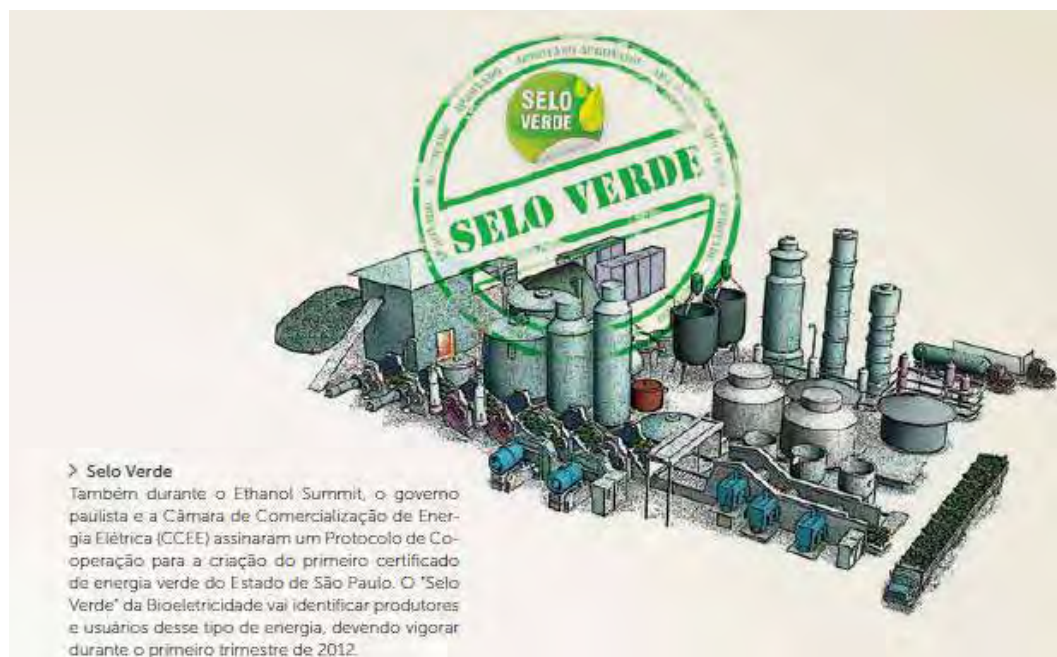
Em fevereiro de 2008, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (do Estado de São Paulo) informou que 141 indústrias de açúcar e álcool já haviam aderido ao Protocolo, recebendo o respectivo “Certificado de Conformidade Agroambiental”.

Estas adesões correspondem a mais de 90% do total de cana produzida e beneficiada em território paulista.

A prorrogação até 26 de junho de 2012 do “Compromisso Nacional para Aperfeiçoar as Condições de Trabalho na Cana-de-Açúcar” foi um passo essencial para a consolidação das melhores práticas trabalhistas em vigor no setor sucroenergético. Até novembro de 2011, 237 usinas haviam aderido oficialmente ao acordo, sendo 109 delas associadas à UNICA. Este número equivale a aproximadamente 45% do volume de produção. Em 2012 todas as empresas do setor deverão receber um selo que atesta o cumprimento dos termos estipulados no compromisso.

A Figura 2 é uma ilustração do Protocolo chamado “Selo Verde,” lançado pelo o Governador Alckmin no Ethanol Summit, que promove e esclarece a importância da bioeletricidade em 2011. Este evento foi um esforço conjunto da ÚNICA, do Governo Paulista e da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que valoriza produtores e usuários de energia elétrica gerada de forma limpa e renovável a partir do bagaço e da palha da cana-de-açúcar (UNICA, 2012).

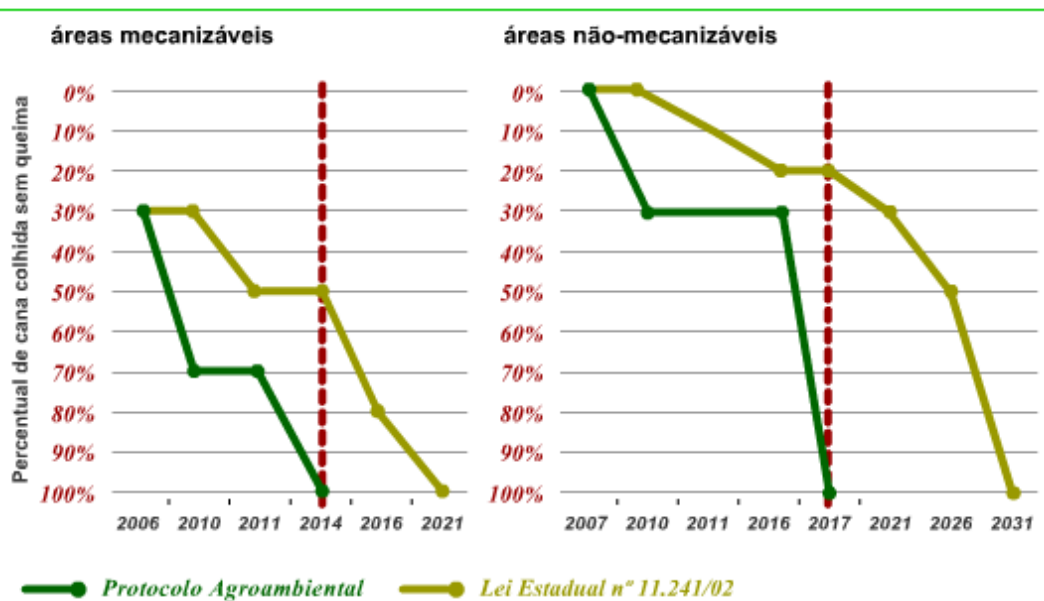
Figura 2 - Representação do protocolo selo verde (2011)



Fonte: Jornal cana (2012)

A Figura 3 mostra a projeção dos prazos legais para o fim da colheita da cana-de-açúcar com o uso prévio do fogo nas áreas cultivadas pelas usinas. Essa prática agrícola, denominada “queima controlada da palha da cana” é necessária para a sua colheita manual, portanto sem o emprego de máquinas. Assim, o setor paulista se comprometeu a antecipar, em até 14 anos, os referidos prazos (UNICA, 2012).

Figura 3 - Eliminação da queima da cana no Estado de São Paulo



Fonte: UNICA (2012)

Assinado em 2007, o Protocolo Agroambiental avançou de forma decisiva com seus diversos objetivos, entre eles a antecipação dos prazos legais para o fim da queima da palha de cana no Estado de São Paulo. O Protocolo estipula que a queima estará encerrada em áreas planas do Estado até 2014, e em áreas com inclinação superior a 12 graus até 2017.

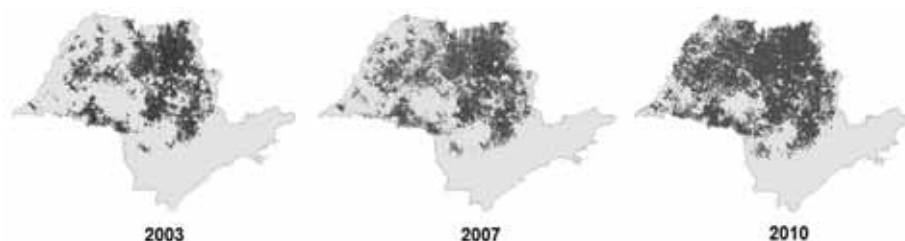
Com base no Protocolo Agroambiental, foram recuperados voluntariamente 14.500 hectares (ha) de matas em São Paulo no ano de 2011, onde a indústria da cana já mecanizou 63% da colheita e a proteção a matas ciliares em áreas controladas pela indústria da cana é a maior entre todos os setores de atividade do Estado, atingindo 260 mil hectares (JORNAL CANA, 2011).

2. CENÁRIO SUCROALCOOLEIRO

Na safra 2009/2010 foram processadas 541,9 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na região centro sul. Deste montante, foram produzidos 26,8 milhões de toneladas de açúcar e 23,73 bilhões de litros de etanol. Dados bastante consideráveis, segundo a COPERSUCAR este fato é resultante da valorização do preço do açúcar no mercado de exportação, o que animou os produtores. Não há registros finalizados da safra 2010/2011, porém estima-se que seja ainda maior, uma vez que além do açúcar, o etanol combustível teve grande valorização (COPERSUCAR, 2011).

