

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GUSTAVO STRAUCH WILIN FINGER  
JAN-ANDREAS FROESE MATOS

**CONJUNTO DE DADOS DE VEÍCULOS UTILIZADOS NA  
COLHEITA E TRANSPORTE DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA  
INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA: ESTUDO DE CASO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
(Tcc 2)

CURITIBA

2015

GUSTAVO STRAUCH WILIN FINGER

JAN-ANDREAS FROESE MATOS

**CONJUNTO DE DADOS DE VEÍCULOS UTILIZADOS NA  
COLHEITA E TRANSPORTE DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA  
INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA: ESTUDO DE CASO**

Monografia de Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Cassia Marie Lie Ugaya

CURITIBA

2015

## **TERMO DE ENCAMINHAMENTO**

Venho, por meio deste termo, encaminhar para apresentação o Projeto de Pesquisa “CONJUNTO DE DADOS DE VEÍCULOS UTILIZADOS NA COLHEITA E TRANSPORTE DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA: ESTUDO DE CASO”, realizado pelos alunos GUSTAVO STRAUCH WILIN FINGER e JAN-ANDREAS FROESE MATOS, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr<sup>a</sup> Cassia Marie Lie Ugaya  
UTFPR - Damec

Curitiba, 11 de novembro de 2015.

## TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a Proposta de Projeto de Pesquisa “CONJUNTO DE DADOS DE VEÍCULOS UTILIZADOS NA COLHEITA E TRANSPORTE DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA: ESTUDO DE CASO”, realizada pelo alunos Gustavo Strauch Wilin Finger e Jan-Andreas Froese Matos , como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr<sup>a</sup>. Cassia Marie Lie Ugaya  
Departamento acadêmico de mecânica, UTFPR  
Orientadora

Prof. Msc. Nilton Luiz Cararo  
Departamento acadêmico de mecânica, UTFPR  
Avaliador

Prof. Msc. Osvaldo Verussa Junior  
Departamento acadêmico de mecânica, UTFPR  
Avaliador

Curitiba, 30 de novembro de 2015.

## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos nosso trabalho a quem mais trabalhou por nós nos últimos anos: nossa família.

## AGRADECIMENTOS

À EMBRAPA, pelo apoio e oportunidade no projeto, bem como às empresas ligadas à divulgação de dados que complementaram de forma bastante significativa esta pesquisa.

À instituição Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pelo espaço físico disponibilizado para reuniões e estudo sobre o trabalho, bem como do extenso acervo bibliográfico sobre o tema de ciclo de vida de produtos.

Às pessoas que contribuíram, direta e indiretamente, para evolução deste trabalho, através de entrevistas, *brainstorming* ou sugestões de melhoria.

Ao nosso colega Leonardo César, que adicionou seu conhecimento de implementos agrícolas à nossa pesquisa.

Ao nosso colega Vitor Andrade Martinez, que nos ajudou no projeto piloto junto a Usina Alpha-pi, coletando dados e apontando melhorias no nosso trabalho.

Um agradecimento final também é destinado à nossa orientadora de pesquisa: professora Cassia Maria Lie Ugaya, Dra. Eng<sup>a</sup>.

Obrigado

*Quem não mede, não gerencia.  
Vicente Falconi.*

## RESUMO

O Etanol derivado da cana de açúcar vem sendo utilizado como combustível em todo território nacional, principalmente em veículos de passeio, como substituição aos combustíveis derivados do petróleo, que também possuem, pela legislação, teores deste álcool em sua composição. Para se produzir quantidade suficiente a suprir a frota que se utiliza deste combustível, toneladas de cana de açúcar devem ser processadas a fim de se obter tal produto. Conhecidas como usinas de cana de açúcar, estas necessitam de uma grande infraestrutura de transporte para a colheita e transporte da matéria prima. Sabe-se que para esta logística de transporte, caminhões, tratores e colhedoras de cana especialmente projetados para este fim são produzidos e equipados a fim de suportar os esforços de trabalho nas condições severas dos canaviais. Estes veículos, em grande quantidade, produzem impactos ao meio-ambiente, desde a sua fabricação/produção passando pela utilização em campo (manutenção e operação) até seu descarte. Para se mensurar os impactos provenientes destes veículos, faz-se necessário um estudo de ciclo de vida quanto à sua utilização. Esta mensuração de dados, ainda inexistente para este caso particular, serve como comparação de eficiência entre novos combustíveis alternativos e o etanol já existente. Além do mais, a mensuração dos dados abre um novo patamar para o cálculo da eficiência energética das usinas sucroalcooleiras, visto que o gasto energético com a colheita também deve ser analisado no balanço de energia do sistema. O levantamento dos dados do sistema agroindustrial de transporte da cana, sua transformação em unidades de referência usadas internacionalmente e a comparação com inventários de ciclo de vida já existentes podem ser feitas afim de verificar possíveis divergências entre o que existe no Brasil e o que existe internacionalmente. Dados de emissões também podem ser produzidos e comparados quando se têm bases de dados do processo.

**Palavras-chave:** Avaliação do Ciclo de Vida, ACV, Caminhão, Colhedora de Cana, Transporte, Cana-de-Açúcar, Usinas sucroalcooleiras.

## ABSTRACT

Ethanol extracted from sugar cane has been utilized as fuel all over Brazilian territory, especially in passenger's vehicles as a way to replaced fuels derivate from petroleum that, by law, have also few quantities of this alcohol in its composition. Producing enough quantity of this fuel to supply all the Brazilian fleets that use this kind of fuel is not an easy task: tons of sugarcane must be processed in order to obtain such product. Known as sugarcane mill, this kind of mill needs a big transportation infrastructure which is responsible for the harvest and transportation from the sugar cane crop to the mill. For this transportation logistics, special trucks, harvesters and tractors are designed to support severe conditions on the canebrake. These vehicles are produced in large scale and can promote several impacts over the environment due to its manufacturing, utilization on the field (fuel consumption, operation and maintenance) and discard. For measuring impact over the environment, studies about inventory life cycle over these vehicles are needed. This kind of measuring is useful to compare the ethanol efficiency with other alternative fuels that are used for the same purpose. Furthermore, this data compilation opens a new variable to calculate the balance of energy involving the sugarcane mills; whereas, the energy spend on the canebrake also needs to be count in the balance. Obtaining dada from the canebrake transportation logistics and switching it to the reference unit may lead to a proper comparison between what exists in Brazil and what is being done internationally. Furthermore, emission calculations can be performed when good amount of data relative to the process being analyzed is available.

**Keyword:** Life Cycle Assessment, LCA, truck, harvester, sugarcane, sugarcane mills.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Frota Brasileira de Veículos .....	21
Figura 2 – Descrição das Composições Utilizadas na Colheita e .....	23
Figura 3 – Sistema Agroindustrial da Cana-de-Açúcar .....	24
Figura 4 – Maquinário para indústria Canavieira.....	26
Figura 5 – Fases de uma ACV .....	31
Figura 6 - Princípio do Modelo Estrutural e Componente dos Transportes e suas Correlações.....	35
Figura 7- Fluxograma da Sequência de Metodologia.....	37
Figura 8 – Fluxo de Transporte e Maquinário nos Canaviais .....	42
Figura 9 – Caminhão Fueiros .....	43
Figura 10 – Caminhão + Reboque .....	45
Figura 11 – Caminhão Duplo Direcional Truncado.....	45
Figura 12 – Caminhão Truncado.....	45
Figura 13 – Caminhão Simples .....	45
Figura 14 – Caminhão Trator + Semi Reboque + Reboque .....	46
Figura 15 – Módulos de Infraestrutura de Rodovias.....	50
Figura 16 – Rodovias Pavimentadas.....	51
Figura 17 – Estrada de Canavial .....	51
Figura 18 – Médio de Uso de uma Colhedora Durante Cada Safra .....	58
Figura 19 – Gastos com Manutenção .....	58
Figura 20 – Colhedora CASE A8000 (Vista Lateral) .....	60
Figura 21 – Colhedora CASE A8000 (Vista Frontal) .....	61
Figura 22 – Trator de Transbordo Recebendo Matéria Prima da Colhedora .....	64
Figura 23 – Trator de Transbordo Deslocando Matéria Prima .....	64
Figura 24 – Caminhão de Transbordo Repassando Matéria Prima .....	65
Figura 25 – Trator Agrícola TS600.....	66
Figura 26 – Microtrator Yanmar 11 cv.....	66
Figura 27 – Cat Challenger .....	67
Figura 28 – Pneus Para Tratores Agrícolas .....	69
Figura 29 – Pneus Para Tratores Agrícolas - Continuação .....	69
Figura 30 - Distância Percorrida pelos Caminhões da Usina Alpha-pi.....	76

Figura 31 – Caminhão Canavieiro Usina Alpha-pi.....	86
Figura 32 – Estrada dentro da Fazenda da Usina Alpha-pi.....	86
Figura 33 – Brainstorming ACV Caminhões (Sistema Global) .....	112
Figura 34 – Folha Um Questionário Caminhões .....	113
Figura 35 - Folha Dois Questionário Caminhões.....	114
Figura 36 - Folha Três Questionário Caminhões.....	115
Figura 37 - Folha Um Questionário Colhedoras .....	116
Figura 38 - Folha Dois Questionário Colhedoras .....	117
Figura 39 - Folha Três Questionário Colhedoras .....	118
Figura 40 - Folha Quatro Questionário Colhedoras.....	119
Figura 41 - Folha Um para Questionário de Tratores.....	120
Figura 42 - Folha Dois para Questionário de Tratores .....	121
Figura 43 - Folha Três para Questionário de Tratores .....	122
Figura 44 - Folha Quatro para Questionário de Tratores .....	123

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Frota Brasileira de Veículos.....	22
Gráfico 2 - Evolução do Número de Colhedoras no Protocolo Agroambiental .....	27
Gráfico 3 - Curva de Sucateamento em Função da Idade e do Tipo de Veículo ....	110
Gráfico 4 - Gasto acumulado com Trásbordo entre Caminhões e Tratores .....	111

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de Etanol Hidratado em Litros.....	22
Tabela 2 - Consumo de Etanol Anidro em Litros.....	22
Tabela 3 – Distância Média Percorrida Pela Cana do Ponto de Corte Até a Recepção na Unidade de Produção.....	47
Tabela 4 – Frota Circulante de Caminhões no Estado de São Paulo .....	56
Tabela 5 – Resultado da Coleta de Dados Para Caminhões .....	75
Tabela 6 – Colhedoras da Usina Alpha-pi.....	78
Tabela 7 – Resultado da Coleta de Dados para Colhedoras .....	79
Tabela 8 – Tratores da Usina Alpha-pi.....	81
Tabela 9 – Resultado da Coleta de Dados para Tratores .....	81
Tabela 10 – Distribuição em [tkm] para os Veículos Utilizados no Canavial .....	83
Tabela 11 – Componentes Trocados/tkm .....	83
Tabela 12 – Troca em Unidades de Componente por Vida Útil do Veículo no Canavial (14 safras) .....	84
Tabela 13 – <i>Performance</i> dos Veículos Usados para Transporte de Carga .....	87
Tabela 14 – Comparação de Desempenho entre Caminhões.....	88
Tabela 15 – Manutenção de Componentes e Materiais para Caminhões a Cada 70.000 km.....	88
Tabela 16 – Emissão de Gás Carbônico para Cada Tipo de Caminhão .....	89
Tabela 17 – Emissão de Gás Carbônico/tkm para Cada Tipo de.....	90
Tabela 18 – Composição de Elementos Químicos do Diesel.....	91
Tabela 19 – Emissão de Elementos Químicos por Safra por Caminhão.....	91
Tabela 20 – Emissão de Elementos Químicos por tkm por Caminhão .....	92
Tabela 21 – Resultados do ecoinvent para Colhedoras e Tratores.....	93
Tabela 22 – Resultados da Usina Alpha-pi para Colhedoras e Tratores.....	94
Tabela 23 – Emissão de Gás Carbônico para Colhedoras e Tratores .....	94
Tabela 24 – Emissão de Gás Carbônico para Colhedoras e Tratores (II) .....	95
Tabela 25 – Emissão de Elementos Químicos por Safra para Colhedoras e Tratores .....	96

Tabela 26 – Emissão de Elementos Químicos por tkm e por ha para Tratores e Colhedoras.....	97
Tabela 27 – Veículos Pesados – Ciclo Diesel – Com Pós Tratamento (Ciclo de testes ESC/ELR).....	108
Tabela 28 - Veículos Pesados – Ciclo Diesel – Convencional e com Pós Tratamento (Ciclo de testes ETC) .....	108
Tabela 29 - Veículos Pesados – Ciclo Diesel – Convencional e com Pós Tratamento (Ciclo de testes ESC/ELR) .....	108
Tabela 30 - Veículos Pesados – Movidos a GNV (Ciclo de testes ETC).....	109

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Detalhes do <i>Brainstorming</i> de Dados.....	40
Quadro 2 - Distribuição das Categorias de Veículos.....	44
Quadro 3 - Quadro de Conversão de Padrão PROCONVE e EURO.....	54
Quadro 4 - Comparação de Emissão de Gás Carbônico para os Veículos da Usina Alpha-pi.....	95

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

Abraciclo – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE MOTOCICLETAS, CICLOMOTORES, MOTONETAS E BICICLETAS.

ACV – AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.

AIA – AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL.

AM – *AMOUNT OF MACHINERY* (QUANTIDADE DE MAQUINÁRIO)

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO.

BSFC – *BRAKE SPECIFIC FUEL CONSUMPTION*.

Cetesb – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO.

CNH – *CASE NEW HOLLAND*.

Contran - CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO.

Conama – CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE.

CRM – CUSTO COM REPARO E MANUTENÇÃO.

Detran – DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRANSITO.

Dnatran – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRANSITO.

Dnit – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.

Embrapa – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA.

ESC – EUROPEAN STATIONARY CYCLE

ETC – EUROPEAN TRANSIENT CYCLE

ELR – EUROPEAN LOAD RESPONSE

HC – HIDROCARBONETOS.

Inmetro – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL.

LCI – LIFE CYCLE INVENTORY.

FLEX- VEÍCULOS QUE PODEM UTILIZAR OS COMBUSTÍVEIS: ETANOL OU GASOLINA; EM CONJUNTO OU SEPARADOS.

PEQ – PROGRAMA DE ELIMINAÇÃO DE QUEIMADAS.

PBEV – PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM VEICULAR.

PBT – PESO BRUTO TOTAL.

PBTC – PESO BRUTO TOTAL COMPARTILHADO.

PCPV – PLANO DE CONTROLE DE EMISSÕES VEICULARES.

PNEU – PNEUMÁTICO.

PROCONVE – PROGRAMA DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES.

PROMOT – PROGRAMA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR POR MOTOCICLOS E VEÍCULOS SIMILARES.

QFV – QUADRO DE FABRICANTE DE VEÍCULOS.

Sebrae – SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS.

Senar – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL.

SO – REGIÃO SUDOESTE

UNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR

WU – *WORK UNIT*

## LISTA DE UNIDADES E VARIANTES

**[ano]** – ano

**[l]** – Litros

**[cm]** – centímetros.

**[mg]** – miligramas.

**[cv]** – cavalo vapor.

**[m]** – metro.

**[d]** – dias.

**[m<sup>2</sup>]** – metro quadrado.

**[h]** – hora.

**[m<sup>3</sup>]** – metro cúbico.

**[ha]** – hectare.

**[N.m]** – NEWTON x Metro.

**[hp]** – *Horse Power* .

**[ton.]** – tonelada

**[km]** – quilômetro.

**[tkm]** – tonelada x quilômetro.

**[kg]** – quilograma.

**[kW]** – quilowatts.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	20
1.1	CANA-DE-AÇÚCAR: USO, CONSUMO E TRANSPORTE.....	21
1.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA: MENSURAÇÃO DE DADOS.....	23
1.3	A MECANIZAÇÃO DO CAMPO PARA COLHEITA DE CANA DE AÇÚCAR NACIONAL.....	25
1.4	OBJETIVOS.....	27
1.4.1	<i>Gerais.....</i>	27
1.4.2	<i>Específicos.....</i>	27
1.5	JUSTIFICATIVA.....	28
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	30
2.1	NBR ISO 14040.....	30
2.2	ECOINVENT.....	33
2.2.1	<i>Impactos.....</i>	33
2.2.2	<i>Modelo Estrutural: Caracterização de um Sistema.....</i>	34
3	METODOLOGIA.....	36
3.1	DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA.....	36
3.1.1	<i>Revisão Bibliográfica Pertinente.....</i>	37
3.1.2	<i>Identificação dos Dados Necessários para a Pesquisa.....</i>	38
3.1.3	<i>Levantamento de Dados Junto às Usinas e Montadoras.....</i>	38
3.1.4	<i>Cálculos.....</i>	38
3.1.5	<i>Organização dos Dados Recolhidos e Análise dos Resultados Assumidos.....</i>	39
3.1.6	<i>Divulgação dos Resultados.....</i>	39
4	VARIÁVEIS DO INVENTÁRIO.....	40
4.1	CAMINHÕES.....	40
4.1.1	<i>Brainstorming.....</i>	40
4.1.2	<i>A Utilização de Caminhões no Transporte da Cana de Açúcar.....</i>	42
4.1.3	<i>Classificação Quanto à Composição dos Veículos.....</i>	44
4.1.4	<i>Distância Percorrida por Composição.....</i>	46
4.1.5	<i>Combustíveis Utilizados.....</i>	48
4.1.6	<i>Temperatura de Exposição.....</i>	49
4.1.7	<i>Distância Percorrida em Diferentes Tipos de Pavimentos.....</i>	50
4.1.8	<i>Compactação do Solo.....</i>	51
4.1.9	<i>Poluição dos Solos.....</i>	52
4.1.10	<i>Controle de Emissões – Tecnologias.....</i>	53
4.1.11	<i>Caracterização da Frota dos Caminhões Canavieiros.....</i>	54
4.1.12	<i>Potência do Veículo.....</i>	56
4.1.13	<i>Componentes e seus Destinos de Descartes Após a Manutenção.....</i>	56
4.2	COLHEDORAS.....	57
4.2.1	<i>Definição.....</i>	57
4.2.2	<i>Manutenção de Componentes.....</i>	57
4.2.3	<i>Os Tipos de Colhedoras.....</i>	59
4.2.4	<i>As Colhedoras e seus Componentes.....</i>	59
4.2.5	<i>Velocidade Média das Colhedoras.....</i>	63
4.3	TRATORES DE TRANSBORDO.....	63
4.3.1	<i>Contextualização da Mecanização no Campo para Tratores.....</i>	63

4.3.2	<i>Transbordo</i> .....	64
4.3.3	<i>Vantagens e Desvantagens em Relação aos Caminhões</i> .....	64
4.3.4	<i>Definição de Trator Agrícola</i> .....	66
4.3.5	<i>Composição de um Trator Agrícola</i> .....	67
4.3.6	<i>Combustíveis Utilizados</i> .....	67
4.3.7	<i>Os Tratores e seus Principais Componentes</i> .....	67
4.3.7.1	<i>Composição Primária</i> .....	68
4.3.8	<i>Sistema de Rodado</i> .....	68
5	LEVANTAMENTO DOS DADOS ASSOCIADOS – QUESTIONÁRIO .....	70
5.1	CAMINHÕES .....	70
5.2	COLHEDORAS .....	71
5.3	TRATORES DE TRANSBORDO .....	72
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	74
6.1	PROJETO PILOTO: USINA ALPHA-PI .....	74
6.1.1	<i>Resultado para Caminhões</i> .....	74
6.1.2	<i>Resultado para Colhedoras</i> .....	78
6.1.3	<i>Resultado para Tratores</i> .....	80
6.1.4	<i>Conversão dos Dados Obtidos para Unidade de Referência</i> .....	83
6.1.5	<i>Comentários Finais Sobre a Coleta de Dados</i> .....	84
6.1.6	<i>Comparação Entre o Inventário doecoinvent e os Resultados da Usina Alpha-pi</i> .....	86
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	98
8	PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS .....	99
	REFERÊNCIAS .....	100
	GLOSSÁRIO.....	105
	ANEXO A – LIMITES LEGAIS PARA COMBINAÇÃO DE VEÍCULOS .....	107
	ANEXO B – PADRÕES PROCONVE – LIMITES E DEFINIÇÕES .....	108
	ANEXO C – CURVA DE SUCATEAMENTO CETESB .....	110
	ANEXO D – GASTOS ACUMULADOS COM TRANSBORDO .....	111
	APÊNDICE A – BRAINSTORMING PARA ACV DOS CAMINHÕES.....	112
	APÊNDICE B– QUESTIONÁRIO PARA CAMINHÕES .....	113
	APÊNDICE C– QUESTIONÁRIO PARA COLHEDORAS.....	116
	APÊNDICE D– QUESTIONÁRIO PARA TRATORES .....	120

## 1 INTRODUÇÃO

A produção e geração de energia possibilita o desenvolvimento econômico de um país, visto que tanto a indústria, quanto o comércio e os consumidores domésticos dependem de energia.

No Brasil, há diversas formas de geração de energia e/ou produção de combustíveis para este desenvolvimento. Combustíveis fósseis e biocombustíveis são ofertados ao mercado em diversos produtos de uso exclusivo ou em conjunto: Etanol, Gasolina, Gás Natural e Diesel são os principais deles. Contudo, o esforço mundial em reduzir as emissões de gases causadores do efeito estufa tem levado a uma busca contínua por combustíveis de origem de biomassa. O etanol, primeiro exemplo citado, faz parte deste esforço. Esse combustível contribui em três áreas de especial interesse para o país (SEBRAE, 2013):

- a) Melhoria do meio ambiente, principalmente nos grandes centros urbanos;
- b) Base em biomassa e renovável;
- c) Geração de empregos em toda a cadeia sucroalcooleira e novas oportunidades de negócios.

Para o presente trabalho, será dada ênfase na análise do impacto proveniente da colheita e do transporte da cana-de-açúcar feita pelos veículos responsáveis por tais tarefas. Impactos estes devidos à produção, manutenção e operação dos veículos nos canaviais serão o foco do estudo a fim de se prover um banco de dados específico sobre a mecanização de corte da cana-de-açúcar no Brasil. Estes dados poderão ser usados para o cálculo da eficiência do etanol e também para a utilização de futuros inventários de ciclo de vida.

Embora um dos órgãos mais respeitados no estudo e divulgação de inventários de ciclo de vida no mundo, oecoinvent, tenha divulgado um banco de dados específico para o transporte de mercadorias e pessoas, este representa uma realidade europeia e não contempla a do transporte canavieiro brasileiro. Os dados de inventário divulgado peloecoinvent detêm informações sobre a manufatura, utilização dos veículos em campo, construção de infraestrutura e descartes de materiais que sintetizam informações de uso na Europa, China e Estados Unidos,

porém não cita o Brasil. O levantamento de dados nacionais para o transporte da cana-de-açúcar é possível através de uma coleta junto às usinas sucroalcooleiras, visto que são elas as detentoras do maquinário agrícola, por meio de questionários específicos ou entrevistas presenciais nas mesmas. A utilização doecoinvent pode ser feita para se ter como base as informações que são necessárias para serem colhidas e posteriormente utilizadas para pesquisas de ACV.

### 1.1 Cana-de-Açúcar: Uso, Consumo e Transporte

No ano de 2005 a frota de veículos que utilizavam o etanol (em veículos do tipo *flex* ou exclusivos a álcool) era de 17,7% da frota total de veículos. Já no ano de 2011 a fração destes tipos de veículos sobre a frota total chegou a aproximadamente 55%, sendo esperado um crescimento que alcance 89% do total da frota brasileira em 2020 (UNICA, 2013).

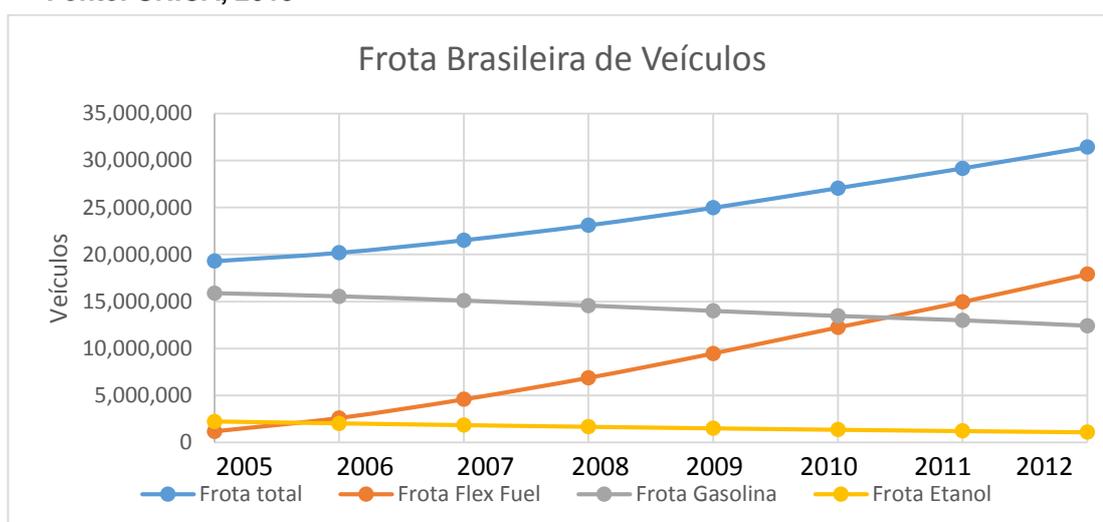
Este aumento do número de veículos, mostrados na Figura 1 e no Gráfico 1, é responsável pela quantidade de produção e da colheita canavieira no país, visto que o consumo de etanol anidro<sup>1</sup> e hidratado chegou ao ano de 2011 a aproximadamente 19 bilhões de litros segundo dados apresentados na Tabela 1 e Tabela 2. Mais de 54% da cana colhida no Brasil em 2013 destinou-se à produção de etanol (UNICA, 2013).

Ano	Número de veículos			
	Frota total	Frota flex fuel	Frota gasolina	Frota etanol
2005	19.287.232	1.183.574	15.872.979	2.230.679
2006	20.177.701	2.603.914	15.541.077	2.032.710
2007	21.517.698	4.586.512	15.085.856	1.845.330
2008	23.104.220	6.878.189	14.555.523	1.670.508
2009	24.967.140	9.467.825	13.991.052	1.508.263
2010	27.058.723	12.244.937	13.455.428	1.358.358
2011	29.160.425	14.944.734	12.995.272	1.220.419
2012	31.410.701	17.895.374	12.421.332	1.093.995

**Figura 1 - Frota Brasileira de Veículos**

<sup>1</sup> O Etanol Anidro, também chamado de puro, possui composição de 99% de álcool, enquanto o hidratado possui água em sua composição (cerca de 5%). O etanol anidro é usado na indústria de tintas e solvente e o hidratado é vendido em postos de combustíveis.

