

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Incorporação de energia na vida útil de uma colhedora autopropelida
de cana-de-açúcar**

Edemilson José Mantoam

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Máquinas
Agrícolas

**Piracicaba
2011**

Edemilson José Mantoam
Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial

**Incorporação de energia na vida útil de uma colhedora autopropelida de
cana-de-açúcar**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010

Orientador:
Prof. Dr. **THIAGO LIBÓRIO ROMANELLI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Máquinas
Agrícolas

**Piracicaba
2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Mantoam, Edemilson José

Incorporação de energia na vida útil de uma colhedora autopropelida de cana-de-açúcar / Edemilson José Mantoam. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010. - - Piracicaba, 2011.
93 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Cana-de-açúcar 2. Colhedoras 3. Energia - Análise 4. Máquinas agrícolas
I. Título

CDD 633.61
M293i

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

À
meus eternos pais
Bento José Mantoam (*in memoriam*) e
Tereza Tózzi Mantoam (*in memoriam*),
pelo início da alfabetização, pelos ensinamentos,
pelo contínuo incentivo aos estudos, pela formação de caráter,
e exemplo de vida e dignidade.
Dedico.

À
meu irmão
Edvaldo Luis Mantoam,
pelo incentivo.
Ofereço.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a **Deus**, pela vida.

À **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”** da Universidade de São Paulo, através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pela oportunidade de realização desse curso de Mestrado.

À **FAPESP**, pela aprovação do projeto (Protocolo 2010/11723-5), que permitiu o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao amigo e orientador **Prof. Dr. Thiago Libório Romanelli**, pela orientação, atenção, prontidão e confiança.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Biossistemas, na pessoa do **Prof. Dr. José Paulo Molin**, coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pela convivência e conhecimento adquirido.

Ao **Prof. Dr. Osmar de Carvalho Bueno** da UNESP Botucatu, pelas valiosas contribuições.

To **Dr. Hannu J. Mikkola**, from University of Helsinki, Finland for the appreciated support.

To **Dr. Bobboi Umar** and **Dr. Idriss Audu**, from University of Maiduguri, Nigeria for the appreciated support.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas, na pessoa da Sra. **Davilmar Aparecida Domingues Collevatti**, pela agradável convivência.

Aos colegas de curso: **Carla Andréia Germano, Carlos Amaury Zanelli de Souza, Flávio Luiz dos Santos Teixeira, Luciano Libório Romanelli, Eloy Hungaro Karam, Nelson C. Franco Júnior, André Fernando Ferreira, Geraldo Cesar Zambrzycki, Cilene de Oliveira, Raniére Rodrigues Vieira, Evandro Chaves dos Santos, Milton Pyles de Oliveira, Marlon de Souza, Franz Arthur Pavlu e Antonio Morelli Arruda Junior**, pela agradável convivência, respeito e amizade.

À empresa CNH Latin America Ltda., unidade de Piracicaba, na pessoa do seu gerente industrial **Vagner Furlan** e dos seus colaboradores **Luiz Benedito Fraccarolli, Luis Faustino Damião Pinto Braga, Marcos de Campos, Décio Coradini, Jean Felipe Degasperi, e Marisa de Souza**, por propiciarem a obtenção de dados fundamentais para a realização desse trabalho.

Aos colegas de trabalho, na pessoa do **Giuliano da Costa Maestro**, pela agradável convivência, respeito e amizade.

À minha tia **Aparecida Mantoam Ré**, pelo constante incentivo e admiração.

"Uma nação se faz
com homens e livros".

Monteiro Lobato

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 DESENVOLVIMENTO.....	23
2.1 Revisão Bibliográfica	23
2.1.1 Energia e humanidade	25
2.1.2 Fundamentos da energia.....	28
2.1.3. Análise de energia.....	28
2.1.4 Análise de energia em processos industriais	31
2.1.5 Índices energéticos de máquinas agrícolas.....	34
2.1.6 Manutenção e reparo	36
2.1.7 A colhedora autopropelida de cana-de-açúcar	38
2.2 Material e Métodos	40
2.2.1 Ciclo de vida útil para a colhedora autopropelida de cana-de-açúcar	53
2.2.2 Índice de energia incorporada	54
2.3 Resultados e Discussão	55
3 CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS	77
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	85
ANEXOS	87

RESUMO

Incorporação de energia na vida útil de uma colhedora autopropelida de cana-de-açúcar

A questão energética é um dos principais desafios do século XXI. Por outro lado, os aspectos geopolíticos e ambientais, são fontes de preocupação para o modelo econômico atual. O Brasil é um país que apresenta vantagens em relação ao mundo em termos de utilização de fontes renováveis de energia. Desde 2007 os produtos da cana-de-açúcar assumiram o primeiro lugar na oferta de energia renovável. A análise de energia é necessária para o gerenciamento de recursos naturais limitados, para abastecer, com as mais diversas alternativas de biomassa, uma população mundial em constante crescimento. Essa análise identifica as práticas de produção e quantifica sua eficiência sob o ponto de vista energético, determinando a energia incorporada nas etapas do processo de produção. Estudos de energia incorporada em máquinas agrícolas são escassos. A participação do setor sucroalcooleiro na matriz energética do Brasil, fornecendo energia renovável a partir da biomassa tem aumentado. Devido à energia consumida no processo, ser produzida a partir dos seus próprios resíduos, avaliar as formas pelas quais a energia é demandada é vital para se determinar a viabilidade energética dessa fonte. Esse estudo visa determinar a energia incorporada em colhedora autopropelida de cana-de-açúcar. Foram avaliadas duas colhedoras, denominadas Máquina 1 equipada com rodas e pneus e Máquina 2 equipada com esteiras metálicas, fabricadas por uma companhia localizada na região de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil. Para cada colhedora foi contabilizado o consumo dos insumos (diretos e indiretos) utilizados na fase de montagem, bem como, o consumo dos insumos utilizados na fase de manutenção e reparo. Os dados de consumo dos insumos foram processados apresentando os fluxos de materiais utilizados, os quais foram multiplicados pelo seu índice de energia incorporada, resultando na energia incorporada nos insumos. Os resultados demonstram que a Máquina 2 apresentou maior energia incorporada ($204,3 \text{ MJ kg}^{-1}$) do que a Máquina 1 ($202,6 \text{ MJ kg}^{-1}$) durante o ciclo de vida útil, isso foi influenciado diretamente pelo rodante utilizado pela máquina 2. A energia incorporada na mão-de-obra requerida para desempenhar a atividade de montagem foi baixa comparada com as outras categorias de energia. O aço carbono foi o insumo que obteve a maior representatividade de consumo. A energia incorporada indiretamente nos insumos foi baixa comparada com as verificadas nos demais insumos. Em termos de consumo de energia incorporada, a Máquina 1 é melhor que a Máquina 2, porém esta última propicia menores danos ao canavial, fato esse que pode compensar sua maior demanda energética ao longo de seu ciclo de vida.

Palavras-chave: Análise de energia; Entrada de energia; Energia incorporada; Fluxo de material

ABSTRACT

Energy embodiment in life cycle of a self-propelled sugarcane harvester

The energy subject is one of the main challenges of 21st century. The geopolitical and environment aspects, they are concern sources to the current economic model. Brazil presents advantages in comparison to the world due to the use of renewable energy. Since 2007, products from the sugarcane have assumed the first place as a renewable source in the Brazilian energy matrix. Energy analysis is necessary in order to monitor of scarce natural resources, to supply, with the most several biomass alternatives, a world population in constant growth. This analysis identifies the production practices and quantifies their efficiency in the energy point of view, determining the embodied energy in the steps of the production process. Studies of embodied energy in agricultural machinery are rare. The participation of the sugarcane sector in the Brazilian energetic matrix has increased. Due to the energy consumed in their processes it is interesting to quantify these input flows in order to monitor the energy feasibility of this source. This study aimed to determine the embodied energy in the self-propelled sugarcane harvester. Two models were evaluated, so called: Machine 1 – equipped with wheels and tires; and Machine 2 – equipped with metallic tracks, manufactured by a company located at Piracicaba region, State of São Paulo, Brazil. For every harvester, the consumption of the input (direct and indirect) used in the assembly phase, was accounted, and also the consumption of the input used in the maintenance and repair phase. The consumption data of the inputs were processed presenting the materials flows used, which they were multiplied by their embodied energy indices, resulting in the embodied energy required by the production system. The results show that Machine 2 presented higher embodied energy (204.3 MJ kg^{-1}) than the Machine 1 (202.6 MJ kg^{-1}) during their life cycle and this was influenced directly by the rolling used by the Machine 2. The embodied energy by demanded by labor in the assembly activity was low compared with the other categories of energy. The steel carbon represented the input with the highest consumption. The incorporated energy indirectly in the input was low compared with the verified on the other inputs. In terms of embodied energy consumption, Machine 1 is better than Machine 2, although the latter may cause less damage to the sugarcane rattons which can compensate the higher energy demand in its life cycle.

Keywords: Energy analysis; Energy input; Embodied energy; Material flow

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS - Acrilonitrila Butadieno e Estireno

ACV - Análise do Ciclo de Vida

ASAE - American Society of Agricultural Engineers

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

IEA - Instituto de Economia Agrícola

INT/MCT - Instituto Nacional de Tecnologia / Ministério da Ciência e Tecnologia

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MME - Ministério de Minas e Energia

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development

OLICANA - Associação dos Fornecedores de Cana da Região de Olímpia

PVC - Poli Cloreto de Vinila

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

UNICA - União da Indústria de Cana-de-açúcar

1 INTRODUÇÃO

Na composição da matriz energética, o Brasil é um país que apresenta particularidade em termos de utilização de fontes renováveis de energia. Em 2009, 47,2% de energia consumida foi a partir de fontes renováveis, enquanto a média mundial foi de 12,7% e nos países da OECD foi apenas de 7,2% (EPE, 2010).

Desde 2007, a hidroeletricidade perdeu o primeiro lugar na oferta de energia no Brasil dentre as fontes renováveis de energia (Figura 1), tendo os produtos oriundo da cana-de-açúcar assumido o papel de principal fonte renovável e segunda maior no geral (petróleo e seus derivados permanecem na liderança). Os produtos da cana-de-açúcar considerados na matriz energética são o etanol, tanto o etanol anidro adicionado na gasolina como o hidratado utilizado diretamente como combustível (Tabela 1) e o bagaço da cana-de-açúcar, utilizado na co-geração de eletricidade.

Essa oferta de fontes renováveis de energia faz com que o Brasil conquiste uma posição de destaque e se torne referência mundial, por sua estratégia consolidada em agroenergia.

A determinação da energia incorporada da colhedora autopropelida de cana-de-açúcar se faz necessário, para conhecer a quantidade de energia gasta pela colhedora no sistema de colheita mecanizada da cana-de-açúcar, podendo ser utilizado posteriormente, para recalcular o balanço energético do etanol de cana-de-açúcar.

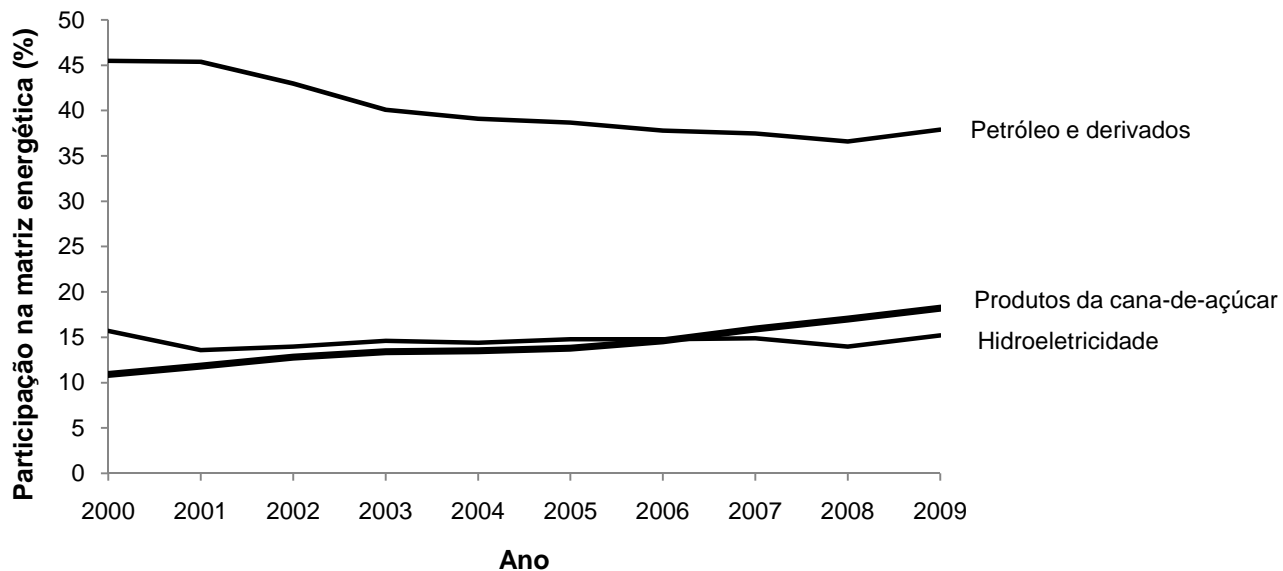


Figura 1 - Oferta de energia no Brasil
Fonte: MME (2010).

Tabela 1 - Produção de etanol combustível no Brasil
Fonte: MAPA (2011).

Safr	Produção de Etanol (m ³)		
	Anidro	Hidratado	Total
1990/91	1.286.568	10.228.583	11.515.151
1991/92	1.986.794	10.735.439	12.722.233
1992/93	2.216.385	9.513.106	11.729.491
1993/94	2.522.589	8.769.596	11.292.185
1994/95	2.873.470	9.892.440	12.765.910
1995/96	3.057.557	9.659.202	12.716.759
1996/97	4.629.340	9.801.109	14.430.449
1997/98	5.699.719	9.722.534	15.422.253
1998/99	5.679.998	8.246.823	13.926.821
1999/00	6.140.769	6.936.996	13.077.765
2000/01	5.584.730	4.932.805	10.517.535
2001/02	6.479.187	4.988.608	11.467.795
2002/03	7.009.063	5.476.363	12.485.426
2003/04	8.767.898	5.872.025	14.639.923
2004/05	8.172.488	7.035.421	15.207.909
2005/06	7.663.245	8.144.939	15.808.184
2006/07	8.078.306	9.861.122	17.939.428
2007/08	8.464.520	13.981.459	22.445.979
2008/09	9.623.020	17.959.717	27.582.737
2009/10	6.935.515	18.779.217	25.714.732

Durante as décadas 1980 e 1990, o setor sucroalcooleiro dependia quase exclusivamente da mão-de-obra para realizar o corte manual da cana-de-açúcar. A mecanização favoreceu a melhoria no processo de colheita da cana-de-açúcar, onde se emprega com maior frequência as colhedoras autopropelidas, para realizar o corte da cana-de-açúcar (OLICANA, 2010).

Por outro lado, o protocolo agroambiental considera que as mudanças climáticas globais exigem medidas para evitar o agravamento das condições ambientais e a conseqüente queda da qualidade de vida da população, entre as quais o estímulo ao uso de combustíveis de fontes renováveis (UNICA, 2010).

O IEA realizou uma pesquisa sobre o percentual da área de cana-de-açúcar colhida mecanicamente no Estado de São Paulo. Das 33 regiões produtoras 15 delas tem 0 e 29% com colheita mecanizada, sendo que Guaratinguetá e Pindamonhangaba (regiões não tradicionais) apresentam zero por cento e demais regiões tradicionais para o cultivo da cana-de-açúcar, como Piracicaba, São José do Rio Preto e Araraquara, apresentam 19,4%, 31,5% e 36,3% respectivamente; acima dos 50% da área mecanizada estão as regiões de Ribeirão Preto, Franca, Limeira e Orlandia (IEA, 2008).

A segurança energética é um dos principais desafios deste século. O aumento da população mundial e do consumo per capita, associados ao problema da mudança do clima, necessitam de ações coordenadas e sustentáveis, em seus aspectos ambientais, sociais e econômicos (MAPA, 2009).

Um dos maiores e mais discutidos problemas globais é a queima de combustíveis fósseis, proporcionando o aquecimento na atmosfera da Terra. Se o aumento da industrialização e urbanização liberarem mais aquecimento para a atmosfera, a temperatura da terra aumentará (BOUSTEAD e HANCOCK, 1979).