A Figura 4 ilustra a evolução da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Em 7 anos é possível observar todo o domínio da cultura no leste paulista. Este aumento se deve à valorização do preço do açúcar no cenário internacional, e à valorização do etanol combustível no mercado interno (PIMENTEL et al., 2007). Outro ponto que favorece o crescimento da cultura de cana-de-açúcar no leste do Estado de São Paulo é a disposição de áreas para o plantio. Na região oeste do estado há dificuldades de expansão das áreas de cultivo pelo adensamento de cidades e o relevo com alta declividade que desfavorece o plantio e colheita (COELHO, 2009).

Figura 4 - Evolução da área plantada de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo



Fonte: Adaptado Canasat (2010)

Segundo pesquisadores da UNICA o Estado de São Paulo está próximo à saturação no que se diz respeito a áreas de cana-de-açúcar. Esta condição conduz as grandes usinas para outros estados como Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul (FIOMARI, 2004).

2.1 ZONEAMENTO AGROAMBIENTAL PAULISTA

Em setembro de 2008 o Governo do Estado de São Paulo, por meio de suas Secretarias de Meio Ambiente e de Agricultura, definiu as diretrizes do Zoneamento Agroambiental Paulista por meio da Resolução Conjunta SMA nº 88, de 19 de dezembro de 1988. De acordo com o mapa do Zoneamento Agroambiental, o Estado de São Paulo foi classificado da seguinte forma com relação às restrições ambientais ao cultivo da cana-de-açúcar:

I - adequada, que corresponde ao território com aptidão edafoclimática favorável para o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar e sem restrições ambientais específicas;

II - adequada com limitações ambientais, que corresponde ao território com aptidão edafoclimática favorável para a cultura da cana-de-açúcar e incidência de Áreas de Proteção Ambiental (APA); áreas de média prioridade para incremento da conectividade, conforme indicação do Projeto BIOTA FAPESP; e as bacias hidrográficas consideradas críticas;

III - adequada com restrições ambientais, que corresponde ao território com aptidão edafoclimática favorável para a cultura da cana-de-açúcar e com incidência de zonas de amortecimento das Unidades de Conservação de Proteção Integral - UCPI; as áreas de alta prioridade para incremento de conectividade indicadas pelo Projeto BIOTA-FAPESP; e áreas de alta vulnerabilidade de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, conforme publicação IG-CETESB-DAEE – 1997, e

IV - inadequada, que corresponde às Unidades de Conservação de Proteção Integral – UCPI, Estaduais e Federais; aos fragmentos classificados como de extrema importância biológica para conservação, indicados pelo projeto BIOTA-FAPESP para a criação de Unidades de Conservação de Proteção Integral - UCPI; às Zonas de Vida Silvestre das Áreas de Proteção Ambiental -APAs; às áreas com restrições edafoclimáticas para a cultura da cana-de-açúcar; e às áreas com declividade superior a 20%.

A Figura 5 ilustra as áreas em potencial para o cultivo de cana-de-açúcar segundo as especificações do Zoneamento Agroambiental no Estado de São Paulo.

Figura 5 - Zoneamento Agroambiental no Estado de São Paulo



Fonte: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Secretaria de Estado de Agricultura e ÚNICA (2012)

2.2 PROTOCOLO AMBIENTAL

O Protocolo Agroambiental estabelece a adoção de procedimentos técnicos pelas unidades produtoras de açúcar e etanol do Brasil, com o intuito de promover a produção sustentável para as empresas do setor sucroenergético do Estado de São Paulo.

Com a adoção desse programa, as companhias passaram por um processo de acompanhamento técnico, liderado pelo Comitê Executivo do Protocolo, composto pelas Secretarias de Agricultura e Meio Ambiente e pela direção da UNICA.

Entre os princípios do documento, destaca-se o compromisso de antecipação dos prazos legais para o fim da colheita da cana-de-açúcar com o uso prévio do fogo nas áreas cultivadas pelas usinas. Anteriormente, prevista para acabar em 2021 a queima da palha da cana nas áreas mecanizáveis será completamente eliminada até 2014. No caso das áreas não mecanizáveis, a antecipação será ainda mais pronunciada: de 2031 para 2017.

Metas diretivas do Protocolo:

- ✓ Redução dos prazos de queima da cana de 2021 para 2014 em áreas mecanizáveis e de 2031 para 2017 em áreas não mecanizáveis;
- ✓ Recuperação e proteção das áreas de matas ciliares e ao redor de nascentes;
- ✓ Planos técnicos visando à conservação do solo e dos recursos hídricos;
- ✓ Plano de gerenciamento de resíduos e de poluentes atmosféricos.

2.3 O MERCADO DE MÁQUINAS AGRICOLAS NO SETOR SUCROENERGÉTICO

O mercado de máquinas agrícolas começou aquecido em 2011. O registro de crescimento em relação ao ano anterior foi de 16,6% (ANFAVEA, 2011). Em 2011 o número total de equipamentos comercializados foi de 4,6 mil. Deste montante os tratores de rodas lideraram as vendas com 3,3 mil unidades por mês, cujo volume de negócios é 7,2% maior que o registrado em igual período de 2010. Ainda de acordo com a ANFAVEA, o segundo tipo de equipamento mais negociado foi à colheitadeira, com 616 unidades, correspondentes 43,6% de incremento sobre a mesma base de comparação.

Segundo Milton Rego, vice-presidente da ANFAVEA, espera-se encerrar 2012 com os mesmos níveis de 2011 porque existe um volume muito bom e adequado de vendas à safra brasileira. Durante o ano espera-se flutuação nos resultados, impulsionados pela seca na Região Sul e forte atividade na Região Centro-Oeste.

Outro fator citado pelo executivo é o aumento de investimento para o setor sucroalcooleiro. Acredita-se que em 2012, será maior os investimentos para aumento da produtividade da cana-de-açúcar, devido à maior demanda por etanol.

As exportações do segmento foram 5,7% maiores em janeiro com relação a idêntico mês de 2011, para 1,3 mil unidades, e na produção houve variação positiva de 23,4%, para 6,5 mil máquinas (AUTOMOTIVE BUSINESS, 2012).

3. SISTEMA CCT – CORTE, CARREGAMENTO E TRANSPORTE

O setor sucroenergético iniciou um processo de evolução nas últimas décadas que garantiu destaque no setor agrícola brasileiro; tanto para produção de açúcar e álcool quanto na co-geração de energia. A indústria de fabricantes contou com a participação de grandes centros de pesquisas na busca por inovações tecnológicas para melhorar a eficiência energética, a produtividade e a eficácia logística adotadas no plantio, no corte, no carregamento e no transporte – CCT da cana-de-açúcar.

Para o setor agrícola sucroalcooleiro o grande ponto de destaque foi a modernização do corte da cana-de-açúcar, que passou a utilizar colhedeiras mecânicas. Vale ressaltar que até meados de 2005 o procedimento predominante era o corte manual.

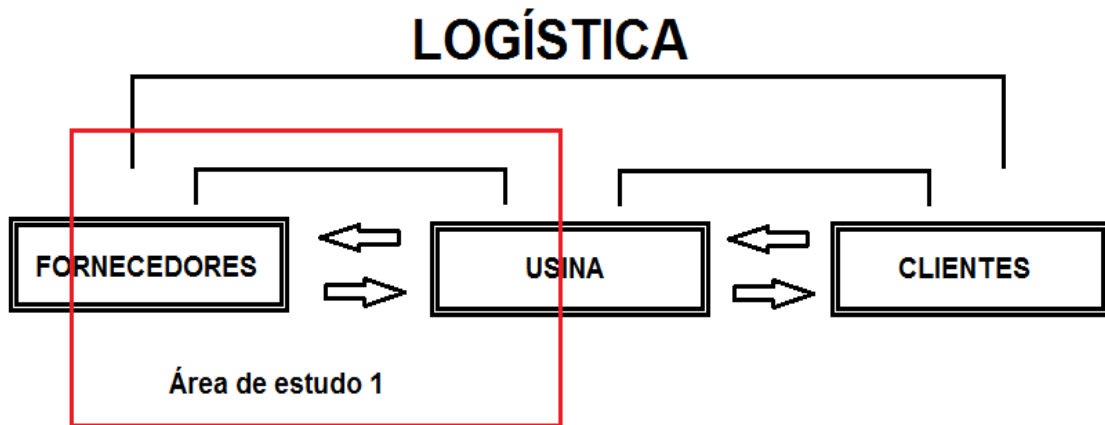
A mudança para as colhedeiras não foi um processos simples. O uso destas máquinas exige a utilização de outras máquinas como trator-transbordo e caminhões adequados para acondicionar a cana em pequenos colmos picados. Isto fez com que a utilização do sistema de corte mecânico ficasse muito mais caro em relação ao sistema de corte manual, que emprega apenas trabalhadores braçais e ferramentas cortantes como trinchas.