Fonte: UNICA, 2013



**Gráfico 1 - Frota Brasileira de Veículos**

Fonte: Adaptado de ÚNICA, 2013

**Tabela 1 - Consumo de Etanol Hidratado em Litros**

	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Total (litros)</b>	16.470.948.169	15.074.300.487	10.899.220.533	9.850.180.303	4.835.622.480

Fonte: Adaptado de UNICA 2013

**Tabela 2 - Consumo de Etanol Anidro em Litros**

	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Total (litros)</b>	6.352.272.475	7.087.835.594	8.391.180.232	7.939.542.942	4.298.290.168

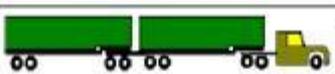
Fonte: Adaptado de UNICA 2013

Embora o consumo tenha diminuído nestes anos, a produção de etanol ainda é investida do Brasil por interesses apontados em SEBRAE (2013).

Preocupações sobre o aumento das áreas destinadas à produção sucroalcooleira já foram publicados no relatório da ONU em 2007 pelo jornal BBC Brasil. Nele havia apontamentos da ONU de que “com o possível aumento da exportação de etanol de países como o Brasil para a Europa, os Estados Unidos e o Japão, está aumentando a preocupação quanto à sustentabilidade de uma produção de biomassa em larga escala”. No mesmo relatório, cujas pesquisas mostravam as mudanças do cenário no meio-ambiente desde o ano de 1987, havia uma afirmação de que este medo se deve "ao fato de a terra disponível, além das reservas de

biodiversidade, ter que ser dividida para diversos usos, como a produção de alimentos e de vegetais para a produção de energia" (BBC BRASIL, 2007).

Para sustentar a produção canaveira nacional, uma frota de veículos deve ser especialmente adaptada para estes tipos de atividade. Estes veículos pesados são divididos em quatro principais tipos (SILVA, 2006) apresentados na Figura 2.

COMPOSICAO	ESQUEMA	DESCRIÇÃO
Truck/Toco/Caminhão simples		Caminhão plataforma
Romeu e Julieta/Biminhão		Caminhão plataforma com uma carreta acoplada
Treminhão		Caminhão plataforma com duas carretas acopladas
Rodotrem		Cavalo mecânico com dois semi-reboques acoplados

**Figura 2 – Descrição das Composições Utilizadas na Colheita e Transporte de Cana-de-Açúcar.**

Fonte: (SILVA, 2006)

Além dos caminhões em atividade nos canaviais, as máquinas colhedoras e os tratores de transbordo possuem papel fundamental na operação, sendo responsáveis por cortar a cana e depositá-la no caminhão que a acompanha.

O Impacto proveniente das operações destes veículos é desconhecido. A avaliação do ciclo de vida destes pesados produtos pode ajudar a elaborar mapas de emissões e mensurar seu impacto.

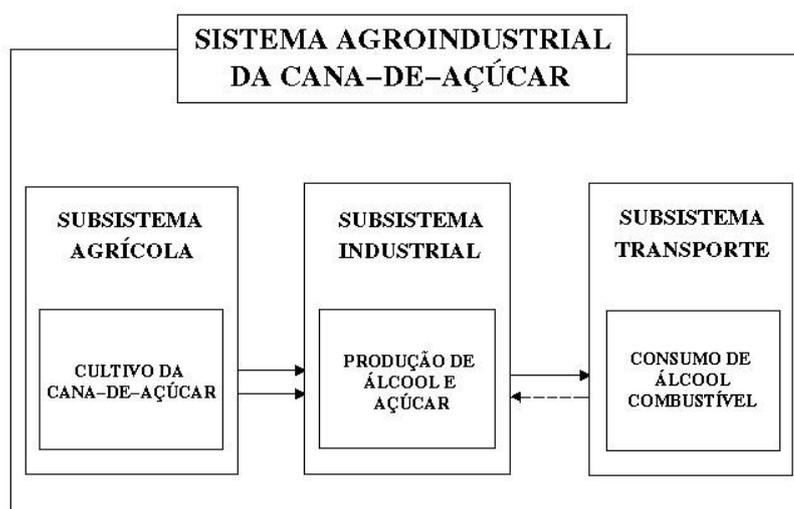
É função da engenharia mecânica mensurar dados que auxiliem na tomada de decisões a fim de tornar qualquer atividade viável, e a avaliar decisões de caráter econômico e legislativo referentes, por exemplo, a emissões e consumo de combustível e matéria-prima. Quem não mede, não gerencia (FALCONI, 2010).

## 1.2 Caracterização do Problema: Mensuração de Dados

A Embrapa Monitoramento por Satélite afirmou em seu site que “com exceção de alguns estudos, são poucos os trabalhos de pesquisa que tenham realizado de

forma circunstanciada e abrangente a avaliação do impacto ambiental (AIA) da localização atual do cultivo da cana-de-açúcar. Desconhece-se a existência, no Brasil, de outros trabalhos de avaliação do impacto ambiental da evolução espaço-temporal do uso das terras em regiões canavieiras, cobrindo - por exemplo - a evolução dos últimos 30 anos. ” (EMBRAPA, 2013).

O ciclo da cana de açúcar (sistema industrial) pode ser resumido em três subsistemas que, de forma interligada, contribuem para a chegada dos combustíveis aos usuários. Estes três sistemas são o sistema de cultivo da Cana-De-Açúcar (plantio e colheita), o sistema de produção do álcool nas usinas sucroalcooleiras e o sistema de transporte (que inclui o uso comercial do combustível e o próprio uso para a produção do mesmo). Este processo industrial da cana está resumido na Figura 3.



**Figura 3 – Sistema Agroindustrial da Cana-de-Açúcar**  
 Fonte: EMBRAPA, 2013

Como afirmado pela Embrapa (2013), o estudo de um único subsistema da figura não possibilita a ninguém julgar ou avaliar o sistema de cultivo ou a produção da cana-de-açúcar em termos de impactos ambientais. Como não existe estudo sobre os impactos provenientes do transporte da cana-de-açúcar, que representa os dois primeiros segmentos entre o subsistema agrícola e o industrial (do canavial à usina), com o presente trabalho se propõe a contribuir cientificamente com uma base de dados referentes ao uso de veículos apropriados para este fim. O órgão termina afirmando que a “avaliação do impacto ambiental do sistema de produção da cana-

de-açúcar não foi realizada de forma completa, ainda que em caráter piloto, em nenhum lugar de S. Paulo ou no Brasil” o que reforça o problema da falta de mensuração de dados.

### **1.3 A mecanização do campo para colheita de cana de açúcar nacional**

O corte mecanizado iniciou-se na década de 1970 com o advento das colhedoras autopropelidas capazes de juntar em uma única máquina várias funções, dentre elas: cortar, picar, limpar e carregar. Nessa época, além da exigência de se cumprir o PROÁLCOOL<sup>2</sup>, a falta de mão de obra disponível para o corte manual alavancou a implementação da mecanização do corte (RAMÃO *et al.* 2007). Mesmo assim, nos anos seguintes o crescimento foi lento, de modo que o grande impulso da mecanização se deu apenas nos anos 1990, e mais recentemente a partir de 2007 com a assinatura do Protocolo Agroambiental<sup>3</sup>, firmado entre o governo paulista e a UNICA.

Essencialmente pode-se encarar a mecanização do corte como uma estratégia de superação de gargalos produtivos, manutenção da competitividade (RAMÃO *et al.*, 2007) e conscientização ambiental e social de um setor importante da economia nacional, haja visto que nas safra de 2013/2014, 90% da produção de cana paulista foi feita sem queima (UNICA, 2014). O fim gradual da dependência da mão de obra braçal - pouco efetiva, fatigante, cara, por vezes escassa e de baixa qualificação - teve e tem papel fundamental no incentivo à mecanização do corte, bem como a busca por alternativas à colheita da cana queimada, a preocupação com a erosão e a busca por qualidade em termos de terrenos para o plantio da cana (UNICA, 2014). Soma-se a isso a fiscalização acirrada por parte do Ministério Público em termos de condições de trabalho nos canaviais nos últimos anos.

---

<sup>2</sup> Programa criado pelo governo brasileiro em 1975 buscando incentivar a produção de etanol por meio de incentivos fiscais e empréstimos bancários a taxas reduzidas para produtores de cana-de-açúcar e indústrias automobilísticas que desenvolvessem carros movidos a álcool. (FRANCISCO, 2014)

<sup>3</sup> Protocolo que antecipa os prazos legais paulistas para eliminação da colheita da cana de açúcar sem a necessidade de queima (UNICA, 2014).

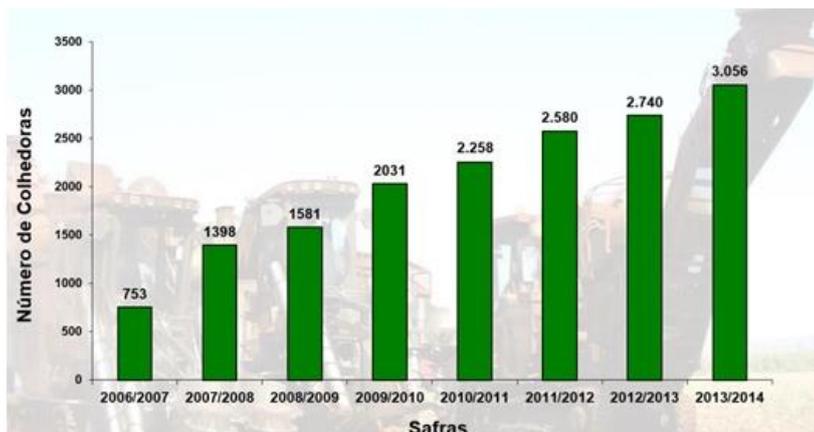
Para a mecanização do campo é necessário que uma rede de máquinas faça o transporte do canavial até a usina de forma contínua. A Figura 4 apresenta um resumo dos veículos que são utilizados no campo para tal finalidade e cuja quantidade depende de diversos fatores, tais como tamanho do canavial e condição econômica do produtor, por exemplo.



**Figura 4 – Maquinário para indústria Canaveira**

Fonte: Autoria própria

Há uma forte tendência ao crescimento do número de colhedoras no estado de São Paulo devido à assinatura do Protocolo Ambiental. Os signatários deste programa comprometeram-se a eliminar a coleta da cana queimada até 2014 em canaviais com 12% de inclinação e até 2017 para os demais. Após a assinatura deste protocolo, o número de colhedoras cresceu mais de quatro vezes em menos de 10 anos como demonstra o Gráfico 2, acreditando-se que quanto mais signatários, maior é a propensão de aumento deste número.



**Gráfico 2 - Evolução do Número de Colhedoras no Protocolo Agroambiental**

Fonte: Adaptado de Etanol Verde/Safra, 2013-2014

## 1.4 Objetivos

O objetivo do presente trabalho é coletar dados atrelados à utilização de veículos empregados na colheita e transporte de cana-de-açúcar, criando um banco de dados que possa ser utilizado futuramente para cálculos de eficiência energética e estudos de ciclo de vida destes produtos. Para isto faz-se necessária uma coleta de dados precisa e direcionada, a fim de se mapear e entender melhor a utilização destes veículos nos canaviais brasileiros. Dessa forma, o trabalho depende fortemente de dados provenientes de usinas sucroalcooleiras e das montadoras que produzem e usam estes veículos. Com os dados pretende-se mensurar e prover informações sobre os impactos gerados pela utilização destes veículos no sistema agroindustrial da Cana conforme detalhado nos itens 1.4.1 e 1.4.2.

### 1.4.1 Gerais

- i) Criação de um formulário para coleta junto às Usinas;
- ii) Criação de um banco de dados do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar referente ao sistema de transporte utilizado;
- iii) Fornecer dados reais ao ecoinvent;

### 1.4.2 Específicos

- i) Transferência dos dados coletados para a unidade de referência do ecoinvent;

- ii) Cálculo de emissões devido ao consumo de combustível com os dados obtidos;
- iii) Validação dos dados frente aos dados de inventário apresentado pelo ecoinvent;
- iv) Divulgação e análise dos resultados;

## 1.5 Justificativa

Como relatado, a Embrapa (2013) afirmou que não existe nenhum estudo efetivo que possibilite levantar dados a respeito do impacto ambiental proveniente da localização atual do cultivo da cana-de-açúcar. Nossa função é, então, levantar os dados deste sistema de transporte que possam ser usados no futuro em estudos de ciclo de vida de produto, cálculo de eficiência energética, e outras pesquisas que necessitem de tais dados.

Um estudo de ACV acerca de determinado produto pode auxiliar e justifica a pesquisa das seguintes formas:

- i) Na identificação de oportunidades para melhorar os aspectos ambientais dos produtos em vários pontos de seu ciclo de vida;
- ii) Na tomada de decisões na indústria, organizações governamentais ou não governamentais (por exemplo, planejamento estratégico, definições de prioridades, projeto ou reprojeção de produtos ou processos).
- iii) Na seleção de indicadores pertinentes de desempenho ambiental, incluindo, técnicas de medição;
- iv) No *marketing* (por exemplo, uma declaração ambiental, um programa de rotulagem ecológica ou uma declaração ambiental de produto).

A avaliação do ciclo ambiental embora tenha suas limitações técnicas (ver em Fundamentação Teórica) ajuda no levantamento de dados pertinentes ao potencial impacto que determinado produto pode causar, bem como o auxilia no cálculo futuro de sua eficiência energética para fins de comparação com combustíveis alternativos que venham a ser desenvolvidos para a mesma finalidade. Uma comparação de

produtos em termos ambientais (relativamente a seu impacto) só pode ser feita quando servirem para o mesmo objetivo ou propósito.

O levantamento de dados que pode ser utilizados em ACV sobre utilização dos veículos para colheita e transporte da cana-de-açúcar contribuirá para o levantamento de dados da AIA do sistema agroindustrial da cana de açúcar. Estes dados poderão, futuramente, ser utilizados para um melhor cálculo da eficiência energética deste sistema e também para o levantamento de quais pontos são mais impactantes a ponto de se resolver ou minimizar o impacto na raiz do mesmo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 NBR ISO 14040

De acordo com a NBR ISO 14040 de 2001, o ACV (avaliação do ciclo de vida) é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante (NBR ISO 14040, 2001):

- i) A compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto;
- ii) A avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas;
- iii) A interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos.

De acordo, ainda, com a referida norma, podemos dividir uma avaliação de ciclo de vida em quatro fases principais.

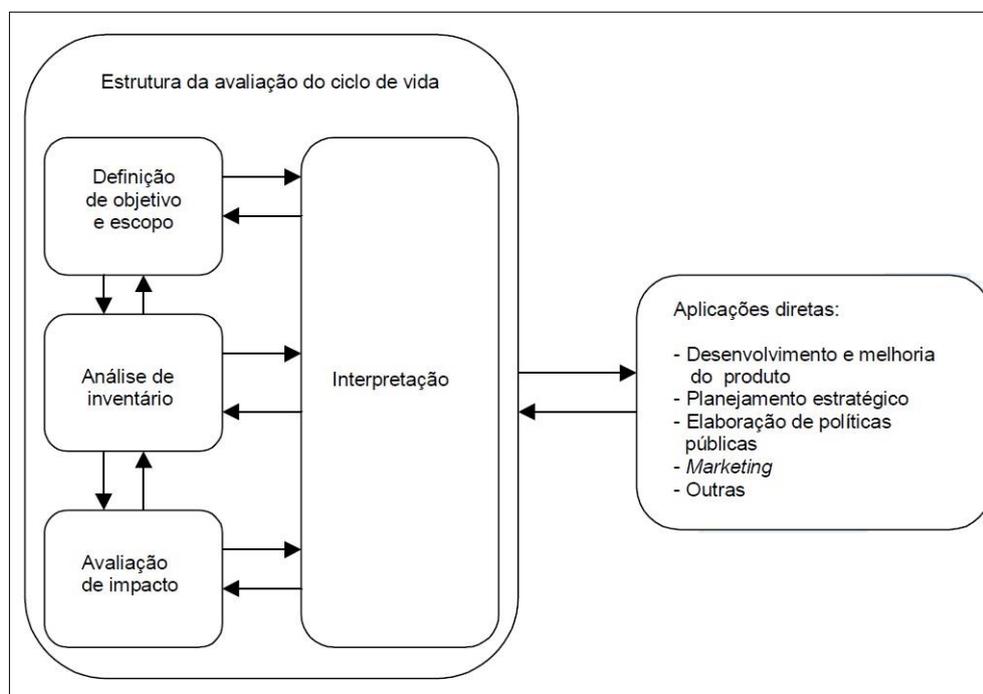
Inicia-se com a “definição dos objetivos a serem atendidos”. Consiste em demarcar a fronteira do sistema a ser estudado em termos das entradas e saídas de determinado processo. Com o levantamento da fronteira e dos dados necessários para uma avaliação rastreável e segura (em termos de qualidade dos dados) é possível dirigir-se à segunda fase.

Análise de inventário. Esta segunda fase consiste em se interpretar e analisar os dados do sistema (tanto de entrada quanto de saída) que englobam as reais necessidades do sistema.

A terceira fase, chamada “Avaliação do Impacto”, baseia-se na interpretação dos impactos provenientes do uso e/ou fabricação de determinado produto.

Para todas estas três fases faz-se necessário o uso massivo da interpretação dos dados (aqui como fase quatro) para que se minimize os erros provenientes do levantamento destes. A interpretação dos dados poderá ser utilizada para algumas aplicações citadas anteriormente: desenvolvimento e melhoria do produto, planejamento estratégico, *Marketing* e outros.

A Figura 5 e o exemplo a seguir podem ser utilizados como apoio para o entendimento do que é e como as quatro fases de uma ACV se comportam dentro de um estudo de AIA.



**Figura 5 – Fases de uma ACV**

Fonte: NBR ISO 14040, 2001

Exemplificando a figura 5, suponha que se pretenda estudar o ciclo de vida de um secador de cabelo (da marca “Froese&Finger”). A primeira tarefa a ser feita é definir o objetivo e o escopo do estudo, ou seja, qual a razão de estudar e qual público alvo será atingido. A resposta não é o objetivo deste presente trabalho, mas pode-se utilizar como exemplo que este estudo é dirigido aos fabricantes que têm como intenção melhorar seus produtos em termos de emissões ambientais e utilizar como um *marketing* verde. Para que se faça o estudo deste tipo de produto é relevante determinar qual será a fronteira do sistema: será estudado o produto desde a sua fabricação ao descarte (berço ao túmulo) juntamente ao transporte da fábrica até o consumidor, ou será feito somente o estudo da fabricação mais o uso do produto pelo consumidor? Ainda é necessário estimar, quando considerado a utilização do mesmo pelo consumidor, qual o tempo de utilização e qual o tempo de vida útil média de um secador desta marca. Estas suposições e os dados levantados

são de extrema importância para se verificar a relevância do estudo e também dos resultados obtidos. Não há sentido em considerar que um secador de cabelo é utilizado 10 horas por dia, durante trinta anos e com potência de 6 kW. Estas definições iniciais fazem parte da fase um de uma ACV.

A fase dois do estudo da ACV do exemplo consiste no levantamento de dados pertinentes à fronteira analisada. Segundo a norma, “a análise do inventário envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto. Estas entradas e saídas podem incluir o uso de recursos e emissões de poluentes no ar, na água e no solo associados com o sistema. Podem ser feitas interpretações destes dados, dependendo dos objetivos e do escopo da ACV. Estes dados também constituem a entrada para a avaliação do impacto do ciclo de vida” (NBR ISO 14040:2001). Pode-se dizer que para o secador de cabelo deve-se levantar dados do tipo:

- i. Qual(is) o(s) material(ais) utilizado(s) no secador;
- ii. Qual o peso destes componentes;
- iii. Qual o processo de fabricação (injetado, fundido, laminado a frio...);
- iv. Qual a potência do produto;
- v. Quantas horas ele será utilizado antes do descarte (consumo energético);
- vi. Como é feito o descarte do produto (aterro ou reciclagem);
- vii. Distância da fábrica ao posto de venda.

Após a análise dos dados levantados, faz-se necessário interpretá-los com relação ao impacto ambiental devido ao uso e/ou fabricação dos mesmos. Esta fase consiste na “avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, usando os resultados da análise de inventário do ciclo de vida. Em geral, este processo envolve a associação de dados de inventário com impactos ambientais específicos e a tentativa de compreender estes impactos” (NBR ISO 14040:2001). “Qual o maior impacto na utilização de um secador de cabelo?”; “Contaminação do solo, contaminação da água, emissão de CO<sub>x</sub>?”; “Dentre todos estes impactos, eles são provenientes da fabricação, do uso ou do transporte do mesmo ao consumidor?”. Estas perguntas são importantes para saber o que se deseja obter e o que fazer com os resultados obtidos. É com estes resultados que o fabricante pode agir a fim de melhorar seu produto.

Nota-se que nenhuma fase é independente de outra. Todas as interpretações são feitas em conjunto a fim de se atingir os melhores resultados, em termos de confiabilidade de dados, do sistema avaliado. A interpretação dos resultados, dados e impactos deve ser feito ao longo de todo o estudo de uma ACV.

## **2.2 ecoinvent**

Um dos órgãos responsáveis por realizar e divulgar dados sobre avaliação do ciclo de vida é o chamado *ecoinvent*. Este centro de pesquisa Suíço é formado pela *Swiss Federal Institute of Technology Zürich, Lausanne the Paul, Scherrer Institute, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research* e *Swiss Federal Research Station Agroscope Reckenholz-Tänikon* (adaptado do sítio do *ecoinvent*, 2015).

O *ecoinvent* tem como função estudar e divulgar dados referentes a pesquisas da avaliação do ciclo de vida de produtos. Estes dados são divulgados para indústrias, consultores, autoridades públicas e instituições de pesquisa.

Um dos relatórios providos por esta entidade é referente ao serviço de transporte de diversos tipos de caminhões sobre a Europa durante os anos de pesquisa do estudo e teve como objetivo a complementação e a extensão dos dados disponibilizados por Frischknecht (1996) e Maibach (1999) para diversos tipos de transporte.

A pesquisa a que se presta este trabalho seguirá algumas considerações feitas pelo *ecoinvent* com relação específica à frota de transporte rodoviário, inventário número 14, apresentado por Villigen e Uster (2007). As principais considerações são detalhadas a seguir.

### **2.2.1 Impactos**

O transporte de produtos está relacionado a uma grande variedade de impactos em todas as escalas geográficas, desde aquecimento global até a poluição do ar local e o uso do solo. Esse transporte consome quantidades relevantes de combustíveis que são as principais fontes de poluentes como o dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos. Além do mais, a construção e a operação de

transporte rodoviário, bem como a construção e falta de manutenção dos veículos, aumentam o potencial de impacto dos meios de transportes.

### 2.2.2 Modelo Estrutural: Caracterização de um Sistema

O sistema de ACV dos caminhões de transporte pode ser dividido em subsistemas que facilitem a interpretação dos dados.

O ecoinvent faz a divisão do ACV de transporte em:

- i) Fabricação;
- ii) Manutenção;
- iii) Operação veicular (pré-combustão, consumo de combustível);
- iv) Construção de rodovias (aqui se incluem os túneis, pontes, estradas.);
- v) Descarte dos componentes;
- vi) Operação da rodovia (*i.e.* iluminação e manutenção).

A Figura 6 exemplifica todos estes sistemas e suas interligações, bem como suas considerações de entrada e saída de massa e energia. O transporte de mercadoria é o conjunto destes seis sistemas. Observa-se que a unidade funcional de cada sistema é dada em tkm, chamada de “tonelada quilometro”. Esta unidade é definida como “a unidade de medida do sistema de transporte de produtos que representa uma tonelada de mercadoria transportada por km”.

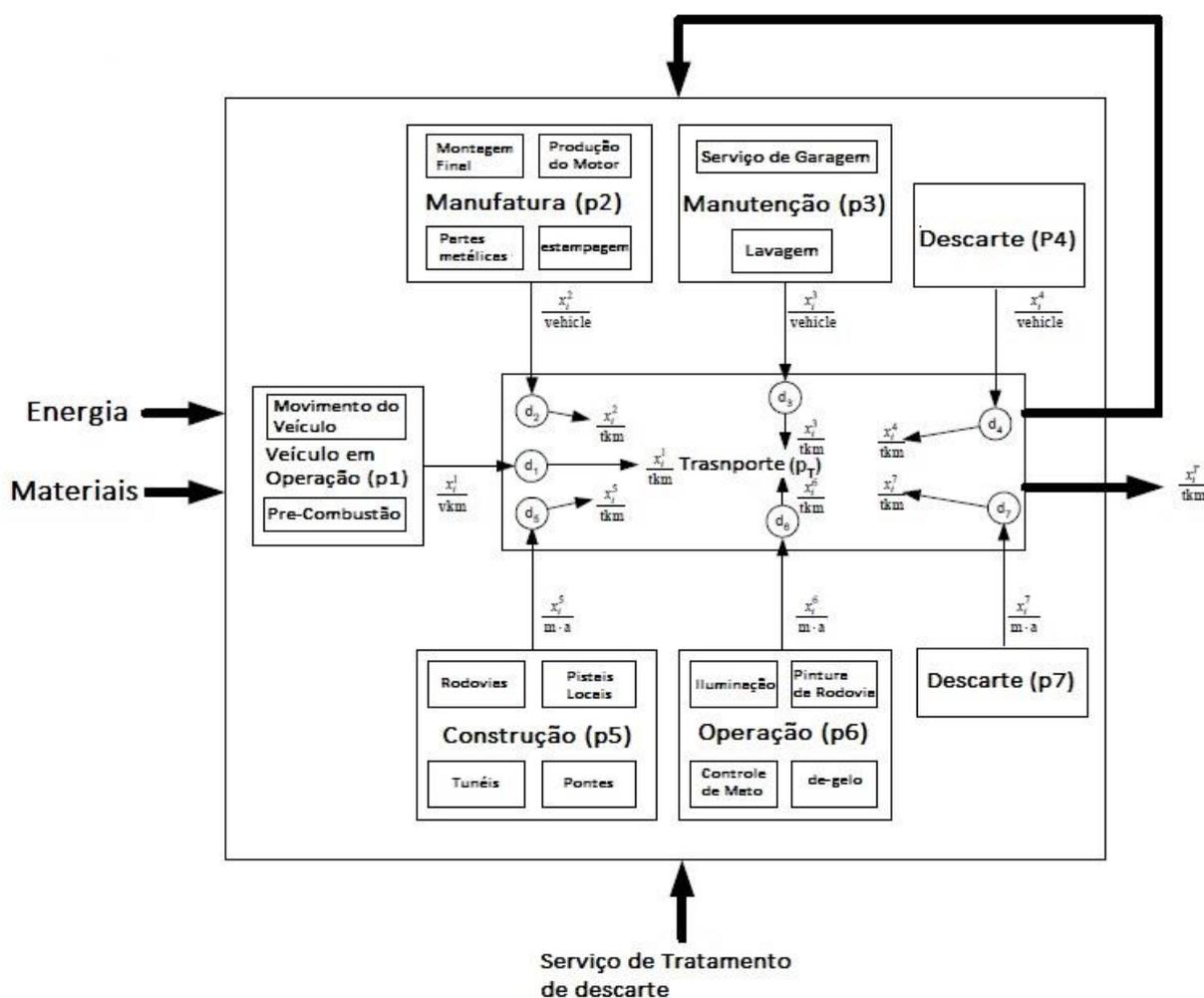
Este modelo de estrutura é regido pela equação (1) abaixo:

$$x_i^T = \sum_{j=1}^n \frac{x_i^j}{r(p_j)} \cdot d_j \quad (1)$$

Na expressão,  $p_j$  ( $J= 1,2,3\dots$ ) representa o número de sistemas do transporte no ciclo de vida do produto (como por exemplo nos sistemas de manufatura e manutenção dos veículos) e “n” o número ou quantidade destes sistemas avaliados. O índice T refere-se a *Transport Services (serviços de transporte)*,  $d_j$  é chamado de fator de demanda e serve para converter vários componentes de transporte para a unidade funcional avaliada de uma tonelada quilometro (tkm). Por fim, a expressão

$x_j^i / r(p_j)$  indica as intervenções acumuladas de certo componentes relacionadas com seu fluxo de referência.