O esgotamento das reservas mundiais de combustíveis fósseis, de urânio, entre outros materiais traz preocupação, pois é considerado como um problema para a sustentação econômica do modelo de produção e consumo atual. O uso de recursos também é um desafio ao paradigma da sustentabilidade ambiental: a hipótese de um modelo social e produtivo que não prejudique as oportunidades de sobrevivência e bem-estar das gerações futuras. Assim, torna-se importante desenvolver e utilizar recursos (materiais e energia) renováveis (MANZINI e VEZZOLI, 2002).

A análise de energia é necessária para o gerenciamento de recursos escassos em sistemas de produção, dentre eles a produção agrícola. Essa análise, ao identificar as práticas de produção, quantifica sua eficiência sob o ponto de vista energético. Outro benefício desse tipo de análise é a determinação da energia incorporada nas etapas do processo de produção, que pode auxiliar na gestão dos mesmos, permitindo o atendimento de metas de melhoria ambiental (UMAR, 2003). Além disso, sua aplicação em operações industriais pode mostrar resultados que não apresentem apenas os benefícios individuais de uma empresa, mas apresentem benefícios para a sociedade (BOUSTEAD e HANCOCK, 1979).

Fontes de materiais e energia, dependendo do tipo de produto, são usadas com diferentes intensidades ao longo de todo o seu ciclo de vida. Isso quer dizer que a abordagem que leva em conta um projeto deve visar à redução do consumo de recursos em todas as fases, entre elas as fases de projeto e operacional. Material e energia têm um grande custo não só econômico, mas ambiental, e uma redução de seu uso é, portanto, uma fonte de economia; é importante projetar produtos que sejam facilmente reciclados, mas isso deve ser feito após uma ACV completa do produto proposto (MANZINI e VEZZOLI, 2002).

Considerando-se o setor sucroalcooleiro na matriz energética do Brasil, e a representação da energia demandada de uma fonte de energia para viabilidade e tendência em colher mecanicamente a cana-de-açúcar. Por questões ambientais e econômicas e por outro lado, as máquinas agrícolas assim como qualquer objeto consomem energia durante o seu processo de fabricação e na manutenção de sua vida útil. O presente trabalho visa determinar a energia incorporada em colhedora autopropelida de cana-de-açúcar, abordando duas fases, a de montagem e a de manutenção e reparo, tendo como objeto do trabalho dois modelos de colhedoras autopropelidas de cana-de-açúcar, denominadas máquina 1 e máquina 2, fabricadas por uma montadora de colhedoras, localizada na região de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil.

Como objetivos específicos pretendem-se:

- apresentar uma metodologia para futuros estudos visando a atualização dos índices de outras máquinas agrícolas;
- detalhar os fluxos de materiais, visando propiciar sua aplicação em outras metodologias de avaliação ambiental (ACV, síntese de energia); e
- identificar quais os pontos críticos, visando energia incorporada, no processo de montagem e manutenção da colhedora de cana-de-açúcar.

2 DESENVOLVIMENTO

Nesse trabalho determinou-se a energia incorporada em colhedora autopropelida de cana-de-açúcar, durante o seu ciclo de vida útil. Para que a energia incorporada seja determinada, primeiramente os fluxos de materiais foram contabilizados, quantificando fisicamente os insumos consumidos pela colhedora.

2.1 Revisão Bibliográfica

Na história do desenvolvimento do setor de produção a partir de utilização de energia, alguns momentos de grandes inovações tecnológicas capazes de converter as diversas formas de energia em trabalho merecem destaques, por exemplo: o moinho de água, inventado antes do século X, permitiu a substituição dos animais pela energia cinética da água em inúmeras tarefas; e a utilização da máquina a vapor para ampliar a extração de carvão mineral, que por sua vez, ampliava a fabricação de aço, matéria-prima para a fabricação de novas máquinas (MACEDÔNIO e PICCHIONI, 1985).

As autoras concluem que em 1914, no início da primeira guerra mundial, o sistema energético da sociedade capitalista era regido pelos produtores do petróleo, carvão e eletricidade. Iniciou-se então a primeira crise energética mundial devido ao monopólio dessas fontes de energia. Os governos e grupos privados iniciaram a busca de soluções alternativas capazes de tornarem seus países menos dependentes das poucas fontes disponíveis, as quais na realidade se concentravam em apenas uma: o petróleo.

Em 1923 tem início a pesquisa brasileira, com veículos movidos a combustíveis alternativo, registra-se experiências conduzidas pela Estação Experimental de Combustível e Minérios, com um veículo Ford movido a álcool etílico hidratado 70%. “Era quase aguardente”, disse o químico Abraão Iachan do Instituto Nacional de Tecnologia, e concluiu “a cachaça tem entre 38% e 54% de álcool na sua composição”. Em agosto de 1925 o veículo Ford percorreu 230 km em uma corrida no Circuito da Gávea, no Rio de Janeiro, na primeira prova automobilística realizada pelo Automóvel Clube do Brasil. O consumo de combustível foi 20 litros em 100 km. No mesmo ano, o

veículo Ford fez os percursos Rio de Janeiro a São Paulo; Rio de Janeiro a Barra do Piraí; Rio de Janeiro a Petrópolis (ARQUIVO INT/MCT apud MARCOLIN, 2008).

A partir da década de 1970, com o aumento dos preços do petróleo e o declínio das reservas conhecidas, associados ao uso intensificado dessas fontes, tornou-se vital a procura de novas fontes e a reformulação dos sistemas de produção dependentes dessa matéria-prima (IGUE, 1980).

O mundo experimentou mais uma vez uma crise mundial do petróleo, a partir de 1973. Havia a necessidade de poupar divisas, de reduzir drasticamente a importação de energia fóssil e de encontrar fontes alternativas capazes de reduzir a dependência econômica e tecnológica das nações importadoras de energia fóssil (MACEDÔNIO e PICCHIONI, 1985).

A necessidade de se produzir alimentos, para atender a demanda crescente da população, vem se constituindo em um importante problema. Com o objetivo de amenizar esses problemas, surgem inovações tecnológicas agrícolas que visam o aumento da produtividade, demandando, na maioria dos casos maior quantidade de energia incorporada nos sistemas de produção. Em geral esse aumento na energia requerida é suprido pelo uso de energia fóssil, tendo em vista maior utilização de insumos como fertilizantes, defensivos, máquinas e equipamentos (ULBANERE e FERREIRA, 1989; ASSENHEIMER et al., 2009).

O conhecimento das formas de consumo de energia nos diversos sistemas de produção agrícolas é fundamental para a definição de novas políticas de estímulos à produção ou de restrição de seu consumo, em função da importância estratégica que a energia ocupa como possível transformadora de um excedente energético para outros setores econômicos (CASTANHO FILHO e CHABARIBERY, 1982).

Por outro lado, quando se pensa em obtenção de produtos, eles são compostos por vários tipos de materiais; materiais como fontes primárias e secundárias, que determinam o impacto ambiental do processo de produção. Durante a fase de extração dos recursos naturais para produzir os materiais (pré-produção), são consumidas energia e matérias-primas que determinam emissões, por exemplo, o dióxido de carbono (CO₂) produzido a partir da queima de combustíveis fósseis usados pelas máquinas de extração de minério de ferro. Portanto deve-se fazer um balanço sobre as

vantagens e desvantagens dos recursos energéticos que precisam ser transportados desde a sua origem até o local de uso. Usar sistemas de transformação energética que possam explorar ao máximo a capacidade de gerar bem-estar para os seres humanos (MANZINI e VEZZOLI, 2002).

2.1.1 Energia e humanidade

A energia é um dos principais constituintes da sociedade moderna; sendo necessária para produzir bens a partir de recursos naturais e para fornecer serviços. O desenvolvimento econômico é um processo complexo que compartilha um denominador comum: a disponibilidade de um abastecimento adequado e confiável de energia. A modernização do Ocidente, passando de uma sociedade rural para urbana e rica, foi possível pela utilização de tecnologia (moderna) baseada em uma ampla série de avanços científicos os quais foram impulsionados por combustíveis fósseis (HINRICHS e KLEINBACH, 2009).

Ainda, os eventos políticos, fizeram com que se passasse a atentar para o quanto a energia é crucial para o funcionamento cotidiano da sociedade, começando com o embargo do petróleo em 1973, continuando com a Revolução Iraniana de 1979 e a Guerra do Golfo Pérsico de 1991. As longas filas para comprar gasolina e os invernos frios com racionamento de gás natural na década de 1970 ainda são lembradas pela população (HINRICHS e KLEINBACH, 2009).

As crises energéticas da década de 1970 tiveram seus efeitos amenizados na década seguinte, contudo, a década de 1980 trouxe uma crescente preocupação com o ambiente. Questionamentos relacionados com o aquecimento global; a chuva ácida e os resíduos radioativos seguem presentes no cotidiano desde então. Cada um desses temas está relacionado com a forma como usamos a energia, que permeia todos os setores da sociedade: economia, trabalho, ambiente, relações internacionais, assim como na vida dos seres humanos, seja na, moradia, alimentação, transporte, lazer.

Atualmente, menos de 1% do trabalho feito nos países industrializados depende de força muscular como fonte de energia (HINRICHS e KLEINBACH, 2009). Macedônio

e Picchioni (1985) comentam que diversas formas de energia são conhecidas: mecânica, térmica, química, elétrica, luminosa e nuclear. De acordo com estas formas de manifestações de energia utilizadas pelas sociedades, elas podem ser classificadas, pela forma que apresentam na Natureza, como sendo energia primária ou energia secundária.

Na energia primária, as fontes são providas pela natureza na sua forma direta, como a energia luminosa provida do sol; energia química provida do petróleo e a energia mecânica provida do vento ou da água; e outros. A energia secundária é considerada como aquela derivada da energia primária, que passa por um centro de transformação, convertendo-se em energia secundária, como o caso do óleo diesel que é energia química secundária, derivada da energia química primária do petróleo encontrado na natureza (MACEDÔNIO e PICCHIONI, 1985).

A energia é definida em termos científicos como a habilidade para produzir trabalho e calor, e a análise de energia é uma metodologia para examinar como os fornecedores de energia estão subordinados para desempenhar funções satisfatórias (BOUSTEAD e HANCOCK, 1979).

A energia é importante para o crescimento e o desenvolvimento em todas as economias do mundo. Em todas as partes do mundo, a demanda por energia está aumentando (ADUBAKAR e UMAR, 2006).

A energia é melhor descrita em termos do que ela pode fazer. Não podemos ver a energia, apenas nos seus efeitos; não podemos gerá-la, apenas obté-la e usá-la; e não podemos destruí-la, apenas degradá-la. Ao contrário da comida e da moradia, a energia não é valorizada por si própria, mas pelo que pode ser feito com ela (HINRICHS e KLEINBACH, 2009).

A energia fóssil apresenta energia química, sendo utilizada em larga escala dentro do processo produtivo da agropecuária no Brasil, e é considerada como fonte não renovável, sendo portando limitada; encontra-se na natureza como energia primária na forma de petróleo e após passar por determinados centros de transformação, essa energia fóssil é colocada à disposição da sociedade sob diversas formas, como óleo diesel, gasolina, fertilizantes nitrogenados, parafina, isopor, e vários produtos

resultantes diretamente da fonte primária do petróleo, e que por isso serão classificados como energia fóssil secundária direta (MACEDÔNIO e PICCHIONI, 1985).

Os centros de transformação são definidos como sistemas capazes de proceder a conversão de energia em outra forma de energia secundária a partir de entradas de energia (que podem ser primárias ou secundárias). Um centro de transformação, ao processar determinada energia em outra, pode acarretar desvios da energia de entrada em outras formas de energia, proporcionando não apenas a energia desejada, mas também, outras formas de energia, que de maneira geral, não são aproveitadas, por exemplo, o calor gerado em um motor de combustão interna. É o caso das chamadas “perdas” no processo de transformação. Pode acontecer também que para chegar a uma determinada energia resultante, seja necessário o ingresso de mais de uma forma de energia inicial. Dessa maneira, entende-se que um centro de transformação pode acarretar desvios de energia que podem ser decréscimos na energia resultante (MACEDÔNIO e PICCHIONI, 1985).

As indústrias são consideradas como sendo grandes consumidores de energia. Esse consumo é associado a todas as operações necessárias para suportar a fabricação de um produto ou a oferta de um serviço. Em um primeiro momento, isso parece ser fácil obter, mas as verificações de algumas operações simples aparentemente mostram que elas são consideravelmente mais complexas que o esperado originalmente (BOUSTEAD e HANCOCK, 1979).

Durante as últimas duas décadas (1990 e 2000), o consumo global de energia aumentou 25%, enquanto o consumo aumentou 15% apenas nos Estados Unidos. Nas próximas duas décadas (2010 e 2020), estima-se que o consumo de energia irá aumentar em torno de 100% nos países em desenvolvimento (HINRICHS e KLEINBACH, 2009).

É importante compreender a energia não só como produto da Natureza, transformada ou não, mas como produto do trabalho, pois considera-se que toda energia socialmente utilizada, pressupõe trabalho incorporado (MACEDÔNIO e PICCHIONI, 1985).

2.1.2 Fundamentos da energia

Çengel e Boles (2001) comentam que uma das principais leis da natureza é o princípio da conservação da energia. Ela estabelece que durante uma interação a energia pode mudar de forma, mas que a quantidade total permanece constante, não podendo ser criada ou destruída.

As duas leis da termodinâmica que controlam a conversão de energia são as primeira e segunda leis: A primeira lei ou lei de conservação estabelece que a energia não pode ser criada ou destruída; mas pode ser alterada de uma forma para outra. A segunda lei ou lei da entropia denota sobre a irreversibilidade de todos os processos naturais e pode ser vista como uma medida de desordem ou da desorganização de um sistema; à medida que um sistema se torna desordenado, as posições das moléculas são cada vez mais imprevisíveis e a entropia aumenta. Assim, o conceito de entropia não é tão utilizado na vida quotidiana como o conceito da energia, embora seja aplicável a diversos aspectos da vida (ÇENGEL e BOLES, 2001).

Podemos imaginar a sociedade moderna industrial como uma máquina complexa em que formas superiores de energia são empregadas para criar uma imponente quantidade de bens e serviços que, depois, degradam-se em forma de perda de calor (SUMMERS, 1971).

2.1.3 Análise de energia

Os sistemas de produção agrícolas adotam e continuarão a demandar avanços tecnológicos para abastecer, com as mais diversas alternativas de biomassa, uma população mundial em constante crescimento com recursos naturais limitados. Nesse panorama é vital analisar os cenários e as alternativas de manejo existentes, não somente pelo aspecto econômico, mas também social e ambiental.

Há uma tendência do avanço da mecanização da colheita da cana-de-açúcar crua decorrente do projeto ambiental (Lei Nº 11.241/2002 - SP) e acordos firmados pelo

setor sucroalcooleiro demonstrando uma maior conscientização ambiental que tem como objetivo a eliminação da queima do palhiço.

O etanol tem sido avaliado em seus principais sistemas de produção para que seja verificado o seu potencial energético. O etanol oriundo do milho nos Estados Unidos tem na sua melhor estimativa 1,34:1 unidade de energia disponível por unidade por energia investida (SHAPOURI et al., 2002), enquanto que o etanol de cana-de-açúcar no Brasil atinge 8,3:1 (MACEDO et al., 2008). Assim, mapear os fluxos de energia dentro de um setor agroenergético é vital para otimizar as fontes de agroenergia.

O conhecimento, de como o sistema de produção gasta e produz energia, é fundamental para a definição de políticas de estímulo à produção, ou de restrição do consumo, em função da importância estratégica que os sistemas ocupam como potenciais produtores de excedente energético, para outros setores da economia (CASTANHO FILHO e CHABARIBERI, 1983).

Molina Junior (1991) considera que existe a necessidade de melhorar a eficiência no consumo energético para minimizar o impacto ao ambiente, pois, em grande parte, o uso de combustíveis fósseis causa a emissão de gases poluentes à atmosfera. A produção de máquinas agrícolas quando avaliada visando determinar impactos ambientais é baseada nos fluxos de materiais, bem como, a análise dos fluxos de energia (DYER e DESJARDINS, 2006; ROMANELLI e MILAN, 2010).