A Figura 6 ilustra a área que compreende todo o sistema logístico de uma unidade sucroalcooleira. É importante o sincronismo entre os fornecedores de cana-de-açúcar, operados pela gerência agrícola e usina operada pelo gerente industrial. Dentro destes dois modos de gerenciamento o sistema agrícola é responsável pela alimentação da industrial, tornando a usina dependente da boa agilidade em enviar a quantidade de cana necessária para ser processado, o que nem sempre ocorre de forma sincronizada.

Um das falhas que podem acontecer durante o processamento é a insuficiência na alimentação das moendas – setor de moagem de cana dentro da usina. Este tipo de problema pode ser decorrente de chuvas, demora no carregamento, máquinas em manutenção ou quando é enviado um número elevado

de caminhões fazendo com que a capacidade de moagem máxima da usina fique saturada. O acúmulo de veículos gera filas e aumenta o tempo de espera para descarregamento. As filas e o tempo de espera podem aumentar também por problemas internos em que o volume de moagem precisa ser reduzido.

Figura 6 - Esquema logístico destacando a área em estudo.



Fonte: Balou (1993)

O transporte da cana-de-açúcar deve ser feito o mais rápido possível após a colheita, para evitar o acúmulo de infecções e a inversão da sacarose, que são prejudiciais ao processo industrial (GARCIA, 2008). Este transporte deve ser feito por caminhões bi-trem ou treminhões, em bom estado mecânico para que não retardem a chegada da cana até a indústria (BRAUNBECK et al., 2006).

O carregamento e o transporte da cana-de-açúcar devem ser realizados simultaneamente logo após o corte, para que haja um sincronismo logístico entre a área agrícola e a área industrial, evitando lacunas entre o carregamento e descarregamento dos caminhões na usina ou a necessidade de reduzir a capacidade de moagem devido a falta de matéria-prima (RIPOLI et al., 2009)

Para a realização desta proposta de pesquisa, foi realizado um estudo sobre a logística da cana-de-açúcar que envolve o corte, carregamento e transporte da cana.

3.1 CORTE

Corte é definido como sendo talho ou golpe com instrumento cortante com a finalidade da retirada do colmo (caule) da cana de açúcar (AGUIAR et al., 2009). Após atingir o ponto adequado de maturação, a cana-de-açúcar é colhida manualmente ou mecanicamente.

O corte de cana manual é realizado por um trabalhador rural, que utiliza-se de um facão (manchete, podão, trincha) para cortar cana, fazendo movimentos repetitivos e precisos de cima para baixo rente ao solo, aproveitando o máximo da cana, e evitar uma má brotação de soqueira e formação de pragas. Em seguida retira-se o ponteiro da cana, deixando apenas os colmos da cana-de-açúcar.

Muito criticada pela queima da palha, o corte manual está sendo pouco utilizado, devido às emissões de gases gerados por este processo e a exploração pela mão-de-obra de trabalhadores, que em alguns casos chegam à exaustão trabalhando nos canaviais conforme ilustrado na figura 7.

Para mudar esta realidade, está aumentando a cada ano a utilização de corte mecanizado, que utiliza-se de colheitadeira – máquinas agrícolas que em geral podem substituir 100 cortadores de cana-de-açúcar, reduzindo a busca por mão-de-obra em regiões distantes. Neste sistema a colheitadeira trabalha concomitantemente com um trator acoplado a um transbordo conforme figura 8.

Durante muito tempo a colheita da cana-de-açúcar foi feita 100 % manualmente. A entrada das colheitadeiras mecânicas no mercado reduziu consideravelmente aquele percentual (100%). Atualmente algumas usinas empregam procedimentos mecânicos de coleta em mais da metade da área de cultivo.

Segundo dados da Secretaria do Meio Ambiente divulgado em abril (SAFRA 2010, 2011), 70% das usinas e 20% dos fornecedores do Estado de São Paulo possuem o cultivo da cana-de-açúcar de uma forma mecanizada, representando

uma área de 2,62 milhões de hectares ou aproximadamente 56% da cana plantada em todo o Estado de São Paulo.

Figura 7 - Corte de cana-de-açúcar manual.



Fonte: UDOP (2012)

Figura 8 - Colheita mecanizada



Fonte: UDOP (2012)

A mecanização do corte apesar de gerar uma grande economia com a mão-de-obra pode mostrar-se prejudicial ao processo de extração à lavoura , podendo causar uma grande queda de produção para safra posterior . Esta queda de produção pode ser resultante da extração da cana-de-açúcar pela raiz, e do peso da própria colheitadeira que pode esmagar as ponteiros de cana causando a má formação dos brotos para o período de safra posterior.

Quanto o pagamento do corte de cana para o rurista (nome dado ao cortador de cana), é baseado no peso de cana cortada, o cortador procura “agilizar” o trabalho para cumprir sua quota. Muitas vezes a cana não é cortada rente ao solo, deixando na soqueira a parte mais rica em sacarose da cana. Em alguns casos, seja corte manual ou mecânico, esta perda pode chegar a 4,0 %.

Seja no corte manual ou mecânico a supervisão da operação é de responsabilidade de um fiscal agrícola, empregado pelos fornecedores ou pela própria unidade sucroalcooleira. A fiscalização da operação de colheita pode eliminar perdas e operação desnecessárias, como abandonar grandes quantidades de cana na lavoura, identificar possíveis furos nas telas dos transbordos de cana picada e aferir a vida útil das facas das colheitadeiras.

A etapa seguida ao corte é o carregamento dos caminhões, que para o sistema de corte manual e mecânico são distintas.

3.2 CARREGAMENTO

Com o aumento da produção das usinas e o alto custo da mão-de-obra, o grande incremento de carregamento mecânico se deu por volta da segunda metade da década de 50, na região centro-sul do país, quando foram desenvolvidas máquinas que carregavam os caminhões apanhando a cana cortada no solo e ajeitando-a na carroceria do caminhão.

A Figura 9 ilustra a forma de carregamento nos caminhões da cana cortada manualmente, com a ajuda de carregadoras.

Figura 9 - Carregamento a partir do corte manual



Fonte: UDOP (2012)

Atualmente os tipos básicos dessas carregadoras são montadas em tratores e as autopropelidas. Essas máquinas são acopladas em tratores de porte médio de 60 a 80 HP, devendo dar preferência a tratores que possam trocar os discos de fricção de platô, sem ter necessidade de se mexer no motor ou na carregadeira acoplada. Esta máquina possui na parte da frente um rastelo que, acionado hidráulicamente, amontoa a cana e por meio de uma lança que possui uma garra hidráulica na extremidade, apanha a cana estocada pelo rastelo. Tal garra, dependendo do

modelo da carregadeira pode levantar de 400 a 900 kg de cana por vez, a uma altura que varia de 4,6 metros girando até 90°. A produção deste equipamento é de aproximados 40 a 50 toneladas de cana por hora. A Figura 10 representa o corte mecânico e o auxílio do trator-transbordo para posteriormente realizar o carregamento nos caminhões.

Figura 10 - Carregamento em corte mecanizado.



Fonte: UDOP (2012)

O carregamento mecânico pode contribuir para aumentar a quantidade de matéria-prima estranha como solo, pedras, animais mortos e pedaços de metal. Estes corpos estranhos, que se pode alcançar até 15% da massa transportada em dias chuvosos, são enviados à indústria e podem comprometer o rendimento do sistema. A Figura 11 ilustra a etapa de carregamento dos caminhões no sistema de corte mecânico.