A equação (1) é didaticamente a melhor forma para trazer todos os componentes de todos os subsistemas para uma unidade comum que proporcione a o entendimento completo em toda cadeia do ACV.



**Figura 6 - Princípio do Modelo Estrutural e Componente dos Transportes e suas Correlações.**

Fonte: adaptado de VILLIGEN & USTER (2007, apud Spielmann & Scholz, 2005, p. 12).

### 3 METODOLOGIA

Baseado no trabalho proposto pelo *ecoinvent*, juntamente com as normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 pode-se ter base sobre o levantamento dos dados e considerações necessárias para a realização de uma ACV de veículos canavieiros a qual a pesquisa se propõe. Além do mais, esta última propicia a identificação dos impactos ambientais da atividade de forma mais clara.

#### 3.1 Descrição da Metodologia

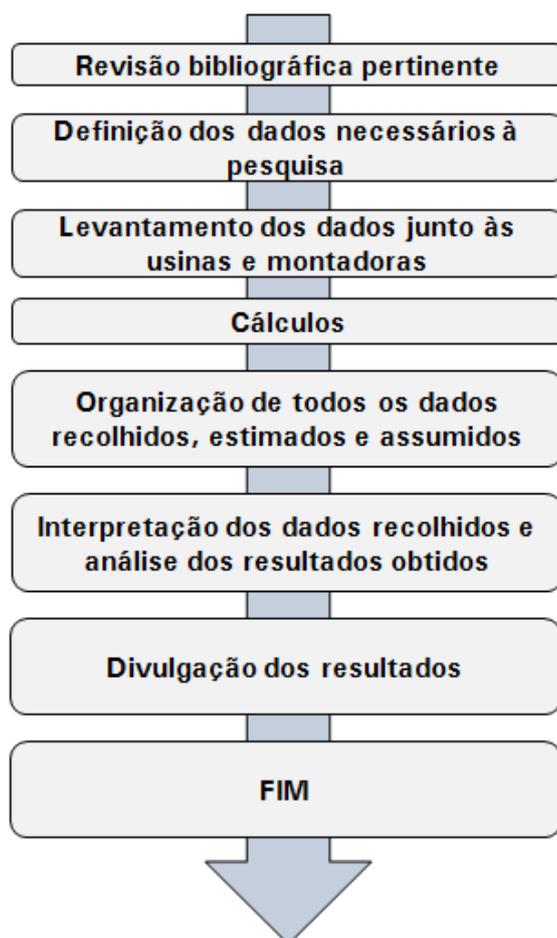
Para o levantamento da ACV de caminhões e colhedoras será necessário uma revisão bibliográfica de quais as etapas e procedimentos são necessários para a realização e divulgação do relatório de impactos provenientes deste serviço. A escolha da literatura é o próprio relatório do *ecoinvent*, aliado às normas técnicas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044.

Para tanto é necessária a complementação dos dados junto às usinas sucroalcooleiras, montadoras e a própria ANP para uma maior credibilidade dos dados e futura divulgação de resultados confiável e precisa. Dessa forma, faz-se necessário o apoio das usinas sucroalcooleiras e das montadoras responsáveis por estes veículos com a divulgação e compartilhamento de alguns dados chaves, tais como:

- i) Material dos componentes fabricados;
- ii) Consumo e modelos dos caminhões e colhedoras;
- iii) Quantidade de quilometragem em asfalto e em terra batida;
- iv) Frequência de manutenção de componentes;
- v) Forma de descarte dos componentes trocados;
- vi) Tipo de combustível;
- vii) Tipos de filtros utilizados (componente exemplo);
- viii) Tempo de uso na colheita;
- ix) Tempo de uso até o descarte;
- x) Carga média puxada;

A consulta junto à ANP servirá para definição dos tipos de combustíveis utilizados na frota brasileira de caminhões e a legislação vigente com relação a composição química deles.

A sequência da metodologia empregada pode ser descrita conforme o fluxograma seguinte.



**Figura 7- Fluxograma da Sequência de Metodologia**

Fonte: Autoria própria

### 3.1.1 Revisão Bibliográfica Pertinente

A revisão bibliográfica teve como foco o levantamento de publicações relativas a pesquisas em canaviais ou que tratavam de temas correlatos à coleta de dados técnicos sobre os veículos neles utilizados. A fim de nortear a busca, algumas palavras-chave foram utilizadas. Essas palavras são classificadas a seguir por tema.

- i) Ciclo de vida caminhão/colhedora/tratores de transbordo

- ii) Colhedora
- iii) Vida útil (caminhões/colhedoras/tratores)
- iv) Mecanização do corte de cana-de-açúcar

### **3.1.2 Identificação dos Dados Necessários para a Pesquisa**

Os dados necessários para a elaboração do presente trabalho foram levantados tendo como base aqueles que norteiam os relatórios doecoinvent, além de dados que a equipe julgou relevantes em termos de trabalhos futuros baseados nessa coleta de dados.

### **3.1.3 Levantamento de Dados Junto às Usinas e Montadoras**

Para que uma coleta representativa pudesse acontecer, foram selecionadas algumas usinas junto à EMBRAPA, usinas essas com as quais a entidade já trabalha em parceria em outros projetos.

Os dados mencionados no tópico anterior foram levantados junto às usinas por intermédio da distribuição de questionários contemplando os três tipos de veículos aqui estudados. Para tanto, um questionário piloto foi entregue à usina Alpha-pi (nome fictício), situada no estado de São Paulo, para um primeiro levantamento bem como para que a equipe pudesse determinar quais as dificuldades encontradas pelo entrevistado quando do preenchimento. Por meio desse primeiro questionário foi possível, também, adicionar perguntas que não haviam sido contempladas, bem como modificar outras cujo entendimento se mostrou complicado em campo.

Os questionários foram preenchidos de forma digital em formato Microsoft Excel® por parte dos entrevistados, sendo enviados em seguida de volta à equipe.

### **3.1.4 Cálculos**

Através dos dados recebidos via questionários, os dados foram trabalhados a fim de obter os valores médios para cada unidade levantada. Esses cálculos foram feitos através da junção dos dados em uma planilha Microsoft Excel®.

### **3.1.5 Organização dos Dados Recolhidos e Análise dos Resultados Assumidos**

Muitos dos dados obtidos tiveram que ser organizados para a divulgação no trabalho, não devido à complexidade em si, mas pela quantidade de dados referentes a cada tipo de veículos usado. Além do mais, alguns dados calculados, tais como tkm, tiveram de ser obtidos através de hipóteses bem detalhadas, como no caso das colhedoras.

### **3.1.6 Divulgação dos Resultados**

O capítulo seis (6) (resultado e discussões) apresenta os resultados da coleta dos dados junto às usinas e organiza de forma didática, mostrando o método de cálculo e informações relevantes obtidas junto a elas.

## 4 VARIÁVEIS DO INVENTÁRIO

Considerando as particularidades inerentes a cada um dos veículos ora estudados, faz-se necessária a identificação das variáveis capazes de impactar o estudo de ciclo de vida. Essas variáveis serão discutidas a seguir.

### 4.1 Caminhões

No caso dos caminhões o foco é dado à operação, manutenção, descarte ao longo de seu uso nos canaviais. Os dados necessários, e sua particularidades são apresentados a seguir, tendo por base literatura especializada e dados fornecidos pelos fabricantes.

#### 4.1.1 Brainstorming

Antes de levantar quaisquer pesquisas referentes aos elementos que podem influenciar diretamente as emissões pelo uso de veículos, faz-se necessário realizar uma técnica de *brainstorming* (GODOY, 1998) que almeja levantar quais particularidades aumentam ou diminuem os impactos ambientais dos caminhões canavieiros e das colhedoras. Particularidades são as características do veículo que impactam diretamente nas emissões como, por exemplo, o consumo, o peso, a carga, componentes trocados e até mesmo a manufatura dos mesmos.

A técnica de *Brainstorming* foi realizada em agosto de 2013 na biblioteca da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. As Informações dos participantes, bem como a duração são informadas no Quadro 1 .

<b>Local de realização</b>	Biblioteca UTFPR: Sala de Reuniões
<b>Participantes</b>	Jan-Andreas, Alex Cunha, Camila de Oliveira, Leonardo Martins, Gustavo Finger
<b>Duração</b>	45 minutos
<b>Mediador</b>	Gustavo Finger
<b>Software Utilizado</b>	x-mind® ( versão Gratuita)

#### **Quadro 1 - Detalhes do *Brainstorming* de Dados**

Fonte: Autoria Própria (2015)

Todos os participantes são estudantes de engenharia mecânica da UTFPR, sendo importante ressaltar que o aluno Jan Andreas possui experiência na indústria de caminhões enquanto os alunos Leonardo e Camila possuem experiência na indústria de colhedoras e tratores agrícolas.

O mediador da técnica estabeleceu os seguintes objetivos aos participantes:

- i) Identificar todas as variáveis de um veículo que podem influenciar nas emissões ou que diferencie um veículo ser mais ou menos ecológico.
- ii) As características que devem ser levadas em conta são: sistema de utilização do veículo, infraestrutura de transporte, sistema de manufatura e manutenção & descarte de componentes.

Antes de começar, o mediador explicou o motivo da pesquisa e também as variáveis que foram consideradas peloecoinvent para a realização do seu inventário (2.2.2 Modelo Estrutural). Com isso, os participantes obtiveram previamente conhecimento do que era esperado deles durante a seção de *Brainstorming*.

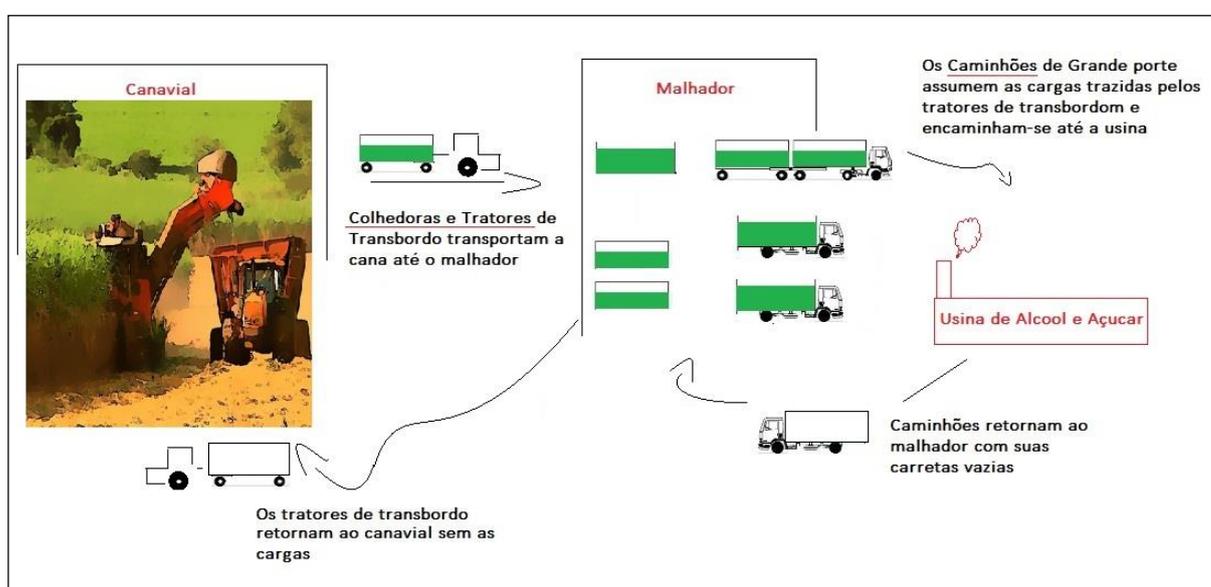
Como regra geral, foi acordado previamente que os primeiros 15 minutos seriam para exposição das ideias e que não poderiam ser feitas críticas quanto às ideias dos outros. Para cada ideia dada, o usuário deveria explicar como isto poderia influenciar na emissão ou na ACV de um produto de transporte.

Os últimos 20 minutos da técnica foram tomados para avaliação das ideias e divisão das mesmas dentro dos quatro características estabelecidas no objetivo inicial.

Após a realização deste *brainstorming*, pôde-se comparar com os estudos já realizados o que deve ser considerado no nosso estudo de caso. O resultado desta técnica pode ser verificado no Apêndice A – BRAINSTORMING PARA ACV DOS CAMINHÕES. Todos os elementos que foram considerados importantes e que deveriam ser levantados a fim de se obter um banco de dados útil para caracterização dos veículos são apresentados nos itens seguintes. É importante ressaltar que o Brainstorming relativo aos caminhões serviu de base para as colhedoras e tratores; porém, como estes últimos produtos são mais específicos, foi necessária uma conversa com profissionais que trabalhavam diretamente com estes produtos afim de se entender os seu funcionamento e suas diferenças.

#### 4.1.2 A Utilização de Caminhões no Transporte da Cana de Açúcar

Segundo Marques *et al.* (2006), o uso do cavalo mecânico com capacidade de carregamento de até 40 toneladas no transporte da cana encontra uso quando de distâncias superiores a 30 km. Nesse caso, a matéria-prima é levada do canavial até a área denominada malhador por tratores de grande porte, os chamados veículos de transbordo. Esses tratores deixam ali a carreta cheia, e retornam ao canavial com carretas vazias. Essas carretas por sua vez foram trazidas vazias da usina pelos caminhões, que agora assumem as carretas cheias trazidas do canavial. A Figura 8 detalha este processo.



**Figura 8 – Fluxo de Transporte e Maquinário nos Canaviais**

Fonte: Autoria própria

Conforme a classificação que será apresentada no capítulo 4.1.3, existe diferentes tipos de composições que se adequam a diferentes condições de transporte, variando, em termos de capacidade de carregamento, de caminhões médios com capacidade de 8 a 18 toneladas, até os chamados superpesados, tracionando carretas com capacidades que variam de 45 a 50 toneladas. Segundo ainda Marques *et al.* (2006), a escolha de uma ou outra unidade de transporte será função de fatores relativos à distância do campo de produção da unidade industrial, da trafegabilidade da malha viária (largura, tipo, estado do eixo carroçável, aclives e

declives, obras, etc), da quantidade transportada além dos custos operacionais de cada tipo de unidade de transporte que vier a utilizar.

O tipo mais tradicional de caminhões é o de carroceria de fueiros de ferro, dotados de transmissão simples ou dupla e que possibilita o aumento da carga líquida de oito para até 17 toneladas. Outro tipo de veículo comum é o chamado “Romeu e Julieta”, que leva um semi-reboque além de sua própria carroceria. A capacidade líquida desses veículos está entre 25 e 30 toneladas, e seu uso é indicado para distâncias entre 20 e 50 km do campo à indústria. Segundo Marques et. al. (2006), para que essas composições sejam econômicas, é preciso que o leito carroçável esteja em condições de permitir uma velocidade média de deslocamento superior a 50 ou 60 km/h, do contrário o custo da tonelada/quilômetro transportada pode inviabilizar o seu uso. Por fim os caminhões superpesados, podendo tracionar três a quatro implementos por vez, totalizando até 60 toneladas por viagem são recomendados para distâncias superiores a 30 km, dispendo de carroceria de fueiros ou fechada; Seu uso depende de rodovias pavimentadas (MARQUES, 2006). A carroceria do tipo fueiros é utilizada para diminuir o peso do veículo, carregando a carga com auxílio de amarras. Um exemplo deste veículo é mostrado na Figura 9.



**Figura 9 – Caminhão Fueiros**

Fonte: Caminhões e Carretas, 2014.

A carga de cada veículo influencia diretamente no cálculo do tkm do mesmo.

### 4.1.3 Classificação Quanto à Composição dos Veículos

Um dos órgãos mais respeitados sobre o controle de emissões veiculares é a CETESB. Este órgão pertence ao governo do estado de São Paulo e utiliza como metodologia para se estimar as emissões dos veículos o primeiro (1º) Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, que foi publicado no ano de 2011 pelo ministério do meio ambiente. Além do mais a CETESB atua como agente técnico da PROCONVE e do PROMOT, como membro da comissão Técnica do PBEV e como autoridade ambiental no estado, responsável pelo PCPV 2011-2013 (CETESB, 2012).

Diferente da classificação apresentada por SILVA (2006) na Figura 2, a CETESB destaca a nova “subdivisão” da categoria de caminhões em cinco subcategorias, que permite acessar melhor os impactos nas zonas urbanas e rurais (rodovias), considerando que a capacidade do veículo em termos de carga está fortemente atrelada ao tipo e local de uso. A classificação da CETESB é mostrada no Quadro 2 abaixo:

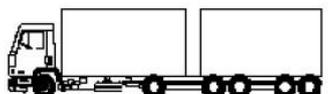
Categorias	Motor/Combustível	Definição
Caminhões Semi-Leves (3,8 t < PBT < 6 t)	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de carga, com carroçaria, e PBT superior a 3.856 kg
Caminhões Leves (6 t <= PBT < 10 t)		
Caminhões Médios (10 t <= PBT < 15 t)		
Caminhões Semi-Pesados (15 t <= PBT e PBTC < 40 t)		
Caminhões Pesados (15 t <= PBT e PBTC >= 40 t)		

### Quadro 2 - Distribuição das Categorias de Veículos

Fonte: Relatório de emissões Veiculares no Estado de São Paulo, CETESB 2012.

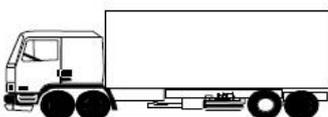
Nesta classificação o peso bruto total (PBT) é, segundo DNIT, o peso máximo que o veículo transmite ao pavimento, constituído da soma da tara mais a lotação. A tara constitui do peso do veículo, acrescido dos pesos da carroçaria e equipamento de combustível, das ferramentas e acessórios, da roda sobressalente, do extintor de incêndio e do fluido de arrefecimento. Na mesma lógica o peso bruto total compartilhado (PBTC) é o peso máximo transmitido ao pavimento pela combinação de um caminhão-trator mais seu semi-reboque ou do caminhão mais o seu reboque ou reboques (DENIT, abril 2012). Os limites de peso são estabelecidos pelos

fabricantes de veículos e homologados pelo INMETRO; os limites legais são apresentados no ANEXO A – LIMITES LEGAIS PARA COMBINAÇÃO DE VEÍCULOS. Dentro da classificação apresentada pela CETESB enquadram-se diversos tipos de composição. A título de exemplo, são apresentadas algumas destas composições (suas silhuetas) nas figuras seguintes.



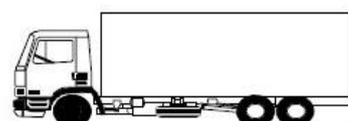
**Figura 10 – Caminhão + Reboque**

Fonte: DNIT, QFV 2012



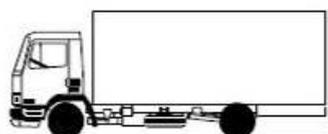
**Figura 11 – Caminhão Duplo Direcional Truncado**

Fonte: DNIT, QFV 2012



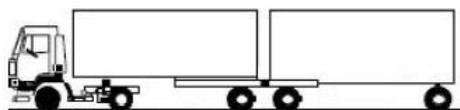
**Figura 12 – Caminhão Truncado**

Fonte: DNIT, QFV 2012



**Figura 13 – Caminhão Simples**

Fonte: DNIT, QFV 2012



**Figura 14 – Caminhão Trator + Semi Reboque + Reboque**

Fonte: DNIT, QFV 2012

Embora este tipo de classificação (por peso bruto) seja de mais fácil visualização para pesquisas de emissões e classificação de veículos, muitos proprietários ainda usam a classificação e nomenclatura dada por Silva (2006). Para facilitar o entendimento do questionário que será entregue às usinas, foi optado pela nomenclatura de Silva (2006): Caminhão simples ou Truck, Romeu e Julieta, Treminhão, Rodotrem, Carreta dois eixos, Carreta três eixos, e Carreta Cavalos truncado. Cada um com sua carga máxima permitida.

O tipo de caminhão e a caracterização do tamanho da frota são utilizados para o levantamento do consumo de combustível total, bem como da tonelagem puxada por cada um; ou seja, como já foi dito, é diretamente relacionado ao cálculo de tkm. Por exemplo, se um caminhão do tipo Rodotrem percorre 30 km da usina até o canal puxando aproximadamente 70 toneladas de carga durante cada viagem, o tkm do mesmo é calculado da seguinte maneira:

$$\text{Carga Puxada [ton]} * \text{Distância Percorrida [km]} = [?] \text{ tkm}$$

$$\text{Carga Puxada [70 ton]} * \text{Distância Percorrida [30 km]} = 2100 \text{ tkm por viagem};$$

A quantidade de viagens feitas até a usina durante o período de safra além da quantidade de safras trabalhadas por caminhão é diretamente ligada ao tkm do mesmo durante sua vida útil no canal.

#### **4.1.4 Distância Percorrida por Composição**

Uma das variáveis de maior importância dentro da ACV dos caminhões é a distância percorrida do canal até a usina. Este fato é levado em conta por toda a cadeia de distribuição de álcool, visto que distâncias muito grandes podem impactar no preço final do produto. A distância percorrida é utilizada também no cálculo da tonelada-quilômetro (tkm), que é a unidade de inventário utilizada no Ecoinvent, e definida como uma tonelada de carga levada por quilômetro.

De acordo com dados divulgados no PERFIL DO SETOR DO AÇUCAR E DO ALCOOL NO BRASIL, e apresentados na Tabela 3, elaborado pela diretoria de política agrícola e informações, a distância percorrida pelas composições até a usina depende da região analisada no Brasil. Como exemplo, o estado do Paraná (segundo maior produtor de cana de açúcar) possui uma média 21,3 km por viagem. Em São Paulo, maior produtor de cana de açúcar, o caminhão percorre uma média de 25,1 km por viagem. **A média brasileira é de 23,4 km.**

Como São Paulo produz cerca de 60% da cana, açúcar e etanol do Brasil (Nova Cana, 2015), será a quilometragem média percorrida naquele estado que será utilizado nos cálculos/inventários desta monografia.

A Tabela 3 a seguir demonstra estes e outros dados sobre a distância percorrida por estado e por tonelada transportada.

**Tabela 3 – Distância Média Percorrida Pela Cana do Ponto de Corte Até a Recepção na Unidade de Produção**

Estado/Região	Distância média do canal da cana transportada em volume (ton)				Distância média do canal da cana transportada participação percentual			Distância média geral (km)
	até 20 km	de 20 a 40 km	acima de 40 km	Total	até 20 km	de 20 a 40 km	acima de 40 km	
São Paulo	162.962.547	129.634.339	59.680.850	352.277.735	46,3%	36,8%	16,9%	25,1
Paraná	25.343.527	15.672.435	3.481.620	44.497.582	57,0%	35,2%	7,8%	21,3
Minas Gerais	20.906.037	15.492.803	5.420.025	41.818.865	50,0%	37,0%	13,0%	23,6
Mato Grosso do Sul	8.939.303	6.263.040	2.998.574	18.200.917	49,1%	34,4%	16,5%	24,5
Goias	16.133.220	9.923.367	3.749.459	29.806.046	54,1%	33,3%	12,6%	22,8
Mato Grosso	8.037.771	4.035.349	2.080.642	14.153.762	56,8%	28,5%	14,7%	22,7
Rio de Janeiro	1.052.737	1.406.144	944.531	3.403.412	30,9%	41,3%	27,8%	30,0
Espírito Santo	2.340.471	1.114.647	918.130	4.373.248	53,5%	25,5%	21,0%	24,6
<b>TOTAL DA REGIÃO CENTRO-SUL</b>	<b>246.715.613</b>	<b>183.542.124</b>	<b>79.273.830</b>	<b>508.531.567</b>	<b>48,3%</b>	<b>36,1%</b>	<b>15,6%</b>	<b>24,4</b>
Agoas	18.185.989	8.294.783	828.513	27.309.285	66,6%	30,4%	3,0%	14,3
Pernambuco	11.735.216	5.677.320	1.536.982	18.949.518	61,9%	30,0%	8,1%	16,1
Paraíba	3.441.622	1.874.899	569.466	5.885.978	58,5%	31,9%	9,7%	17,0
R. Grande do Norte	1.871.087	953.702	361.979	3.186.768	58,7%	29,9%	11,4%	17,3
Bahia	1.986.751	402.111	152.954	2.541.816	78,2%	15,8%	6,0%	12,9
Maranhão	1.879.353	400.807	-	2.280.160	82,4%	17,6%	0,0%	11,0
Piauí	412.715	274.169	213.297	900.181	45,8%	30,5%	23,7%	21,9
Sergipe	970.469	698.785	162.460	1.831.714	53,0%	38,1%	8,9%	17,8
Ceará	70.072	52.283	-	122.355	57,3%	42,7%	-	15,3
Amazonas	312.000	-	-	312.000	100,0%	-	-	8,0
Tocantins	285.000	-	-	285.000	100,0%	-	-	8,0
Pará	550.410	37.415	38.860	626.685	87,8%	6,0%	6,2%	11,3
<b>TOTAL DA REGIÃO NORTE-NORDESTE</b>	<b>41.700.684</b>	<b>18.666.275</b>	<b>3.864.501</b>	<b>64.231.460</b>	<b>64,9%</b>	<b>29,1%</b>	<b>6,0%</b>	<b>15,2</b>
<b>BRASIL</b>	<b>287.416.297</b>	<b>202.208.399</b>	<b>83.138.331</b>	<b>572.763.027</b>	<b>50,2%</b>	<b>35,3%</b>	<b>14,5%</b>	<b>23,4</b>

Fonte: BRESSAN FILHO, A. ANDRADE, R.A, 2010.