Os fluxos de energia identificam a demanda total, a eficiência refletida pelo ganho líquido e pela relação produção/demanda, além da quantidade necessária para produzir ou processar um determinado produto. A determinação disso é um fator de fundamental importância para a eleição de uma matéria-prima para a produção de energia e, nesse processo, identificam-se e quantificam-se todos os insumos utilizados e produzidos (SIQUEIRA et al., 1999; ROMANELLI et al., 2008; ROMANELLI, 2009a).

Nessa avaliação considera-se como energia de entrada não somente as fontes de energia empregadas diretamente, como a eletricidade e os combustíveis, mas também a energia demandada nos processos de fabricação e obtenção de outros insumos e serviços utilizados no processo produtivo.

No caso de um sistema agrícola, além do óleo diesel utilizado nas operações mecanizadas e da eletricidade utilizada por sistemas de irrigação ou secadores em

unidades de armazenamento, contabiliza-se também a energia incorporada em insumos como maquinário, fertilizantes, defensivos, sementes e demais insumos empregados no processo de produção (SOUSA e MILANEZ, 1996). A energia humana requerida para desempenhar alguma operação ou atividade é geralmente baixa comparada com as outras categorias de energia (BRIDGES e SMITH, 1979).

Fluck e Baird (1980) afirmam que a análise energética é a avaliação objetiva das quantidades físicas envolvidas em um processo ou sistema, podendo identificar e medir os fluxos de energia.

A análise de energia pode identificar os setores da indústria e encontrar formas de torná-los menos vulneráveis às flutuações de disponibilidade. A aplicação da análise de energia produz informações completas e mapeamento do fluxo de energia essencial para previsão de demandas futuras. Há dois valores de energia associada a qualquer operação; um valor teórico que representa uma energia mínima absoluta necessária para produzir um determinado produto; e um valor efetivo representando a energia usada. A análise de energia é realizada sobre a energia usada e assim pode ser considerado como uma produção de dados básicos necessários para a descrição dos processos industriais no mundo real (BOUSTEAD e HANCOCK, 1979).

Doering (1980) estimou a energia incorporada em máquinas agrícolas e propôs um método de alocar o consumo de energia no processo de produção. O método desenvolvido define três categorias de energia, que são calculadas separadamente antes de serem somadas no total de energia associada a um componente da máquina agrícola. As três categorias de energia são:

- 1) A energia incorporada nos materiais que entram em uma peça da máquina;
- 2) A energia usada na fabricação, para dar forma aos materiais e fabricar as peças da máquina;
- 3) Ambas as categorias, incorporada e fabricada, no reparo das peças e materiais, que seriam aplicados para uma peça da máquina, através de seu ciclo de vida útil.

Similarmente, o maquinário agrícola moderno contém muitas peças construídas de materiais sintéticos, por exemplo, tanques, chapas de cobertura, engrenagens, mangueiras, juntas moldada, rodas de compactação de semeadoras e assim por diante. No entanto, a análise de demanda de energia para fabricação, manutenção e reparo, é

difícil para fazer; existem poucos dados de pesquisas disponíveis (AHOKAS e MIKKOLA, 2007). O cálculo de energia primária, exigida para fabricação de um artefato ou produto do material bruto é uma inovação relativamente recente (BOUSTEAD e HANCOCK, 1979).

2.1.4 Análise de energia em processos industriais

A operação de uma fábrica deve ser levada em conta detalhadamente desde o início de sua análise energética. Poucas fábricas têm o consumo de energia monitorado para diferentes áreas de produção, sendo assim, a eficiência de energia de operações diferentes também são desconhecidas. Conhecer o consumo em diferentes áreas de uma fábrica é útil por algumas razões:

- 1) O custo de combustíveis tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, assim a economia de energia vem sendo buscado por muitos gerentes de fábricas;
- 2) Se uma linha de produção nova ou modificada é proposta, o custo de energia precisa ser comparado com um processo existente;
- 3) Se um operador deseja comparar a sua eficiência de energia com outro, ou realmente com outra fábrica dentro da mesma companhia;
- 4) O departamento de custos precisa de um método de apontamento dos custos dos combustíveis entre diferentes centro de custos para prover análise de energia detalhada em uma base realista.

Outra razão para as fábricas terem interesse em análise de energia é o aumento da importância da análise do impacto ambiental. Os responsáveis pelas fábricas envolvidos em cada análise de energia estão interessados não somente na operação de suas fábricas, mas sim, apoiando as indústrias; assim eles têm interesse direto na quantidade de energia bruta necessária para a produção do produto, independentemente do que o avaliador estiver calculando (BOUSTEAD e HANCOCK, 1979).

A minimização do consumo de energia refere-se às intervenções que visam à redução, ou a otimização do consumo em todas as operações ligadas à obtenção de

um produto, da otimização dos parâmetros dos processos produtivos, até a eficiência dos sistemas de armazenagem e movimentação dos materiais e componentes; redução dos resíduos; eficiência dos sistemas de aquecimento, aeração e iluminação no interior das fábricas. O projetista pode intervir na escolha dos processos produtivos de baixo consumo energético (MANZINI e VEZZOLI, 2002).

A minimização do consumo de energia e dos materiais deveria ser uma prática mais comum, bem como: escolher os processos produtivos com menor consumo de energia; utilizar o calor disperso por algum processo produtivo, para o pré-aquecimento de outros; otimizar os sistemas de controle de estoque; utilizar sistemas eficientes de aquecimento, aeração e iluminação das edificações.

Assim, o projetista tem um papel relevante na escolha e aplicação dos materiais empregados no produto, mesmo sabendo que não vai estar envolvido com a origem ou com o fim desses materiais ao cessar o ciclo de vida do produto; podendo considerar a mesma atribuição em relação à escolha das fontes energéticas necessárias ao funcionamento do produto (MANZINI e VEZZOLI, 2002). As indicações para a escolha de fontes energéticas com baixo impacto seriam: escolher fontes energéticas renováveis; locais que minimizem as emissões durante as fases de produção, distribuição e uso; locais que minimizem os resíduos; e tenham alto rendimento.

O conceito do ciclo de vida refere-se às trocas (*input* e *output*) entre o ambiente e o conjunto de processos que acompanham o “nascimento” (projeto e obtenção), “vida” (duração) e a “morte” (descarte) de um produto. Assim, o produto é interpretado em relação aos fluxos de matéria, energia e efeitos no ambiente, das atividades que o acompanham durante todo o seu ciclo. No ciclo de vida considera-se o produto desde a extração dos recursos necessários para a produção dos materiais que o compõem (nascimento) até o último tratamento (morte) desses mesmos materiais após o uso do produto (MANZINI e VEZZOLI, 2002).

O ciclo de vida útil é uma seqüência de fases relacionadas com um produto, processo, serviço instalação ou empresa, sendo diferenciado entre o ciclo de vida econômico e o ciclo de vida físico. O primeiro é uma seqüência de atividades desde a concepção do produto, desenvolvimento, lançamento, fabricação, manutenção, reavaliação e retirada ao final de sua vida; o ciclo de vida físico é uma seqüência de

transformações de materiais e energia desde a extração de matérias-primas, fabricação, distribuição, utilização, recuperação de materiais, reciclagem e reuso. Assim, o ciclo de vida útil significa a durabilidade de qualquer objeto; é o intervalo de tempo entre o início do uso de um objeto até o seu descarte para reciclagem (FIKSEL, 1997).

A vida completa de um produto é um conjunto de atividades e processos, cada um deles absorvendo certa quantidade de matéria e de energia, operando uma série de transformações e liberando emissões de subprodutos de natureza diversa (MANZINI e VEZZOLI, 2002).

A reutilização é um segundo uso do produto, ou de suas partes, previamente destacados e eliminados. Os produtos destinados à reutilização precisam ser recolhidos e sem maiores operações, serem encaminhados ao mesmo uso ou a outro com menos requisitos. As alterações necessárias para promover a reutilização devem ser poucas e limitar-se, por exemplo, à limpeza ou à desmontagem e recondução de alguns componentes para os novos produtos. Algumas indicações para facilitar a reutilização seriam: melhorar a resistência das partes mais sujeitas a avarias e rupturas; predispor o acesso para facilitar a remoção das partes e componentes que podem ser reutilizados; projetar partes e componentes intercambiáveis, modulares e padronizados; projetar prevendo um segundo uso (MANZINI e VEZZOLI, 2002). Assim, esses autores concluem que estender a vida dos materiais significa fazê-los viver por mais tempo do que duram os produtos que esses materiais estão compondo. Esse ciclo “do berço ao berço” dos materiais ocorre através de dois processos fundamentais, ou seja, os materiais podem ser reprocessados para serem transformados em materiais secundários; ou incinerados para recuperar o seu conteúdo energético.

2.1.5 Índices energéticos de máquinas agrícolas

A proporção de materiais sintéticos tem aumentado nas indústrias de automóvel, e, similarmente nas indústrias de máquinas agrícolas, que utilizam rodas grandes e pesadas, superfície de cabine vem sendo almofadada, tanques de combustível, tampas, cobertura, forrações, anéis são principalmente feitos de plástico ou fibra de vidro (MIKKOLA e AHOKAS, 2010).

As máquinas agrícolas, assim como quaisquer equipamentos ou infraestrutura que são utilizadas indiretamente em um processo, têm sua demanda energética determinadas de forma imprecisa (DOERING, 1980; ROMANELLI, 2009b). Um grande número de dados é necessário para se fazer uma avaliação da energia incorporada em um estoque de máquinas (DOERING, 1980; MIKKOLA e AHOKAS, 2010). Por exemplo, para se determinar a energia incorporada em um bloco de um motor de combustão interna, é necessário determinar a energia demandada na mineração, no transporte do minério de ferro, na fornalha utilizada na transformação; ainda seria necessário analisar todos os processos de fabricação das peças, de montagem e de venda (DOERING, 1980).

Berry e Fels (1972) foram pioneiros em indicar um índice energético para veículos automotores, tendo seus dados originais baseados na produção da indústria automobilística de Chicago em 1967. Eles analisaram o fluxo de material para determinar o índice energético dos veículos automotores em pequenos componentes e calcularam que $81,2 \text{ MJ kg}^{-1}$ de energia primária foram necessários para a fabricação de um automóvel com massa aproximada de 1.653 kg, e identificaram que a demanda de energia para os materiais como o ferro e aço foram mais exato do que para os materiais não ferrosos, qual foi certamente mais exato do que para os materiais não metálicos. Os itens de tapeçaria foram completamente omitidos da análise. Os componentes de aço e ferro contabilizaram 94% da massa do automóvel na análise dos fluxos de materiais e energia.

Embora não tenham feito uma comparação entre a indústria automobilística e a de máquinas agrícolas, Deleage et al. (1979), adaptaram o índice de Berry e Fels (1972), baseando-se que o material consumido no processo de fabricação de um trator é diferente do material consumido no processo de um automóvel e levando em conta a

proporção dos materiais ferrosos, não ferrosos e outros materiais, que existiam nos equipamentos na França, eles calcularam um valor médio de $75,0 \text{ MJ kg}^{-1}$ para as máquinas agrícolas na França para a década de 1970.

Macedônio e Picchioni (1985) relatam que o cálculo da quantidade de energia fóssil embutida em um trator, colhedora e implemento agrícola, foi efetuado a partir do conhecimento da massa, ciclo de vida útil e da demanda específica de energia por tonelada de cada uma dessas máquinas e equipamentos fabricados no Brasil. A demanda específica de energia foi calculada de acordo com a metodologia definida por JULIEN (1984) apud MACEDÔNIO e PICCHIONI (1985) que tem como base de cálculo a produção de materiais pelas siderúrgicas. Assim, o ano considerado como ano médio de fabricação dos equipamentos foi 1975 e conhecendo as informações sobre a produção nacional de materiais nesse ano, calculou-se a quantidade de energia necessária para a produção de máquinas e implementos. Essas autoras afirmam que, os insumos fabricados mais recentemente, têm demanda específica de energia menor que a calculada. Sabe-se que o desenvolvimento de novas tecnologias no setor metalúrgico, reduz o consumo energético necessário para a produção. Assim, quanto mais modernos os equipamentos menor será a quantidade de energia fóssil embutida neles.

Desta forma, Macedônio e Picchioni (1985) calcularam que $69,9 \text{ MJ kg}^{-1}$ foi à demanda específica de energia, necessária para a fabricação de uma colhedora com potência de 80 kW (109 cv) com massa aproximada de 5.600 kg e ciclo de vida útil de 10.000 horas e que $57,2 \text{ MJ kg}^{-1}$ foi a demanda específica de energia, necessária para a fabricação de uma semeadora de fluxo contínuo (sementes miúdas) com 13 linhas com massa aproximada de $150 \text{ kg linha}^{-1}$ e ciclo de vida útil de 10.000 horas.

A tendência dos sistemas de produção se tornar mais eficientes pode não ser verdadeiramente em termos energéticos, em função de materiais como fibra de vidro, polímeros e alumínio passarem a ser amplamente utilizados em veículos automotores, uma vez que tais materiais apresentam mais energia incorporada que o aço (MIKKOLA e AHOKAS, 2010).

Uma análise comparativa do uso de energia entre a indústria automobilística e a indústria de máquinas agrícolas não tem sido feita. Essa análise deve ser feita, porque

há diferenças estruturais essenciais entre automóveis e tratores. Os tratores são construídos por muitos componentes de ferro fundido, enquanto a carcaça de um carro é invariavelmente construída de chapa de aço (MIKKOLA e AHOKAS, 2010). Os tratores como a maioria de outras máquinas agrícolas, hoje consiste de componentes que são fabricados por fornecedores. Além disso, consideram que a análise de energia consome tempo, e é difícil para fazer, pois as informações necessárias estão dispersas e difíceis para encontrar (MIKKOLA e AHOKAS, 2007).

2.1.6 Manutenção e Reparo

Manutenção e reparo excluem o reabastecimento de combustível e consideram as trocas de óleo e filtros (ASAE, 1983). No que se refere ao reparo e manutenção de uma máquina, geralmente sua demanda energética é baseada no percentual que o seu custo tem em relação ao custo de aquisição (DOERING, 1980; MIKKOLA e AHOKAS, 2010). O custo de reparo de máquina agrícola durante o seu ciclo de vida útil indica que a energia embutida em manutenção e reparo de máquinas agrícolas varia consideravelmente por tipo de máquina. Essa variação para 14 máquinas foi de 61% a 362% (FLUCK, 1985).

A energia demandada pelo reparo e manutenção é comparada à demandada para a construção do maquinário (FLUCK e BAIRD, 1980). Fluck (1985) apresenta dois modelos que podem ser utilizados para analisar a demanda de energia: “custo industrial” e “custo de reparo na vida útil”. O primeiro se baseia nas vendas de máquinas, peças de reposição e serviços prestados para determinar a energia demandada. O segundo se baseia na energia gasta pela manutenção e reparo durante a vida útil da máquina. Com esse modelo foi determinado que a energia gasta no reparo e manutenção é 38% maior que a demandada para a manufatura, atingindo o dobro do que indicou o primeiro modelo.

Doering (1980) se baseou na metodologia do reparo total acumulado para determinar o percentual de energia referente ao reparo de manutenção ao longo da vida útil, atribuindo 74,25% para tratores 4x4 e de esteira, 89,10% para tratores 4x2 e 45,88% para caminhões, camionetes, colhedoras de grãos e de algodão.

Quantificações prévias da energia embutida na manutenção e reparo de máquinas agrícolas tem variado consideravelmente. A maioria tem expressado essa energia como uma porcentagem da energia embutida na fabricação da máquina de acordo com a Tabela 2 (FLUCK, 1985).

Tabela 2 - Energia embutida na manutenção e reparo de máquinas agrícolas (Fluck 1985)

Fonte	Energia de manutenção e reparo, porcentagem da energia de fabricação (%)	Observações
Pimentel et al., (1973)	6	Para produção de milho Estados Unidos.
Bridges and Smith (1979)	6	Segue exemplo de Pimentel et al., (1973).
Smill et al., (1983)	8	Baseado na consulta com revendedor de equipamentos agrícolas.
Foster et al., (1980)	10	Somente fabricação de peças de reparo.
Van Hecke (1982)	20	Para Bélgica.
Doering et al., (1977)	32	Baseado no uso de equações custo de reparo acumulado total da ASAE e substituição de um complemento da máquina no campo após 10 anos. Energia de fabricação exclui energia embutida nos materiais brutos antes da fabricação.
Leach (1976)	53	Para três faixas de potência de tratores, usando intensidade de energia de 200 MJ £^{-1} para manutenção e reparo, e média do custo de reparo de 53% da depreciação.
Burrill et al., (1976)	104	Produção de maçã Vermont; baseado no produto do custo de manutenção do equipamento e intensidade de energia.