Figura 11 - Etapa de carregamento de caminhões



Fonte: Gonçalves (2012)

3.3 TRANSPORTE

A etapa final de transporte deve iniciar concomitante à implantação da base física agrícola da agroindústria. A boa sintonia entre as diferentes etapas de processamento: corte, coleta, transporte e beneficiamento são importantes para evitar gargalos ou “vazios” no sistema. Os dois casos reduzem a eficiência produtiva e comprometem o rendimento energético e ambiental da produção (RANGEL et al., 2008).

Após o carregamento dos vagões das unidades transportadoras, eles são rebocados e engatados nos caminhões que irão realizar a etapa final de transporte até a unidade sucroalcooleira. Operações de transporte são mostradas nas Figuras 12, 13 e 14. A Figura 12, por exemplo, registra o momento após o carregamento do vagão e a manobra para engate do caminhão ao vagão. Na Figura 13 está o momento de engate do caminhão ao vagão. A Figura 14 ilustra o momento da saída do caminhão com os vagões para se dirigirem até a unidade sucroalcooleira.

Figura 12 - Representa a etapa de engate de caminhão ao vagão.



Fonte: Gonçalves (2012)

Figura 13 - Representa a etapa de engate de caminhão ao vagão.



Fonte: Gonçalves (2012)

Figura 14 - Representa a etapa de engate de caminhão ao vagão.



Fonte: Gonçalves (2012)

Para a maioria das empresas o transporte é a atividade logística mais importante porque absorve em média um a dois terços dos custos totais logísticos.

Devido as grandes extensões que caracterizam as unidades canavieiras no Brasil, consagrou-se o transporte rodoviário como a principal opção, apesar de nem sempre ser a mais viável economicamente. Tal situação é reflexo da política rodoviária de transportes praticada pela indústria brasileira.

Este transporte deve ser feito, geralmente, por caminhões, bi-trens ou treminhões, em bom estado mecânico para que não retardem a chegada da cana até a indústria. A Figura 15 mostra um caminhão bi-trem em operação.

Figura 15 - Caminhão de Transporte de cana de açúcar.



Fonte: UDOP (2012)

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

No plantio, colheita, transporte e no processamento da cana-de-açúcar utilizam-se grandes volumes de combustíveis fósseis que originam emissões de GEE – Gases do Efeito Estufa. Necessita-se, deste modo, arranjar um balanço energético e de GEE para medir quais as conseqüências destas emissões no ciclo completo de produção etanol combustível de cana-de-açúcar e no seu uso como combustível no setor de transporte (TAVARES et al., 2010).

Neste trabalho estimou-se a frota necessária para moagem de todo o volume de cana processado na safra 2010 e todo o volume de diesel consumido de uma unidade sucroenergética no município de Pereira Barreto - SP. Com esses dados calculou-se todas as emissões de gases no sistema CCT gerado pelos métodos de cortes manual e mecânico.

Para facilitar a comparação com outros estudos, os dados de GEE são apresentados como emissões de toneladas de dióxido de carbono (t CO₂).

4.2 PARÂMETROS ECONÔMICOS PARA O TRANSPORTE DE CARGA

Para determinar um modo de transporte é necessário observar certos fatores como: preço de combustível, início ou término da safra, condições climáticas, estado de conservação das rotas a serem utilizadas. O cálculo dos períodos de transporte simula os valores dos fretes dos principais produtos agropecuários, sem distinção de rota (GAMEIRO, 2003). O Quadro 1 mostra os valores médios dos fretes por modo de transporte que foi usado como custo na análise econômica do caso em estudo.

Quadro 1 - Valores médios dos fretes por modo de transporte

Modo de Transporte	Custo (R\$/t.km)
Rodoviário	0,127
Ferrovário	0,070
Hidroviário	0,050

Fonte : INFORME SIFRECA (2010)

No diagnóstico econômico, calculou-se o custo por tonelada transportada conforme a Equação 1.

$$CF = D \cdot C \quad (1)$$

Onde:

CF - custo do frete para cada modo de transporte (R\$/t);

D - distância percorrida por cada modo de transporte (km); e

C - valor médio do custo do frete por cada modo de transporte (R\$/t.km).

4.3 DIMENSIONAMENTO E RENDIMENTO ENERGÉTICO DO SISTEMA CCT

Para dimensionar o consumo de diesel, máquinas e caminhões a serem utilizados no sistema CCT, foi feita uma pesquisa literária e coleta de dados em uma área produtiva de uma destilaria na região do Município de Pereira Barreto. Para estes cálculos utilizamos apenas a frota necessária para operar todo o sistema. A análise não levou em consideração maquinário utilizada em cultivo de solo, máquinas de reserva ou em manutenção. O consumo de diesel está descrito conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Consumo de diesel equivalente a cada tonelada de cana transportada

Máquinas Utilizadas	Consumo de diesel (l/t)
Caminhão de cana inteira	1,49
Caminhão de cana picada	1,01
Carregadora	0,2
Colhedora	0,99
Transbordo	0,38
Trator reboque	0,58

Fonte: EBA logística (2010).

Para estimar todo o maquinário necessário para transportar toda a cana a ser processada, utilizou-se como base a planilha logística de dimensionamento do custo de produção fornecida pelos responsáveis do setor agrícola na unidade produtora. Abaixo seguem as principais equações utilizadas nesta fase da logística:

Moagem total safra (2)

$$MTd = \frac{MTS}{DS}$$

Onde:

MTd - Moagem total / dia (t);

MTS - Moagem total de safra (t);

DS - Dias de safra.

Volume cana a ser transportado (3)

$$VCT = \frac{(MTd \times \%Mix)}{100}$$

Onde:

VCT - Volume de cana-de-açúcar transportado (t);

MTd - Moagem total / dia (t);

Mix - Porcentagem do tipo de corte utilizado.

Distância média do percurso do caminhão (4)

$$Dmid = DmF \times 2$$

Onde:

Dmid - Distância média do percurso do caminhão (km);

DmF - Distância média entre fornecedor e usina (km).

Capacidade líquida por conjuntos (5)

$$CLC = Cm \times Qcc$$

Onde:

CLC - Capacidade líquida por conjunto (t);

Cm - Carga média transportada (t);

Qcc - Quantidade de vagões.

Velocidade média de viagem (6)

$$VmV = \frac{Vmi \times Vmv}{2}$$

Onde:

VmV - Velocidade média de viagem (km/h);

Vmi - Velocidade média do fornecedor para usina (km/h);

Vmv - Velocidade média da usina para fornecedor (km/h).

Tempo viagem ida e volta (7)

$$T_{mid} = \frac{(D_{mid} \times 60)}{V_{mV}}$$

Onde:

Tmid - Tempo médio de viagem total (min.);

Dmid - Distância média do percurso do caminhão (km);

VmV - Velocidade média da usina para fornecedor (km/h).

Tempo operacional (total do ciclo) (8)

$$TO = T_{mid} + TC + T_{bt}$$

Onde:

TO - Tempo operacional total de ciclo (min.);

Tmid - Tempo médio de viagem total (min.);

TC - Tempo de carregamento (min.);

Tbt - tempo de descarregamento (min.).

Tempo disponível (9)

$$T_d = 24 \times 60$$

Onde:

Td - Tempo disponível (min.).

Tempo disponível por dia (10)

$$T_{dd} = T_d * E_{Td}$$

Onde:

Tdd - tempo disponível por dia;

Td - Tempo disponível (min.);

ETd - Eficiência do tempo disponível (%).

Quantidade de viagens/dia (11)

$$QVd = \frac{Tdd}{TO}$$

Onde:

QVd - Quantidade de viagem/dia;

Tdd - Tempo disponível por dia (min.);

TO - Tempo operacional total de ciclo (min.).

Volume total viagens/dia (12)

$$VTVd = QVd \times CNT$$

Onde:

VTVd - Volume total de viagens/dia (viagens/dia);

QVd - Quantidade de viagem/dia;

CNT - Quant. de caminhões necessário trabalhando (un.).