#### 4.1.5 Combustíveis Utilizados

À disposição do consumidor existem diferentes tipos de diesel com diferentes composições. O órgão responsável pelo controle e fiscalização dos combustíveis comercializados em território nacional é a ANP (Agência Nacional de Petróleo); e é por meio dela que são classificados os tipos de diesel que devem ser comercializados, bem como da cidade em que determinado tipo deve ser ofertado e a composição que deve apresentar; ou seja, cabe a esta agência proteger os interesses do consumidor quanto a preço, oferta de produtos e especificação da qualidade dos derivados de petróleo, gás natural e seus derivados e dos biocombustíveis.

Segundo a resolução da ANP nº 65, de 9.12.2011- DOU 12.12.2011 o diesel brasileiro divide-se em dois tipos: A e B. Este último apresenta Biodiesel em sua composição enquanto aquele não. A composição de biodiesel deve seguir regulamentação específica.

A divisão de diesel comercializado no Brasil é feita da seguinte forma (Resolução ANP, 2011):

- i) Óleo Diesel A S10 e B S10: combustível com teor de enxofre, máximo, de 10 mg/kg;
- ii) Óleo Diesel A S50 e B S50: combustível com teor de enxofre, máximo, de 50 mg/kg;
- iii) Óleo Diesel A S500 e B S500: combustível com teor de enxofre, máximo, de 500 mg/kg;
- iv) Óleo Diesel A S1800 e B S1800: combustível com teor de enxofre, máximo, de 1800 mg/kg;

Segundo esta mesma resolução, existem parágrafos específicos quanto à regulamentação a partir dos anos 2013 e 2014, são eles:

§ 1º A partir de 1º de janeiro de 2013, os óleos diesel A S50 e B S50 serão substituídos, integralmente, pelos óleos diesel A S10 e B S10, respectivamente, quando deverão ser disponibilizados para comercialização, conforme estabelecido pela ANP.

§ 2º A partir de 1º de janeiro de 2014, o óleo diesel B S1800 de uso rodoviário deverá ser totalmente substituído pelo óleo diesel B S500.

Como são diferentes as ofertas de diesel ao consumidor, sendo que algumas vezes alguns relatórios de análise de poluição do ar (ex. CETESB) caracterizam certos tipos de diesel como rodoviário e metropolitano, é necessário o levantamento de qual tipo específico é utilizado pelos caminhões nos canais. Além da oferta do diesel, outro fator que limita a utilização de determinado tipo de combustível é a tecnologia destes veículos. A fim de levantar estas informações é colocada uma questão específica sobre combustível junto ao formulário de entrevista. Finalmente, o tipo de combustível é diretamente relacionado com a emissão, visto que cada tipo apresenta determinada composição.

#### **4.1.6 Temperatura de Exposição**

Segundo Terry Newell e Natalie Dobie (1992) em relatório de preparação de procedimentos para inventário de emissões (volume IV: Fontes Móveis), produzido pelo *U.S Environmental Protection Agency*, um fator relevante para as emissões de poluentes é a temperatura a qual o veículo está submetido durante a sua utilização.

Ainda de acordo os pesquisadores, durante os ensaios dos veículos em condições apropriadas foram verificados que a temperatura e umidade influenciam as emissões dos veículos de forma significativa. A temperatura tem efeito tanto nas emissões de exaustão, isto é, dos gases de escape, como nas emissões evaporativas (para as quais o veículo não se encontra necessariamente em movimento). Para a referida modelagem sobre emissões, elaborada em *Mobile4.1*, foram considerados estes dois fatores separadamente.

Em geral, emissões de exaustão eram mínimas a uma temperatura especificada pelo FTP (órgão americano que estabelece os padrões de condição de teste para veículos leves). A temperatura a qual as emissões foram determinadas como mínima é de 75°F (~24°C), sendo que as emissões podem aumentar ou diminuir quando dispersam deste valor. O modelo criado por estes autores não possuía uma temperatura ambiente pré-fixada, sendo necessário entrar como *input*.

Embora a temperatura a qual os caminhões estão submetidos durante a colheita seja algo importante a se obter junto às usinas, optou-se por não adicionar ao questionário, em primeiro lugar para tornar o preenchimento do questionário mais

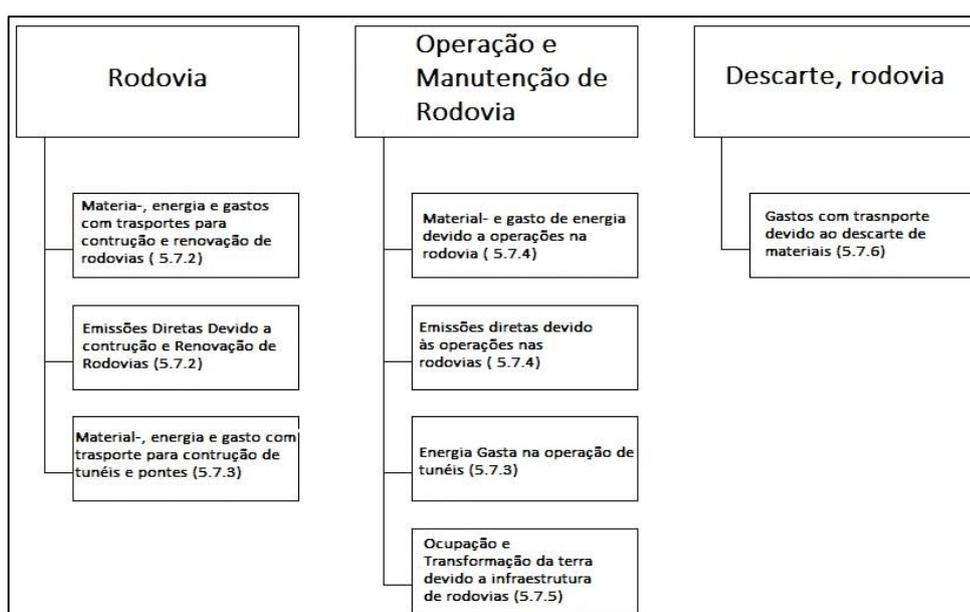
fácil para o entrevistado, visto tratar-se de um dado que pode demandar uma pesquisa grande por parte do próprio entrevistado, e segundo porque esse dado pode ser obtido por via alternativa junto aos órgãos de meteorologia do Estado de São Paulo.

Segundo o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da Universidade de Campinas (UNICAMP), o estado de São Paulo apresenta sete tipos climáticos de acordo com a classificação de Koeppen. O tipo mais comum corresponde ao clima tropical de altitude e abrange toda a parte central do estado com a temperatura média no mês mais quente superior a 22°C. Esta temperatura será utilizada como resposta nesta pesquisa.

#### 4.1.7 Distância Percorrida em Diferentes Tipos de Pavimentos

O ecoinvent considera no seu inventário de emissões os impactos provenientes dos transportes devido a intervenções de construção, renovação, operação e manutenção da infraestrutura de rodovias. No estudo feito, as rodovias foram classificadas em três subgrupos conforme esquema representado na Figura 15.

Os três subgrupos são divididos em infraestrutura de rodovias devido à construção das mesmas, operação de manutenção e descarte dos materiais utilizados na construção das mesmas.



**Figura 15 – Módulos de Infraestrutura de Rodovias.**

Fonte: adaptado do inventário do ecoinvent nº14, 2007

Embora os dados deste inventário representem bem as condições de rodovias presentes na Europa, estes não podem ser aproveitados em termos da realidade brasileira. Por este motivo, pretende-se levantar dados referentes ao transporte da cana de açúcar, tanto em meio urbano (através de rodovias pavimentadas), quanto em meio rural (nos próprios canaviais). A diferença entre estes dois tipos de estradas serve para mensurar onde o impacto é relativamente maior (Figuras 16 e 17) e alocar o impacto referente a esta atividade englobando a infraestrutura de rodovias para esta atividade.



**Figura 16 – Rodovias Pavimentadas**

Fonte: Guara Notícias, 2015



**Figura 17 – Estrada de Canavial**

Fonte: Fotografia Gomes, 2006

#### **4.1.8 Compactação do Solo**

Pedron *et al* indica que o “solo não é uma entidade discreta, isto é, não há um indivíduo solo na natureza, mas um contínuo na paisagem, com progressiva gradação resultante da combinação dos processos e fatores pedogenéticos (JENNY, 1941 apud Pedron *et al*, 2004, p. 1647). Os processos de transformações químicas,

físicas e biológicas que ocorrem no solo são de interesse dos profissionais das mais diversas áreas da ciência, como por exemplo, agronomia, geologia, geografia, engenharia civil e engenharia ambiental.”

Dias Junior (2000, apud *Pedron et al*, 2004, p. 1650) revela que um dos problemas encontrados durante a utilização dos solos é a chamada compactação dos mesmos. Este problema é caracterizado pela diminuição do volume e aumento da densidade do solo, resultante da expulsão do ar dos poros nele. A compactação pode ainda ser maior se ocorrer com o solo úmido (BAVER et al.,1972 e REINERT, 1900, apud *Pedron et al*, 2004, p.1650).

A compactação do solo pode ocorrer de duas maneiras. A primeira maneira é devida à construção de rodovias e a segunda é devido à utilização das mesmas sem o devido controle de trafego (USDA, 2000, apud *Pedron et al*, 2004, p.1650).

#### **4.1.9 Poluição dos Solos**

Segundo BRASIL (1981, apud *Pedron et al*, 2004, p.1651), a degradação da qualidade ambiental resulta de atividades que direta ou indiretamente:

- i) Prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- ii) Criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- iii) Afetem desfavoravelmente a biota;
- iv) Afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- v) Lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;

Bernard *et al.* (2000, apud *Pedron et al*, 2004, p.1650) cita que a poluição dos solos devido às substâncias tóxicas orgânicas, inorgânicas, e por metais pesados tem sido retratada em diversos tipos de estudo e em diferentes contextos, principalmente devido à influência na saúde humana.

Os poluentes orgânicos são de difícil identificação e sua influência na saúde humana é pouco conhecida. Entre estas substâncias, encontram-se as derivadas de petróleo.

Os poluentes inorgânicos mais comuns são os metais pesados, tais como, cobre, chumbo e zinco (MADRID *et al*, 2002 apud Pedron *et al*, 2004, p.1651), cádmio e níquel (GE *et al*, 2000, apud Pedron *et al*, 2004, p.1650).

Os metais pesados podem ser introduzidos no solo pela atmosfera, como o chumbo, eliminado na combustão de motores veiculares (JIM, 1998; SHINN *et al*, 2000; LU *et al*, 2003, apud Pedron *et al*, 2004, p.1651).

#### **4.1.10 Controle de Emissões – Tecnologias**

O aumento da concentração de veículos nas estradas brasileiras, ocasionado pelo desenvolvimento econômico, fez crescer a preocupação dos órgãos ambientais quanto à qualidade do ar. Além da poluição do ar, o aumento da quantidade de veículos traz outras questões como o aumento do trânsito e da poluição sonora, diminuindo a qualidade de vida dos cidadãos.

Com o intuito de diminuir a poluição atmosférica por fontes móveis, o CONAMA criou o programa de controle de poluição do ar por veículos automotores: PROCONVE. Este programa limita a emissão de poluentes, fixando prazos, criando limites máximos de emissão e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos automotores, tanto nacionais como importados.

Para o presente caso, o manual do PROCONVE define que veículos pesados são veículos automotores para transporte de passageiros ou carga, com massa total máxima maior que 3.856 kg ou massa do veículo em ordem de marcha maior que 2.700 kg. O controle de emissões pelo escapamento destes tipos de veículos teve início em 1993, com a introdução gradativa da fase P-3, em 1994, da Fase P-4, em 1998 da fase P-5, em 2004, da fase P-6, adiada para fase P-7, prevista em 2012. Além desse controle, deu-se início, em 1994 ao controle de ruído (MANUAL PROCONVE, 2011).

É importante ressaltar que o controle tecnológico de emissões proposto pelo PROCONVE segue padrões de emissões internacionais conhecidos também por EURO. É mais comum verificar na indústria os termos EURO-III, EURO-IV e outros ao invés do P-5, P-7, por exemplo.

Os veículos são categorizados, em termos de tecnologia, através do EURO, motivo pelo qual o formulário segue também essa nomenclatura. O Quadro 3 demonstra a conformidade entre os padrões.

PROCONVE	PADRÃO EURO
P-1	-
P-2	EURO 0
P-3	EURO I
P-4	EURO II
P-5	EURO III
P-6	EURO IV
P-7	EURO V

**Quadro 3 - Quadro de Conversão de Padrão PROCONVE e EURO**

Fonte: Autoria Própria

Cada fase da PROCONVE regulamenta os limites máximos de cada poluente. Os limites legais estabelecidos pelo PROCONVE estão detalhados no ANEXO B – PADRÕES PROCONVE – LIMITES E DEFINIÇÕES.

#### **4.1.11 Caracterização da Frota dos Caminhões Canavieiros**

O relatório de emissões veiculares da CETESB (2012) cita que um fator de suma importância é a idade dos veículos circulantes no meio estudado. Isto porque a idade dos veículos influencia nos componentes trocados em cada manutenção; sendo os mais velhos os que necessitam de maiores trocas, por exemplo. Além do mais, caminhões mais velhos tendem a ser mais poluentes em relação aos mais novos, devido ao desgaste e menor rendimento do motor.

Segundo o relatório, a frota de veículos estimada em dezembro de 2010 foi de 12.837.360 unidades e foram segregadas pelo combustível utilizado e pelo ano dos veículos. Esta diferenciação é importante para se refinar os cálculos de emissão, visto que cada tipo de veículo consome diferente tipo de combustível (4.1.5 Combustíveis Utilizados) e foi fabricado segundo padrões de emissões vigentes (4.1.10 Controle de Emissões – Tecnologias) na época de sua manufatura. Isto significa que a quantidade de poluentes emitidos corresponde à exigência legal do momento em que o caminhão foi produzido.

A idade dos veículos pode também estar relacionada à quilometragem que o veículo percorre, visto que veículos mais velhos normalmente são de propriedade de pessoas com menor poder aquisitivo e que não possuem condições de fazer a manutenção plena do caminhão, diminuindo assim seu uso; além do mais, esta questão econômica afeta o abastecimento do veículo (CETESB, 2012). A fim de circundar sobre os caminhões canavieiros, pretende-se levantar a idade e a quantidade de veículos. Para fins de compreensão, o ANEXO C – CURVA DE SUCATEAMENTO CETESB traz uma curva de sucateamento, uma função que estima a saída de circulação ao longo do tempo, tanto por deterioração quanto por qualquer tipo de por sinistro. Esta curva é válida somente para veículos do estado de São Paulo.

Com relação à frota de caminhões circulante no estado de São Paulo no ano de 2012, a CETESB utiliza dados divulgados pela ANFAVEA e pela ABRACICLO durante cinquenta anos. Estes são diferentes dos divulgados pelo DETRAN por considerar as vendas dos veículos durante todo período subtraídos do que se espera, através de cálculo estatístico, estarem fora de circulação. Em outras palavras, com os dados do DETRAN (para o ano base de 2012) menos o número de veículos obtidos através dos modelos estatísticos sobre as curvas de sucateamento, obtêm-se uma boa estimativa sobre a atual frota de caminhões circulantes.

A Tabela 4 mostra, por categoria de caminhão, a quantidade e o número de caminhões circulantes em São Paulo em 2012. Como a atividade canavieira é considerada uma atividade pesada, podendo diminuir a vida média destes veículos quando comparados a outros veículos com mesma capacidade, mas que sejam utilizados para outra atividade, o questionário vem tentar verificar se a estimativa da CETESB é condizendo com a realidade apresentada nos canaviais. Observe que os caminhões pesados no estado correspondem a aproximadamente 23% da frota de caminhões e possuem uma vida média de oito anos.

A vida média das composições utilizadas nos canaviais paulistas será levantada através do questionário para caminhões.

**Tabela 4 – Frota Circulante de Caminhões no Estado de São Paulo**

Idade Média dos Caminhões no estado de São Paulo				
Categoria		Combustível	Quantidade	Idade Média (em Anos)
Caminhões	Semi-Leves	Diesel	42.928	16
	Leves		119.788	14
	Médios		73.814	16
	Semi-Pesados		101.147	8
	Pesados		100.238	8
		Total	437.915	

Fonte: Adaptado de CETESB, 2012

#### 4.1.12 Potência do Veículo

A potência de cada veículo é inerente ao chamado consumo específico, que é utilizado para comparação de eficiência entre veículos de combustão interna. Segundo Fergusson (2001), O consumo específico de combustível (sigla em inglês BSFC), é a taxa de consumo de combustível ,em gramas por hora, sobre a potência desenvolvida no eixo de saída do veículo (coletado através de ensaios em dinamômetros), em kW.

#### 4.1.13 Componentes e seus Destinos de Descartes Após a Manutenção

Quando chamada de “Berço ao Túmulo”, a análise do ciclo de vida de qualquer produto tem como objetivo levantar os dados desde a fabricação até o descarte após o uso para mensuração dos dados durante o inventário. O presente trabalho almeja levantar dados que possam ser utilizados em futuros estudos de ACV do processo agroindustrial da cana, então o descarte dos produtos durante a manutenção, bem como do uso do veículo fora do processo de colheita (após revenda, por exemplo) vem ao encontro da pesquisa e justifica a sua coleta.

Dois outros tipos de veículos de suma importância que são utilizados também no transporte e colheita da cana-de-açúcar são as colhedoras e os tratores. Embora os dados que se deseja coletar serem praticamente os mesmos que para os caminhões (pelos mesmos motivos citados), este dois veículos apresentam algumas diferenças que devem ser explicada e, para isto, os dois próximos capítulos são apresentados.

## 4.2 Colhedoras

Diferentemente dos caminhões, as colhedoras são responsáveis pelo corte da matéria prima junto ao solo, possuindo para tanto equipamentos e componentes específicos.

### 4.2.1 Definição

Uma colhedora é diferenciada de uma colheitadeira pelo material que se destina a coletar da plantação. Uma colhedora é assim chamada por recolher os produtos que não são chamados de grãos, mas sim frutos; por outro lado, uma colheitadeira colhe culturas de grãos, tais como milho, soja, feijão, e outros. O trabalho de uma colhedora basicamente se destina a coletar produtos que precisam de um cuidado maior durante a sua coleta. Seus principais produtos são, por exemplo, as frutas e a cana de açúcar.

### 4.2.2 Manutenção de Componentes

O período anual de trabalho das colhedoras nos canaviais nacionais é dividido em dois períodos distintos, mas interligados. O primeiro deles é o chamado de período de safra, no qual as colhedoras estão coletando e/ou moendo as culturas a que se destinam. O segundo período é chamado de entressafra e refere-se ao tempo em que as colhedoras cessam suas atividades junto à matéria prima e são submetidas ao processo de manutenção de seus componentes. O período de entressafra na região sudoeste (SO) refere-se aos meses de Dezembro à Abril (BANCHI *et al.* 2012) .

A manutenção das Colhedoras tem impacto significativo na vida e produtividade das mesmas ao longo dos anos. Como o objetivo do uso destas máquinas pelas usinas sucroalcooleiras é justamente a redução dos custos com o processo de corte, a manutenção deve ser feita com intuito de se prolongar a vida média e facilitar o retorno de investimento das mesmas. O maior interesse nesta dissertação é levantar os componentes que mais são trocados durante a entressafra e qual é a vida média destas máquinas agrícolas.

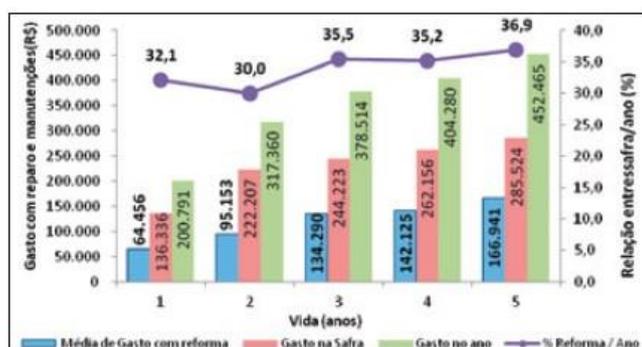
Banchi *et al* (2012) realizou um estudo sobre a manutenção de colhedoras utilizadas exclusivamente na colheita da cana-de-açúcar. O período de vida considerado para cada equipamento (colhedora) foi de seis anos e levou em conta o

estudo de 240 equipamentos ao longo de cinco safras durante os anos de 2006 e 2011. Os resultados mais interessantes são os tempos trabalhados por cada um dos equipamentos durante uma safra e o custo que o produtor rural ou usina tem com manutenção ao longo destes seis anos de uso.

Para o tempo de uso das colhedoras, verificou-se que em cinco safras a redução de tempo de trabalho foi de aproximadamente 19%. Isto se deve principalmente ao desgaste dos componentes e à redução intencional do uso delas a fim de se diminuir os gastos com manutenção, uma vez que máquinas mais velhas que necessitam trocar muitos componentes acabam por não ter boas consequências econômicas, isto é, o gasto com manutenção pode ser muito grande, diminuindo a lucratividade com o equipamento e colocando em risco o seu investimento inicial. A Figura 18 mostra a redução de horas trabalhada ao longo destas cinco safras, enquanto a Figura 19 destina-se a divulgar os gastos com manutenção por equipamento e por período entressafra. Observe que o aumento dos gastos de manutenção (reforma) do primeiro para o segundo ano, por exemplo, foi de aproximadamente de 48%.



**Figura 18 – Médio de Uso de uma Colhedora Durante Cada Safra**  
Fonte: Banchi *et al.* 2012



**Figura 19 – Gastos com Manutenção**  
Fonte: Banchi *et al.* 2012

É importante ter em vista que a manutenção é necessária já que o trabalho é realizado em condições severas nos canaviais e justifica seu alto custo. Esta manutenção normalmente é realizada no pátio reservado para manutenção e são chamados de *boxes*. Além disso, o levantamento de quais componentes são trocados e qual é o destino deles são objetivos desta pesquisa. Uma questão referente à durabilidade das colhedoras foi adicionada a fim de se comparar os resultados obtidos por BANCHI *et al* (2012) com dados mais atualizados. Os tipo e componentes das colhedoras são detalhados seguir.

#### **4.2.3 Os Tipos de Colhedoras**

Segundo Marques *et al* (2006), existem três tipos distintos de colhedoras disponíveis hoje no mercado. O primeiro tipo de máquina efetua apenas o corte basal da cana, deixando o material disperso no solo conforme transita. Esse tipo de máquina pode ser automotriz ou então propelido com o auxílio de um trator. Um segundo tipo de máquina efetua o corte basal e o desponte, deixando montes de cana em espaçamento definido. Ainda segundo Marques, esse tipo é mais eficiente, uma vez que além de já realizar o desponte e facilitar a operação de carregamento, diminuem a quantidade de impurezas carregadas para a indústria. A capacidade desse tipo de colhedoras pode chegar a 60 toneladas/hora. Por último, existe o tipo de colhedoras mais completo, que efetua o corte basal e de ponteiro, picam, ventilam, limpam e carregam os toletes de aproximadamente 30 a 40 cm no veículo de transbordo que o acompanha. Esse é o tipo de colhedora mais utilizado no Brasil atualmente (SALVI, 2006).

#### **4.2.4 As Colhedoras e seus Componentes**

Para um melhor entendimento do funcionamento de uma colhedora destinada ao corte da cana de açúcar, e para o conhecimento das partes e peças-chaves que a compõe, faz-se necessário uma breve explicação acerca desse maquinário. Os dados abaixo apresentados foram retirados do catálogo de divulgação da colhedora A8000 da empresa CASE, lançado em Abril de 2013. A colhedora em questão é do tipo autopropelida e desempenha todas as funções, desde a separação das

soqueiras, corte e separação de palha e palmito da cana, corte basal da cana, corte em pedaços de tamanho padronizado, limpeza, transporte e carregamento dos toletes no veículo de transbordo. Durante a colheita a máquina é posicionada em uma fileira de cana e quando se inicia o deslocamento da colhedora, os ponteiros são cortados pelo cortador de pontas. O sistema de alimentação é constituído pelos divisores de linha, rolo alimentador e tombador, que direcionam a fileira de cana para o corte. O corte de base é realizado por dois discos rotativos com lâminas, e o recolhimento e transporte interno das canas inteiras é realizado por rolos alimentadores e transportadores. O corte da cana em rebolos é feito pelos picadores e a retirada das impurezas pelo extrator primário. Em seguida, os rebolos são elevados pelo elevador de taliscas e na parte superior, antes do descarregamento dos rebolos, ocorre uma segunda limpeza pelo extrator secundário (SALVI, 2006).



**Figura 20 – Colhedora CASE A8000 (Vista Lateral)**

Fonte: Adaptado de Divulgação Case, Colhedoras de Cana – Série A8000, Abril 2013



**Figura 21 – Colhedora CASE A8000 (Vista Frontal)**

Fonte: Adaptado de Divulgação Case, Colhedoras de Cana – Série A8000, Abril 2013

1. **Despontador** - Corta a palha da ponta e o palmito da cana, espalhando-os uniformemente sobre o solo. Pode ser adaptado com um triturador que além de cortar, tritura a palha e o palmito em pedaços de tamanho padronizado.

2. **Disco de Corte Lateral** - Munido de facas e ajuste hidráulico de posição, corta as pontas das canas emaranhadas e presas que não foram separadas pelos divisores de linha, evitando que as soqueiras das linhas adjacentes sejam arrancadas.