Umar (2003) calculou que 42,7 MJ ha⁻¹ de energia indireta foi necessária para manutenção, reparo e transporte de um trator com um ancinho. Sendo o trator com massa aproximada de 2.780 kg e ciclo de vida útil de 12.000 horas, e o ancinho com 18 discos com massa aproximada de 564 kg e ciclo de vida útil de 2.000 horas, ambos com capacidade de campo efetiva de 1,21 ha h⁻¹.

Abubakar e Umar (2006) relatam que a energia para manutenção, reparo e transporte não foi avaliada, devido à insuficiência de dados de massa das máquinas disponíveis na indústria e concluem que os resultados de energia obtido das indústrias são incompletos, sendo que a energia para manutenção, reparo e transporte disputa uma posição significativa na análise de uso da energia; a energia para a mão-de-obra foi determinada de acordo para as horas-homem requerida para desempenhar uma atividade particular, de acordo com (BRIDGES e SMITH, 1979).

2.1.7 A colhedora autopropelida de cana-de-açúcar

No processo de colheita mecanizada da cana-de-açúcar, empregam-se com maior freqüência as colhedoras autopropelidas. Nesse tipo de máquina, a cana-de-açúcar passa por vários estágios no interior da colhedora, desde o momento do corte basal, até o carregamento no veículo de transporte. As colhedoras de diferentes fabricantes, em operação no país, trabalham no campo segundo o mesmo princípio de operação e sistemas de processamento da cana-de-açúcar (NEVES, 2003).

Durante a operação de colheita a máquina (Figura 3) é posicionada na fileira de cana-de-açúcar e quando inicia o seu deslocamento, o ponteiro da cana é cortado pelo despontador. O disco de corte lateral tem a função de cortar a ponta das canas emaranhadas e presas evitando que as soqueiras sejam arrancadas. O sistema de alimentação é constituído pelos divisores de linha, rolo tombador e rolo alimentador, que direcionam o feixe de cana para ser cortado pelo corte de base. O corte de base é realizado por dois discos rotativos com lâminas, e o recolhimento e levante do feixe de cana é iniciado pelo rolo levantador e o transporte e distribuição horizontalmente do feixe de cana é realizado pelos rolos alimentadores. O corte da cana em rebolos é feito pelos rolos picadores e a remoção de impurezas (limpeza) é feita pelo extrator primário. Em seguida os rebolos são transportados pelo elevador e na parte superior do elevador, antes do descarregamento dos rebolos no veículo de transporte, ocorre uma segunda limpeza feita pelo extrator secundário. O *flap* tem a função de direcionar a descarregamento dos rebolos no veículo de transporte (COLHEDORA, 2009).

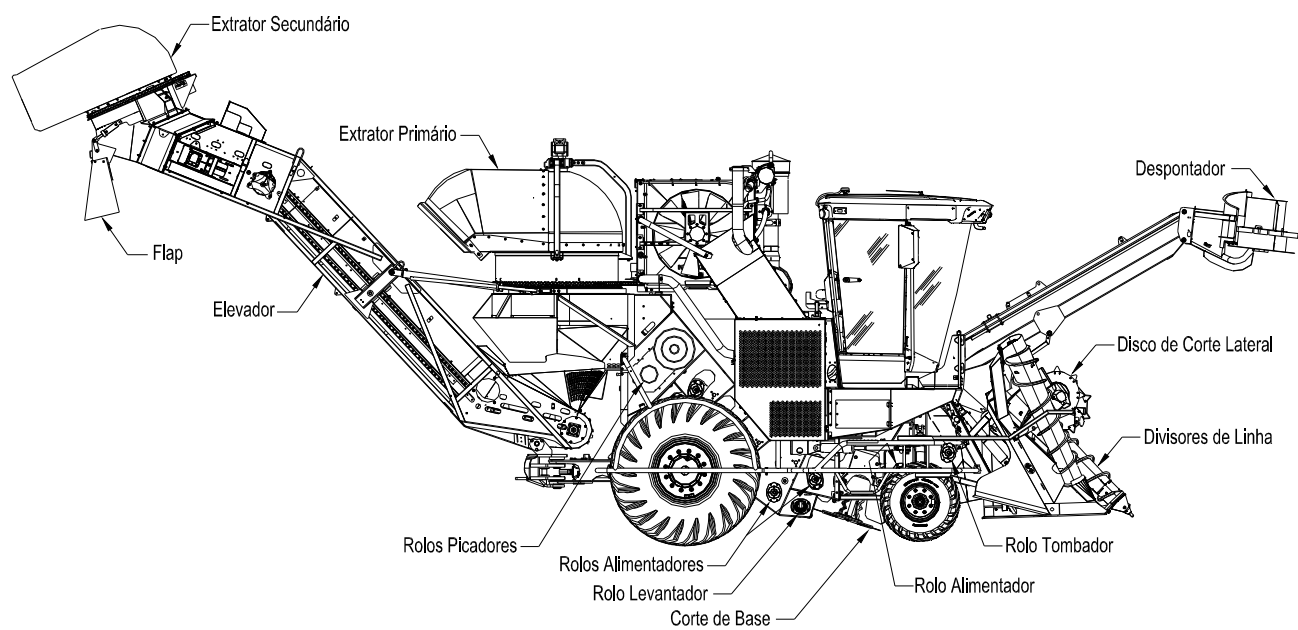


Figura 3 - Esquema da colhedora autopropelida de cana-de-açúcar
Fonte: Banco de dados da montadora de colhedoras de cana-de-açúcar avaliadas.

2.2 Material e Métodos

O presente estudo avaliou duas colhedoras autopropelidas de cana-de-açúcar:

a) uma colhedora denominada máquina 1 com massa aproximada de 14.863 kg equipada com rodante de rodas e pneus;

b) uma colhedora denominada máquina 2 com massa aproximada de 16.972 kg equipada com rodante de esteiras metálicas.

Ambas as colhedoras são equipadas com motor de ciclo diesel, 6 cilindros em linha, injeção direta, alimentação forçada e pós-refrigerado por carga de ar, com potência de 260 kW (354 cv) e rotação máxima 2.100 rpm.

O levantamento dos dados necessários para a execução do estudo foi feito junto a uma montadora de colhedoras de cana-de-açúcar, localizada na região de Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil. O primeiro passo foi definir o fluxograma (1¹) (Figura 4), que abordou a fase de montagem (2) e a fase de manutenção e reparo (3).

Na fase de montagem foram identificados os insumos indiretamente utilizados (4) e os diretamente utilizados (5).

Na fase de manutenção e reparo, foram utilizadas as manutenções propostas pelo manual do proprietário. Dados sobre mecanismos de desgastes, por exemplo, picadores, foram obtidos junto ao departamento de Engenharia de Protótipos e Testes da montadora de colhedoras de cana-de-açúcar, uma vez que esses dados variam muito em função das condições de campo e da manutenção realizada (6).

As planilhas eletrônicas utilizadas para os cálculos foram desenvolvidas utilizando o *software* Microsoft Excel[®] 2007.

¹ Os números entre parênteses referem aos números da Figura 4.

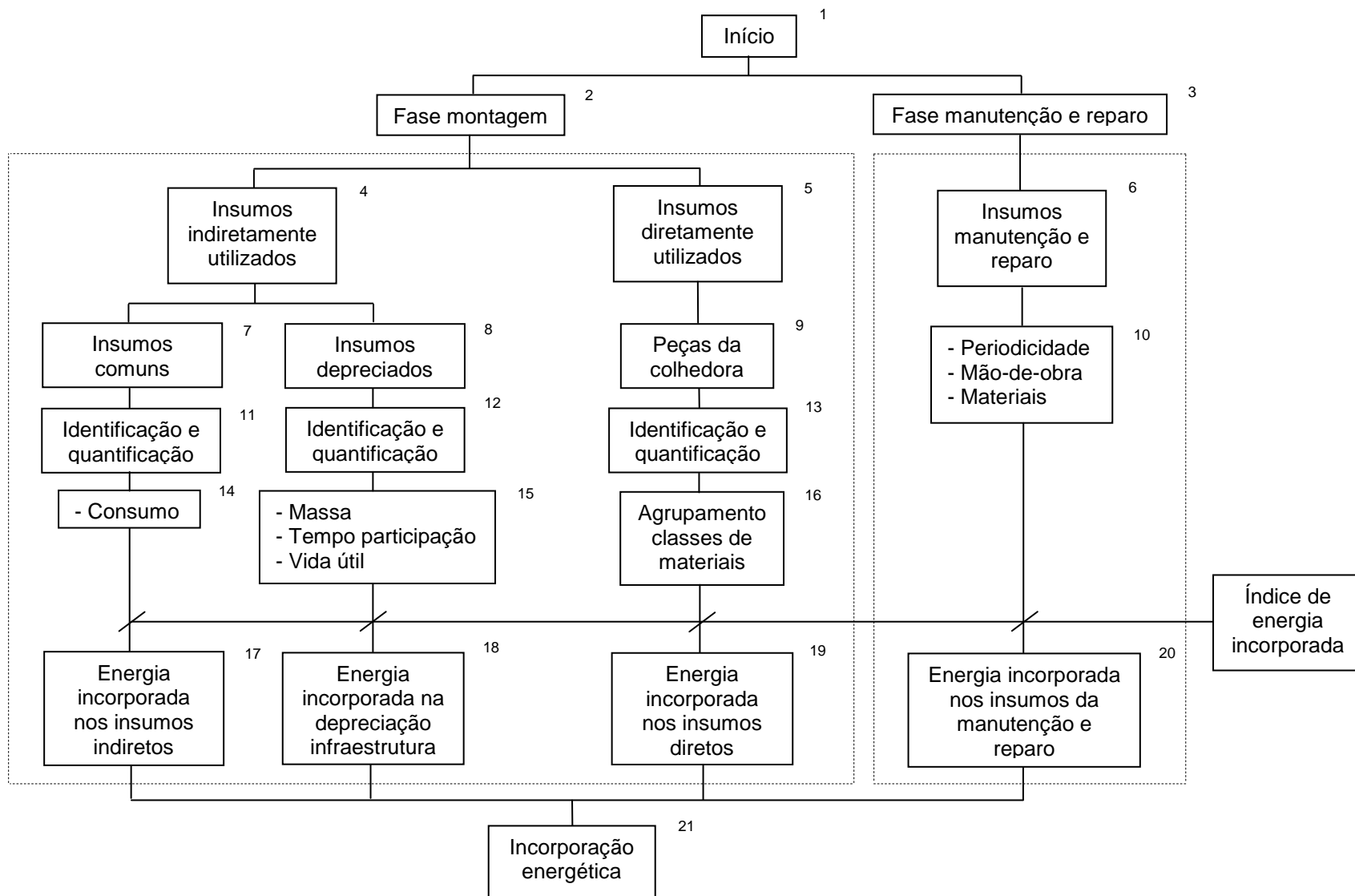


Figura 4 - Fluxograma da determinação da energia incorporada na colhedora de cana-de-açúcar

Os insumos indiretamente utilizados (4) se referem aos insumos como eletricidade, água, GLP, óleo lubrificante (7), pois esses insumos ao serem utilizados prestam um serviço ao processo, sendo intangíveis no produto final, embora sejam incorporados. Esses insumos não têm o seu consumo específico na fabricação das colhedoras, uma vez que essa empresa fabrica também outras máquinas agrícolas.

A sua identificação e quantificação (11) foi feita baseado no levantamento do consumo médio desses insumos ao longo de 36 meses, correspondente aos anos: 2008, 2009 e 2010. As Equações 1 a 3, indicaram a média do seu consumo para cada insumo por unidade de colhedora. Assim para encontrar o consumo específico desses insumos para uma colhedora, primeiramente foi encontrado a participação da colhedora dentro do total de máquinas produzidas, para um determinado ano (Equação 1).

As horas de mão-de-obra necessárias para realizar a montagem da colhedora, foram baseadas no cadastrado de horas no banco de dados da empresa.

$$PCP = (UCP_i * TGC_i * 100) / \sum TP_i \quad (1)$$

Onde:

PCP = participação da colhedora dentro do total de máquinas produzidas no i-ésimo ano (%);

UCP = unidades de colhedoras produzidas no i-ésimo ano; (unidades ano⁻¹);

TGC = tempo gasto para produzir uma colhedora (h unidade⁻¹);

$\sum TP$ = somatório tempo total de produção para os demais produtos da empresa no i-ésimo ano (h ano⁻¹);

i = ano.

Com o dado da participação de colhedoras produzidas por ano, multiplicado pelo consumo do insumo anual e dividido pela unidade de colhedoras produzidas, resulta o consumo do insumo médio anual da colhedora, para um determinado ano (Equação 2).

$$CMA_i = ((PCP / 100) * CIA_i) / UCP_i \quad (2)$$

Onde:

CMA = consumo do insumo médio no i-ésimo ano (kWh unidade⁻¹; m³ unidade⁻¹; kg unidade⁻¹; L unidade⁻¹);

PCP = participação da colhedora dentro do total de máquinas produzidas no i-ésimo ano (%);

CIA = consumo do insumo no i-ésimo ano (kWh ano⁻¹; m³ ano⁻¹; kg ano⁻¹; L ano⁻¹);

UCP = unidades de colhedoras produzidas no i-ésimo ano; (unidades ano⁻¹);

i = ano.

Assim o consumo médio total foi determinado somando-se o consumo médio anual referente aos anos de 2008, 2009 e 2010 e dividindo-os pela quantidade de anos avaliados. Isso identificou o consumo médio total para cada insumo por unidade de colhedora produzida (Equação 3).

$$CMT = \sum_{i=1}^N \frac{CMA_i}{N} \quad (3)$$

Onde:

CMT = consumo médio total (kWh unidade⁻¹; m³ unidade⁻¹; kg unidade⁻¹; L unidade⁻¹);

CMA = consumo do insumo médio no i-ésimo ano (kWh unidade⁻¹; m³ unidade⁻¹; kg unidade⁻¹; L unidade⁻¹);

N = número de anos avaliados;

i = ano.

Com os dados de consumo médio total (14) multiplicados pelo seu índice de energia incorporada, resulta na energia incorporada nos insumos indiretos (17) (Equação 4).

$$E_{III} = CMT * EI \quad (4)$$

Onde:

E_{III} = energia incorporada nos insumos indiretos (MJ);

CMT = consumo médio total (kg, m³, unidade);

EI = energia incorporada do material (MJ kg⁻¹; MJ m⁻³; MJ unidade⁻¹).

Contido nos insumos indiretamente utilizados (4) existem os insumos que são depreciados no processo produtivo, como alvenaria, máquinas, equipamentos e ferramentas (8). Esses insumos não têm o seu consumo de forma comum na empresa fabricante de colhedoras, uma vez que essa empresa fabrica também outras máquinas agrícolas.

A sua identificação e quantificação (12) foi feita para que a massa e a vida útil dos mesmos sejam determinadas e também os insumos auxiliares ao seu funcionamento, como, óleo lubrificante. Assim o cálculo de consumo médio desses insumos, para a colhedora de cana-de-açúcar, foi feito em função da taxa de utilização que corresponde à porcentagem de colhedoras produzidas ao longo de 36 meses, correspondentes aos anos: 2008, 2009 e 2010. Isso indicou a taxa de utilização para cada insumo por unidade de colhedora (Equação 5).

$$TUI = \sum_{i=1}^N \frac{PCP_i}{N} \quad (5)$$

Onde:

TUI = taxa de utilização dos insumos (%);

PCP = participação da colhedora dentro do total de máquinas produzidas no i-ésimo ano (%);

N = número de anos avaliados;

i = ano.

Com o dado da taxa de utilização dos insumos, multiplicado pela infraestrutura utilizada, como m² área expedição; m² área armazém peças; m² área centro treinamento; kg equipamentos de informática, resulta no consumo médio para cada insumo depreciado por unidade de colhedora produzida (Equação 6).

$$\text{CMD} = (\text{TUI} / 100) * \text{IEU} \quad (6)$$

Onde:

CMD = consumo médio depreciado (m²; kg);

TUI = taxa de utilização dos insumos (%);

IEU = infraestrutura utilizada (m²; kg).