Volume de cana /caminhão transportado por dia efetivo (13)

$$VCpde = QVd \times Cm \times Qcc$$

Onde:

VCpde - Volume de cana/caminhões transportado por dia efetivo (t);

QVd - Quantidade de viagem/dia;

Cm - Carga média (t).

Km percorrida por caminhão por dia (14)

$$kmcd = Dmid \times QVd$$

Onde:

Kmcd - Distância percorrida por caminhão por dia (Km);

Dmid - Distância média do percurso do caminhão (km);

QVd - Quantidade de viagem/dia.

Km percorrida por caminhão mês (15)

$$\mathbf{kmcm = kmcd \times 30}$$

Onde:

Kmcm - Distância percorrida por caminhão mês (km);

Kmcd - Distância percorrida por caminhão por dia (Km).

$$\mathbf{Km\ total\ percorrido\ por\ caminhão\ dia} \quad (16)$$

$$kmtpd = kmcd \times TC$$

Onde:

Kmtpd - Distância total percorrida por dia (km);

Kmcd - Distância percorrida por caminhão por dia (Km);

TC - Total de caminhões.

$$\mathbf{Km\ total\ percorrido\ por\ mês} \quad (17)$$

$$kmtpm = kmtpd \times 30$$

Onde:

Kmtpm - Km total percorrido por caminhão mês (Km);

Kmcd - Distância percorrida por caminhão por dia (Km);

$$\mathbf{Média\ litros\ de\ diesel\ por\ viagem} \quad (18)$$

$$mLDv = mCD \times Dmid$$

Onde:

mLDv - média de diesel consumidos por viagem (l);

mCD - Média de consumo de diesel (km/l);

Dmid - Distância média do percurso do caminhão (km).

$$\mathbf{Média\ de\ litros\ de\ diesel\ por\ caminhões/dia} \quad (19)$$

$$mLDCd = mLDv \times QVd$$

Onde:

mLDCd - média de litros de diesel por caminhão dia (l);
 mLdv - média de diesel consumidos por viagem (l/viagem);
 QVd - Quantidade de viagens por dia (viagens/dia).

Média de litros de diesel por caminhões/mês (20)

$$mLDCm = mLDCd \times ETd$$

Onde:

mLDCm - média de litros de diesel por caminhão mês (l);
 mLDCd - média de litros de diesel por caminhão dia (l).

Média de litros de diesel total por dia (21)

$$mLDTd = mLDCd \times TC$$

Onde:

mLDTd - média de litros de diesel por dia (l);
 mLDCd - média de litros de diesel por caminhão dia (l);
 TC - Total de caminhões.

Média de litros de diesel total por mês (22)

$$mLDTm = mLDCm \times 30$$

Onde:

mLDTm - média de litros de diesel por mês (l);
 mLDCm - média de litros de diesel por caminhão mês (l).

Rendimento Energético (23)

$$RE = \frac{\left(\left(\frac{kmcd}{mLDCd} \right) \times VCpde \right)}{QVd}$$

Onde:

RE - Rendimento energético (t/Km/l);
 Kmcd - Distância percorrida por caminhão por dia (km);

mLDCd - média de litros de diesel por caminhão dia (l);

VCpde - Volume de cana/caminhões transportado por dia efetivo (t);

QVd - Quantidade de viagens/dia.

Quantidade de Caminhão Necessário para Trabalho (24)

$$CNT = \frac{VCT}{VCpde}$$

Onde:

CNT - Quantidade de caminhão necessário para trabalho;

VCT - Volume cana a ser transportado (t);

VCped - Volume de cana/caminhões transportado por dia efetivo (t).

Quantidade total de Caminhões (25)

$$TC = \left(\frac{(CNT \times \%CO)}{100} \right) + CNT$$

Onde:

TC - Total de caminhões;

CNT - Quantidade de caminhão necessário para trabalho;

%CO - porcentagem de caminhões na oficina.

Toneladas de cana por caminhão por dia total? (26)

$$TTcd = \frac{VCT}{TC}$$

Onde:

TTcd - Tonelada de cana por caminhão por dia;

VCT - Volume de cana a ser transportado (t);

TC - Total de caminhões.

Julietas Engatadas (27)

$$je = CNT \times 2$$

Onde:

je - Julietas engatadas;

CNT - Quantidade de caminhão necessário para trabalho.

Horas de moagem (pátio indústria) (29)

$$hM = \frac{\left(\frac{VCT}{Vmi}\right) \times 1}{Cm}$$

Onde:

hM - Horas de moagem (h);

VCT - Volume de cana a ser transportado (t);

Vmi - Velocidade média fornecedor do? para indústria (km/h);

Cm - Carga média (t).

Total de Julietas de cana inteira (30)

$$tjci = \left(\left(\frac{(je + jvp + hM + jbvFC) \times \%jm}{100} \right) + (je + jvp + hM + jbvFC) \right)$$

Onde:

Tjci - Total de julietas de cana inteira;

je - Julietas engatadas;

jvp - Julietas vazias no pátio da industria;

hM - horas de moagem;

jbvFC - Julietas bate-e-volta nas frentes de carregamento;

%jm - porcentagem de julietas em manutenção.

Total de Julietas (31)

$$Tgj = tjci + tjcp$$

Onde:

Tgi - total de julietas;

Tjci - Total de julietas de cana inteira;
Tjcp - Total de julietas de cana picada.

Total de caminhões necessários (32)

$$TCn = TCci + TCcp$$

Onde:

TCn - Total de caminhões necessários;
TCci - Total de caminhões para cana inteira;
TCcp - Total de caminhões para cana picada.

Rendimento de colheitadeira por dia (33)

$$Rtcd = \frac{VCT}{Tco}$$

Onde:

Rtcd - Rendimento em toneladas de colheitadeira por dia (t);
VCT - Volume de cana transportada (t);
Tco - Total colheitadeira.

Trator transbordo (34)

$$TTrtr = Rtcd \times Tco$$

Onde:

TTrtr - Total trator transbordo;
Rtcd - Rendimento toneladas de colheitadeira por dia (t);
Tco - Total colheitadeira.

Rendimento dia por transbordo (35)

$$Rtdtr = Ttrtrco \times Rtcd$$

Onde:

Rtdtr - Rendimento do transbordo (t/dia);

Trtrco - Trator transbordo / colhedora;

Rtcd - Rendimento toneladas de colheitadeira por dia (t).

Trator reboque por carregadora

(36)

$$Trrc = \frac{VCTci}{Rtcd}$$

Onde:

Trrc - Trator reboque por carregadora;

VCTci - Volume de cana picada transportado (t);

Rtcd - Rendimento toneladas de colheitadeira por dia (t).

Total de carregadora

(37)

$$Tca = \frac{VCTci}{Rtcd}$$

Onde:

Tca - Total de carregadora

VCTci - Volume de cana inteira transportado (t);

Rtcd - Rendimento toneladas cortadores por dia (t).

Total trator reboque

(38)

$$TTrre = Tca \times 2$$

Onde:

TTrre - Total de trator reboque;

Tca - Total de carregadoras.

4.4 MÉTODO TOP-DOWN PARA O CÁLCULO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO SISTEMA CCT

4.4.1 Conversão para unidade comum

A estimativa das emissões de GEE pelo método “top-down” recomendada pelo Ministério das Minas e Energia - MME em 1999 no Balanço Energético Nacional – BEN, prevê a conversão de todas as medidas de consumo de combustível para uma unidade comum:

$$CC = CA \times F_{conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr} \quad (38)$$

Onde:

- 1 tEP(Brasil) - 45,2 x 10⁻³ TJ (tera-joule = 10¹² J);
- CC - consumo de energia em TJ;
- CA - consumo de combustível (m³, l, kg);
- Fconv - fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para tEP (tonelada equivalente de petróleo), com base no poder calorífico superior (PCS) do combustível (valores podem variar de ano para ano, de acordo com a publicação anual do BEN pelo MME www.mme.gov.br). Os valores do ano 2000 dos Fconv são: gasolina (0,771 tEP/m³); álcool anidro (0,520 tEP/m³); álcool hidratado (0,496 tEP/m³); diesel (0,848 tEP/m³); gás natural seco (0,857 tEP/103m³);
- Fcorr - fator de correção de PCS para PCI (poder calorífico inferior). No BEN, o conteúdo energético tem como base o PCS, mas para o IPCC, a conversão para unidade comum de energia deve ser feita pela multiplicação do consumo pelo PCI. Para combustíveis sólidos e líquidos o Fcorr = 0,95 e para combustíveis gasosos, o Fcorr = 0,90, conforme Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT.