3. **Divisores de Linha** – Levantam e separam a linha de cana – que está sendo colhida – das linhas adjacentes, minimizando os danos à soqueira. Cada divisor de linha é composto de dois cilindros que giram em sentidos opostos, fazendo a separação das linhas.

4. **Rolo Tombador** - Orienta e inclina o feixe de cana a ser cortado, facilitando a operação de corte e a alimentação da máquina.

5. **Rolo Alimentador** - Auxilia na alimentação do feixe de cana para o corte de base. Possui aletas que contribuem com o desembaraço da cana entrelaçada.

6. **Corte de Base** – Corta o feixe de cana ao nível do solo, conduzindo sua extremidade inferior ao rolo levantador.

7. **Rolo Levantador** – Levanta o feixe de cana cortado pelo corte de base, orientando o feixe para o interior da máquina até os rolos alimentadores. Tem aletas vazadas para possibilitar a retirada de grande parte da terra presa à cana cortada.

8. **Rolos Alimentadores (trem de rolos)** - Transportam e distribuem horizontalmente o feixe de cana até os rolos picadores. São fundamentais na limpeza da terra do feixe de cana.

9. **Rolos Picadores** - Corta a cana e lança os toletes na câmara do extrator primário. Rolos com três ou quatro facas.

10. **Bojo** - Recebe os toletes de cana que saem do picador e alimenta a esteira do elevador.

11. **Extrator Primário** - Faz a limpeza dos toletes, retirando a palha e outras impurezas.

12. **Elevador Giratório** - Conduz os toletes através da esteira até o extrator secundário. Possui base perfurada para permitir a saída de terra e outras impurezas.

13. **Mesa de giro** - Faz o giro do elevador para a descarga, numa amplitude de até 85° para cada lado.

14. **Extrator Secundário** – Faz uma segunda limpeza dos toletes, retirando a sujeira remanescente e assegurando uma cana mais limpa.

15. **Flap** – Direciona a descarga dos toletes de cana, auxiliando na conformação da carga.

16. **Cabine** – Projetada para aumentar o conforto e facilitar a operação da colhedora.

17. **Motor** – Case IH C9, 9 litros, Tier III, 358 cv a 2.100 rpm, turboalimentado, com sistema de injeção eletrônica Common Rail.

18. **Sistema de Arrefecimento** - Pacote de radiadores localizado na parte superior da colhedora para diminuir o contato com impurezas minerais e vegetais.

Estes componentes são abrangidos no questionário específico para colhedoras.

#### **4.2.5 Velocidade Média das Colhedoras**

As colhedoras atualmente empregadas no corte de cana-de-açúcar podem trabalhar em velocidades de até 9 km/h, mas segundo Carvalho (2009), em virtude das condições de terreno, da cultura e da falta de mão de obra qualificada para operar as máquinas a maiores velocidades, geralmente as colhedoras trabalham a velocidades que variam de 4 a 6 km/h. A fim de se verificar a velocidade das colhedoras durante o ano desta pesquisa, esta questão foi também incorporada ao questionário.

### **4.3 Tratores de Transbordo**

Os tratores de transbordo, possuindo participação ativa na conexão entre a colhedora e o caminhão, trazem consigo particularidades que os diferenciam desses dois veículos devendo, portanto, ser estudados separadamente.

#### **4.3.1 Contextualização da Mecanização no Campo para Tratores**

A aprovação da lei estadual 11.241, de 19 de setembro de 2002, que limita o uso de fogo para a colheita da cana de açúcar, levou com que os produtores rurais investissem na mecanização dos seus canaviais a fim de aumentar a produtividade e também diminuir os custos com produção envolvendo mão de obra. De acordo com Banchi *et al* (2012) a colheita mecanizada corresponde a cerca de 76% da colheita de cana no estado de São Paulo.

Mecanizar um canavial envolve diversos estudos de logística sobre qual será a melhor composição de maquinário; entretanto, após a década de 80, em que a utilização de caminhões pesados era feita sem controles nos canaviais, problemas de compactação de solo e improdutividade foram observados e mudanças tiveram que ocorrer. A fim de diminuir estes impactos de compactação do solo, caminhões especiais e principalmente os chamados tratores de transbordo foram introduzidos. Seus benefícios e desvantagens em relação ao uso exclusivo de caminhões, bem como suas características específicas serão analisados a seguir com o intuito de justificar um questionário específico para estes maquinários.

### 4.3.2 Transbordo

O transbordo da cana de açúcar caracteriza-se pelo deslocamento da matéria prima recém-cortada pelas colhedoras nos canaviais até os postos de recolhimento onde caminhões estão à espera da cana para transportá-la até a usina. A Figura 22 e a Figura 23 mostram um trator de transbordo recebendo a cana de açúcar e transportando-a para os caminhões, respectivamente. Observa-se que a carga puxada por estas composições é menor quando comparado às cargas puxadas pelos caminhões de grande porte.



**Figura 22 – Trator de Transbordo Recebendo Matéria Prima da Colhedora**

Fonte: BANCHI *et al*, 2012



**Figura 23 – Trator de Transbordo Deslocando Matéria Prima**

Fonte: BANCHI *et al*, 2012

### 4.3.3 Vantagens e Desvantagens em Relação aos Caminhões

Além dos tratores de transbordo, existem os chamados caminhões de transbordo que possuem a mesma função dos tratores, porém são adaptados com cesto mecânicos no chassi (conforme mostrado na Figura 24) que facilita o repasse da cana de açúcar para o caminhão de grande porte. Este caminhão de transbordo será tratado dentro do questionário de caminhões para melhor organização e entendimento.

Os transbordos são adaptados à atividade canavieira, assim como no caso dos caminhões, para suportarem o ritmo intenso de trabalho. O uso de um determinado tipo de transbordo pode não ser exclusivo e uma usina pode optar pela combinação destes dois tipos de maquinários.

A escolha entre caminhões ou tratores depende de alguns fatores básicos que impactam na mecanização da colheita. Estes fatores são detalhados por Banchi *et al* (2012) e são:

- i) Preço de Aquisição do Maquinário;
- ii) Custos com adaptação do maquinário;
- iii) CRM ao longo do tempo;
- iv) Disponibilidade mecânica de componentes;



**Figura 24 – Caminhão de Transbordo Repassando Matéria Prima**

Fonte: BANCHI *et al*, 2012

Além destes fatores, o fator “tempo de uso” também pode ser levado em consideração, visto que um trator pode ser utilizado para outros fins durante o período de entre safra, o que muitas vezes não ocorre com os caminhões. Além do mais, a logística com estes tratores deve ser muito pensada, pois se estima que entre 10 a 15% do tempo ocioso de uma colhedora é devido à falta de transbordo no campo (Banchi *et al*.2012).

Segundo uma análise de processos entre os caminhões e tratores de transbordo feitos por Banchi (2006), os caminhões apresentam um gasto acumulado com CRM maior do que os gastos com trator. Uma tabela resumo comparado os

gastos acumulados é apresentado no ANEXO D – Gastos acumulados com Transbordo.

#### 4.3.4 Definição de Trator Agrícola

Trator é definido como uma máquina complexa, utilizado para impelir e fornecer força estacionária para uma grande variedade de implementos agrícolas (BAGER et al. 1966).

Hoje, existe uma diversa gama de marcas e modelos de tratores disponíveis ao produtor rural que podem variar de 11 cv até mais de 500 cv. A escolha de cada tipo depende da necessidade do produtor e de seu capital. Os veículos rodados podem ser constituídos de pneus ou esteiras (algumas vezes chamadas de lagartas); as figuras a seguir trazem três exemplos.



**Figura 25 – Trator Agrícola TS600**

Fonte: CNH – Case New Holland



**Figura 26 – Microtrator Yanmar 11 cv**

Fonte: Varella, 2014.



**Figura 27 – Cat Challenger**

Fonte: Varella, 2014.

#### **4.3.5 Composição de um Trator Agrícola**

Segundo Varella (2014), em introdução ao estudo de tratores e motores, os tratores agrícolas são constituídos pelos sistemas de transmissão, hidráulico e rodados. Todos estes sistemas juntamente com o motor são montados sobre o chassi, que pode ser do tipo monobloco, propriamente dito, articulado ou semichassi. A norma NBR ISO 26322-1:2011 especifica os requisitos gerais de segurança e sua verificação para o projeto e construção destes veículos.

#### **4.3.6 Combustíveis Utilizados**

Os combustíveis disponíveis para a utilização nos tratores são os mesmos que os disponíveis para os caminhões: Diesel. Em alguns casos, normalmente em tratores pequenos, algumas montadoras disponibilizam modelos com gás liquefeito de petróleo – GLP. O levantamento de qual tipo de Diesel é utilizado será feito através do questionário juntos as Usinas.

#### **4.3.7 Os Tratores e seus Principais Componentes**

A cartilha de Manutenção de tratores agrícolas, elaborado pelo SENAR em 2010 (Coleção SENAR-130), traz os principais componentes dos sistemas que compõem um trator agrícola. Esta cartilha serviu de base para a criação do questionário sobre tratores quanto à troca de componentes durante o período de manutenção e é dividido e detalhado nos itens a seguir.

#### **4.3.7.1 Composição Primária**

- I. Diferencial e Redutores Finais
- II. Roda Motriz
- III. Caixa de Câmbio
- IV. Motor
- V. Embreagem
- VI. Tomada de Potência
- VII. Barra de Tração
- VIII. Rodas Direcionais

Este tipo de composição, mesmo sendo genérica, não inviabiliza o aprendizado para outros tipos de modelos devido à similaridade entre marcas. O sistema mais importante e que pode variar dependendo da aplicação é o sistema de rodado do veículo.

#### **4.3.8 Sistema de Rodado**

Como a utilização do mecanismo de transbordo é justamente feito com o intuito de diminuir os impactos sobre o solo, o sistema de rodado do veículo é adaptado para evitar ainda mais os impactos. Este sistema tem como função sustentar e amortecer a carga do trator, controlar a direção do veículo e, finalmente, tracioná-lo. O tipo mais comum de rodado para tratores é o pneu, podendo alternativamente ser do tipo esteira.

A diferenciação entre os rodados depende dos desenhos na bandagem do pneu que podem ser divididos entre banda de rodagem-guia e banda de rodagem para tração, sendo a primeira responsável pela direção e trajetória do veículo e a segunda para “agarrar” e tracionar o pneu no chão. É importante notar que os desenhos nos pneus da rodagem de tração são definidos também para desempenhar a auto-limpeza enquanto realiza sua função (Coleção SENAR-130, 2010).

Segundo um dos maiores fabricantes de pneus para agricultura no Brasil, Good Year®, os principais modelos para tratores agrícolas são mostrados nas figuras seguintes.



**Figura 28 – Pneus Para Tratores Agrícolas**

Fonte: Good Year, 2014.



**Figura 29 – Pneus Para Tratores Agrícolas - Continuação**

Fonte: Good Year, 2014.

## 5 LEVANTAMENTO DOS DADOS ASSOCIADOS – QUESTIONÁRIO

Após o levantamento das variáveis que influenciam na avaliação de ciclo de vida e na avaliação de impacto ambiental, há a necessidade de se organizar esses dados em um questionário específico destinado à coleta destes junto às usinas.

### 5.1 Caminhões

A fim de se obter os dados referentes aos caminhões utilizados nos canaviais, englobando as variáveis apresentadas no capítulo 4, *Variáveis do inventário*, foi elaborado um questionário de cunho acadêmico que facilitasse a obtenção dos mesmos visando a não tomar muito tempo dos entrevistados. Este questionário é composto por perguntas que seguem uma ordem de cunho mais generalista para questões mais específicas. O questionário pode ser observado no Apêndice B– Questionário Para Caminhões. O questionário compõe-se de quatro páginas, sendo a última delas somente para informar aos entrevistados sobre a nomenclatura utilizada por Silva (2006) quanto à composição dos caminhões e, por este motivo, não é mostrado neste apêndice.

A ordem de perguntas contempla os seguintes tópicos:

- i) Tamanho da Frota;
- ii) Tecnologia do caminhão;
- iii) Combustível Utilizado;
- iv) Distância Média Percorrida;
- v) Distância percorrida por terreno;
- vi) Movimentação do caminhão sem carga;
- vii) Consumo médio;
- viii) Quantidade de trabalho por caminhão;
- ix) Manutenção de componentes;
- x) Carga média por composição;
- xi) Idade dos veículos;
- xii) Potencia de motores;

- xiii) Vida média;
- xiv) Marca do veículo;
- xv) Durabilidade dos implementos;
- xvi) Descarte dos componentes;
- xvii) Utilização deles para outro fim se não nos canaviais;
- xviii) Utilização do veículo após “aposentadoria” dos canaviais.

## 5.2 Colhedoras

Por possuírem formatos, funções, peças e operações distintas aos dos caminhões, um questionário específico sobre colhedoras foi desenvolvido junto à análise de catálogos das montadoras em colaboração com funcionários das mesmas. O questionário, que segue a mesma sequência de perguntas apresentados dos caminhões (devido à lógica de inventário ser a mesma), é mostrado no Apêndice C– Questionário Para COLHEDORAS. O questionário é, também, composto por quatro páginas cujas questões referem-se a:

- i) Tamanho da Frota;
- ii) Tecnologia da colhedora;
- iii) Combustível;
- iv) Distância percorrida;
- v) Autonomia;
- vi) Velocidade;
- vii) Dias trabalhados;
- viii) Tempo de trabalho diário;
- ix) Quilometragem diária percorrida por colhedoras;
- x) Componentes trocados durante manutenção;
- xi) Frequência da troca dos implementos de corte da colhedora/safra;
- xii) Classificação dos veículos quanto à idade;
- xiii) Potência de motor;

- xiv) Vida média por safra;
- xv) Utilização do veículo entressafra;
- xvi) Destino dos veículos após uso nos canaviais de cana-de-açúcar;
- xvii) Modelo/ano/marca dos veículos utilizados no canavial;

Para a questão referente aos componentes trocados, é necessário que as figuras 20 e 21 estejam presentes para facilitar o entendimento do entrevistado, visto que são termos técnicos.

### **5.3 Tratores de Transbordo**

Também devido a particularidades referentes aos veículos de transbordo, um questionário específico para tratores foi elaborado. Embora as condições em que estes veículos operam sejam as mesmas que para caminhões e colhedoras, os tratores possuem algumas características que se diferenciam dos outros devido à carga puxada, tipo de pneus, sistema de manutenção (componentes) e a possibilidade de serem utilizados na entressafra. O questionário de tratores possui quatro páginas que podem ser visualizadas no Apêndice D– Questionário Para Tratores.

Devido à indústria de tratores ser mais abrangente, a folha quatro do questionário traz um adendo para a marca e modelo de tratores utilizados. Com estas duas informações é possível, através de catálogos, saber tipo de tração, carga máxima sistema e tipo de motor do veículo estudado. Este adendo serve para evitar um consumo de tempo dos entrevistados com informações que podem ser facilmente encontradas.

A sequência de perguntas do questionário de tratores visa levantar dados referentes à:

- i) Tamanho da Frota;
- ii) Tecnologia dos tratores;
- iii) Combustível;
- iv) Tração;
- v) Tipo de Pneu;

- vi) Distância Percorrida;
- vii) Autonomia;
- viii) Velocidade;
- ix) Carga;
- x) Componentes de manutenção;
- xi) Idade dos veículos;
- xii) Motor (potência em HP);
- xiii) Utilização do veículo entressafra;
- xiv) Destino dos veículos após uso nos canaviais de cana-de-açúcar;
- xv) Modelo/ano/marca dos veículos utilizados no canavial.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A fim de que o questionário pudesse ser testado quanto a sua aplicabilidade e também para que pudessem ser corrigidos eventuais erros nos questionários, um projeto piloto foi aplicado junto a uma usina de açúcar.

### **6.1 Projeto Piloto: Usina Alpha-pi**

A usina Açucareira Alpha-pi, situada no interior de São Paulo foi escolhida para realizar o projeto piloto por possuir contatos junto a EMBRAPA e também por ser referência em qualidade como usina sucroalcooleira no país. O nome Alpha-pi é fictício e será usado para proteger a empresa. Segundo a própria usina, a indústria conta hoje com aproximadamente 2700 colaboradores e possui mercados na Europa, África, Oriente Médio, China e Rússia. Além do mais, a empresa detém inúmeros prêmios de reconhecimento de qualidade

O representante da empresa que forneceu os dados do processo de transportes foi o Gerente de Controle Automotivo de uma das fazendas da empresa.. Ele foi entrevistado pelo aluno Vitor Andrade Martinez que detinha os questionários elaborados por Finger e Matos (2014) a fim de verificar a sua aplicabilidade. A entrevista foi realizada no dia 29 de setembro de 2014 e durou aproximadamente uma hora e meia, em que se levantou dados sobre caminhões, tratores e colhedoras. Os dados referentes à colheita da cana crua (correspondendo a 100% do tipo de cana processada por aquela usina) são detalhados nos itens a seguir por tipo de veículo.

#### **6.1.1 Resultado para Caminhões**

É importante ressaltar, antes de apresentar os dados e cálculos, que estes veículos não são utilizados na entressafra e a durabilidade do implemento (caçamba) é igual à do caminhão. A Tabela 5 traz o resumo dos dados obtidos junto à usina Alpha-pi.

**Tabela 5 – Resultado da Coleta de Dados Para Caminhões**

		Caminhões		
		Unidade	Treminhão	Rodotrem
Quantidade		Uni.	29	19
Combustível	A S10	Uni.	6	19
	A S50	Uni.	23	0
Distância Percorrida em estrada	Pavimentada	km	13	13
	Não Pavimentada	km	13	13
Carga Puxada em estrada	Pavimentada	ton.	52	69
	Não Pavimentada	ton.	52	69
Dias Trabalhados anualmente		dias	195	195
Quilometragem percorrida por safra		km	68000	68000
Idade média calculada ( equação 2)		anos	11,3	2,26
Idade Projetada para uso		anos	14	14
Potência média calculada ( equação 3)		CV	372	433,68
Consumo Médio		km/l	1,3	1,2

Fonte: Autoria própria

Ao todo são 26 km percorridos em estrada pavimentada e 26 km percorridos em estrada não pavimentada do campo à usina e da usina ao campo. Este valor corresponde a 3,5% a mais que a média Paulista (25,1 km) e 11,11% a mais que a média Brasileira (Tabela 3).

Para o cálculo da idade média a equação (2) a seguir foi empregada.

$$\text{Idade média} = \frac{\sum[(\text{quantidade de veículos de tipo "x"}) * (\text{idade do veículo de tipo "x"})]}{\text{Total de veículos}} \quad (2)$$

A idade média dos caminhões da usina Alpha-pi está hoje 15,25% mais baixa que a média do estado de São Paulo para veículos segundo a CETESB (2011); porém o que mais chama a atenção é que a vida estimada dos caminhões desta usina é esperada ser de 14 safras (14 anos). Isto é 75% a mais que a média do Estado para veículos pesados.

O cálculo da potência média dos veículos é feito segundo a equação (3) e o valor individual para cada trator é obtido via catálogo de fabricante:

$$\text{Potência média} = \frac{\sum[(\text{quantidade de veículos de tipo "x"}) * (\text{potência do veículo de tipo "x"})]}{\text{Total de veículos}} \quad (3)$$

Os dias trabalhados por ano foram analisados da seguinte maneira:

240 dias/safra – 1 dia de pausa por semana \* (4 semanas/ mês) \* 8 meses/safras – 13 dias de chuva (em média) = 195 dias por anos

Para o cálculo do tkm, tonelada-quilômetro, utiliza-se a equação (4);

$$[\text{tkm}] = \text{carga puxada} * \text{quilometragem percorrida} \quad (4)$$

Portanto, para treminhões e rodotrens, tem-se:

Treminhões

$$[\text{tkm}] \text{ por viagem em estrada pavimentada: } 52 * 13 = 676 \text{ tkm} \quad (5)$$

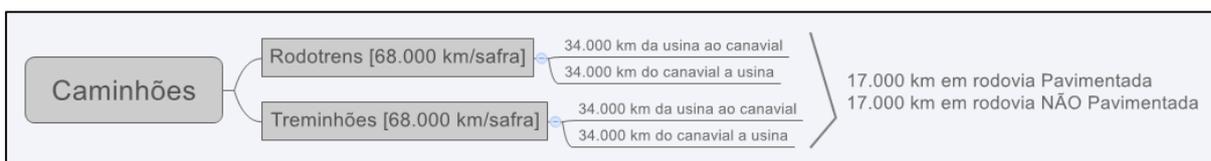
$$[\text{tkm}] \text{ por viagem fora de estrada: } 52 * 13 = 676 \text{ tkm} \quad (6)$$

Rodotrens

$$[\text{tkm}] \text{ por viagem em estrada pavimentada: } 69 * 13 = 897 \text{ tkm} \quad (7)$$

$$[\text{tkm}] \text{ por viagem fora de estrada: } 69 * 13 = 897 \text{ tkm} \quad (8)$$

Para efeitos de ilustração, o deslocamento dos caminhões por safra em cada tipo de pavimento é detalhado na Figura 30; com isso, o entendimento do cálculo do tkm fica mais claro.



**Figura 30 - Distância Percorrida pelos Caminhões da Usina Alpha-pi**

Fonte: Autoria própria

Conseqüentemente, pode-se trabalhar com as equações para obter o cálculo em [tkm/safra] do canavial até a usina trabalhando da seguinte maneira:

### Treminhões

[tkm] por viagem em estrada pavimentada:  $8,84 * 10^5$  tkm por safra

$$\frac{68000 \text{ km}}{\text{safra}} * \frac{1}{4} * 676 \frac{\text{tkm}}{\text{viagem}} * \frac{1 \text{ viagem}}{13 \text{ km}} = 8,84 * 10^5 \frac{\text{tkm}}{\text{safra}} \quad (8)$$

[tkm] por viagem fora de estrada:  $8,84 * 10^5$  tkm por safra

$$\frac{68000 \text{ km}}{\text{safra}} * \frac{1}{4} * 676 \frac{\text{tkm}}{\text{viagem}} * \frac{1 \text{ viagem}}{13 \text{ km}} = 8,84 * 10^5 \frac{\text{tkm}}{\text{safra}} \quad (9)$$

### Rodotrens

[tkm] por viagem em estrada pavimentada:  $11,73 * 10^5$  tkm por safra

$$\frac{68000 \text{ km}}{\text{safra}} * \frac{1}{4} * 897 \frac{\text{tkm}}{\text{viagem}} * \frac{1 \text{ viagem}}{13 \text{ km}} = 11,73 * 10^5 \frac{\text{tkm}}{\text{safra}} \quad (10)$$

[tkm] por viagem fora de estrada:  $11,73 * 10^5$  tkm por safra

$$\frac{68000 \text{ km}}{\text{safra}} * \frac{1}{4} * 897 \frac{\text{tkm}}{\text{viagem}} * \frac{1 \text{ viagem}}{13 \text{ km}} = 11,73 * 10^5 \frac{\text{tkm}}{\text{safra}} \quad (11)$$

A manutenção dos caminhões da usina Alpha-pi se baseia principalmente no controle de troca de pneus e de lonas de freios, sendo que para ambos tipos de caminhões usados o pneu tem uso de 68mil km até a primeira recapagem e mais 30 mil km até a segunda recapagem, rodando mais 30 mil quilômetros até seu descarte. Portanto, 128 mil km e posterior descarte. Já as lonas de freio são trocadas a cada 30 mil km;

Para transformar os componentes trocados durante a manutenção na unidade de inventário tkm, utiliza-se uma manipulação matemática semelhante ao utilizado para o cálculo de tkm por safra para os caminhões. Para tanto, considera-se a viagem como 26 km (estrada pavimentada mais a NÃO pavimentada) do caminhão até a usina.

### Treminhões

Pneus:  $3,005 * 10^{-7}$  pneus/tkm

$$\frac{68.000 \text{ km}}{\text{safra}} * \frac{1 \text{ pneu}}{128.000 \text{ km}} * \left[ \frac{\text{safra}}{(2) * 8,84 * 10^5 \text{ tkm}} \right] = 3,005 * 10^{-7} \text{ pneus/tkm} \quad (12)$$

Lonas de Freios:  $12,821 * 10^{-7}$  lonas/tkm

$$\frac{68.000 \text{ km}}{\text{safra}} * \frac{1 \text{ Lona}}{30.000 \text{ km}} * \left[ \frac{\text{safra}}{(2) * 8,84 * 10^5 \text{ tkm}} \right] = 12,821 * 10^{-7} \text{ lonas/tkm} \quad (13)$$

Rodotrens

Pneus:  $2,264 * 10^{-7}$  pneus/tkm

$$\frac{68.000 \text{ km}}{\text{safra}} * \frac{1 \text{ pneu}}{128.000 \text{ km}} * \left[ \frac{\text{safra}}{(2) * 11,73 * 10^5 \text{ tkm}} \right] = 2,264 * 10^{-7} \text{ pneus/tkm} \quad (14)$$

Lonas de Freios:  $9,662 * 10^{-7}$  lonas/tkm

$$\frac{68.000 \text{ km}}{\text{safra}} * \frac{1 \text{ Lona}}{30.000 \text{ km}} * \left[ \frac{\text{safra}}{(2) * 11,73 * 10^5 \text{ tkm}} \right] = 9,662 * 10^{-7} \text{ lonas/tkm} \quad (15)$$

Para o cálculo de tkm dos pneus não se levou em conta a recapagem e sim o uso total do mesmo até o seu descarte. Isto devido ao fato de não se ver vantagem em contabilizar, em tkm, o valor de cada recapagem no momento.

### 6.1.2 Resultado para Colhedoras

As colhedoras não são utilizadas na entressafra e sua venda após o uso no canavial é muito difícil segundo os entrevistados. Os tipos de colhedoras usados na usina e os resultados obtidos juntos à entrevista são mostrados na Tabela 6 e Tabela 7, respectivamente. Ao todo a usina alpha-pi possui 28 colhedoras de cana.

**Tabela 6 – Colhedoras da Usina Alpha-pi**

Colhedoras	Unidades	Ano
Case 8800	7	2014
Case 7700	5	2001
Case A 7700	2	2004
John Deere 3510	5	2007
John Deere 3520	4	2008
John Deere 3520	2	2009
John Deere 3520	3	2010

Fonte: Autoria própria.