Com os dados de consumo médio depreciado, vida útil e conhecendo-se o tempo de participação (15) que um determinado equipamento tem no processo produtivo, resultou na massa depreciada relativa à fabricação da colhedora, multiplicados pelo seu índice de energia incorporada, resulta na energia incorporada na depreciação da infraestrutura (18) (Equação 7).

$$\text{EIDI} = ((\text{CMD} / \text{VU}) * \text{TC}) * \text{EI} \quad (7)$$

Onde:

EIDI = energia incorporada na depreciação da infraestrutura (MJ);

CMD = consumo médio depreciado (m^2 ; kg);

VU = vida útil da i-ésima máquina, ferramenta, prédio (h);

TC = tempo de ciclo gasto pela máquina, ferramenta, prédio na fabricação de uma colhedora (h);

EI = energia incorporada do material ($MJ\ kg^{-1}$; $MJ\ m^{-2}$).

A vida útil para os insumos indiretamente utilizados, que são depreciados no processo produtivo, foi baseada na Instrução Normativa (MINISTÉRIO DA FAZENDA, 1998). Essa Instrução Normativa foi regulamentada pela Secretaria da Receita Federal do Brasil, no uso de suas atribuições e tendo em vista o disposto no art. 253, § 1º, do Regulamento do Imposto de Renda, aprovado pelo Decreto n. 1.041, de 11 de janeiro de 1994. A vida útil informada na Instrução Normativa é representada na unidade de medida anos. No entanto o autor adaptou essa vida útil para a unidade de medida horas, estimando desta forma a quantidade de horas de trabalho referente à vida útil dos insumos indiretamente utilizados (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores da vida útil para os insumos indiretamente utilizados
Adaptado do Ministério da Fazenda (1998).

Referência NCM	Bens	Vida útil (anos)	Vida útil (horas) ¹
8204	Chaves de porcas, manuais (incluídas as chaves dinamométricas); chaves de caixa intercambiáveis, mesmo com cabos.	5	43.200
8462	Máquinas-ferramentas (incluídas as prensas) para forjar ou estampar, martelos, martelos-pilões e martinets, para trabalhar metais; máquinas-ferramentas (incluídas as prensas) para enrolar, arquear, dobrar, endireitar, aplanar, cisalhar, puncionar ou chanfrar metais; prensas para trabalhar metais ou carbonetos metálicos, não especificados.	10	86.400
8467	Ferramentas pneumáticas, hidráulicas ou de motor, não elétrico, incorporado, de uso manual.	10	86.400
8517	Aparelhos elétricos para telefonia ou telegrafia, por fio, incluídos os aparelhos telefônicos por fio conjugado com um aparelho telefônico portátil sem fio e os aparelhos de telecomunicação por corrente portadora ou de telecomunicação digital; videofones.	5	43.200
9017	Instrumentos de desenho, de traçado ou de cálculo (por exemplo: máquinas de desenhar, pantógrafos, transferidores, estojos de desenho, régua de cálculo e discos de cálculo); instrumentos de medida de distâncias de uso manual (por exemplo: metros, micrômetros, paquímetros e calibres).	10	86.400
9406	Construções pré-fabricadas.	25	216.000

¹ Baseado em 8.640 h ano⁻¹.

Durante o desenvolvimento desse trabalho, foi identificada a falta de dados para a estimativa do ciclo de vida útil para alguns insumos, por exemplo, prédio de alvenaria; ferramentas; equipamentos de informática (desktop e notebook). No entanto, para tentar conhecer o ciclo de vida útil desses insumos de forma prática, foram contatados alguns fabricantes de equipamentos de informática e ferramentas, para conhecer através deles o ciclo de vida útil de seus produtos.

O ciclo de vida útil dos equipamentos de informática não é atribuído ao tempo de vida dos componentes, mas sim, ao tempo de vida útil tecnológica, que é considerado a partir de três anos. O tempo de vida útil tecnológica é considerado, quando os equipamentos não suportam mais as atualizações de softwares. Frequentemente os equipamentos de informática são descartados para manutenção a partir de cinco anos.

O ciclo de vida útil das ferramentas é atribuído quando elas atingem em média 2,5% de desgaste na dimensão de seu orifício de encaixe, o que requer a sua substituição e descarte. A forma de uso da ferramenta e o tipo de manutenção aplicada contribuirão para definir o seu ponto de substituição e descarte.

Não há o ciclo de vida útil para os prédios de alvenaria, o que vem sendo usado é a seguinte comparação: um prédio desabitado se deteriora mais rapidamente que um prédio habitado, em função de não haver nenhum tipo de manutenção em um prédio desabitado.

Os insumos diretamente utilizados (5) são as peças que compõem a colhedora (9). A sua identificação e quantificação (13) foi feita com os dados técnicos que estão cadastrados no banco de dados da empresa (matéria-prima, massa e quantidade). As peças utilizadas na colhedora foram agrupadas por classes de materiais, referente à composição da matéria-prima de cada peça, como aço carbono, ferro fundido, alumínio, cobre, borracha, plástico, e outros (16). Com os dados técnicos destas peças (16) multiplicados pelo seu índice de energia incorporada, resulta na energia incorporada nos insumos diretos (19) (Equação 8).

$$EIID = \sum FM * EI \quad (8)$$

Onde:

EIID = energia incorporada nos insumos diretos (MJ);

FM = fluxo do i-ésimo material (kg; L);

EI = energia incorporada do i-ésimo material (MJ kg⁻¹; MJ L⁻¹).

Para uma melhor organização dos fluxos desses materiais, os materiais foram classificados em quatro classes, de acordo com as suas características (SENAI, 1996): metálicos; não metálicos; lubrificantes/fluídos; tintas/solventes.

1) Materiais metálicos (metais ferrosos e não-ferrosos), por exemplo, o aço é um dos mais importantes materiais metálicos ferrosos usados na indústria mecânica para fabricação de peças em geral, e o alumínio que vêm tornando o metal mais importante dentro de sua família de metais não-ferrosos; por ter a condutividade térmica, inferior somente à da prata, cobre e ouro, o alumínio se torna adequado para aplicações em equipamentos destinados a permutar calor;

2) Materiais não metálicos, por exemplo, a borracha é uma substância elástica feita do látex coagulado de várias plantas, principalmente a seringueira, a goma-elástica, ou por processos químico-industriais;

3) Lubrificantes/fluídos, por exemplo, o óleo lubrificante é usado para substituir os pontos de atrito sólido pelo atrito fluído, para reduzir o desgaste entre as superfícies, proporcionando maior ciclo de vida útil da peça ou objeto;

4) Tintas/solvente, por exemplo, a principal finalidade da pintura é de proteger peças ou objetos por meio de um revestimento superficial contra a corrosão, e o solvente é a parte da tinta que normalmente evapora e tem como finalidade dissolver e diminuir a viscosidade da resina, facilitando a aplicação da tinta.

Na fase manutenção e reparo foi utilizada a manutenção proposta pelo manual do proprietário. Dados sobre mecanismos de desgastes, como picadores, materiais de desgastes, foram obtidos junto ao departamento de Engenharia de Protótipos e Testes da montadora de colhedoras, uma vez que esses dados variam muito em função das condições de campo e da manutenção realizada (6). A periodicidade das trocas e as atividades propostas de manutenção e reparo foram tabuladas (10), a fim de determinar o consumo dos insumos, como filtro, graxa, óleo, proteção, assoalho, faca de corte, material rodante, bem como, as horas de mão-de-obra necessárias para realizar as respectivas atividades de manutenção e reparo. Com os dados dos fluxos de materiais utilizados (10) multiplicados pelo seu índice de energia incorporada, resulta na energia incorporada nos insumos da manutenção e reparo (20) (Equação 9).

$$EIMR = \sum FM * EI \quad (9)$$

Onde:

EIMR = energia incorporada nos insumos da manutenção e reparo (MJ);

FM = fluxo do i-ésimo material (kg, m³, unidade);

EI = energia incorporada do i-ésimo material (MJ kg⁻¹; MJ m⁻³, MJ unidade⁻¹).

A soma dos resultados da fase de montagem (2) e da fase de manutenção e reparo (3) resulta a incorporação energética da colhedora autopropelida ao longo do ciclo de vida útil (21) (Equação 10).

$$EIC = EIII + EIDI + EIID + EIMR \quad (10)$$

Onde:

EIC = energia incorporada na colhedora autopropelida ao longo do ciclo de vida útil (MJ);

EIII = energia incorporada nos insumos indiretos (MJ);

EIDI = energia incorporada na depreciação da infraestrutura (MJ);

EIID = energia incorporada nos insumos diretos (MJ);

EIMR = energia incorporada nos insumos da manutenção e reparo (MJ).

Com o dado da energia incorporada na colhedora autopropelida, e conhecendo o seu ciclo de vida útil, resulta o indicador MJ h^{-1} (Equação 11).

$$IEIH = EIC / CVU \quad (11)$$

Onde:

IEIH = indicador energia incorporada pelo ciclo de vida útil (MJ h^{-1});

EIC = energia incorporada na colhedora autopropelida ao longo do ciclo de vida útil (MJ);

CVU = ciclo de vida útil da colhedora (h).

Com o dado da energia incorporada na colhedora autopropelida, e conhecendo a sua massa, resulta o indicador MJ kg⁻¹ (Equação 12).

$$IEIM = EIC / MA \quad (12)$$

Onde:

IEIM = indicador energia incorporada pela massa (MJ kg⁻¹);

EIC = energia incorporada na colhedora autopropelida ao longo do ciclo de vida útil (MJ);

MA = massa da colhedora (kg).

Com o dado da energia incorporada na colhedora autopropelida, e conhecendo a potência do seu motor, resulta o indicador MJ kW⁻¹ (Equação 13).

$$IEIP = EIC / PM \quad (13)$$

Onde:

IEIP = indicador energia incorporada pela potência do motor (MJ kW⁻¹);

EIC = energia incorporada na colhedora autopropelida ao longo do ciclo de vida útil (MJ);

PM = potência do motor da colhedora (kW).

2.2.1 Ciclo de vida útil para a colhedora autopropelida de cana-de-açúcar

A vida econômica de uma máquina agrícola é um dado que varia muito em função do tipo de máquina utilizada e a sua manutenção (BALASTREIRE, 1987). Na falta de estatísticas detalhadas para a estimativa da vida econômica das máquinas agrícolas, os dados obtidos por Balastreire em 1978 e 1984, foram estimativas feitas pelos fabricantes e usuários das colhedoras de cana-de-açúcar, sendo:

- 1) Os fabricantes estimaram o prazo de vida econômica da colhedora de cana-de-açúcar entre 7 a 10 anos;
- 2) Os usuários, estimaram o prazo de vida econômica da colhedora de cana-de-açúcar em 7 anos.

Não há exatamente um ciclo de vida útil para máquinas agrícolas. Isso depende do uso e nível de serviço (MIKKOLA e AHOKAS, 2010).

Para o presente estudo, o ciclo de vida útil para a colhedora autopropelida de cana-de-açúcar, foi baseado nos dados de pós-venda da montadora de colhedoras de cana-de-açúcar. O ciclo de vida útil para a colhedora autopropelida de cana-de-açúcar corresponde a uma média de 3.100 horas trabalhadas por ano, que ao ser multiplicado por um período médio de 7 anos de trabalho, resultou no ciclo médio de vida útil da colhedora autopropelida de cana-de-açúcar de 21.700 horas trabalhadas.

Banchi et al. (2008) estudaram a renovação de frota das colhedoras de cana-de-açúcar em função do período do uso anual e diferentes processos de depreciação, chegando como resultado padrão, que uma colhedora com 3.000 horas de uso anual obtém seu ponto ótimo de renovação em média de 4,0 anos ou 12.115 horas trabalhadas. Os autores concluem que os períodos do uso anual das colhedoras de cana-de-açúcar variam conforme as exigências de trabalho das usinas de cana-de-açúcar, em que a média varia de 2.000 a 4.000 horas de uso por ano.

2.2.2 Índice de energia incorporada

Para cada insumo representado por sua unidade de medida (m^3 , kWh, kg, L, h, m^2), foi obtido o seu respectivo índice de energia incorporada em referências que estão no Anexo A. Os resultados foram apresentados em MJ unidade⁻¹.

Em particular para os insumos, óleo lubrificante e graxa, o seu índice de energia incorporada foi determinado pela conversão de valores, baseado no seu poder calorífico inferior. Foi considerado como poder calorífico inferior do óleo lubrificante (massa específica $0,88 \text{ kg L}^{-1}$ à temperatura de 20°C) o valor de $37,28 \text{ MJ L}^{-1}$ (MME, 2009), e foi considerado como poder calorífico inferior da graxa o valor de $43,38 \text{ MJ kg}^{-1}$ (MME, 2000; ROMERO et al., 2006; PRACUCHO et al., 2007; JASPER et al., 2010).

Cervinka (1980) determinou que $47,78 \text{ MJ L}^{-1}$ e $11,98 \text{ MJ kWh}^{-1}$ são os índices de energia incorporada necessárias para a produção do óleo diesel e eletricidade respectivamente.

2.3 Resultados e Discussão

Esse trabalho é um piloto para que, através do seu desenvolvimento, possa utilizar metodologia similar, permitindo que sejam feitas as avaliações para outras máquinas agrícolas. Vale ressaltar que os índices existentes foram geralmente obtidos na década de 1970, no exterior (BERRY e FELLS, 1972; DELEAGE et al, 1979).

Foi determinada a energia incorporada para as duas colhedoras autopropelidas de cana-de-açúcar, máquinas 1 e 2, abordando as duas fases, a de montagem e a de manutenção e reparo ao longo do seu ciclo de vida útil. Uma vez que, para se atingir esse objetivo os fluxos de materiais foram determinados, esses dados poderão ser aplicados por outras metodologias de avaliação ambiental (ACV, síntese de energia) que baseiam nos materiais para avaliaram processos e produtos.

Com os índices atualizados para a realidade da indústria brasileira, as avaliações energéticas da produção de cana-de-açúcar, e conseqüentemente, o etanol poderão ser recalculadas para a atualização dos dados referentes a essa fonte de energia.

Para os componentes da colhedora, que utilizam na sua composição da estrutura de produto mais de um tipo de material, por exemplo, mangueira hidráulica, que utiliza na sua composição da estrutura de produto os tipos materiais (aço, fio de aço, borracha, e polipropileno), foi estratificado cada tipo de material utilizado, de modo a conhecer a sua quantidade (kg) na construção do determinado componente.

O Anexo A apresenta os índices de energia incorporada dos insumos utilizados. Para os insumos que não foi encontrado o seu respectivo índice de energia incorporada, foi adotado o índice de energia incorporada de um insumo similar, de modo a abranger todos os insumos identificados no processo de fabricação da colhedora autopropelida de cana-de-açúcar.

A Tabela 4 apresenta o fluxo de material indiretamente utilizado na montagem para uma unidade de colhedora. Não há diferença nesse fluxo de material para a máquina 1 e 2, pois ambas as máquinas utilizam da mesma infraestrutura e tempo de ciclo de montagem para serem fabricadas.

A eletricidade e a mão-de-obra representaram 1.113,8 kWh e 127,0 h respectivamente por unidade de colhedora. A eletricidade é utilizada como fonte de energia para o compressor de ar e iluminação.

As horas de mão-de-obra são especificamente consumidas pelos operários durante o tempo de ciclo de montagem da colhedora.

Tabela 4 - Fluxo de material indiretamente utilizado na montagem

Entrada	Unidade	Quantidade
1. Eletricidade	kWh	1.113,8
2. Mão-de-obra	h	127,0
3. GLP	kg	30,1
4. Água	m ³	15,7
5. Óleo lubrificante	L	0,6

A Tabela 5 apresenta a infraestrutura e o fluxo de material indiretamente da depreciação utilizado na montagem para uma unidade de colhedora. Não há diferença nesse fluxo de material para a máquina 1 e 2, pois ambas as máquinas utilizam da mesma infraestrutura e tempo de ciclo de montagem para serem fabricadas.

A alvenaria representou 0,2 m² por unidade de colhedora. Esse valor reflete a quantidade de área consumida por unidade de colhedora.

Oportunamente foram estratificados os principais materiais utilizados na fabricação dos equipamentos de informática, tendo com fonte de dados a Microelectronics and Computer Technology Corporation (1996) e Itautec (2010). Com a estratificação desses materiais e conhecendo a sua quantidade, foi possível calcular através do parque de equipamentos de informática da montadora de colhedoras, a respectiva massa (kg) de cada material estratificado por unidade de colhedora produzida (item 5 da Tabela 5). A vida útil dos insumos Tabela 5, está referenciada na Tabela 3, e o tempo de uso (h) se refere ao tempo de participação desses insumos durante o ciclo de fabricação de uma colhedora.