4.4.2 Conteúdo de carbono

A quantidade de carbono emitida na queima do combustível deve ser calculada conforme segue:

$$QC = CC \times Femiss \times 10^{-3} \quad (39)$$

onde,

- QC - conteúdo de carbono expresso em GgC (Giga grama de carbono);
- CC - consumo de energia em TJ;
- Femiss - fator de emissão de carbono (tC/TJ). Os valores do IPCC, 1996 e MCT, 1999 dos Femiss são: gasolina (18,9 tC/TJ); álcool anidro (14,81 tC/TJ); álcool hidratado (14,81 tC/TJ); diesel (20,2 tC/TJ); gás natural seco (15,3 tC/TJ);
- 10^{-3} - tC/GgC

4.4.3 Emissões de CO₂

Finalmente, as emissões de CO₂ podem ser calculadas de acordo com a expressão abaixo, lembrando que em função dos respectivos pesos moleculares, 44 t CO₂ corresponde a 12 t de C ou 1t CO₂ = 0,2727 t C.

$$E_{CO_2} = EC \times 44/12 \quad (40)$$

onde,

- E CO₂ - emissão de CO₂;
- EC - emissão de C.

Para os cálculos de consumo de diesel e capacidade de transporte do setor agrícola para a usina, adotou-se os seguintes parâmetros: um caminhão de carregamento de álcool transporta 45 m³ de álcool, densidade média do álcool 0,810 g/cm³ (USINA SANTA ADÉLIA S.A., 2011).

5 ANÁLISE LOGÍSTICA

Nesta etapa foi calculada a frota necessária para a moagem de todo o volume de cana colhido na safra 2010 na unidade em estudo e o volume de combustível consumido em cada fase da operação do sistema CCT (Corte, Carregamento e Transporte).

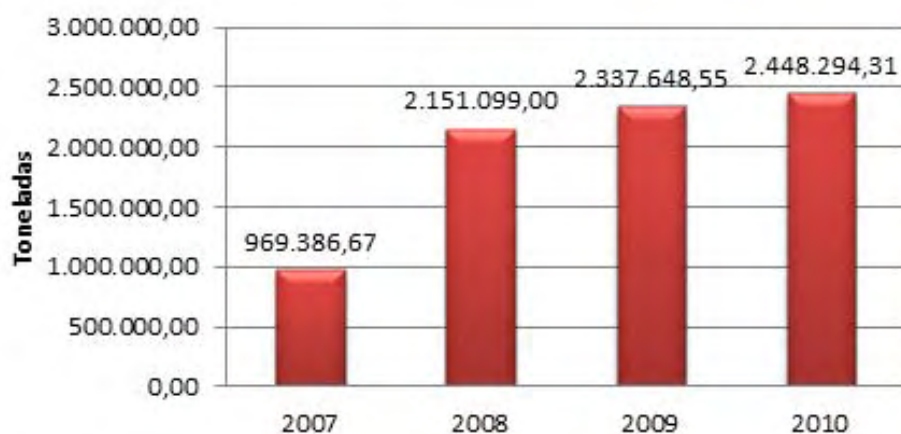
O Quadro 3 apresenta o consumo de combustível para cada tipo de máquina utilizada no sistema CCT. A Figura 16 apresenta a produção de cana de açúcar na unidade sucroalcooleira que foi utilizada como estudo de caso.

Quadro 3 - Consumo de combustível no sistema CCT

Tipo de Máquina	Consumo (l/t)
Carregadora	0,20
Trator reboque	0,58
Caminhão de cana inteira	1,49
Colhedeira	0,99
Trator de transbordo	0,38
Caminhão de cana picada	1,01

Fonte: Usina Santa Adélia (2012)

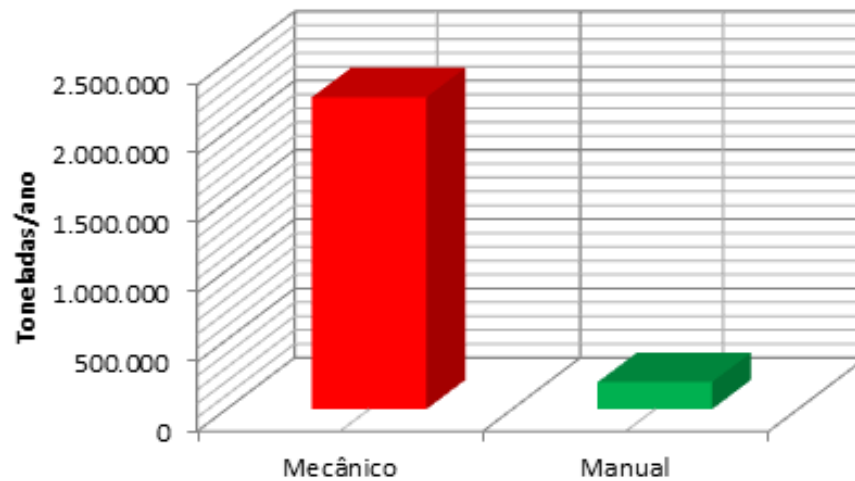
Figura 16 - Produção de cana de açúcar da unidade em estudo



Fonte: Gonçalves (2012)

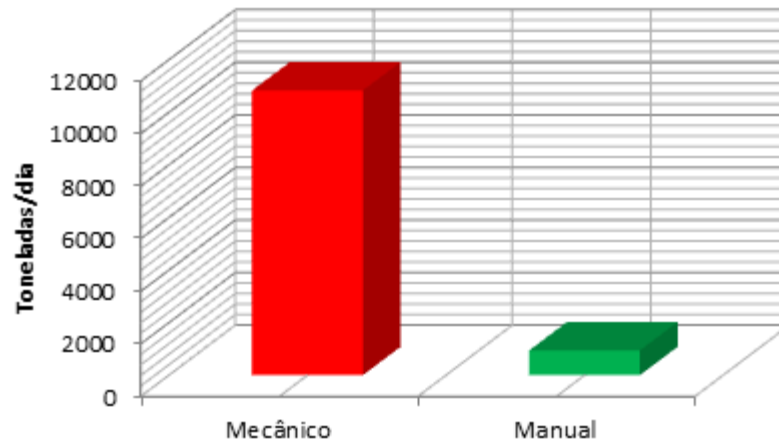
A análise logística foi aplicada a partir dos dados de produção do ano de 2010 que resultou em 2.448.294 toneladas de cana-de-açúcar moída durante 208 dias do ano. A moagem média diária foi 11.771 toneladas/dia, em um processo misto de 92% de corte mecânico e 8% de corte manual. Portanto, a quantidade de cana-de-açúcar transportada pelo modo mecânico foi igual a 10.829 toneladas/dia e pelo modo manual foi de 924 toneladas/dia. A Figura 17 apresenta os valores da produção total de cana de açúcar no ano de 2010 processados pelos métodos manual e mecânico. A Figura 18 apresenta os valores da produção diária de cana de açúcar no ano de 2010 processados pelos métodos manual e mecânico.

Figura 17 - Produção total processada pelos métodos manual e mecânico



Fonte: Gonçalves (2012)

Figura 18 - Produção diária processada pelos métodos manual e mecânico



Fonte: Gonçalves (2012)

A Tabela 1 apresenta de forma simplificada todos os tipos de máquinas agrícolas necessários em cada sistema de colheita e transporte de cana-de-açúcar. Estes resultados foram calculados com base no volume médio de carga que cada equipamento consegue transportar, para serem utilizados no dimensionamento da frota necessária para a operação de toda a safra de 2010.

Tabela 1 - Frota necessária para cada tipo de corte utilizado no sistema CCT

Tipo de máquina	Mecânico	Manual
Caminhão	18	2
Julieta	36	5
Carregadora	-	2
Trator reboque	-	3
Colheitadeira	22	-
Trator de transbordo	44	-

A Tabela 2 apresenta o consumo de combustível utilizado para o processamento da produção de cana de açúcar referente à safra de 2010 pelo método manual do sistema CCT, que foi igual a 195.914 toneladas para o caso em

estudo. Estes resultados foram calculados com base nos valores de consumo para cada tipo de máquina apresentados no Quadro1.