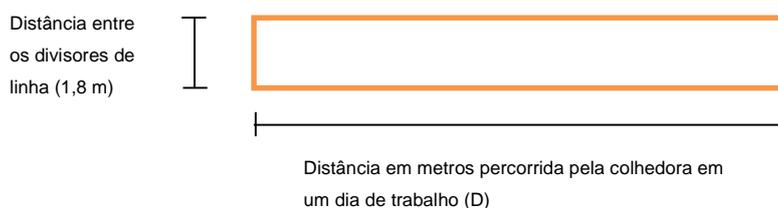
Os resultados obtidos junto à usina, referentes às variáveis pesquisadas, são apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7 – Resultado da Coleta de Dados para Colhedoras**

		Unidade	Colhedoras
Quantidade		Uni.	29
Combustível	A S10	%	100
Colheita diária		ha/dia	3
Distância Percorrida		km/dia	16,67
Dias Trabalhados anualmente (igual ao caminhão)		dias	195
Carga colhida por safra		ton./safra	100.000
Horas trabalhadas por safra		h/safra	2.900
Horas trabalhadas por dia		h/dia	12,5
Idade média calculada (equação 2)		anos	6,18
Idade Projetada para uso		anos	14
Potência média calculada (equação 3)		CV	331,9
Consumo Médio		km/l	40
		l/ton	1,08
Velocidade Média		km/h	5,5

Fonte: Autoria própria.

Para estimarmos a distância diária percorrida por colhedora e sua posterior conversão em unidades de inventário [tkm], foi necessário converter a unidade de ha/dia colhida diariamente através de uma suposição envolvendo a distância dos separadores de linha. Para tanto, como um hectare é equivalente a 10.000 m<sup>2</sup> e a distância entre os divisores de linha de uma colhedora é de aproximadamente 1,8m de comprimento (segundo o manual do fabricante CNH para a colhedora A 7700); conseqüentemente, fez-se:



$$1,8 \text{ m} * D = 3 \text{ hectares/dia} = 30.000 \text{ m}^2/\text{dia} \quad (16)$$

$$D = \frac{30.000}{1,8 \text{ m}} \text{ m}^2/\text{dia} = 16.666,67 \text{ m/dia} \quad (17)$$

Portanto, para o cálculo do [tkm] de uma colhedora por dia, obtém-se:

$$100.000 \frac{\text{toneladas}}{\text{safra}} * \frac{1 \text{ safra}}{195 \text{ dias}} = 512,821 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \quad (18)$$

$$512,821 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} * 16,67 \text{ km} = 8548,72 \frac{\text{tkm}}{\text{dia}} \quad (19)$$

Para a manutenção de componentes trocados durante a vida útil dos veículos, a usina alpha-pi realiza uma revisão completa a cada 3000 horas de uso, em que os principais componentes de desgaste natural são trocados. Dentre os principais itens estão o rolamento, engrenagem, retentor, reparos gerais, bucha e braço divisor. No entanto, mangueiras hidráulicas são trocadas frequentemente, pois sofrem desgastes por contato e calor (ressecamento). O óleo e filtro são trocados a cada 500h e o intervalo entre manutenções está na faixa de 1000h.

Para transformar os componentes trocados durante a manutenção na unidade de inventário [tkm], devemos utilizar manipulações algébricas semelhantes ao utilizado para os componentes dos caminhões.

- i) Para os componentes rolamento, engrenagem, retentor, reparos, bucha e braço divisor, a manipulação foi a seguinte.

$$8548,72 \frac{\text{tkm}}{\text{dia}} * \frac{\text{dia}}{12,5 \text{ h}} * \frac{3000 \text{ h}}{1 \text{ componente}} = 4,874 * 10^{-7} \frac{\text{Componente}}{\text{tkm}} \quad (20)$$

- ii) Para o óleo e filtro a quantidade de hora foi alterada.

$$8548,72 \frac{\text{tkm}}{\text{dia}} * \frac{\text{dia}}{12,5 \text{ h}} * \frac{500 \text{ h}}{1 \text{ componente}} = 29,244 * 10^{-7} \frac{\text{óleo/filtro}}{\text{tkm}} \quad (21)$$

### 6.1.3 Resultado para Tratores

Do total de tratores da usina 10% são utilizados na entressafra, cujos serviços incluem puxar palha, cana e terra do canavial. Além do mais, o raio médio dentro da lavoura (que corresponde à distância entre a colhedora e o malhador) é de no máximo 1,5 km.

Os tipos e quantidades de tratores, bem como dos resultados obtidos estão discriminados nas duas tabelas a seguir. A Tabela 8 traz a distribuição das 49 unidades de tratores da usina organizados por ano e modelo.

**Tabela 8 – Tratores da Usina Alpha-pi**

<b>Tratores</b>	Valtra BH - 180	Valtra BH - 180	Valtra BH - 180	John Deere 6180	Massey Ferguson 7180
<b>Unidades</b>	33	13	1	1	1
<b>Ano</b>	2012	2013	2008	2012	2013

Fonte: Autoria própria

A tabela 9 detalha os dados obtidos junto à usina Alpha-pi para a coleta relativa aos dados dos tratores. É com base nestes dados que se faz a transformação para a unidade de referência [tkm].

**Tabela 9 – Resultado da Coleta de Dados para Tratores**

	Unidade	Tratores
Quantidade	Uni.	49
Combustível	%	100
Carga puxada por viagem	ton	19,5
Distância média percorrida por viagem	km	1
Dias trabalhados anualmente	dias	235
Horas trabalhadas por safra	h/safra	2.820
Horas trabalhadas por dia	h/dia	12,5
Idade média calculada ( equação 2)	anos	1,76
Potência média calculada (equação 3)	CV	180
Idade projetada de uso	anos	7
Consumo médio	l/h	7,5
Velocidade média	km/h	15

Fonte: Autoria própria

A idade estimada de uso para tratores é a metade da vida estimada para colhedoras e caminhões (que é de 14 anos). Além disso, a carga puxada por eles é bem menor que a dos caminhões, justificando o alto número destes veículos quando comprado aos outros veículos.

Para o cálculo de tkm nos tratores, os cálculos utilizados foram os seguintes:

i) [tkm] por viagem

$$19,5 \text{ ton} * \frac{1 \text{ km}}{1 \text{ viagem}} = 19,5 \text{ tkm} \quad (22)$$

ii) [tkm] por dia

$$15 \frac{\text{km}}{\text{h}} * \frac{12 \text{ h}}{\text{dia}} * 19,5 \frac{\text{tkm}}{\text{viagem}} * \frac{1 \text{ viagem}}{\text{km}} = 3510 \frac{\text{tkm}}{\text{dia}} \quad (23)$$

iii) [tkm] por safra

$$3510 \frac{\text{tkm}}{\text{dia}} * 235 \frac{\text{dias de trabalho}}{\text{safra}} = 8,249 * 10^5 \frac{\text{tkm}}{\text{safra}} \quad (24)$$

A cada 1000h (mil horas) é realizada uma revisão completa, onde os principais componentes de desgaste natural são trocados. Dentre estes itens está o rolamento, engrenagem, retentor, reparos gerais, bucha, braço divisor. No entanto, mangueiras hidráulicas são trocadas frequentemente, pois sofrem desgastes por contato e calor (ressecamento). A usina conta com uma equipe especializada em evitar vazamento de óleo em campo. A Bateria é trocada a cada 365 dias. As revisões ocorrem a cada 500h, porém a cada 1000h ocorrem revisões mais pesadas. A usina utiliza os Pneu *Michelin multi BIB®* por apresentarem o melhor desempenho e vida útil de 15.000 horas.

Para transformar os componentes trocados durante a manutenção na unidade de inventário [tkm], devemos prosseguir de maneira semelhante ao que fizemos com os componentes de lona e pneu do caminhão.

i) Para os componentes rolamento, engrenagem, retentor, reparos, bucha e braço divisor, a manipulação foi a seguinte.

$$3510 \frac{\text{tkm}}{\text{dia}} * \frac{\text{dia}}{12 \text{ h}} * \frac{1000 \text{ h}}{1 \text{ componente}} = 34,188 * 10^{-7} \frac{\text{Componente}}{\text{tkm}} \quad (25)$$

ii) Para a troca de bateria:

$$8,249 * 10^5 \frac{\text{tkm}}{\text{safra}} * \frac{1 \text{ safra}}{1 \text{ Bateria}} = 12,123 * 10^{-7} \frac{\text{Bateria}}{\text{tkm}} \quad (26)$$

iii) Para a dos pneus:

$$3510 \frac{\text{tkm}}{\text{dia}} * \frac{\text{dia}}{12\text{h}} * \frac{15000 \text{ h}}{1 \text{ Pneu BIB}} = 2,289 * 10^{-7} \frac{\text{Pneu BIB}}{\text{tkm}} \quad (27)$$

#### 6.1.4 Conversão dos Dados Obtidos para Unidade de Referência

Após obter os dados da usina para cada tipo de veículo individualmente, esses foram convertidos para a unidade de referência [tkm] utilizada no ecoinvent. A Tabela 10 nos traz a distribuição em tkm por veículo (por viagem, por dia e por safra). Estes últimos são utilizados também para os cálculos de transformação de componentes de manutenção na unidade de referência em questão, mostrado na Tabela 11.

**Tabela 10 – Distribuição em [tkm] para os Veículos Utilizados no Canavial**

		tkm/viagem	tkm/dia	tkm/safra
Caminhões	Treminhões <sup>2)</sup>	676	4,533E+03	8,840E+05
	Rodotrens <sup>2)</sup>	897	6,015E+03	1,173E+06
	Colhedoras	nd <sup>1)</sup>	8,549E+03	1,667E+06
	Tratores	19,5	3,510E+03	8,249E+05

<sup>1)</sup> Não Disponível

<sup>2)</sup> Os valores são referentes a cada tipo de Estrada (pavimentada e não pavimentada)

Fonte: Autoria própria

**Tabela 11 – Componentes Trocados/tkm**

	Caminhões			
	Treminhões	Rodotrens	Colhedoras	Tratores
<b>Bateria/tkm</b>	nd	nd	nd	1,2123E-06
<b>Lonas/tkm</b>	1,2821E-06	9,662E-07	nd	nd
<b>Componentes*/tkm</b>	nd	nd	4,87E-07	3,4188E-06
<b>Óleo de motor/tkm</b>	nd	nd	2,9244E-06	nd
<b>Filtro de ar/tkm</b>	nd	nd	2,9244E-06	nd
<b>Jogo de pneus/tkm</b>	3,005E-07	2,264E-07	2,289E-07	nd

Fonte: Autoria própria

Os cálculos feitos para obtenção dos dados apresentados nas duas tabelas anteriores são detalhados no capítulo seis (Resultados e Discussões). Aqui cabe a apresentação do resultado dos mesmos de forma semelhante ao feito no ecoinvent.

Com a vida estimada para o uso destes veículos no canavial é possível fazer suposições referentes à troca total de componentes que serão utilizados durante toda a vida útil do veículo no canavial. Para isso, faz-se um cálculo simples utilizando a equação (28) a seguir:

$$\frac{\text{Componente "X"}}{\text{tkm}} * \frac{\text{tkm}}{\text{safra}} * \frac{\text{Quantidade de safras}}{\text{vida do veículo}} = \text{Quantidade do Component "X"} \quad (28)$$

O componente “X” é o componente que está sendo trabalho e pode ser qualquer componente do veículo. A quantidade refere-se a quantidade de unidades trocadas.

A quantidade de componentes obtidos juntos a entrevista na usina é mostrado na tabela abaixo; porém, nota-se que há uma lacuna de dados que não foi obtida.

**Tabela 12 – Troca em Unidades de Componente por Vida Útil do Veículo no Canavial (14 safras)**

	Caminhões			
	Treminhões	Rodotrens	Colhedoras	Tratores
<b>Bateria</b>	nd <sup>2)</sup>	nd	nd	7,000E+00
<b>Lonas de freios</b>	1,587E+01	1,587E+01	nd	nd
<b>Componentes <sup>1)</sup></b>	nd	nd	1,14E+01	1,974E+01
<b>Óleo de motor<sup>3)</sup></b>	nd	nd	6,825E+01	nd
<b>Filtros de ar</b>	nd	nd	6,825E+01	nd
<b>Jogo de pneus <sup>4)</sup></b>	3,719E+00	3,718E+00	5,342E+00	nd

<sup>1)</sup>Entenda componentes como rolamentos, engrenagem, retentor, reparos gerais, bucha e braço divisor.

<sup>2)</sup> Não disponível.

<sup>3)</sup> Número de trocas de óleo.

<sup>4)</sup>O valor refere-se ao número de trocas de pneus e não ao número de pneus trocados. Para obter o número de pneus é necessário multiplicar a quantidade de pneus de cada composição.

**Fonte: Autoria Própria**

### 6.1.5 Comentários Finais Sobre a Coleta de Dados

A disposição dos resultados apresentados nos itens anteriores é diferente para cada tipo de veículo para facilitar o entendimento dos cálculos e teve como objetivo seguir os resultados apresentados pelo entrevistado. Além do mais, a qualidade e a facilidade do entrevistado em responder as questões fez com que se verificasse que

embora as questões sejam fáceis de serem respondidas, uma melhor organização das mesmas aperfeiçoaria a resposta do(s) entrevistado(s). O projeto piloto serviu para se corrigir de forma definitiva o questionário e para que pudesse ser verificado o cenário do sistema de transporte canavieiro.

Com relação ao descarte dos caminhões após o uso do canavial, segundo o gerente de controle automotivo da usina, é difícil dizer em quais atividades os caminhões serão utilizados após a venda, sendo que os mesmos a partir daí não são mais controlados pela engenharia da usina. Porém, ainda segundo ele, a vida útil dos caminhões nas usinas é estendida ao máximo, sendo remanejados para o plantio ou para aplicação da vinhaça antes do descarte final da usina, que deve ser de aproximadamente 14 anos.

Com relação às colhedoras, percebe-se que não há diferença com relação à carga de trabalho entre os diferentes modelos apresentados. Além do mais, um aspecto importante é que a usina não mede quilometro rodado de uma colhedora, dificultando o seu cálculo de tkm. A venda posterior das colhedoras é um aspecto importante também: a primeira colhedora descartada pela usina ainda não havia sido vendida devido à dificuldade em se encontrar um comprador.

Para os tratores, embora dez deles sejam utilizados na entressafra (com duração em torno de 90 dias) em atividades como arado e reboque, a carga é bem menor do que a puxada durante o período de safra. Sendo assim, o consumo de combustível é obviamente menor, mas não é controlado. Já referente à manutenção dos tratores, o gerente afirma que segue as recomendações dos fabricantes, mas que programa medidas próprias para evitar vazamento de óleo no campo ou paradas não previstas. Em complemento, observações feitas por parte da usina demonstraram que o pneu do tipo BIB (fabricado pela empresa Michelin®) compacta menos o solo do que os outros pneus no mercado. Estes pneus tem uma vida útil de 15 mil horas e são utilizados em todos os tratores da usina.

Mesmo sabendo que existam outros componentes que podem ser trocados durante a manutenção, verificou-se a dificuldade em obter estes dados de forma exata, como por exemplo, litros de óleo e água, número de pneus, filtros, cabos, divisores de linha, correias e outros.

As duas figuras a seguir foram retiradas durante a entrevista na usina da usina Alpha-pi.



**Figura 31 – Caminhão Canavieiro Usina Alpha-pi**  
Fonte: Fotografia de Martinez, Vitor (2014).



**Figura 32 – Estrada dentro da Fazenda da Usina Alpha-pi**  
Fonte: Fotografia de Martinez, Vitor (2014).

#### **6.1.6 Comparação Entre o Inventário do ecoinvent e os Resultados da Usina Alpha-pi**

O relatório de emissões de transportes número 14 do ecoinvent (VILLIGEN, 2007) traz seu inventário dividido em três grupos em que se detalham as emissões dos veículos por tipo de impacto. O primeiro grupo leva em conta a operação do veículo e se baseia nas emissões atmosféricas provenientes do consumo de combustível. Os dados são referentes ao ano 2000 e as emissões são ainda detalhadas em seis subgrupos:

- i) Emissões atmosféricas provenientes do consumo de combustível;
- ii) Emissões reguladas de gases de exaustão;
- iii) Perfil de exaustão de hidrocarbonetos;

- iv) Outras emissões atmosféricas;
- v) Perfil de emissões não provenientes de exaustão;
- vi) Emissão de metais pesados para o solo e água devido à abrasão dos pneus.

O grupo dois detém-se à manutenção e descarte de motores e outras partes do veículo durante sua vida útil. Por último, o grupo três lida com a manutenção, descarte e fabricação da infraestrutura de rodovias para este transporte rodoviário.

A primeira comparação a ser analisada é a desempenho dos veículos segundo oecoinvent e segundo dados da usina Alpha-pi. A Tabela 13 traz os resultados apresentados pelo ecoinvent.

**Tabela 13 – Performance dos Veículos Usados para Transporte de Carga**

Dados de Referência	Unidade	< 3,5 t	16t	28t	40 t
Quilometragem por veículo <sup>1)</sup>	km/veículo	2,35E+05	5,04E+05	5,40E+05	5,40E+05
Carga Média	t/veículo	0,3	2,93	5,82	9,68
tkm por veículo	tkm/veículo	7,05E+04	1,58E+06	3,14E+06	5,23E+06

1) Obtido de Maibach et al(1999)

Fonte: adaptado de VILLIGEN & USTRE, 2007.

Os principais pontos que chamam a atenção são referentes à carga média puxada e o [tkm] por veículo. Primeiramente a máxima massa para caminhões apresentados é de 40 toneladas puxando uma carga média de 9,68 toneladas. Esta carga é um cálculo médio do caminhão rodando com e sem carga. Ao compararmos com os caminhões da usina Alpha-pi (Tabela 14) vemos que em todos os aspectos os veículos da usina são mais exigidos que os veículos do inventário do ecoinvent; isto se deve principalmente ao fato de que a vida útil do veículo analisado pelo instituto ser de aproximadamente oito anos enquanto, os caminhões canavieiros têm vida útil de 14 anos. Além deste, a carga média é também outro fator determinante para aumentar o tkm dos veículos da usina, sendo esta carga quase três vezes superior aos apontados no ecoinvent.

**Tabela 14 – Comparação de Desempenho entre Caminhões**

Dados de Referência	Unidade	Caminhões Usina Alpha-pi		
		40 t <sup>1)</sup>	Treminhão	Rodotrem
Quilometragem por veículo	km/veículo	5,40E+05	9,52E+05	9,52E+05
Carga Média tkm por veículo	t/veículo	9,68	26	34,5
	tkm/veículo	5,23E+06	2,48E+07	3,28E+07

1) Obtido de Maibach et al(1999)

**Fonte: Autoria Própria**

Como os valores de tkm/veículo obtidos são maiores que os valores apresentados pelo ecoinvent, a maioria dos componentes trocados também será maior para os caminhões canavieiros. Segundo o ecoinvent (2007), os principais componentes trocados a cada 70.000 km por caminhão são mostrados na Tabela 15 abaixo. Dentre as principais diferenças junto à usina Alpha-pi (Tabela 12) estão o fato de não diferenciarmos entre graxa e óleo, nem obtermos a quantidade de trocas de tubos de exaustão. Além destes, não foi diferenciada a quantidade de óleo em kg, mas sim em quantidade de trocas durante a vida útil.

**Tabela 15 – Manutenção de Componentes e Materiais para Caminhões a Cada 70.000 km**

Materiais e Componentes	Unidade	van	16t	28t	40 t
Óleo	kg	18	72	72	100
Graxa	kg	8	29	36	50
Filtro de Óleo <sup>1)</sup>	uni.	3,6	4	4	4
Filtro de Ar <sup>2)</sup>	uni.	0,9	4	4	4
Tubo de Exaustão <sup>3)</sup>	uni.	0,3	0,3	0,3	0,3
Lona de Freio <sup>4)</sup>	uni.	1,4	0,6	0,6	0,6
Pneus <sup>6)</sup>	uni.	31	43	86	100

1) 100g papel e 900g aço

2) 1kg papel

3) Caminhão 40 t= 40 kg, 28t = 30kg; van=10kg

4)100% Aço

6) Dados são para a vida útil do veículo ( composição em Metal: 17%)

**Fonte: adaptado de VILLIGEN & USTRE, 2007.**

Comparando os mesmos componentes analisados, como pneus e lonas, por exemplo, nota-se que em toda a vida do caminhão com mais de 40 ton. no ecoinvent

(oito anos) são trocados aproximadamente 100 pneus e 5 lonas de freios. Por outro lado, na usina Alpha-pi, considerando-se que um rodotrem tenha em torno de 34 pneus e que sejam todos trocados durante cada jogo de trocas, o número de pneus trocados durante todas as 14 safras será 126 (26 % a mais) e 15 lonas (três vezes mais). Esta quantidade mais alta é consequência, como já relatado, do alto grau de exigência sobre um caminhão canavieiro.

Para terminar a análise de caminhões, podemos estimar a quantidade de gás carbônico emitido durante toda a vida útil do caminhão utilizando os dados de Jungbluth (2003). Segundo ele, a emissão por queima de diesel é feita na proporção de 3,172 kg de CO<sub>2</sub> para cada kg de combustível consumido. Com esta proporção, aliada à densidade do diesel brasileiro (850 kg/m<sup>3</sup>) segundo a resolução da ANP n°50 (2013), pode-se estimar a quantidade de gás carbônico (em kg) liberado por safra e por vida útil do caminhão no canavial. Os resultados são apresentados na Tabela 16 utilizando a equação (29) para treminhões e a equação (30) para rodotrens para obtenção dos resultados.

$$68000 \frac{\text{km}}{\text{safra}} * \frac{1 \text{ l de diesel}}{1,3 \text{ km}} * 850 \frac{\text{kg de diesel}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} * \frac{3,172 \text{ kg CO}_2}{\text{kg de diesel}} = \frac{141032 \text{ kg CO}_2}{\text{safra}} \quad (29)$$

$$68000 \frac{\text{km}}{\text{safra}} * \frac{1 \text{ l de diesel}}{1,2 \text{ km}} * 850 \frac{\text{kg de diesel}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} * \frac{3,172 \text{ kg CO}_2}{\text{kg de diesel}} = \frac{152785 \text{ kg CO}_2}{\text{safra}} \quad (30)$$

**Tabela 16 – Emissão de Gás Carbônico para Cada Tipo de Caminhão**

	Caminhões Usina Alpha-pi	
	Treminhão	Rodotrem
kg CO <sub>2</sub> /safra <sup>1)</sup>	141032	152785
kg CO <sub>2</sub> /vida <sup>1)</sup>	1974448	2138985

1) Para uma unidade de caminhão

**Fonte: Autoria Própria**

Para obter os valores de emissão de CO<sub>2</sub> por tkm basta fazermos a divisão entre o valor de gás carbônico por safra obtido e o valor em tkm/safra do veículo. Os valores de Kg CO<sub>2</sub>/tkm para caminhões encontram-se na Tabela 17.

**Tabela 17 – Emissão de Gás Carbônico/tkm para Cada Tipo de Caminhão**

	Caminhões Usina Alpha-pi	
	Treminhão	Rodotren
Kg CO <sub>2</sub> /tkm <sup>1)</sup>	7,98E-02	6,51E-02

1) Para uma unidade de caminhão

**Fonte: Autoria Própria**

O inventário doecoinvent para transportes ainda traz a quantidade de elementos químicos presentes para cada kg de diesel como mostra a Tabela 18. Embora a resolução da ANP não traga a quantidade destes elementos para o diesel brasileiro, podemos utilizar estes dados para estimarmos a quantidade de poluentes liberados para cada tipo de caminhão na usina Alpha-pi. Os resultados são provenientes do uso da equação (31) e são apresentados na Tabela 19.

$$\text{consumo de combustível} \left[ \frac{1}{\text{km}} \right] * X * \frac{\text{quantidade de elemento} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg de diesel}} \right]}{\text{kg de diesel}} = \frac{\text{quantidade de elemento} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{safra}} \right]}{\text{safra}} \quad (31)$$

$$\text{Onde: } X = 68.000 \frac{\text{km}}{\text{safra}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} * 850 \frac{\text{kg de diesel}}{\text{m}^3};$$

Observa-se que os componentes que apresentam maior concentração no Diesel são o cobre e zinco. Estes elementos já tinham sido apontados na secção 4.1.9, referente à poluição do solo, em que metais pesados poderiam ser introduzidos nos solos devido à combustão interna de motores veiculares.

**Tabela 18 – Composição de Elementos Químicos do Diesel**

		Diesel
	Símbolo	mg/kg
Cádmio <sup>1)</sup>	Cd	0,01
Cobre <sup>1)</sup>	Cu	1,7
Cromo <sup>1)</sup>	Cr	0,05
Níquel <sup>1)</sup>	Ni	0,07
Selênio <sup>1)</sup>	Se	0,01
Zinco <sup>1)</sup>	Zn	1
Chumbo <sup>2)</sup>	Pb	1,10E-07
Mercúrio <sup>2)</sup>	Hg	2,00E-05
Cromo IV <sup>3)</sup>	Cr(VI)	1,00E-04

1) Fonte: EMEP/CORINAIR (2006)

2) Fonte: Jungbluth (2003)

3) Assumido que 0,2% da emissão de Cr é emitido como CR (IV)

**Fonte: adaptado de VILLIGEN & USTRE, 2007.**

**Tabela 19 – Emissão de Elementos Químicos por Safra por Caminhão**

		Caminhões Usina Alpha-pi	
	Unidade	Treminhão	Rodotren
Cádmio/safra	mg Cd/safra <sup>1)</sup>	444,62	481,67
Cobre/safra	mg Cu/safra <sup>1)</sup>	75584,61	81883,34
Cromo/safra	mg Cr/safra <sup>1)</sup>	2223,08	2408,33
Níquel/safra	mg Ni/safra <sup>1)</sup>	3112,31	3371,67
Selênio/safra	mg Se/safra <sup>1)</sup>	444,62	481,67
Zinco/safra	mg Zn/safra <sup>1)</sup>	4,45E+04	4,82E+04
Chumbo/safra	mg Pb/safra <sup>1)</sup>	4,89E-03	5,30E-03
Mercúrio/safra	mg Hg/safra <sup>1)</sup>	8,89E-01	9,63E-01
Cromo IV/safra	mg Cr(VI) <sup>1)</sup>	4,45E+00	4,82E+00

1) Valor para uma unidade de caminhão por safra devido ao consumo de diesel

**Fonte: Autoria Própria.**

Para obter a quantidade de determinado elemento químico emitido por cada caminhão em toda sua vida útil no canal, basta multiplicar os valores da tabela anterior por 14 (vida média). Os valores de emissão para cada elemento químico por tkm são obtidos através da divisão entre os valores de emissão por safra de

determinado elemento e o valor em tkm/safra de cada veículo. Estes resultados são apresentados na Tabela 20.