Tabela 5 - Infraestrutura e fluxo de material depreciado na montagem

Entrada	Unidade	Quantidade (unidade)	Vida útil (h)	Tempo uso (h)	Fluxo de material (unidade colhedora ⁻¹)
1. Prédio (construção)					
Alvenaria	m ²	16.308,9	216.000	2,08	0,2
2. Máquinas e equipamentos					
Aço	kg	3.174,2	86.400	2,08	0,1
3. Ferramentas manuais					
Aço	kg	128,5	86.400	2,08	0,0
4. Instrumentos de medição					
Aço	kg	54,5	86.400	2,08	0,0
5. Equipamentos de informática					
Sílica	kg	289,8	43.200	2,08	0,0
Polipropileno	kg	284,4	43.200	2,08	0,0
Aço	kg	235,2	43.200	2,08	0,0
Alumínio	kg	176,3	43.200	2,08	0,0
Cobre	kg	87,6	43.200	2,08	0,0
Chumbo	kg	75,0	43.200	2,08	0,0
Zinco	kg	26,1	43.200	2,08	0,0

Valores 0,0 ≥ 0,01

Assim, o fluxo de material indiretamente utilizado (Tabela 4) e o fluxo de material depreciado (Tabela 5) são iguais para as máquinas 1 e 2, em função das máquinas utilizarem da mesma infraestrutura, e tempo de ciclo para serem fabricadas.

A Tabela 6 apresenta o fluxo de material diretamente utilizado na montagem das máquinas 1 e 2, exceto para o material rodante.

A principal diferença entre as máquinas 1 e 2, é o tipo de rodante empregado; máquina 1 com rodante de rodas e pneus; máquina 2 com rodante de esteiras metálicas. Assim, analisar o fluxo de material dos rodantes separadamente do fluxo de material diretamente utilizado (Tabela 6) se torna importante para futuros estudos.

O aço carbono foi o insumo que representou a maior quantidade, 9.886,2 kg para máquina 1 em relação à máquina 2 (8.199,3 kg) por unidade de colhedora.

O alumínio obteve uma quantidade considerada, 430,2 kg para a máquina 1 e 418,0 kg para a máquina 2. O principal uso do alumínio é para a fabricação dos radiadores de água e óleo (uma vez que o alumínio é adequado para aplicações em equipamento destinado a permutar calor). Para os demais insumos, os valores obtidos foram próximos comparando-se as duas máquinas.

Tabela 6 - Fluxo de material diretamente utilizado na montagem das máquinas (exceto rodantes)

Entrada	Unidade	Máquina 1	Máquina 2
1 Materiais Metálicos			
1.1 Metais Ferrosos			
Aço carbono	kg	9.886,2	8.199,3
Ferro fundido nodular	kg	2.255,9	2.153,2
Fio de aço	kg	155,9	170,6
Aço inox	kg	1,7	1,7
1.2 Metais Não Ferrosos			
Alumínio	kg	430,2	418,0
Cobre	kg	54,7	54,8
Chumbo	kg	33,7	33,7
Bronze	kg	6,2	6,2
Latão	kg	1,3	1,3
2 Materiais Não Metálicos			
Borracha	kg	300,6	304,9
Polietileno alta densidade	kg	177,8	177,8
Polipropileno	kg	59,9	61,9
Fibra vidro+alumínio	kg	16,5	16,5
ABS reciclado	kg	16,0	16,0
Vidro laminado	kg	12,3	12,3
Espuma poliuretano	kg	10,7	10,7
PVC	kg	8,4	8,4
Ácido sulfúrico	kg	5,6	5,6
Poliuretano	kg	4,9	4,9
Pó químico ABC	kg	4,0	4,0
Gás tetrafluoroetano	kg	3,7	3,7
Papel (impressão de notícia)	kg	3,6	3,6
Nitrogênio gasoso	kg	3,1	8,0
Filme celulose	kg	2,5	2,5
Fibra têxtil reciclado	kg	2,2	2,2
Nylon 6.6	kg	1,7	2,1
Fibra sintética algodão	kg	0,6	0,6
Fibra vidro inorgânica	kg	0,1	0,1
3 Lubrificantes/Fluídos			
Óleo hidráulico	L	600,0	600,0
Óleo diesel	L	71,3	71,3
Óleo motor	L	25,0	25,0
Óleo lubrificante	L	20,8	27,0
Graxa	kg	5,0	8,0
Anticorrosivo	L	1,0	1,0
4 Tintas/Solvente			
Tinta	L	20,0	21,0
Solvente	L	5,0	5,2

A Tabela 7 apresenta o fluxo de material diretamente utilizados nos rodantes das máquinas 1 e 2; máquina 1 com rodante de rodas e pneus; máquina 2 com rodante de esteiras metálicas

A participação do aço carbono 225,4 kg e borracha 512,0 kg para a máquina 1 são provenientes da fabricação dos aros e pneus respectivamente e quantidade de 1.689,9 kg de ferro fundido nodular é proveniente do material rodante das esteiras da máquina 2.

Tabela 7 - Fluxo de material dos rodantes diretamente utilizados nas máquinas

Entrada	Unidade	Máquina 1	Máquina 2
Borracha	kg	512,0	-
Aço carbono	kg	225,4	1.358,7
Ferro fundido nodular	kg	-	1.689,9
Aço forjado	kg	-	1.562,9

A Tabela 8 apresenta o fluxo de material utilizado na manutenção e reparo durante o ciclo de vida útil das máquinas 1 e 2, exceto para o material rodante.

O aço carbono foi o insumo que representou a maior quantidade de consumo durante o ciclo de vida útil da colhedora. Isso é observado em função do aço carbono ser a matéria-prima principal para a fabricação das peças que compõem a colhedora autopropelida de cana-de-açúcar.

A participação do óleo diesel 3.536,3 L por unidade de colhedora, é proveniente do consumo do “caminhão bombeiro” empregado no processo de lavagem programada da colhedora, com frequência diária.

A participação do filme de celulose 73,2 kg por unidade de colhedora, é proveniente do consumo do elemento filtrante empregado nos filtros de sucção, de combustível, de óleo, e de separação de água do combustível.

Tabela 8 - Fluxo de material utilizado na manutenção e reparo durante o ciclo de vida útil das máquinas (exceto rodantes)

Entrada	Unidade	Máquina 1	Máquina 2
1 Mão-de-obra			
Mão-de-obra	h	4.710,4	4.794,6
2 Materiais Metálicos			
2.1 Metais Ferrosos			
Aço carbono	kg	25.001,0	24.974,4
Ferro fundido nodular	kg	915,5	915,5
Fio de aço	kg	68,5	12,9
3 Materiais Não Metálicos			
Borracha	kg	684,4	587,9
Polietileno alta densidade	kg	789,0	789,0
Polipropileno	kg	35,8	11,6
Filme celulose	kg	73,2	73,2
Fibra vidro inorgânica	kg	10,1	10,1
4 Lubrificantes/Fluídos			
Óleo hidráulico	L	3.255,0	3.255,0
Óleo lubrificante	L	2.564,3	2.564,3
Óleo motor	L	2.318,4	2.318,4
Óleo diesel	L	3.536,3	3.536,3
Graxa	kg	1.914,6	1.554,7

A Tabela 9 apresenta o fluxo de material dos rodantes utilizados na manutenção e reparo durante o ciclo de vida útil das máquinas 1 e 2; máquina 1 com material rodante de rodas e pneus; máquina 2 com material rodante de esteiras metálicas

Os insumos que representaram a maior quantidade de consumo durante o ciclo de vida útil das máquinas foram: a borracha (máquina 1) e o ferro fundido nodular (máquina 2) com 1.851,7 kg e 6.342,1 kg respectivamente.

O valor de horas de mão-de-obra, é maior para a máquina 2 em relação a máquina 1. Isso se dá em função do rodante de esteiras metálicas da máquina 2, ser mais complexo para efetuar a sua substituição do que o rodante de rodas e pneus da máquina 1.

Tabela 9 - Fluxo de material dos rodantes utilizados na manutenção e reparo durante o ciclo de vida útil das máquinas

Entrada	Unidade	Máquina 1	Máquina 2
Mão-de-obra	h	18,1	211,6
Borracha	kg	1.851,7	-
Ferro fundido nodular	kg	-	6.342,1
Aço forjado	kg	-	3.959,1
Aço carbono	kg	-	541,1

A Tabela 10 apresenta a energia incorporada nos insumos indiretamente utilizados na montagem das máquinas 1 e 2. A eletricidade foi o insumo que representou a maior quantidade de energia incorporada 16.706,7 MJ (88,8%) e a menor quantidade é atribuída ao óleo lubrificante, utilizado pelo compressor de ar 22,7 MJ (0,1%).

O consumo de 15,7 m³ de água por colhedora resultou em um valor de energia incorporada baixo 37,1 MJ (0,2%), comparado, por exemplo, com 1.773,0 MJ (9,4%) de GLP. O GLP é o combustível utilizado pelas empilhadeiras para o transporte e movimentação de materiais no processo de montagem da colhedora.

As fontes para os índices de energia incorporada estão referenciadas no Anexo A.

Tabela 10 - Energia incorporada nos insumos indiretamente utilizados na montagem

Entrada	Unidade	Índice energia incorporada MJ unidade⁻¹	Máquina 1 e 2		
			Quantidade	Energia incorporada nos insumos MJ	% Subtotal
Eletricidade	kWh	15,00	1.113,8	16.706,7	88,8
GLP	kg	58,89	30,1	1.773,0	9,4
Mão-de-obra	h	2,20	127,0	279,5	1,5
Água	m ³	2,37	15,7	37,1	0,2
Óleo lubrificante	L	37,28	0,6	22,7	0,1
Subtotal	MJ			18.819,0	100,0

A Tabela 11 apresenta a energia incorporada nos insumos indiretamente da depreciação da infraestrutura utilizados na montagem das máquinas 1 e 2. A alvenaria foi o insumo que representou a maior quantidade de energia incorporada 550,3 MJ (98,4%) seguido pelo aço, que está incorporado nas máquinas e equipamentos utilizados no processo de fabricação da colhedora 3,9 MJ (0,7%).

Tabela 11 - Energia incorporada nos insumos depreciados na montagem

Entrada	Unidade	Índice energia incorporada MJ unidade ⁻¹	Máquina 1 e 2		
			Quantidade	Energia incorporada nos insumos MJ	% Subtotal
Alvenaria	m ²	3500	0,2	550,3	98,4
Aço ¹	kg	51,52	0,1	3,9	0,7
Alumínio ²	kg	231,00	0,0	2,0	0,4
Polipropileno ²	kg	110,16	0,0	1,5	0,3
Cobre ²	kg	140,00	0,0	0,6	0,1
Aço ²	kg	51,52	0,0	0,6	0,1
Aço ³	kg	51,52	0,0	0,2	0,0
Aço ⁴	kg	51,52	0,0	0,1	0,0
Zinco ²	kg	56,63	0,0	0,1	0,0
Chumbo ²	kg	17,31	0,0	0,1	0,0
Sílica ²	kg	0,79	0,0	0,0	0,0
Subtotal	MJ			559,3	100,0

¹ Máquinas e equipamentos;

² Equipamentos de informática;

³ Ferramentas manuais;

⁴ Instrumentos de medição;

Valores 0,0 ≥ 0,01

Assim, a energia incorporada nos insumos indiretamente (Tabela 10) e nos insumos depreciados (Tabela 11) são iguais para as máquinas 1 e 2, em função das máquinas utilizarem da mesma infraestrutura, e tempo de ciclo para serem fabricadas.

A Tabela 12 apresenta a energia incorporada nos insumos diretamente utilizados na montagem das máquinas 1 e 2. Para a máquina 1 o aço carbono foi o insumo que representou a maior quantidade de energia incorporada 520.949,6 MJ (63,2%), seguido

pelo alumínio 99.382,2 MJ (12,0%). Para a máquina 2 o aço carbono foi o insumo que representou a maior quantidade de energia incorporada 492.427,1 MJ (53,2%), seguido pelo ferro fundido nodular 125.514,3 MJ (13,6%) e aço forjado 123.231,5 MJ (13,3%). O ferro fundido nodular e o aço forjado são provenientes das esteiras metálicas.

O consumo de 177,8 kg de polietileno alta densidade por unidade de colhedora máquina 1 resultou em um valor de energia incorporada alto 9.323,1 MJ, comparado, por exemplo, com 155,9 kg (2.977,8 MJ) de fio de aço. O fio de aço é utilizado no corpo das mangueiras hidráulicas, para garantir resistência contra a ruptura.

O consumo de 33,7 kg de chumbo resultou em um valor de energia incorporada baixo 584,0 MJ, comparado, por exemplo, com 10,7 kg (1.178,7 MJ) de espuma de poliuretano. O chumbo é utilizado na bateria, e a espuma de poliuretano é utilizada na cabine da colhedora.

O consumo de 12,3 kg de vidro laminado resultou em 370,4 MJ. O vidro laminado é usado na cabine da colhedora.

O consumo de 5,0 kg de graxa resultou em 216,9 MJ para a máquina 1 e o consumo de 8,0 kg de graxa resultou em 347,0 MJ para a máquina 2. A graxa é usada para lubrificar os pontos de atrito sólido, para reduzir o desgaste entre as superfícies, proporcionando maior ciclo de vida útil da peça ou objeto.

Por outro lado, quando se emprega materiais reciclados a quantidade de energia incorporada no produto é reduzida, de modo, a economizar energia nas fases de extração e transformação da matéria-prima, não afetando a qualidade e características do produto. Por exemplo, o consumo de 16,0 kg de ABS reciclado resultou em 19,8 MJ.

Comparado o consumo de 16,0 kg (19,8 MJ) de ABS reciclado, com o consumo de 10,7 kg (1.178,7 MJ) de espuma de poliuretano, se torna evidente a importância do uso de materiais reciclados, de forma a reduzir o consumo de energia incorporada no produto e dar mais atenção para o maior e mais discutido problema global que é a queima de combustíveis fósseis, proporcionando o aquecimento da atmosfera da Terra.