Tabela 2 - Consumo de combustível para o sistema manual

Tipo de máquina	Consumo (m³)
Caminhão	291,8
Carregadora	39,2
Trator reboque	113,6
Consumo Total	444,6

A Tabela 3 apresenta o consumo de combustível utilizado para o processamento da produção de cana de açúcar referente à safra de 2010 pelo método mecânico do sistema CCT, que foi igual a 2.223.010 toneladas para o caso em estudo. Estes resultados foram calculados com base nos valores de consumo para cada tipo de máquina apresentados no Quadro1.

Tabela 3 - Consumo de combustível para o sistema mecânico

Tipo de máquina	Consumo (m³)
Caminhão	2.275,0
Colheitadeira	2.229,9
Trator de transbordo	855,9
Consumo Total	5.360,8

O sistema de corte manual gasta em média de 15 a 20 minutos mais tempo do que o sistema de corte mecânico no carregamento, conseqüentemente ocorre um aumento no tempo de ciclo.

A intensidade do uso de colheitadeira acarretou uma modernização nos caminhões utilizados para o transporte. Pois, sem o uso da colheitadeira a cana era transportada em unidade inteira e com o uso da colheitadeira e cana é transportada em colmos.

Os caminhões modernos conseguem transportar quantidades de cana picada muito maiores do que os veículos usados anteriormente para o transporte de cana inteira e também não necessitam de três conjuntos de vagões como anteriormente, mas apenas dois conjuntos de vagões. Este fato além de aumentar a eficiência do transporte, aumenta a segurança no transporte.

6 ANÁLISE AMBIENTAL

A atmosfera é composta por gases e vários deles interferem nas radiações, tanto as emitidas pelo Sol, quanto as irradiadas pela Terra. Alguns gases são emitidos diretamente, tais como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O); enquanto outros são emitidos indiretamente, tais como os hidrofluorcarbonos (HFCs) que destroem o ozônio permitindo a passagem de ondas solares do tipo raio ultravioleta (PAULA, et al., 2010).

O plantio, a colheita, o transporte e o processamento da cana-de-açúcar utilizam grandes volumes de combustíveis fósseis que originam emissões de GEE – Gases do Efeito Estufa. Portanto, necessita-se equacionar um balanço energético de GEE para estimar as conseqüências destas atividades no ciclo completo de produção do etanol combustível da cana-de-açúcar, e no seu uso como combustível no setor de transporte.

Segundo Paula et al (2010), na safra 2006/2007 do Centro-Sul do Brasil a emissão média de Gases de Efeito Estufa (GEE) foi de 71,61 t/ha nos processos que não usaram a queima da cana de açúcar; e nos processos em que foi usado a queima da cana, a emissão foi da seguinte forma: material particulado 0,286 t/ha; óxido nitroso (N_2O) 0,0358 t/ha; monóxido de carbono (CO) 2 t/ha e gás metano (CH_4) 0,2048 t/ha.

Estima-se que 241 kg de dióxido de carbono são liberados na atmosfera para 1 tonelada de açúcar produzido. Isto equivale a 2406 kg de dióxido de carbono por hectare de área cultivada e 26,5 kg de dióxido de carbono por uma tonelada de cana processada (FIGUEREDO, et al., 2010).

Segundo MACEDO et al. (2004), ao adotar o processo da queima da cana-de-açúcar antes da colheita, para cada tonelada de colmo sobram 145 kg de matéria seca (MS), e esta matéria seca é constituída 101 kg de palha. A queima dos 101 kg de palha emite 0,286 kg de gás metano (CH_4) e 0,00825 kg de gás nitroso (N_2O).

A análise ambiental, que consiste no cálculo da emissão de CO₂ (dióxido de carbono) na atmosfera, foi feita com base nos resultados da análise logística, utilizando o método Top-Down.

A Tabela 4 apresenta os resultados do consumo de energia para o sistema manual calculado pela Equação 38. A Tabela 5 apresenta os resultados do consumo de energia para o sistema mecânico calculado também pela Equação 38.

Tabela 4 - Consumo total de energia pelo sistema manual

Tipo de máquina	CC (TJ)
Caminhão	10,21
Carregadora	1,37
Trator reboque	3,97
Total	15,55

Tabela 5 - Consumo total de energia pelo sistema mecânico

Tipo de máquina	CC (TJ)
Caminhão	79,58
Colheitadeira	78,00
Trator de transbordo	29,94
Total	187,52

A Tabela 6 apresenta os resultados do conteúdo total de carbono emitido pelo sistema manual calculado pela Equação 39. A Tabela 7 apresenta os resultados do conteúdo total de carbono emitido pelo sistema mecânico calculado também pela Equação 39.

Tabela 6 - Conteúdo de carbono emitido pelo sistema manual

Tipo de máquina	QC (GgC)
Caminhão	2,02
Carregadora	0,28
Trator reboque	0,80
Total	3,14

Tabela 7 - Conteúdo de carbono emitido pelo sistema mecânico

Tipo de máquina	QC (GgC)
Caminhão	16,07
Colheitadeira	15,76
Trator de transbordo	6,05
Total	37,88

A Tabela 8 apresenta os resultados da quantidade total de dióxido de carbono emitida pelo sistema manual calculado pela Equação 40. A Tabela 9 apresenta os resultados da quantidade total de dióxido de carbono emitida pelo sistema mecânico calculado também pela Equação 40.

Tabela 8 - Emissão de dióxido de carbono pelo sistema manual

Tipo de máquina	CO₂ (t)
Caminhão	7.559,9
Carregadora	1.015,6
Trator reboque	2.943,1
Total	11.518,6

Tabela 7 - Emissão de dióxido de carbono pelo sistema mecânico

Tipo de máquina	CO₂ (t)
Caminhão	58.940,33
Colheitadeira	57.774,47
Trator de transbordo	22.177,11
Total	138.891,91

A emissão total de CO₂ foi de 150.409,6 toneladas na safra de 2010, para o caso em estudo, usando o sistema híbrido, composto por 92% de corte mecânico e 8% de corte manual. Se o sistema CCT tivesse sido realizado somente com corte manual, resultaria em uma emissão de CO₂ igual 143.986,1 toneladas, somada à emissão gerada pela queima da palha resultaria um total de 173.430,92 toneladas de CO₂/ano.

De um modo geral, a unidade sucroalcooleira em estudo conseguiu reduzir em 2010 a área da queima da cana de açúcar para 8% do total de produção, utilizando 92% de corte mecânico em toda sua produção de cana-de-açúcar. A meta nacional para 2014 é de 15% de redução.

Mesmo assim, não se pode estimar a quantidade correta de poluentes lançados na atmosfera; pois deveria ser considerada toda a emissão gerada desde o cultivo da cana de açúcar, durante a respiração da planta, no transporte, na queima do bagaço nas caldeiras até o processo de destilação.

7 CONCLUSÃO

O sistema mecânico possui um rendimento maior do que o sistema manual no tempo, porém o consumo de combustível das máquinas agrícolas é maior do que o consumo das máquinas utilizadas no corte manual.

Ainda, o sistema mecânico gera uma quantidade menor de emissão de gases na atmosfera por não necessitar de queimar da palha da cana de açúcar.

Esses resultados demonstraram um eficiente sistema logístico e ambiental com base no domínio do corte mecânico, em relação ao corte manual para o sistema CCT.