**Tabela 20 – Emissão de Elementos Químicos por tkm por Caminhão**

		Caminhões Usina Alpha-pi	
	Símbolo	Treminhão	Rodotren
Cadmio/tkm	Cd/tkm <sup>1)</sup>	2,51E-04	2,05E-04
Cobre/tkm	Cu/tkm <sup>1)</sup>	4,28E-02	3,49E-02
Cromo/tkm	Cr/tkm <sup>1)</sup>	1,26E-03	1,03E-03
Níquel/tkm	Ni/tkm <sup>1)</sup>	1,76E-03	1,44E-03
Selênio/tkm	Se/tkm <sup>1)</sup>	2,51E-04	2,05E-04
Zinco/tkm	Zn/tkm <sup>1)</sup>	2,51E-02	2,05E-02
Chumbo/tkm	Pb/tkm <sup>1)</sup>	2,77E-09	2,26E-09
Mercúrio/tkm	Hg/tkm <sup>1)</sup>	5,03E-07	4,11E-07
Cromo IV/tkm	Cr(VI)/tkm <sup>1)</sup>	2,51E-06	2,05E-06

1) Valor para uma unidade de caminhão por tkm devido exclusivamente ao consumo de diesel

**Fonte: Autoria Própria**

Para o maquinário de colhedoras e tratores oecoinvent não utiliza o relatório de transporte nº 14 como utilizados para caminhões, mas o relatório nº 15 para agricultura (NEMECEK T. & KÄGI, 2007). Este último relatório tem como objetivos a caracterização do sistema agrícola Suíço e prover dados de infraestrutura e de entrada de dados usados na produção agrícola que são necessários para o cálculo do sistema de produção industrial. Além do mais, tem como foco fornecer um banco de dados de diversos produtos agrícolas na Suíça, EUA, e Europa com foco na produção de energia.

A parte II do relatório nº15 (referente ao maquinário agrícola) é semelhante ao usado para caminhões no sentido de coleta de dados (Figura 6), porém sua unidade funcional não é tkm, mas um kg de veículo durante toda a sua vida útil. O relatório traz ainda a unidade AM (quantidade de máquina) necessária para um processo agrícola específico, cujo cálculo é mostrado na equação (32); em que a massa referente ao veículo é multiplicada pelo tempo de operação do veículo em determinada atividade por unidade de trabalho (WU) e dividindo-se o resultado pela vida total do veículo.

$$AM \left[ \frac{\text{kg}}{\text{WU}} \right] = \text{Massa} [\text{kg}] * \frac{\text{tempo de operação} \left[ \frac{\text{h}}{\text{WU}} \right]}{(\text{Vida útil})[\text{h}]} \quad (32)$$

Para o cálculo do [AM], faz-se necessário obter a massa do veículo, o que pode ser facilmente obtido via consulta ao catálogo das montadoras.

Os resultados apresentados pelo ecoinvent (Tabela 21) são bem diferentes daqueles obtidos juntos à usina Alpha-pi. A primeira diferença encontra-se na potência média das colhedoras brasileiras que é cerca de 250 kW (332 CV) contra 175 kW das apresentadas pelo ecoinvent. Além deste, a vida útil das colhedoras brasileiras é dois anos superior àquelas do ecoinvent. A diferença de potência é explicada pelo fato de que o inventário considera o maquinário para colheita na Suíça, que possui território pequeno, exigindo pouca potência individual dos seus equipamentos.

A Tabela 22 transforma os dados obtidos da usina Alpha-pi para o mesmo formato apresentado pelo inventário nº 15 a título de comparação. Para colhedoras a unidade de trabalho (WU) é o [ha] enquanto para os tratores é em horas [h]. Isto facilitaria caso o maquinário fosse utilizado em diversos processos agrícolas durante sua vida, o que permite alocar o tempo de uso para cada processo. Porém, o maquinário da usina Alpha-pi não é usado em mais de um tipo de cultura plantada se não para cana. Somado a isto, os tratores são usados como transbordo e a sua unidade funcional como [tkm] ainda se encaixaria melhor do que o apresentado pelo ecoinvent.

**Tabela 21 – Resultados do ecoinvent para Colhedoras e Tratores.**

Colhedoras e Tratores Ecoivent	Peso [kg]	Vida útil [anos]	WU	Utilização [WU/ano]	Vida útil [WU]
<b>Tratores</b>					
4WD, 95-128 kW (126-163 hp)	6450	12	h	600	7200
<b>Colhedoras</b>					
Colhedora combinada, 3-4,2m, 80-130 hp (60-95 kW)	7000	12	ha	75	900
Colhedora combinada, 4,2-6m, 170-240 hp (125-175 kW)	9500	12	ha	125	1500

Fonte: adaptado de NEMECEK T. & KÄGI, 2007

O cálculo para o peso médio é semelhante ao do cálculo para idade e potência média dos veículos segunda a equação (33).

$$\text{Peso Médio} = \frac{\sum[(\text{quantidade de veículos de tipo "x"}) * (\text{massa em kg do veículo de tipo "x"})]}{\text{Total de veículos}} \quad (33)$$

**Tabela 22 – Resultados da Usina Alpha-pi para Colhedoras e Tratores.**

Colhedoras e Tratores da Usina Alpha-pi	Peso [kg]	Vida útil [anos]	WU	Utilização [WU/ano]	Vida útil [WU]
<b>Tratores</b>					
4WD, 132,2 kW <sup>1)</sup> (180 hp)	10566 <sup>1)</sup>	7	h	2937	20559
<b>Colhedora</b>					
Colhedora Combinada 247 kW <sup>1)</sup> (332 hp)	18648 <sup>1)</sup>	14	ha	585	8190

1) Obtido através de catálogos dos veículos e média de valores entre eles.

**Fonte: Autoria Própria**

Para o cálculo de emissão de gás carbônico de tratores e colhedoras utiliza-se também dados de Jungbluth (2003) e a resolução nº 50 da ANP como feito para caminhões. Os dados são apresentados na Tabela 23 e são baseados na equação (34) para colhedoras e equação (35) para tratores. A Tabela 24 ainda vem apresentar os resultados da emissão por tkm, hora e por hectare para tratores e colhedoras respectivamente, seguindo o modelo utilizado no inventário nº15 do ecoinvent. Mesmo seguindo o modelo a título de ilustração, a utilização da unidade de referência tkm é mais válida para o caso dos canaviais brasileiros.

$$\frac{1,08l}{\text{tonelada}} * \frac{100.000\text{ton.}}{\text{safra}} * 850 \frac{\text{kg de diesel}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000l} * \frac{3,172 \text{ kg CO}_2}{\text{kg de diesel}} = \frac{291.189,6 \text{ kg CO}_2}{\text{safra}} \quad (34)$$

**Tabela 23 – Emissão de Gás Carbônico para Colhedoras e Tratores**

	Veículos	
	Colhedoras	Tratores
kg CO <sub>2</sub> /safra <sup>1)</sup>	291189,6	59401
kg CO <sub>2</sub> /vida <sup>1)</sup>	4076654,4	415805

1) Para uma unidade de veículo.

**Fonte: Autoria Própria**

$$\frac{7,51}{h} * \frac{12,5h}{dia} * \frac{235dias}{safra} * 850 \frac{kg \text{ de diesel}}{m^3} * \frac{1 m^3}{1000 l} * \frac{3,172 kg CO_2}{kg \text{ de diesel}} = \frac{59400,65 kg CO_2}{safra} \quad (35)$$

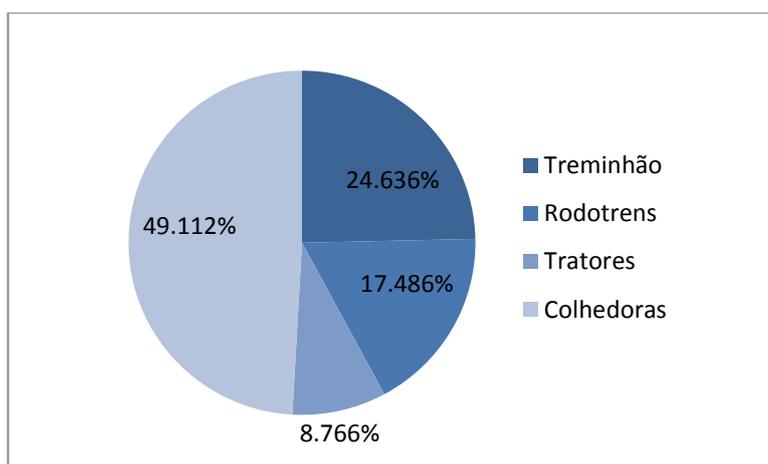
**Tabela 24 – Emissão de Gás Carbônico para Colhedoras e Tratores (II)**

	Veículos	
	Colhedoras	Tratores
kg CO <sub>2</sub> /tkm <sup>1</sup> )	-	7,20E-02
kg CO <sub>2</sub> /h <sup>1</sup> )	-	21,06
kg CO <sub>2</sub> /ha <sup>1</sup> )	4,98E+02	-

1) Para uma unidade de veículo.

**Fonte: Autoria Própria**

Comparando as emissões de gás carbônico para os três tipos de veículo estudados (Quadro 4), percebemos que as colhedoras são responsáveis por quase 50% das emissões de CO<sub>2</sub> em toda a cadeia de transporte e colheita de cana de açúcar naquela usina.



**Quadro 4 - Comparação de Emissão de Gás Carbônico para os Veículos da Usina Alpha-pi**

**Fonte: Autoria Própria**

A emissão de elementos químicos devido ao consumo de óleo diesel para as colhedoras e tratores pode ser realizada semelhante ao feito para os caminhões.

Utilizando a composição do diesel segundo oecoinvent (Tabela 18), as emissões podem ser calculadas utilizando a equação (36). Os resultados são apresentados na Tabela 25.

$$\text{consumo de combustível} \left[ \frac{\text{l}}{\text{safra}} \right] * \frac{\text{quantidade de elemento} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{kg de diesel}} \right]}{\text{kg de diesel}} * \frac{0,85 \text{ kg de diesel}}{1} = \frac{\text{quantidade de elemento} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{safra}} \right]}{\text{safra}} \quad (36)$$

**Tabela 25 – Emissão de Elementos Químicos por Safra para Colhedoras e Tratores**

	Unidade	Trator	Colhedora
Cadmio/safra	mg Cd/safra <sup>1)</sup>	179,775	918
Cobre/safra	mg Cu/safra <sup>1)</sup>	30561,75	156060
Cromo/safra	mg Cr/safra <sup>1)</sup>	898,875	4590
Níquel/safra	mg Ni/safra <sup>1)</sup>	1258,425	6426
Selênio/safra	mg Se/safra <sup>1)</sup>	179,775	918
Zinco/safra	mg Zn/safra <sup>1)</sup>	17977,5	91800
Chumbo/safra	mg Pb/safra <sup>1)</sup>	1,98E-03	1,01E-02
Mercúrio/safra	mg Hg/safra <sup>1)</sup>	3,60E-01	1,84E+00
Cromo IV/safra	mg Cr(VI) <sup>1)</sup>	1,80E+00	9,18E+00

1) Valor para uma unidade de veículo por safra devido ao consumo de diesel

**Fonte: Autoria Própria**

A emissão de elementos químicos devido ao consumo de óleo diesel por unidade de referência tkm (para tratores) e hectare (para colhedoras) pode ser feita dividindo-se os valores em mg por safra da tabela 25 por tkm/veículo (por safra). Os valores são apresentados na tabela seguinte (Tabela 26) para tratores e para colhedoras respectivamente.

**Tabela 26 – Emissão de Elementos Químicos por tkm e por ha para Tratores e Colhedoras**

	Unidade	Trator		Unidade	Colhedora
Cadmio	mg Cd/tkm <sup>1)</sup>	2,18E-04		mg Cd/ha <sup>1)</sup>	1,57E+00
Cobre	mg Cu/tkm <sup>1)</sup>	3,70E-02		mg Cu/ha <sup>1)</sup>	2,67E+02
Cromo	mg Cr/tkm <sup>1)</sup>	1,09E-03		mg Cr/ha <sup>1)</sup>	7,85E+00
Níquel	mg Ni/tkm <sup>1)</sup>	1,53E-03		mg Ni/ha <sup>1)</sup>	1,10E+01
Selênio	mg Se/tkm <sup>1)</sup>	2,18E-04		mg Se/ha <sup>1)</sup>	1,57E+00
Zinco	mg Zn/tkm <sup>1)</sup>	2,18E-02		mg Zn/ha <sup>1)</sup>	1,57E+02
Chumbo	mg Pb/tkm <sup>1)</sup>	2,40E-09		mg Pb/ha <sup>1)</sup>	1,73E-05
Mercúrio	mg Hg/tkm <sup>1)</sup>	4,36E-07		mg Hg/ha <sup>1)</sup>	3,15E-03
Cromo IV	mg Cr(VI)/tkm <sup>1)</sup>	2,18E-06		mg Cr(VI)/ha <sup>1)</sup>	1,57E-02

1) Valor para uma unidade de veículo devido ao consumo de diesel

**Fonte: Autoria Própria**

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o uso de combustíveis alternativos no Brasil seja viável devido a fatores como subsídios para geração de emprego e existência de grande território com biomassa, a fabricação de etanol exige veículos que podem produzir impactos ambientais hoje pouco conhecidos, seja na sua fabricação, uso ou descarte. Dentre os veículos usados nos canaviais, destacam-se as colhedoras, tratores e caminhões em que cada um possui suas características e particularidades de utilização dentro da cadeia de transporte.

O estudo de ACV é possível com obtenção dos dados relacionados ao produto: sua fabricação, seu uso, seu descarte e sua manutenção. A união destes dados possibilita uma análise criteriosa sobre seu ciclo de vida e sua avaliação do impacto ambiental.

O trabalho de avaliação do ciclo de vida dos veículos utilizados na colheita e transporte da cana de açúcar necessita também de uma grande variedade de dados para que se possa fazer uma divulgação de resultados confiável e precisa. Para isto, fez-se necessário do apoio das usinas sucroalcooleiras e das montadoras responsáveis por estes veículos com a divulgação e compartilhamento de vários dados que ajudaram a caracterizar o cenário da colheita mecanizada da cana de açúcar no estado de São Paulo.

A elaboração de um projeto piloto dentro de uma usina no interior do estado possibilitou o levantamento e a transformação das informações em dados de inventário de caminhões, colhedoras e tratores em termos de emissões de gás carbônico e metais pesados devido ao consumo de combustível. A conversão dos dados obtidos no projeto foi feita com base no inventário de ciclo de vida doecoinvent, respeitando a unidade de referência utilizada: tonelada-quilometro ou simplesmente tkm, e foi apresentada ao longo desta dissertação para utilização em futuras pesquisas sobre transporte. Embora a proporção do impacto ambiental destas emissões ao longo da cadeia de produção do etanol seja desconhecida, visto que não há estudos sobre as emissões em outros sistemas da produção de etanol, as contribuições dos dados de emissão do sistema de transporte poderão ser comparadas futuramente.

## 8 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

A dissertação focou em um projeto piloto no interior de São Paulo a fim de caracterizar o sistema de transporte da cana de açúcar naquele estado. Entretanto, a utilização de uma única usina não deveria ser tomada para representar a realidade de todo um estado. A melhor solução seria a tomada de mais dados em outras usinas de processamento de cana de açúcar a fim de complementar o banco de dados para realmente representar a realidade de transporte desta matéria prima.

Além do levantamento de dados em demais usinas no estado, poder-se-ia coletar dados referentes ao sistema de água utilizado para lavagem dos veículos e da quantidade de óleo trocado em cada safra. Dados, estes, que foram negligenciados nesta dissertação. Somado a isso, a obtenção dos dados, a elaboração de artigo e trabalho acadêmico poderiam ser mais bem divulgados com a entrada de tais dados no próprio inventário do ecoinvent através do ecoeditor. Decidiu-se por não submeter os dados ao ecoinvent devido à baixa expressividade que uma única usina teria para representar a realidade da cana de açúcar no estado.

A reprodutibilidade da pesquisa pode ser estendida também para o transporte de outras culturas agrícolas tendo por base apresentação dos cálculos realizados nesta dissertação.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão ambiental-Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**: NBR ISO 14041:2001. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão ambiental-Avaliação do ciclo de vida – Princípios e Estruturas**: NBR ISO 14040:2001. Rio de Janeiro.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, **resolução ANP n°50,de 23.12.2013.**

BARGER E.L.; LILJEDAHL, J.B.; CARLETON, W.M.; McKIBBEN, E.G. **Tratores e seus motores**. 1.ed. Rio de Janeiro: USAID, 1966. 398 p.

BANCHI, A, D; LOPES, José R; FERREIRA, Valter A.C; Scaranello, Leandro. **Análise de reforma de colhedoras de cana-de-açúcar – Período de entressafra**. Revista Agrimotor. Piracicaba, JUNHO de 2012.

BANCHI, A, D; LOPES, José R; FERREIRA, XAVIER, Carlos E,O; MARTINS, José. **Análise de operações de transbordo da Cana Picada – Período de entressafra**. Revista Agrimotor. Março de 2012.

BBC BRASIL, **Etanol é ameaça ao cerrado, afirma relatório da ONU**.

Disponível em:

[http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2007/10/071025\\_relatorioonu\\_eta\\_nolrg.shtml](http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2007/10/071025_relatorioonu_eta_nolrg.shtml)

Acesso em 15 de Agosto de 2013.

BRASIL. Lei Federal n. 6.939 de 31 de agosto de 1981. **Define a política nacional do meio ambiente**.

BRESSAN FILHO, A. ANDRADE, R.A *ET AL* **Perfil do setor do açúcar e do álcool no brasil**. Edição para safra 2008-2009. Diretoria de política agrícola e informações do agronegócio, superintendência de informações do agronegócio. MAIO de 2010.

CAMINHÕES E CARRETAS, **Caminhão Fueiros**, Disponível em:  
<http://www.caminhoes-e-carretas.com/>  
Acesso em 31 de março de 2014

CASE IH Agriculture Brasil. **Colhedoras de Cana – Série A8000**. 2013. Disponível em:  
[http://www.caseih.com/brazil/Products/Colhedoras-e-Colheitadeiras/A8000-e-A8800/Documents/Folheto\\_A8000.pdf](http://www.caseih.com/brazil/Products/Colhedoras-e-Colheitadeiras/A8000-e-A8800/Documents/Folheto_A8000.pdf).  
Acesso em 2 de Maio de 2014.

CAPANA, Giulliano H. **Estudo do impacto do enxofre presente no diesel na emissão de poluente e em tecnologia de pós tratamento de gases de escape**, 2008. 102 f. Dissertação ( Mestrado em Engenharia Automotiva) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica.

CARVALHO, Leandro de Souza, **Desempenho operacional de uma colhedora em cana crua na região de Dourados- MS**, Dissertação de mestrado, 2009. p.2)

CEPAGRI, Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas. **Clima dos Municípios Paulistas**, UNICAMP, Versão online Disponível em:  
<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>  
Acesso em 23 de Agosto de 2014.

CETESB, **Emissões veiculares no estado de São Paulo 2012 [recurso eletrônico]**, coordenação técnica Marcelo Pereira Bales ; elaboração Antônio de Castro Bruni [et al.]. - São Paulo: CETESB, 2013.108 p. : il. color. - (Série Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103).

DIESELNET, **Emission Standards for Brazil – Heavy Duty Engines**.  
Disponível em: <http://www.dieselnet.com/standards/br/hd.php>  
Acesso em 25 de Dezembro de 2012.

DNIT, **Quadro de Fabricante de Veículos (QFV), abril de 2012**.  
Disponível em:  
<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/pesagem/gfv-2012-abril.pdf/view?searchterm=QUADRO%20DE%20FABRICANTES%20DE%20VE%20C3%8DCULOS>  
Acesso em 15 de Dezembro de 2013.

ECOINVENT, The **Non-for-Profit Association ecoinvent** , Disponível em:  
<http://www.ecoinvent.org/about/organisation/organisation.html>  
Acesso em 05 de dezembro de 2015.

EMBRAPA, **Impacto ambiental da Cana-De-Açúcar**, Disponível em: <http://www.cana.cnpm.embrapa.br/setor.html>  
Acesso em 16 de agosto de 2013.

FALCONI, Vicente, **Entrevista - Vicente Falconi: "Quem não mede não gerencia"**.  
<http://fonacate.org.br/v2/?go=noticias&id=159&categ=6>  
Acesso em 03 de julho de 2015.

FERGUSON, Colin R.. **Internal combustion engines: applied thermosciences**. New York: J. Wiley, c2001, Second Edition.

FRANCISCO, Wagner de Cerqueira. **Programa Proálcool**. Equipe Brasil Escola. Disponível em:  
<http://www.brasilecola.com/brasil/proalcool.htm>  
Acesso em 30 de maio de 2014.

FRISCHKNECHT, R. **Sachbilanzen Von Energiesystemen: grundlagen für den ökologischen Vergleich Von Energiesystemen und den Einbezug Von Energiesystemen in ökobilazen für die Schweiz** ( Ed. Dones R). relatório final ecoinvent 2000 número 6. 2003.

GODOY, Maria Helena Pádua Coelho de. **Brainstorming: como atingir metas**. Belo Horizonte: EDG, 1998. 25 p. ISBN 85-86948-08-X

GOMES, Adilson, **Estrada no Canavial**, Fotografia 2006. Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/asimoes/4965089135>  
Acesso em 05 de dezembro de 2015.

GOOD YEAR®, **Pneus Agrícolas:Radiais e Agrícolas**. Disponível em: <http://br.viarural.com/agricultura/pneus-jantes/goodyear/agricola.htm>  
Acesso em 17 de maio de 2014.

GUARA, Guara Notícias, Estrada entre Palmital e Campo Mourão será pavimentada. Disponível em: <http://www.guaranoticias.com.br/noticias/ler/id/7937/estrada-entre-palmital-e-campo-mourao-sera-pavimentada>  
Acesso em 05 de dezembro de 2015

IBAMA, **Programa PROCONVE - Programa de controle de emissões veiculares**. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/programa-proconve>  
Acesso em 24 de Dezembro de 2013.

JUNGBLUTH, N. **Final Report ecoinvent 2000 No.6**, 2003. Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for life Cycle Inventories, Duebendorf, Ch.

MAIBACH M.; PETER D.; SEILER B. **Ökoinventar Transporte: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen. Technischer Schlussbericht.** In: Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (ed. SPP Umwelt M.). 2nd Edition. INFRAS, Zürich

MARQUES, Karina Mondini. Et al. **A logística de transporte da cana-de-açúcar como uma especificidade da logística geral aplicada ao setor sucroalcooleiro.** 2006. Monografia (Bacharel em Administração) – Faculdades Integradas Antônio Eufrásio de Toledo, Presidente Prudente, São Paulo.

MICHAELIS, Moderno Dicionário da Língua Portuguesa. © 1998-2009 Editora Melhoramentos Ltda. © 2009 UOL - O melhor conteúdo. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/>

NEMECEK T. & KÄGI T. Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems. **Final report Ecoinvent v2.0 No. 15a.** 2007. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich and Dübendorf, CH. Chapters 6: Agricultural Machinery.

NEWEL & DOBIE. **RITA, Procedures for Emission Inventory Preparation – Vol IV: Mobile Sources.** Chapter 3 Vehicle Miles Traveled, 1992.

NOVA CANA, **A produção de cana de açúcar no Brasil (e no mundo)**, disponível em: <http://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo/>  
Acesso em 05 de dezembro de 2015.

PEDRON, Fabrício de Araújo; DALMOLIN, Ricardo Simão Diniz; AZEVEDO, Antônio Carlos de and KAMINSKI, João. **Solos urbanos.** *Cienc. Rural* [online]. 2004, vol.34, n.5, pp. 1647-1653. ISSN 0103-8478.

RAMÃO, Fernanda Pamplona; SCHNEIDER, Iara Elisa; SHIKITA, Pery Francisco Assis; **Padrão Tecnológico no Corte de Cana-de-Açúcar: Um Estudo de Caso no Estado do Paraná.** *Rev. de Economia Agrícola*, São Paulo, v. 54, n. 1, p. 109-122, jan./jun. 2007.

SALVI, José Vitor. **Qualidade do corte de base de colhedoras de cana-de-açúcar**. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

SEBRAE, **Benefícios do Cultivo da Cana-De-Açúcar**. Disponível em <<http://www.sebrae.com.br>>  
Acesso em 14 de Agosto de 2013.

SENAR, **Tratores Agrícolas: manutenção de tratores agrícolas/Serviço Nacional de Aprendizagem Rural**. 2. ed. Brasília: SENAR, 2010.

SILVA, J. E. A. R. da. **Desenvolvimento de um modelo de simulação para auxiliar o gerenciamento de sistemas de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar**. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA DE AÇÚCAR, UNICA, **Apresentação Etanol Verde/Safra**. Disponível em:  
[http://www.unica.com.br/userFiles/Protocolo\\_Assinado\\_Agroambiental.pdf](http://www.unica.com.br/userFiles/Protocolo_Assinado_Agroambiental.pdf)  
Acesso em 15 de Maio de 2014.

UNICA, **Histórico de Produção por safra**. Disponível em:  
[http://www.unica.com.br/userFiles/Protocolo\\_Assinado\\_Agroambiental.pdf](http://www.unica.com.br/userFiles/Protocolo_Assinado_Agroambiental.pdf)  
Acesso em 23 de Outubro de 2013.

UNICA, **Protocolo Estadual Agroambiental**. Disponível em:  
[http://www.unica.com.br/userFiles/Protocolo\\_Assinado\\_Agroambiental.pdf](http://www.unica.com.br/userFiles/Protocolo_Assinado_Agroambiental.pdf)  
Acesso em 14 de maio de 2014.

VARELLA, Carlos Alberto Alves. **Introdução ao Estudo dos Tratores Agrícolas**. IT 154 – Motores e Tratores. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Versão Online: [http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/motores\\_e\\_tratores.htm](http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/motores_e_tratores.htm)  
Acesso em 05 de Maio de 2014.

VILLIGEN & USTRE, **Transport Services Data V2.0**, ecoinvent report N°.14.2007

## GLOSSÁRIO

**CAMINHÃO FUEIRO:** Caminhão com implemento feito de estruturas de aço que servem para carregar cargas mais pesadas e que serão carregadas com auxílio de amarras. Este tipo de veículo é muito utilizado para o transporte de madeira e de cana-de-açúcar.