Tabela 12 - Energia incorporada nos insumos diretamente utilizados na montagem

Entrada	Unidade	Índice energia incorporada MJ unidade ⁻¹	Máquina 1			Máquina 2		
			Quantidade	Energia incorporada nos insumos MJ	% Subtotal	Quantidade	Energia incorporada nos insumos MJ	% Subtotal
Aço carbono	kg	51,52	10.111,6	520.949,6	63,2	9.558,0	492.427,1	53,2
Ferro fundido nodular	kg	32,66	2.255,9	73.677,7	8,9	3.843,1	125.514,3	13,6
Aço forjado	kg	78,85	-	-	0,0	1.562,9	123.231,5	13,3
Alumínio	kg	231,00	430,2	99.382,2	12,0	418,0	96.561,0	10,4
Borracha	kg	88,00	812,6	71.508,8	8,7	304,9	26.833,5	2,9
Óleo hidráulico	L	37,28	600,0	22.368,0	2,7	600,0	22.368,0	2,4
Polietileno alta densidade	kg	52,45	177,8	9.323,0	1,1	177,8	9.323,0	1,0
Cobre	kg	140,00	54,7	7.659,7	0,9	54,8	7.678,6	0,8
Polipropileno	kg	110,16	59,9	6.598,5	0,8	61,9	6.816,4	0,7
Óleo diesel	L	47,78	71,3	3.405,8	0,4	71,3	3.405,8	0,4
Fio de aço	kg	19,10	155,9	2.977,8	0,4	170,6	3.257,5	0,4
Bronze	kg	140,00	6,2	873,0	0,1	6,2	873,0	0,1
Chumbo	kg	17,31	33,7	584,0	0,1	33,7	584,0	0,1
Espuma poliuretano	kg	110,16	10,7	1.178,7	0,1	10,7	1.178,7	0,1
Poliuretano	kg	110,16	4,9	544,2	0,1	4,9	544,2	0,1
Filme celulose	kg	192,53	2,5	477,5	0,1	2,5	477,5	0,1
Óleo motor	L	37,28	25,0	932,0	0,1	25,0	932,0	0,1
Óleo lubrificante	L	37,28	20,8	773,6	0,1	27,0	1.006,6	0,1
Aço inox	kg	81,77	1,7	139,0	0,0	1,7	139,0	0,0
Latão	kg	140,00	1,3	181,7	0,0	1,3	181,9	0,0
Vidro laminado	kg	30,22	12,3	370,4	0,0	12,3	370,4	0,0
Gás tetrafluoroetano	kg	58,89	3,7	217,9	0,0	3,7	217,9	0,0
Papel (impressão notícia)	kg	34,38	3,6	125,1	0,0	3,6	125,1	0,0
Fibra vidro+alumínio	kg	0,79	16,5	13,0	0,0	16,5	13,0	0,0
Fibra têxtil reciclado	kg	45,29	2,2	99,6	0,0	2,2	99,6	0,0
PVC	kg	10,64	8,4	88,9	0,0	8,4	89,7	0,0
Nylon 6.6	kg	31,80	1,7	53,9	0,0	2,1	66,6	0,0
Fibra sintética algodão	kg	45,29	0,6	24,9	0,0	0,6	24,9	0,0
ABS reciclado	kg	1,24	16,0	19,8	0,0	16,0	19,8	0,0
Ácido sulfúrico	kg	2,48	5,6	13,9	0,0	5,6	13,9	0,0
Pó químico ABC	kg	2,48	4,0	9,9	0,0	4,0	9,9	0,0
Nitrogênio gasoso	kg	1,67	3,1	5,1	0,0	8,0	13,4	0,0
Fibra vidro inorgânica	kg	0,79	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0
Graxa	kg	43,38	5,0	216,9	0,0	8,0	347,0	0,0
Anticorrosivo	L	2,29	1,0	2,3	0,0	1,0	2,3	0,0
Tinta	kg	2,48	20,0	49,6	0,0	21,0	52,1	0,0
Solvente	kg	2,48	5,0	12,4	0,0	5,2	12,9	0,0
Subtotal	MJ			824.858,7	100,0		924.812,2	100,0

Valores 0,0 ≥ 0,01

A Tabela 13 apresenta a energia incorporada nos insumos utilizados na manutenção e reparo durante o ciclo de vida útil das máquinas 1 e 2. Para a máquina 1 o aço carbono foi o insumo que representou a maior quantidade 1.288.050,6 MJ (59,4%), seguido pela borracha 223.178,2 MJ (10,3%). Para a máquina 2 o aço carbono foi o insumo que representou a maior quantidade 1.314.560,8 MJ (52,1%), seguido pelo aço forjado 312.173,3 MJ (12,4%) e ferro fundido nodular 237.035,3 MJ (9,4%).

O consumo de 3.536,3 L de óleo diesel resultou em 168.964,3 MJ. O óleo diesel é consumido pelo “caminhão bombeiro” empregado no processo de lavagem programada da colhedora, com frequência diária. Vale à pena estudar, em novos projetos de pesquisa, o processo de lavagem da colhedora, para que se encontrem alternativas para a limpeza da colhedora, como por exemplo, limpeza através de jato de ar comprimido, fornecido por um compressor de ar instalado na colhedora, eliminado assim, o consumo de água e óleo diesel no processo de lavagem da colhedora.

Dos 2.536,1 kg de borracha consumida pela máquina 1, (1.851,73 kg) é exclusivamente consumido pelos pneus da colhedora, sendo o restante consumido pelas mangueiras hidráulicas; flap do elevador; arremessador do rolo picador e anéis de vedação.

O consumo de 3.959,1 kg de aço forjado pela máquina 2, é exclusivamente consumido pelas esteiras metálicas, e dos 7.257,7 kg de ferro fundido nodular, (6.342,1 kg) é exclusivamente consumido pelas esteiras metálicas, sendo o restante consumido pelos alojamentos dos rolos.

A mão-de-obra resultou 10.402,7 MJ (0,5%) e 11.013,6 MJ (0,4%) para a máquina 1 e 2, respectivamente.

Tabela 13 - Energia incorporada nos insumos utilizados na manutenção e reparo durante o ciclo de vida útil das máquinas

Entrada	Unidade	Índice energia incorporada MJ unidade ⁻¹	Máquina 1			Máquina 2		
			Quantidade	Energia incorporada nos insumos MJ	% Subtotal	Quantidade	Energia incorporada nos insumos MJ	% Subtotal
Aço carbono	kg	51,52	25.001,0	1.288.050,6	59,4	25.515,5	1.314.560,8	52,1
Aço forjado	kg	78,85	-	-	0,0	3.959,1	312.173,3	12,4
Ferro fundido nodular	kg	32,66	915,5	29.901,0	1,4	7.257,7	237.035,3	9,4
Óleo diesel	L	47,78	3.536,3	168.964,3	7,8	3.536,3	168.964,3	6,7
Óleo hidráulico	L	37,28	3.255,0	121.346,4	5,6	3.255,0	121.346,4	4,8
Óleo lubrificante	L	37,28	2.564,3	95.596,4	4,4	2.564,3	95.596,4	3,8
Óleo motor	L	37,28	2.318,4	86.430,0	4,0	2.318,4	86.430,0	3,4
Graxa	kg	43,38	1.914,6	83.056,9	3,8	1.554,7	64.444,2	2,7
Borracha	kg	88,00	2.536,1	223.178,2	10,3	587,9	51.737,5	2,1
Polietileno alta densidade	kg	52,45	789,0	41.381,8	1,9	789,0	41.381,8	1,6
Filme celulose	kg	192,53	73,2	14.086,3	0,6	73,2	14.086,3	0,6
Mão-de-obra	h	2,20	4.728,5	10.402,7	0,5	5.006,2	11.013,6	0,4
Polipropileno	kg	110,16	35,8	3.946,8	0,2	11,6	1.281,4	0,1
Fio de aço	kg	19,10	68,5	1.307,7	0,1	12,9	245,6	0,0
Fibra de vidro inorgânica	kg	0,79	10,1	7,9	0,0	10,1	7,9	0,0
Subtotal	MJ			2.167.656,8	100,0		2.523.304,7	100,0

Valores 0,0 ≥ 0,01

A Tabela 14 apresenta a energia incorporada para as máquinas 1 e 2 ao longo do ciclo de vida útil.

A maior quantidade de energia incorporada obtida foi para os insumos da manutenção e reparo 2.167.656,8 MJ (72,0%) para a máquina 1 e 2.523.304,7 MJ (72,8%) para a máquina 2.

A energia incorporada nos insumos diretamente e na manutenção e reparo é maior para a máquina 2 (924.812,2 MJ e 2.523.304,7 MJ, respectivamente) do que para a máquina 1 (824.858,7 MJ e 2.167.656,8 MJ, respectivamente). Isso é justificado devido o tipo do rodante usado pela máquina 2 (esteiras metálicas, massa aproximada 4.611 kg) em relação ao rodante da máquina 1 (rodas e pneus, massa aproximada 737 kg).

Em relação ao total de energia incorporada 3.011.893,8 MJ para a máquina 1 e 3.467.495,2 MJ para a máquina 2, os insumos indiretamente (insumos comuns e

insumos depreciados) no processo produtivo obtiveram porcentagem menor que 1% do total de energia incorporada para ambas as máquinas.

Tabela 14 - Energia incorporada nas máquinas 1 e 2 ao longo do ciclo de vida útil

Entrada	Máquina 1		Máquina 2	
	Quantidade	%	Quantidade	%
	MJ	Total	MJ	Total
1. Insumos manutenção e reparo	2.167.656,8	72,0	2.523.304,7	72,8
2. Insumos diretamente	824.858,7	27,4	924.812,2	26,7
3. Insumos indiretamente (insumos comuns)	18.819,0	0,6	18.819,0	0,5
4. Insumos indiretamente (insumos depreciados)	559,3	0,0	559,3	0,0
Total	3.011.893,8	100,0	3.467.495,2	100,0

Valores 0,0 \geq 0,01

A Tabela 15 apresenta os indicadores de energia incorporada das máquinas 1 e 2. O indicador energia incorporada pelo ciclo de vida útil pode ser usado para recalculer o balanço energético do etanol de cana-de-açúcar. O indicador energia incorporada pela massa pode ser usado para comparações com índices de outras máquinas. O indicador energia incorporada pela potência do motor tem como finalidade, comparar a energia incorporada baseado na potência requerida do motor do maquinário agrícola. Os indicadores energia incorporada pelo ciclo de vida útil e pela potência do motor para a máquina 2, com massa aproximada de 16.972 kg (rodante de esteiras metálicas), é 15,13% maior, em relação à máquina 1 com massa aproximada de 14.863 kg (rodante de rodas e pneus). Assim os indicadores energia incorporada pelo ciclo de vida útil, pela massa e pela potência do motor, para a máquina 2 são maiores em relação a máquina 1, +15,13%; +0,84%; +15,13%, respectivamente.

Tabela 15 - Indicadores de energia incorporada das máquinas

Indicador	Unidade	Máquina 1	Máquina 2
IEIH ¹	MJ h ⁻¹	138,8	159,8
IEIM ²	MJ kg ⁻¹	202,6	204,3
IEIP ³	MJ kW ⁻¹	11.584,2	13.336,5

¹ Indicador energia incorporada pelo ciclo de vida útil;

² Indicador energia incorporada pela massa;

³ Indicador energia incorporada pela potência do motor

A energia humana requerida para desempenhar alguma atividade é baixa comparada com as outras categorias de energia, como relatado por Bridges e Smith (1979). Nesse trabalho a energia humana requerida na montagem foi de 279,5 MJ (Tabela 10) e na manutenção e reparo foi de 10.402,7 MJ e 11.013,6 MJ para a máquina 1 e 2 respectivamente (Tabela 13).

A tendência dos sistemas de produção se tornar mais eficientes pode não ser verdadeiramente em termos energéticos, em função de materiais apresentarem mais energia incorporada que o aço (MIKKOLA e AHOKAS, 2010). Isso ficou evidente nesse trabalho, por exemplo, nos insumos diretamente da montagem (Tabela 12), para a máquina 1, o consumo de 430,2 kg de alumínio resultou em 99.382, 2 MJ, enquanto que o consumo de 2.255,9 kg de ferro fundido nodular resultou em 73.677,7 MJ. Assim, o consumo de ferro fundido nodular foi aproximadamente cinco vezes maior do que o consumo de alumínio, e esse obteve uma menor quantidade de energia incorporada.

Uma vez que máquinas agrícolas, não apresentam diferenças discrepantes entre os seus grupos de materiais, por exemplo, o chassi de uma colhedora de cereais utiliza aço carbono em sua construção e seu material rodante de rodas e pneus utiliza a borracha. Dessa forma esses principais materiais (aço carbono; alumínio; borracha; ferro fundido e aço forjado), identificados como maiores consumidores de energia incorporada para a colhedora autopropelida de cana-de-açúcar podem servir como base e ponto de partida para futuros estudos de energia incorporada com outras máquinas agrícolas.

A energia incorporada nos insumos indiretamente (insumos comuns e insumos depreciados) no processo produtivo foi baixa, comparada com as outras fontes de

energia. Porém, se esses insumos forem analisados separadamente, poderão mostrar com detalhe a operação da fábrica e dar ao gerente industrial, subsídios para melhoria do desempenho da fábrica e redução no consumo energia, como relatado por Boustead e Hancock (1979).

O aço carbono foi o insumo que obteve a maior representatividade de consumo nesse estudo, isso é em função da maioria das peças que compõem a colhedora autopropelida de cana-de-açúcar usa como matéria-prima o aço carbono.

Segundo a Embrapa Agroenergia (2011) as emissões de gases de efeito estufa são geralmente relacionadas ao desmatamento e à queima de combustíveis fósseis nos motores veiculares, nos fornos industriais e nas termelétricas para a geração de energia elétrica. Além dessas importantes emissões a produção de aço, a matéria-prima para a construção dos motores e das máquinas, é realizada essencialmente a partir de coque de carvão mineral, que também é um combustível fóssil. O carvão mineral é o combustível mais poluente que a humanidade usa em termos de emissões de gases de efeito estufa, superando o petróleo e o gás natural (combustíveis fósseis). Na indústria siderúrgica o carvão mineral é usado na forma de coque, a fonte de carbono para reagir com o minério de ferro (reductor) e produzir a liga metálica que denominamos de aço. A siderúrgica é uma indústria de base imprescindível no desenvolvimento da sociedade. Alternativamente ao coque de carvão mineral na produção de aço, pode ser usado o carvão vegetal. O carvão vegetal pode ser considerado um coque renovável.

Ainda nos dias atuais não há estimativas detalhadas para o ciclo de vida útil das máquinas agrícolas, para as condições de trabalhos que elas estão submetidas nas lavouras brasileiras, especificamente para a colhedora autopropelida de cana-de-açúcar. Na prática os usuários estão renovando a sua colhedora quando ela atinge 7 anos de trabalho, como relatado por Balastreire (1987).

Talvez após 7 anos de trabalho, o custo de manutenção e reparo da colhedora, esteja aumentando de forma a não se tornar mais viável o prolongamento do seu ciclo de vida útil, determinando assim o final de sua vida econômica, contribuindo para a sua renovação e conseqüentemente o seu descarte para reciclagem e disposição final.

Algumas práticas vêm sendo realizadas quando a colhedora atinge o final do seu ciclo de vida útil, por exemplo, desmontagem da colhedora para analisar as peças que

possam ser reutilizadas e ou recondicioná-las para emprego em outras colhedoras; destinação das peças para reciclagem.

Dessa forma programas ambientais como 4Rs (reduzir, reutilizar, reciclar e repensar), podem contribuir para melhorar o gerenciamento dos recursos naturais, por exemplo: consumir menos quantidade energia; gerar menos tratamento de resíduos; contribuir com menor aquecimento global entre outros benefícios.

Os profissionais que atuam no projeto e desenvolvimento de produtos precisam ter maior conscientização sobre a sua importância. Em um primeiro momento, quando conceber um produto, garantir que esse atenda as exigências do presente, sem comprometer as futuras gerações (MANZINI e VEZZOLI , 2002).

O uso de materiais que resultem em maior sustentabilidade do produto, gerando menor quantidade de emissões e conseqüentemente redução do impacto ambiental, deverá ser avaliado quando criando um produto. A análise dos fluxos de materiais é uma ferramenta para esse propósito e é um primeiro passo importante a ser dado em direção aos programas de sustentabilidade e conseqüentemente a redução dos problemas globais. Isso deve ser feito na fase de concepção e análise de viabilidade do produto para definir se irá produzi-lo ou não. Dessa forma se os sistemas liberarem menos quantidade de energia proporcionarão uma redução do aquecimento da atmosfera da Terra.

É preciso pensar no produto não apenas na fase de concepção e análise de viabilidade, mas sim, pensar o que será feito com ele quando atingir o seu ciclo de vida útil; e qual será a sua disposição final.

Assim, é preciso perceber e entender de alguma forma, qual é o impacto ambiental causado durante o ciclo de vida útil do produto; desta forma haverá uma maior consciência sobre o impacto ambiental; conseqüentemente atribuirá um valor maior ao impacto ambiental gerado pelo produto do que o próprio valor do produto, na hora da compra (MANZINI e VEZZOLI , 2002).

Há uma recomendação para os gerentes industriais, de acordo com Boustead e Hancock (1979) para que eles aperfeiçoem o uso de operários e máquinas de forma que o desempenho seja primeiramente monitorado para verificar os aspectos de operação, assim garantirá a eficiência de energia nas operações.

Cada colhedora emprega um conjunto de 10 facas (5 facas para cada corte de base). Essas facas têm a frequência de substituição de 32 horas, isso representa o consumo de 5.663 kg de aço carbono ao longo do ciclo de vida útil da colhedora.

A título de conhecer o desgaste por abrasão, nas facas, durante a operação de colheita, foi medida a massa residual final em um conjunto de facas no momento de sua substituição (32 horas de trabalho). Com o auxílio de uma balança digital de precisão com desvio padrão de 1,0 g, foi encontrado a massa residual final igual a 7,552 kg; subtraindo o valor dessa massa residual final da massa residual inicial de 8,351 kg (conjunto facas novas), resulta que 0,799 kg de aço carbono foi consumido pelo desgaste por abrasão durante 32 horas de operação da colhedora no processo de colheita da cana-de-açúcar.