De todo modo, pode-se concluir com base na realização deste estudo que, em geral, a unidade em estudo está reduzindo as emissões de CO₂ na atmosfera com o uso eficiente do corte de cana mecânico.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, D. A.; ADAMI, M; RUDORFF, B. F. T.; SÁNCHEZ, G. A.; BARROS, M. A.; SUGAWARA, L. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; MOREIRA, M. A. **Mapeamento da cana colhida no Estado de São Paulo** – ano safra 2006/2007. São José dos Campos. INPE, 2007. 51 p.
- Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotivos- ANFAVEA. **Custo médio do frete rodoviário** Rio de Janeiro: [s.n.], 2012. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/index.html>>. Acesso em: 12 Jan. 2012.
- AUTOMOTIVE BUSINESS. **Venda de máquinas agrícolas no país**. São Paulo: [s.n. 200-], . Disponível em: <<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/13022/Vendas%20de%20m%C3%A1quinas%20agr%C3%ADcolas%20crescem%2016%20em%20janeiro>>. Acesso em: 20 Jan. 2010.
- AZEVEDO R. G.; NETO, T. G. S ; CARVALHO, J. A. Análise das principais espécies químicas liberadas durante a combustão de biomassa. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA MECÂNICA - CREEM, 2005, Ilha Solteira. **Anais...** Ilha Solteira: [s.n.] 2005.
- BALLOU, R. H. **Logística empresarial**: transportes, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 1993.
- BARTHOLOMEU, D. B. **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras**. 2009. 164 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- BRAUNBECK, O. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Colheita de cana de açúcar com auxílio mecânico. **Eng. agríc.**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 300-308, jan./abr. 2006.
- Mapeamento da Cana via Imagens Satélite de Satélite de observação da Terra-CANASAT. **Monitoramento via satélite do cultivo da cana-de-açúcar**. São Paulo: IMPE, 2011. Disponível em:< <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/cultivo.html/>>. Acesso em: 29 Mai. 2012.
- CANÇADO, J.E.D. **A poluição atmosférica e sua relação com a saúde humana na região canavieira de Piracicaba - SP**. 2003. 201f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- CERRI, C. C. et al. Emissões de gases do efeito estufa do Brasil: Importância da agricultura e pastagem. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v.66, n. 6, p. 831-843, 2009

CLAROS, J. C.; VOM SPERLING, E. Emissão de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol: estimativa nas fases de agricultura e industrialização em Minas Gerais. **Eng. Sanit. Ambient**, Belo Horizonte, v. 15 n. 3 p. 217- 222. 2010.

COELHO, M. F. **Planejamento da qualidade no processo de colheita mecanizada da cana de açúcar**. 2009. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

DEMARIA, M. **O Operador de transporte multimodal como fator de otimização da logística**. 2004. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Departamento Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

COPERSUCAR. **Exportação de açúcar e álcool no Estado de São Paulo**. São Paulo: [s.n., 200-] Disponível em: < <http://www.copersucar.com.br/perfil.html> >. Acesso em: 9. Set. 2012.

DEMARIA, M. **O Operador de transporte multimodal como fator de otimização da logística**. 2004. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Departamento Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

EBA CONSULTORIA EMPRESARIAL. **Método para determinação de frente de carregamento**. Jaboicabal: Usina Santa Adélia, 2010. Disponível em: <http://www.ebaconsultoria.com.br/novo_site/?area=servicos>. Acesso em: 12 Jun. 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional 2009**: ano base 2008. Rio de Janeiro : EPE, 2009. 274 p.

FIGUEREDO et al. Greenhouse gas emission associated with sugar production in southern Brazil. **Carbon Balance and Management**, London, v. 5, n.3, p 1-7, 2010.

FIOMARI, M. C. **Análise energética e exergética de uma usina sucroalcooleira do Oeste Paulista com sistema de cogeração de energia em expansão**. 2004. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

GAMEIRO, A. H. **Índices de preço para o transporte de cargas: o caso da soja a granel**. 2003. 284 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GARCIA, M. A. **Avaliação de um sistema de plantio mecanizado de cana de açúcar**. 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

HIRATSUKA, A. **Análises de impactos ambientais e econômicos em transporte multimodal**. 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

Sistema de informações de fretes - SIFRECA. **Sistema de informações de fretes para cargas agrícolas**. Piracicaba: [s.n.], 2011. Disponível em: <<http://sifreca.esalq.usp.br/sifreca/index.php>>. Acesso em: 22, Maio 2011.

IQBAL, K. S.; HASEGAWA, K. Inland transportation system planning by life cycle impact assessment: a case study. **Journal of Marine Science and Technology**, Japão, v. 5, n. 1, p. 1- 8, 2000.

EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K.; **Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC**. Japan: IGES, 2006. 600 p. Chapter 11, N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. Chapter 2 Generic methodologies applicable to multiple land-use categories. Japan.

MORENO, A. Alckmin lança selo verde em SP: consumidores livres que compram energia de usinas terão direito ao selo. In: **Jornal cana**, [S.l.], Procana Brasil, 2011. Disponível em: <<http://jornalcana.com.br/noticia/Jornal-Cana/20320+Alckmin-lanca-Selo-Verde-em-SP-Consumidores-livres-que-compram-energia-de-usinas-terao-direito-ao-selo>>. Acesso em: 20, Out. 2011.

MACEDO, I. C. et al. **Balanco das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil**. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2004. 8 p.

MARQUES, T. A. et al.. Queima do canavial: aspectos sobre a biomassa vegetal, fertilidade do solo e emissão de CO₂ para a atmosfera. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 83-89, Jan./Feb. 2009.

Ministério de Minas e Energia- MME. **Balanco energético nacional**. Brasília, Ministério de Minas e Energia, 2010. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/mme>>. Acesso em: 12 Jan. 2012.

MORAES, N. G. **Avaliação das tendências da demanda de energia no setor de transportes no Brasil**. 2005. 167 f. Dissertação (Mestrado em Ciências)- Universidade Federal do Rio de Janeiro-COPPE, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/ngmoraes.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2011.

NOBRE, C. A.; NOBRE, A. D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. **Estud. av.**, São Paulo, v. 16, n. 45, p. 81-90, 2002.

PAULA, M. de et al. Fixação de carbono e a emissão dos gases de efeito estufa na exploração da cana de açúcar. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 633-640, maio/jun. 2010.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. Ethanol production: energy and economic Issues related to U.S. and Brazilian sugarcane. **Natural Resources Research**, New York, v. 16, n. 3, p. 235-242, September 2007.

RANGEL, J. J. A. et al. Simulação computacional para análise do frete no transporte de cana de açúcar: um estudo de caso no Estado do Rio de Janeiro. **Sistemas & Gestão**, Niterói, v.3, n. 3, p. 250-261, setembro a dezembro de 2008.

SANTOS, E. Q. Os desafios para diminuir a poluição e conter o efeito estufa. **Revista Escola**, v. 1 n. 249, p. 94 jan. 2012 . Disponível em:<<http://revistaescola.abril.com.br/fundamental-1/plano-aula-desafios-diminuir-poluicao-conter-efeito-estufa-643819.shtml?page=al>>. Acesso em: 12 Jan. 2012.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana de açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Edição dos autores. 2004. 302 p.

SCHROEDER E. M.; CASTRO J. C. Transporte rodoviário de carga: situação atual e perspectivas. **Revista BNDES**, [S. l.], n. 6, p.1–12, 1996. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/revista/carga.pdf>>. Acessado em: 10 out. 2010.

SILVA, C. R. U. **Balanço de energia e das emissões de gases de efeito estufa da cadeia produtiva do etanol brasileiro**. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

TABOADA, C. Logística: o diferencial da empresa competitiva. **Revista FAE Business**, Blumenau, [S.l.], n. 2, p. 4-8, 2002.

TAVARES, F. V. F. et al. Estudo do processo de dispersão de emissões veiculares em uma microrregião de Belo Horizonte (MG) utilizando simulação numérica. **Eng. Sanit. Ambient.** Belo Horizonte. v. 15, n. 4, p. 315-324,out/dez 2010.

UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA - UDOP. **Produção de etanol no Estado de São Paulo**. São Paulo: [s.n.], 2012. Disponível em <<http://www.udop.com.br/index.php?item=biblio.>>Acesso em: 3 Jan. 2011

União da Agroindústria Canavieira de São Paulo –UNICA . **Estatísticas agrícolas**. São Paulo, [s.n.], 2011. Disponível em: <http://www.portalunica.com.br/>. Acesso em: 17 jan. 2011.

USINA SANTA ADÉLIA. **Relatório de safra**. Jaboticabal: Usina Santa Adélia, 2011. Disponível em: <http://www.usinasantaadelia.com.br/>. Acesso em: 3 Jan. 2011.

ZANIN, G. M. Brazilian bioethanol program. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, New York, n. 1, v. 9, p. 84 - 86, 2000.