**CANA CRUA:** Cana-De-Açúcar que nasce no canavial que não foi previamente queimado.

**CICLO DE TESTE DE EMISSÃO ESC, ETC E ELR:** Teste de emissão de poluentes derivado do uso do veículo de passageiros e de carga em laboratórios controlados. A diferença entre eles está no modo de simulação do uso do veículo (CAPANA, 2008).

**COLMOS:** Caule pouco consistente e sem nós do junco e da junca. (MICHAELIS)

**ETANOL ANIDRO:** É composto apenas por álcool etílico com teor alcoólico máximo de 99,3º (INPM).

**ETANOL HIDRATADO:** é uma mistura hidroalcoólica (água e álcool) com teor alcoólico mínimo de 92,6º (INPM), composto álcool etílico ou etanol.

**PROGRAMA PROÁLCOOL:** programa criado pelo governo brasileiro em 1975 buscando incentivar a produção de etanol por meio de incentivos fiscais e empréstimos bancários a taxas reduzidas para produtores de cana-de-açúcar e indústrias automobilísticas que desenvolvessem carros movidos a álcool. (Brasil Escola).

**PROTOCOLO AMBIENTAL:** protocolo celebrado em 2007 que dispõe da eliminação antecipada das queimadas em plantações de cana-de-açúcar, preservação dos recursos hídricos, proteção das matas ciliares e recuperação das nascentes. (Nova Cana).

**REBOLOS:** Parte fracionada de colmos, oriundas do mecanismo “fracionador” da colhedora. (MICHAELIS)

**SOQUEIRAS:** Raizame de canas, depois de cortadas estas. (MICHAELIS)

**TALHÃO:** Terreno cultivado ou próprio para cultura, entre dois regos; tabuleiro, courela. (MICHAELIS).

VEÍCULOS FLEX: veículos equipados com motor de combustão capaz de trabalhar com dois tipos de combustíveis simultaneamente e queimados na mesma câmara de combustão.

## **ANEXO A – LIMITES LEGAIS PARA COMBINAÇÃO DE VEÍCULOS**

Através das resoluções do CONTRAN nº 210/206 e 211/206 e da portaria do DENATRAN nº63/2009, de 31/03/2009, ( que homologou os veículos e combinações de veículos de carga e passageiros, com seus respectivos limites de comprimento, peso bruto – PBT e peso bruto total combinado – PBTC, revogando os anteriores estabelecidos pelas portarias do DENATRAN), foram regulamentados os artigos 99 e 100 do Código de Trânsito Brasileiro, estabelecem que somente poderá transitar pelas vias terrestres veículos cujas dimensões atendam os limites estabelecidos pelo CONTRAN e que ainda nenhum veículo ou combinação de veículos poderá transitar com lotação de passageiros, peso bruto total, peso bruto total combinado com peso por eixo, superior ao fixado pelo fabricante, nem ultrapassar a capacidade máxima de tração.

Assim, o limite de peso para circulação de veículos ou combinação de veículos de carga – CVC nas vias terrestres será o menor valor entre PBT/PBTC estabelecido pelo CONTRAN ( Conforme determina o art.99 do CTB) e o PBT/CMT fixado pelo fabricante ( por imposição do art. 100 do CTB). (DNIT, ABRIL 2012)

## ANEXO B – PADRÕES PROCONVE – LIMITES E DEFINIÇÕES

**Tabela 27 – Veículos Pesados – Ciclo Diesel – Com Pós Tratamento (Ciclo de testes ESC/ELR)**

POLUENTES	LIMITES		
	Fase P-5 <sup>(1)</sup>	Fase P-6	Fase P-7
	Desde 1º/1/2004	Desde 1º/1/2009	A partir de 1º/1/2012
monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	2,10	1,50	1,50
hidrocarbonetos (HC em g/kW.h)	0,66	0,46	0,46
óxidos de nitrogênio (NOx em g/kW.h)	5,00	3,50	2,00
material particulado (MP em g/kW.h)	0,10 ou 0,13 <sup>(2)</sup>	0,02	0,02
opacidade ELR (m <sup>-1</sup> )	0,80	0,50	0,50

(1) Permanece em vigor nos anos de 2009, 2010 e 2011 por força de Termo de Ajustamento homologado pelo Juízo Federal no estado de São Paulo

(2) Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm<sup>3</sup> e rotação à potência nominal superior a 3000 m<sup>-1</sup>;

Fonte: IBAMA, programa Proconve, 2012.

**Tabela 28 - Veículos Pesados – Ciclo Diesel – Convencional e com Pós Tratamento (Ciclo de testes ETC)**

POLUENTES	LIMITES		
	Fase P-5 <sup>(1)</sup>	Fase P-6	Fase P-7
	desde 1º/1º/2004 <sup>(2)</sup>	a partir de 1º/1º/2009	a partir de 1º/1º/2012
monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	5,45	4,00	4,00
hidrocarbonetos não metano (NMHC - g/kW.h)	0,78	0,55	0,55
metano (CH <sub>4</sub> em g/kW.h)	NE	NE	NE
óxidos de nitrogênio (NOx em g/kW.h)	5,0	3,50	2,00
material particulado (MP em g/kW.h)	0,16 ou 0,21 <sup>(3)</sup>	0,03	0,03

(1) Permanece em vigor nos anos de 2009, 2010 e 2011 por força de Termo de Ajustamento homologado pelo Juízo Federal no estado de São Paulo

(2) Aplicável somente para veículos com pós-tratamento

(3) Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm<sup>3</sup> e rotação à potência nominal superior a 3000 m<sup>-1</sup>;

(NE) não exigível.

Fonte: IBAMA, programa Proconve, 2012.

**Tabela 29 - Veículos Pesados – Ciclo Diesel – Convencional e com Pós Tratamento (Ciclo de testes ESC/ELR)**

POLUENTES	LIMITES		
	Fase P-5 <sup>(1)</sup>	Fase P-6	Fase P-7
	desde 1º/1/2004	a partir de 1º/1/2009	a partir de 1º/1/2012
monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	2,10	1,50	1,50
hidrocarbonetos (HC em g/kW.h)	0,66	0,46	0,46
óxidos de nitrogênio (NOx em g/kW.h)	5,00	3,50	2,00
material particulado (MP em g/kW.h)	0,10 ou 0,13 <sup>(2)</sup>	0,02	0,02
opacidade ELR (m <sup>-1</sup> )	0,80	0,50	0,50

(1) Permanece em vigor nos anos de 2009, 2010 e 2011 por força de Termo de Ajustamento homologado pelo Juízo Federal no estado de São Paulo

(2) Aplicável somente a motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm<sup>3</sup> e rotação à potência nominal superior a 3000 m<sup>-1</sup>;

Fonte: IBAMA, programa Proconve, 2012.

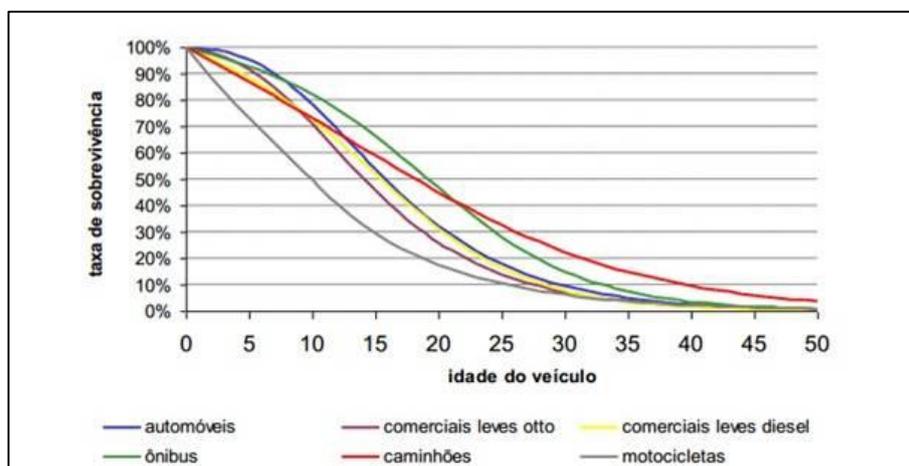
**Tabela 30 - Veículos Pesados – Movidos a GNV (Ciclo de testes ETC)**

POLUENTES	LIMITES	
	Fase P-6	Fase P-7
	desde 1º/1/2009	a partir de 1º/1/2012
monóxido de carbono (CO em g/kW.h)	4,00	4,00
hidrocarbonetos não metano (NMHC - g/kW.h)	0,55	0,55
metano (CH <sub>4</sub> em g/kW.h)	1,10	1,10
óxidos de nitrogênio (NOx em g/kW.h)	3,50	2,00
material particulado (MP em g/kW.h)	NE	NE

(NE) não exigível.

Fonte: IBAMA, programa Proconve, 2012.

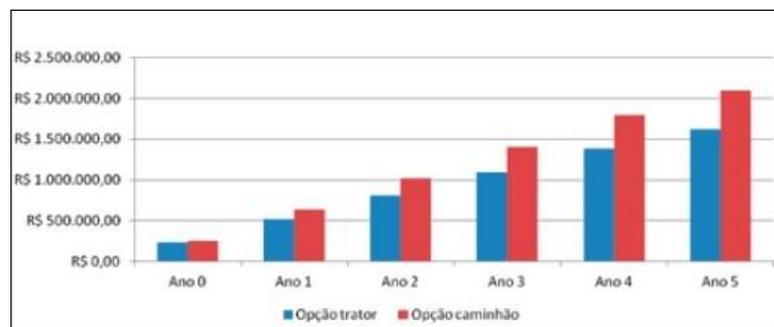
## ANEXO C – CURVA DE SUCATEAMENTO CETESB



**Gráfico 3 - Curva de Sucateamento em Função da Idade e do Tipo de Veículo**

Fonte: CETESB, 2012.

## ANEXO D – GASTOS ACUMULADOS COM TRANSBORDO



**Gráfico 4 - Gasto acumulado com Traslado entre Caminhões e Tratores**

Fonte: BANCHI *et al*, 2012.

## APÊNDICE A – BRAINSTORMING PARA ACV DOS CAMINHÕES

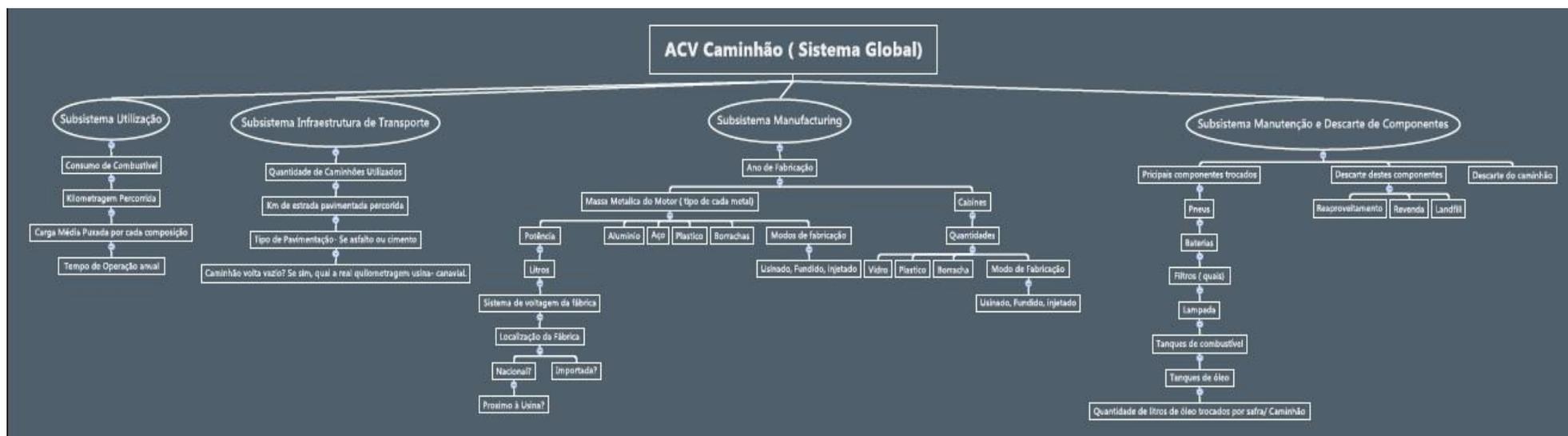


Figura 33 – Brainstorming ACV Caminhões (Sistema Global)

Fonte: Autoria própria.

## APÊNDICE B– QUESTIONÁRIO PARA CAMINHÕES

Alunos: Gustavo Finger & Jan Andreas Projeto EMBRAPA nº: Questionários às Usinas Sucraalcoleiras;											
* O questionário é de cunho acadêmico e faz parte da pesquisa sobre ciclo de vida dos caminhões utilizados na colheita e transporte da cana de açúcar. Qualquer dúvida quanto ao questionário poderá ser feita através dos e-mails: <a href="mailto:finger.gustavo@gmail.com">finger.gustavo@gmail.com</a> E/OU <a href="mailto:jandreasfm@gmail.com">jandreasfm@gmail.com</a>		Caminhão Simples (Toco) [PBT 16 ton.]	Caminhão Simples (Truck) [PBT 23 ton.]	Romeu e Julieta	Carreta 2 Eixos [PBT 33 ton.]	Carreta 3 Eixos [PBT 41,5 ton.]	Carreta Cavalo Trucado [PBT 45 ton.]	Treminhão [PBT 57 ton.]	Rodo trem [PBT 74 ton.]	Rodo trem [PBT 96 ton.]	Rodo trem [PBT 120 ton.]
Frota (Número de Veículos)											
Geração (Emissões-EURO)											
		EURO III									
		EURO IV									
		EURO V									
		Outros									
Combustível											
Diesel		A S10									
		B S10									
		A S50									
		B S50									
		A S500									
		B S500									
		A S1800									
		B S1800									
		Outro									
Distância percorrida por terreno ( carregando a mesma carga)											
		Via pavimentada									
		Fora de estrada									
O caminhão realiza viagens sem puxar carga? (S/N)											
Distância percorrida por terreno sem puxar carga											
		Via pavimentada									
		Fora de estrada									
Quantidade de viagens por dia (ida+volta=1 viagem)											
Consumo médio por composição litros/dia											
Carga média carregada por viagem (toneladas)											
Duração média da safra por ano em dias											
Dias de trabalho por safra											
Proporcao de Tipo de cana colhida por safra em %		Cana crua: _____				Cana queimada: _____					
Componentes trocados na manutenção ( quantidade) por veículo, destino após a troca e frequência de troca											
		Pneus									
		Destino após troca									

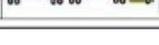
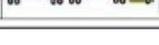
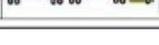
Figura 34 – Folha Um Questionário Caminhões

Fonte: Autoria própria

		( ) Troca feita após _____ ( ) dias ( ) semanas ( ) meses ( ) anos ( ) kilometros									
Discos de Freio											
Destino após troca		( ) Troca feita após _____ ( ) dias ( ) semanas ( ) meses ( ) anos ( ) kilometros									
Bomba Injetora											
Destino após troca		( ) Troca feita após _____ ( ) dias ( ) semanas ( ) meses ( ) anos ( ) kilometros									
Correias e Correntes											
Destino após troca		( ) Troca feita após _____ ( ) dias ( ) semanas ( ) meses ( ) anos ( ) kilometros									
Filtros de ar e óleo											
Destino após troca		( ) Troca feita após _____ ( ) dias ( ) semanas ( ) meses ( ) anos ( ) kilometros									
Óleo (quantidade de trocas)											
Destino após troca		( ) Troca feita após _____ ( ) dias ( ) semanas ( ) meses ( ) anos ( ) kilometros									
Outros ( *especificar ao final do questionário )											
Dias parados para manutenção											
Quantidade de água gasta para lavagem dos caminhões		_____ Litros gastos por ( ) Semana ( ) Mês									
Idade média do veículo											
0-1 ano											
1-2 anos											
2-3 anos											
3-4 anos											
4-5 anos											
Mais de 5 anos											
Motores por veículo (potência)											
<100 HP											
100<HP<200											
200<HP<300											
300<HP<400											
400<HP<500											
500<HP<600											
Vida média do caminhão no trabalho (anos)											
Os veículos são utilizados no entressafra (SIM/NAO)?											
Dias utilizados no entressafra											
Tonelagem média diária no entressafra											
Veículos são vendidos após o trabalho na usina (S/N)?											
Atividade predominante pós-usina											
Tonelagem nessa atividade											

Figura 35 - Folha Dois Questionário Caminhões

Fonte: Autoria própria

Tópico especial, durabilidade do implemento																									
A durabilidade do implemento é igual à do caminhão? (SIM/NAO)																									
Se não, qual a durabilidade do implemento?																									
*Espaço reservado para a especificação de componentes trocados durante a manutenção e que não foram contemplados no questionário ( ex: velas, correas, para-choques, compressores de ar condicionado, etc...) Indicar frequência de troca																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMPOSIÇÃO</th> <th>ESQUEMA</th> <th>DESCRIÇÃO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Truck/Toco/Caminhão simples</td> <td></td> <td>Caminhão plataforma</td> </tr> <tr> <td>Romão e Julieta/Biminhão</td> <td></td> <td>Caminhão plataforma com uma carreta acoplada</td> </tr> <tr> <td>Treminhão</td> <td></td> <td>Caminhão plataforma com duas carretas acopladas</td> </tr> <tr> <td>Rodotrem</td> <td></td> <td>Cavalo mecânico com dois semi-reboques acoplados</td> </tr> </tbody> </table>											COMPOSIÇÃO	ESQUEMA	DESCRIÇÃO	Truck/Toco/Caminhão simples		Caminhão plataforma	Romão e Julieta/Biminhão		Caminhão plataforma com uma carreta acoplada	Treminhão		Caminhão plataforma com duas carretas acopladas	Rodotrem		Cavalo mecânico com dois semi-reboques acoplados
COMPOSIÇÃO	ESQUEMA	DESCRIÇÃO																							
Truck/Toco/Caminhão simples		Caminhão plataforma																							
Romão e Julieta/Biminhão		Caminhão plataforma com uma carreta acoplada																							
Treminhão		Caminhão plataforma com duas carretas acopladas																							
Rodotrem		Cavalo mecânico com dois semi-reboques acoplados																							

**Figura 36 - Folha Três Questionário Caminhões**

Fonte: Autoria própria

## APÊNDICE C– QUESTIONÁRIO PARA COLHEDORAS

Alunos: Gustavo Finger & Jan Andreas  
 Projeto EMBRAPA nº:  
 Questionários às Usinas Sucraalcoleiras;



* O questionário é de cunho acadêmico e faz parte da pesquisa sobre ciclo de vida dos colhedoras utilizados na colheita e transporte da cana de açúcar. Qualquer dúvida quanto ao questionário poderá ser feita através dos e-mails: <a href="mailto:finger.gustavo@gmail.com">finger.gustavo@gmail.com</a> E/OU <a href="mailto:jandreasfm@gmail.com">jandreasfm@gmail.com</a>		<b>Colhedoras</b>
<b>Frota (Número de Veículos)</b>		
<b>Geração (Emissões-EURO)</b>		
	<i>EURO III</i>	
	<i>EURO IV</i>	
	<i>EURO V</i>	
	<i>Outros</i>	
<b>Combustível</b>		
<b>Diesel</b>	<i>A S10</i>	
	<i>B S10</i>	
	<i>A S50</i>	
	<i>B S50</i>	
	<i>A S500</i>	
	<i>B S500</i>	
	<i>A S1800</i>	
	<i>B S1800</i>	
	<i>Outro</i>	
<b>Distância média percorrida por dia/colhedora</b>		
<b>Consumo médio por composição ( ex: l/dia)</b>		
<b>Velocidade média da colhedora em atividade (km/h)</b>		
<b>Dias de trabalho por safra</b>		
<b>Tempo de trabalho por dia (horas)</b>		
<b>Kilômetros rodados ao ano por colhedora (média)</b>		
<b>Tonelagem colhida por safra por colhedora (média)</b>		
<b>Componentes trocados por safra por colhedora</b>		

**Figura 37 - Folha Um Questionário Colhedoras**

Fonte: Autoria própria

	<i>Pneus (quando aplicavel)</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
	<i>Esteira (quando aplicavel)</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
	<i>Discos de Freio</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
	<i>Bomba Injetora</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
	<i>Correias e Correntes</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
	<i>Filtros de ar e óleo</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
<b>Frequência da troca do implemento de corte por safra</b>		
	<i>Discos de Corte</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
	<i>Caixa</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
	<i>Rolos Tombador e separador</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
	<i>Rolos Levantador</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
	<i>Rolos Transportadores</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
	<i>Rolos picadores</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
	<i>Facas dos Rolos picadores</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
	<i>Rolos Alimentadores</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
	<i>Canela</i>	
	<i>Destino após troca</i>	
	<i>Disco de corte de Base</i>	
	<i>Destino após troca</i>	

**Figura 38 - Folha Dois Questionário Colhedoras**

Fonte: Autoria própria

<i>Despondares</i>		
<i>Destino após troca</i>		
<i>Pirulitos</i>		
<i>Destino após troca</i>		
<i>Outros ( *especificar ao final do questionário )</i>		
<b>Quantidade de veículos por idade</b>		
	<i>0-1 ano</i>	
	<i>1-2 anos</i>	
	<i>2-3 anos</i>	
	<i>3-4 anos</i>	
	<i>4-5 anos</i>	
	<i>Mais de 5 anos</i>	
<b>Quantidade de veículos por potência do motor</b>		
	<i>200&lt;HP&lt;300</i>	
	<i>300&lt;HP&lt;400</i>	
	<i>400&lt;HP&lt;500</i>	
<b>Vida média das colhedora no trabalho da usina em anos:</b>		
<b>Os veículos são utilizados no entressafra (SIM/NAO)?</b>		
<i>Se sim, por quantos dias as colhedoras trabalham no entressafra?</i>		
<b>Destino dos veículos após a vida útil na usina (%)</b>		
<i>Revenda</i>		
<i>Retorno à montadora</i>		
<i>Desmontagem</i>		
<i>Outros (especificar):</i>		
<b>*Espaço reservado para a especificação de componentes trocados durante a manutenção e que não foram contemplados</b>		

**Figura 39 - Folha Três Questionário Colhedoras**

Fonte: Autoria própria

Colhedoras utilizadas			
Marca	Ano	Veículo	Quantidade

**Figura 40 - Folha Quatro Questionário Colhedoras**

Fonte: Autoria própria

## APÊNDICE D– QUESTIONÁRIO PARA TRATORES

Alunos: Gustavo Finger & Jan Andreas

Projeto EMBRAPA nº:

Questionários às Usinas Sucraalcoleiras;



### Tratores ( Especificar Modelo e Marca )

* O questionário é de cunho acadêmico e faz parte da pesquisa sobre ciclo de vida dos tratores de transbordo utilizados na colheita e transporte da cana de açúcar. Qualquer dúvida quanto ao questionário poderá ser feita através dos e-mails: <a href="mailto:finger.gustavo@gmail.com">finger.gustavo@gmail.com</a> E/OU <a href="mailto:j.andreasfm@gmail.com">j.andreasfm@gmail.com</a>		Trator de Transbordo	1.	2.	3.	4.
<b>Frota (Número de Veículos)</b>						
<b>Geração (Emissões-EURO)</b>						
	<i>EURO III</i>					
	<i>EURO IV</i>					
	<i>EURO V</i>					
	<i>Outros</i>					
<b>Combustível</b>						
Diesel	<i>A S10</i>					
	<i>B S10</i>					
	<i>A S50</i>					
	<i>B S50</i>					
	<i>A S500</i>					
	<i>B S500</i>					
	<i>A S1800</i>					
	<i>B S1800</i>					
	<i>Outro</i>					
<i>GLP ( Gás Liquefeito de Petróleo )</i>						
<b>Tipo de Pneu</b>						
Year	<i>DT800</i>					
	<i>STR</i>					
	<i>DT812</i>					
	<i>DT824</i>					

Figura 41 - Folha Um para Questionário de Tratores

Fonte: Autoria própria

		<i>DT818</i>					
		<i>Outros</i>					
Distância média percorrida por dia por Trator							
Consumo médio por trator (litros/dia)							
Velocidade média do trator em atividade (km/h)							
Dias de trabalho por safra							
Tempo de trabalho por dia (horas)							
Tonelagem puxada por trator por viagem							
Duração média de uma viagem em km							
Componentes trocados por safra por trator							
	<i>Pneus ( sistema de rodado)</i>						
	<i>Destino após troca</i>						
	<i>Discos de Freio</i>						
	<i>Destino após troca</i>						
	<i>Bomba Injetora</i>						
	<i>Destino após troca</i>						
	<i>Correias e Correntes</i>						
	<i>Destino após troca</i>						
	<i>Filtros de ar e óleo</i>						
	<i>Destino após troca</i>						
	<i>Velas</i>						
	<i>Destino após troca</i>						
	<i>Correias e Correntes</i>						
	<i>Destino após troca</i>						
	<i>Displays de tela de comando para operador</i>						
	<i>Destino após troca</i>						
	<i>Lanternas</i>						
	<i>Destino após troca</i>						
	<i>Bielas</i>						
	<i>Destino após troca</i>						
	<i>Embreagem</i>						
	<i>Destino após troca</i>						

**Figura 42 - Folha Dois para Questionário de Tratores**

Fonte: Autoria própria

<i>Outros ( *especificar ao final do questionário )</i>						
<b>Quantidade de veículos por idade</b>						
	<i>0-1 ano</i>					
	<i>1-2 anos</i>					
	<i>2-3 anos</i>					
	<i>3-4 anos</i>					
	<i>4-5 anos</i>					
	<i>Mais de 5 anos</i>					
<b>Quantidade de veículos por potência do motor</b>						
	<i>&lt;100 HP</i>					
	<i>100&lt;HP&lt;200</i>					
	<i>200&lt;HP&lt;300</i>					
	<i>300&lt;HP&lt;400</i>					
	<i>400&lt;HP&lt;500</i>					
<b>Vida média dos tratores no trabalho em anos:</b>						
<b>Os veículos são utilizados no entressafra (SIM/NAO)?</b>						
<b>Se sim, quantos dias de trabalho há no entressafra?</b>						
<b>Qual a carga puxada por dia no entressafra?</b>						
<b>Destino dos veículos após a vida útil na usina (%)</b>						
<i>Revenda</i>						
<i>Retorno à montadora</i>						
<i>Desmontagem</i>						
<i>Outros (especificar):</i>						
<b>* Espaço reservado para a especificação de componentes trocados durante a manutenção e que não foram contemplados no questionário ( ex: velas, correias, para-choques, compressores de ar condicionado, etc...)</b>						

**Figura 43 - Folha Três para Questionário de Tratores**

Fonte: Autoria própria