Extrapolando o valor 0,799 kg e projetando-o durante o ciclo de vida útil da colhedora, encontramos que 542 kg de aço carbono será consumido por abrasão, durante a operação da colhedora no processo de colheita da cana-de-açúcar. Esse aço carbono consumido pelo desgaste por abrasão, possivelmente está sendo depositado no solo ou até mesmo sendo levado para a usina juntamente com a cana-de-açúcar colhida.

Assim, sugerimos à montadora de colhedoras, que utilize uma liga de aço que proporcione menor desgaste por abrasão e conseqüentemente garanta maior ciclo de vida útil das facas do corte de base, proporcionando maior capacidade de operação da colhedora.

Vários objetos no interior da cabine da colhedora autopropelida de cana-de-açúcar utilizaram matéria-prima reciclável para a sua fabricação, assim, se torna cada vez mais importante a utilização de fontes renováveis, por exemplo, o uso de fibras vegetais (algodão, coco, e sisal) em substituição ao uso dos polímeros e fibra de vidro, para fabricação de produtos e objetos, contribuindo para a redução do aquecimento global e geração de renda para a agricultura.

A máquina 1 consumiu menor quantidade de energia incorporada que a máquina 2, porém essa última propicia menores danos ao canavial, fato esse que pode compensar sua maior demanda energética ao longo de seu ciclo de vida. A máquina com os piores índices de energia incorporada, tem melhor estabilidade durante a

operação de colheita da cana-de-açúcar, contribuindo com a menor compactação do solo, além de permitir maior longevidade do canavial e aumento da produtividade, podendo compensar o pior índice com a melhor operacionalidade.

A montadora de colhedoras tem uma maior demanda de produção para a máquina 2 em relação a máquina 1, pois a máquina 2, com rodante de esteiras metálicas, propicia maior estabilidade na colheita da cana-de-açúcar em terrenos com declive até 12%.

A metodologia adotada mostrou-se mais complexa que as disponíveis em referência, para a determinação da energia incorporada através do ciclo de vida útil da colhedora autopropelida de cana-de-açúcar.

3 CONCLUSÕES

O presente trabalho determinou que a energia incorporada na colhedora autopropelida de cana-de-açúcar máquina 2, com rodante de esteiras metálicas foi maior em relação máquina 1, com rodante de rodas e pneus, durante o seu ciclo de vida útil, abordando as duas fases, a de montagem e a de manutenção e reparo. O que determinou a maior energia incorporada para a máquina 2 foram as esteiras metálicas.

Em termos de consumo de energia incorporada a máquina 1 é melhor em relação a máquina 2.

Os fluxos de materiais foram detalhados através do desenvolvimento do trabalho, visando colaborar com a aplicação de outras metodologias de avaliação ambiental (ACV, síntese de energia).

Não foi encontrado nenhum ponto crítico do processo de montagem da colhedora autopropelida de cana-de-açúcar. Os insumos com maiores demandas de energia incorporada na montagem dentro de suas classes foram: nos insumos comuns, a eletricidade; nos insumos depreciados, a alvenaria; nos insumos diretamente utilizados, o aço carbono para as máquinas 1 e 2; na manutenção e reparo, o aço carbono para as máquinas 1 e 2.

O ponto crítico no processo de manutenção da colhedora autopropelida de cana-de-açúcar foi a substituição das facas de corte de base, baseado na sua baixa durabilidade e alta frequência de substituição.

Comparando a complexidade da metodologia adotada com as disponíveis em referência, essa contribuiu com o maior valor para o índice de energia incorporada obtido nesse trabalho.

Sugestões para futuros estudos

Para futuros estudos sobre energia incorporada em outras máquinas agrícolas, a metodologia a ser seguida deverá conter as seguintes análises:

1) Analisar os insumos diretamente, que são propriamente as peças que compõem a máquina. No entanto priorizar peças construídas primeiramente pelos

materiais: aço carbono; ferro fundido; aço forjado, seguido pelos materiais: fibra de vidro; polímeros; borracha e alumínio por apresentam mais energia incorporada que o aço;

2) Analisar os insumos da manutenção e reparo, que são propriamente as trocas de peças e as atividades propostas de manutenção e reparo. No entanto priorizar as peças construídas pelos materiais indicado no item acima.

Dessa forma poderá ser determinada a energia incorporada da máquina agrícola. Economizar tempo e energia para levantamento e análise de dados para os insumos indiretamente utilizados e os insumos depreciados no processo produtivo; por apresentaram valores baixos em relação ao total de energia incorporada, podendo ser descartados.

Além disso, deve-se estudar o efeito dos tipos de rodantes na colheita da cana-de-açúcar. A máquina com os piores índices de energia incorporada, tende a compactar menos o solo, além de ter maior estabilidade na operação de colheita da cana-de-açúcar, podendo compensar o pior índice com a melhor operacionalidade. Logo se ampliaria a escala de avaliação ao se abordar o ambiente no qual essas máquinas operam.

Considerações finais

A energia humana foi baixa, comparada com as outras categorias de energia;

A tendência dos sistemas de produção, se tornar mais eficientes pode não ser verdadeiramente em termos energéticos, em função de materiais como polímeros, fibra de vidro e alumínio, apresentarem mais energia incorporada que o aço;

Aço carbono, alumínio, borracha, ferro fundido, ferro forjado, foram os insumos que representaram maior quantidade de energia incorporada para a colhedora nos insumos diretamente utilizados. Uma vez que as máquinas agrícolas não apresentam diferenças discrepantes de materiais, por exemplo, o chassi de uma colhedora de cereais usa o aço carbono e seu material rodante de rodas e pneus, usa a borracha, esses insumos identificados para a colhedora autopropelida de cana-de-açúcar, podem servir como referência, para futuros estudos com outras máquinas agrícolas.

REFERÊNCIAS

ABUBAKAR, M.; UMAR, B. **Comparison of energy use patterns in Maiduguri and Yoke flour mills Nigeria**. The CIGR Journal of Scientific Research and Development, Agricultural Engineering International, 2006. 16 p.

AHOKAS, J.; MIKKOLA, H.J. **A method to include machine manufacturing energy in energy balance analysis**. Nordic Association of Agricultural Scientists, Vilnius, v.3, n.4, p. 78-82, 2007.

ARQUIVO INT/MCT apud MARCOLIN, N. **Era quase aguardente**. 2008. Disponível em: <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3468&bd=1&pg=1&lg>. Acesso em: 05 ago. 2011.

ASAE. **Agricultural engineers yearbook of Standards**. St. Joseph, 1983. p. 293-302.

ASSENHEIMER A.; CAMPOS A.T.; JÚNIOR A.C.G. Análise energética de sistemas de produção de soja convencional e orgânica. **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v.5, n.3, p. 443-455, 2009.

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 307 p.

BANCHI, A.D.; LOPES, J.R.; ZAGO, C.A. Estudo sobre renovação de frota em colhedoras de cana-de-açúcar. **Revista Agrimotor**, Edição 33, p. 8-9. Disponível em: <http://www.assiste.com.br>. Acesso em: 06 abril 2011.

BERRY, R.S.; FELS, M.F. **The production and consumption of automobiles**. An energy analysis of the manufacture, discard and reuse of the automobile and its

component materials. A report of the Illinois Institute for Environmental Quality. Department of Chemistry, University of Chicago, July 1972. 74 p.

BOUSTEAD, I.; HANCOCK, G.F. **Handbook of industrial energy analysis**. Ellis Horwood Publishers England, 1979. 422 p.

BRIDGES, T.C., SMITH E.M. A method for determining the total energy input for agricultural practices. **Transactions of the ASAE**, Michigan, v.22, p. 781-784, 1979.

CASTANHO FILHO, E.P.; CHABARIBERY, D. **Perfil energético da agricultura paulista**. São Paulo: Secretaria da Agricultura e Abastecimento – IEA, 1982. 55 p. (relatório de pesquisa 9/82).

CASTANHO FILHO, E.P.; CHABARIBERY, D. **Perfil econômico da agricultura paulista**. **Agricultura em São Paulo**. São Paulo, v.30, n.1/2, p. 63-115, 1983.

ÇENGEL, Y.A.; BOLES, M.A. **Termodinâmica**. Tradução da 3. ed. norte-americana. [tradução técnica Rodrigues, E.; Ferreira J.P.]. Portugal, McGraw-Hill de Portugal, 2001. 1009 p.

CERVINKA, V. Fuel and energy efficiency. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton, Florida: CRC, 1980. chap. 2, p. 15-21.

COLHEDORA de cana de açúcar A8000 e A8800 manual do operador. Piracicaba: **CNH Latin America Ltda**, 2009. 218 p.

DELEAGE, J.P.; JULIEN, J.M.; SAUGET-NAUDIN, N.; SOUCHON, C. **Eco-energetics analysis of an agricultural system**: The French case in 1970. **Agro-ecosystems**, v.5, p. 345-365, 1979.

DOERING, O.C. Accounting for energy in farm machinery and buildings. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton, Florida: CRC, 1980. chap. 1, p. 9-14.

DYER, J.A.; DESJARDINS, R.L. **Carbon dioxide emissions associated with the manufacturing of tractors and farm machinery in Canada**. Biosystems Engineering, v.93, n.1, p. 107-118, 2006.

EMBRAPA AGROENERGIA. **O carvão vegetal no Brasil e a produção de aço verde**. Disponível em: <http://www.cnpae.embrapa.br>. Acesso em: 11 abril 2011.

EPE. **Balço energético nacional**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/BENResultadosPreliminares2009.aspx>. Acesso em: 07 maio 2010.

FIKSEL, J. **Ingeniería de diseño medioambiental DFE**. Desarrollo integral de productos y procesos ecoeficientes. Madrid: McGraw-Hill. España, 1997, 512 p.

FLUCK, R.C.; BAIRD, C.D. **Agricultural energetics**. Westport: AVI Publishers, 1980. 192 p.

FLUCK, R.C. **Energy sequestered in repairs and maintenance of agricultural machinery**. Transactions of the ASAE, May-June, v.28, p. 738-744, 1985.

HINRICHS, R.A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. 3. ed. Tradução [tradução técnica VICHI, F.M.; MELLO L.F.]. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 543 p.

IGUE, K. Energia e agricultura. In: IAPAR. **Manual agropecuário para o Paraná**. Londrina: IAPAR, 1980. v.3, cap. 9, p. 217-228.

IEA. **Índice de mecanização na colheita da cana-de-açúcar no estado de são paulo e nas regiões produtoras paulista**. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br>. Acesso em: 07 maio 2010.

ITAUTEC. **O computador por dentro**. Disponível em: <http://www.itautech.com.br>. Acesso em: 04 jul. 2010.

JASPER, S.P.; BIAGGIONI, M.A.M.; SILVA, P.R.A., SEKI, A.S., BUENO, O.C., Análise energética da cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.3, p. 395-403, maio/jun. 2010.

JULIEN, J.M., **Analyse eco-energetique d' exploitations traditionnelles dans l' etat du Paraná - Brasil**. Paris: EDEN, December 1984. 50 p.

MACEDO, I.C., SEABRA, J.E.A., SILVA, J.E.A.R. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.32, p. 582–595, 2008.

MACEDÔNIO, A.C.; PICCHIONI, S.A. **Metodologia para cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária**. Curitiba, PR: Secretaria de Estado da Agricultura, Depto, de Economia Rural, 1985. 95 p.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002. 368 p.

MICROELECTRONICS AND COMPUTER TECHNOLOGY CORPORATION.

Electronics Industry Environmental Roadmap. Austin, TX: MCC, 1996.

MAPA. **Anuário estatístico da agroenergia**. Brasília, 2009. 160 p.

MAPA. **Anuário estatístico da agroenergia**. 2 ed. Brasília, 2011. 224 p.

MINISTÉRIO DA FAZENDA. **Instrução Normativa SRF n. 162 de 31 de dezembro de 1998**. Brasília. Disponível em:

<http://www.receita.fazenda.gov.br/Legislacao/ins/Ant2001/1998/in16298.htm>. Acesso em: 28 jul 2010.

MME. **Balanco energético nacional**. Brasília, 2000. 154 p.

MME. **Balanco energético nacional**. Brasília, 2009. 274 p.

MME. **Balanco energético nacional**. Brasília, 2010. 276 p.

MIKKOLA, H.J.; AHOKAS, J. **A method to include machine manufacturing energy in energy balance analysis**. Nordic Association of Agricultural Scientists, Vilnius, v.3, n.4, p. 78-82, 2007.

MIKKOLA, H.J.; AHOKAS, J. Indirect energy input of agricultural machinery in bioenergy production. **Renewable Energy**, Helsinki, v.35, p. 23-28, 2010.

MOLINA JUNIOR, W.F. **Enfardamento de resíduo de colheita de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): avaliação dos desempenhos operacionais e econômicos**. 1991. 101 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

NEVES, J.L.M. **Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para a sua redução**. 2003. 223 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

OLICANA. **Colheita mecanizada da cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://www.olicana.com.br>. Acesso em: 28 jul. 2010.

PRACUCHO, T.T.G.M.; ESPERANCINI, M.S.T., BUENO, O.C., Análise energética e econômica da produção de milho (*Zea mays*) em sistema de plantio direto em propriedades familiares no município de Pratânia-SP. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, v.22, n.2, p. 94-109, 2007.

ROMANELLI, T.L.; COHEN, M.J.; MILAN, M.; BROWN, M.T. Emergy Synthesis of Intensive Eucalyptus Cultivation in São Paulo, Brazil. **Forest Science**. v.54, p. 228-241, 2008.

ROMANELLI, T.L. Sustentabilidade energética da cana-de-açúcar In: RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2 ed. Piracicaba: Autores, v.1, p. 304-312, 2009a.

ROMANELLI, T.L. Physical and environmental approaches for energy sources In: **Agroenergy and Sustainability** D'ARCE, M.A.B.R.; VIEIRA, T.M.F.S., ROMANELLI, T. L (Org.). São Paulo: EDUSP, v.1, p. 17-33, 2009b.

ROMANELLI, T.L.; MILAN, M. Material flow determination trough agricultural machinery management. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.67, n.4, p. 375-383, 2010.

ROMERO, M.G.C., BUENO, O.C., ESPERANCINI, M.S.T., Análise energética e econômica da cultura de algodão em sistemas agrícolas familiares. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.21, n.4, p. 81-97, 2006.

SENAI. **Apostila materiais metálicos e não metálicos**. Departamento Regional Espírito Santo, 1996. 46 p.

SERRA, G.E.; HEEZEN, A.M.; MOREIRA, J.R.; GOLDEMBERG, J. **Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas**. Brasília: Secretaria de Tecnologia Industrial, 1979. 86 p.

SHAPOURI, H.; DUFFIELD, J.A.; WANG, M. "**The Energy Balance of Corn Ethanol: an Update**" (PDF). United States Department of Agriculture.

<http://www.transportation.anl.gov/pdfs/AF/265.pdf>. Retrieved July 2002. U.S.

Department of Agriculture, Office of the Chief Economist, Office of Energy Policy and New Uses (Agricultural Economic Report, 813).

SIQUEIRA, R.; GAMERO, C.A.; BOLLER, W. Balanço de energia na implantação e manejo de plantas de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n.1, p. 80-89, 1999.

SOUZA, E.G; MILANEZ, L.F. Conservação de energia no uso de tratores na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19, 1996, Piracicaba. **Anais...** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. p. 712-726.

STODOLSKY, F.; VYAS, A.; CUENCA, R.; GAINES, L. **Life cycle energy savings potential from aluminum-intensive vehicles**. 1995 Total Life Cycle Conference & Exposition. Available in: <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/106.pdf>. Access at: 24 July 2010.

SUMMERS, M. CLAUDE. **The conversion of energy**. In: Scientific American, Sep., 1971.

TAVARES, S.F. **Análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

ULBANERE, R.C.; FERREIRA, W.A. Análise do balanço energético para a produção de milho no Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v.4, n.1, p. 35-42, 1989.

UMAR, B. Comparison of manual and manual-cum-mechanical energy uses in groundnut production in a semi-arid environment, The CIGR Journal of Scientific Research and Development, Agricultural Engineering International, 2003. 11 p.

UNICA. **Protocolo agroambiental do setor sucroalcooleiro**. Disponível em: <http://www.unica.com.br>. Acesso em: 28 jul. 2010.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

CAMPOS, A.T.; SAGLIETTI, J.R. C.; CAMPOS, A.T., BUENO, O.C., Análise energética na produção de feno de (*Cynodon dactylon* L.) pers. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p. 349-358, maio/ago. 2005.

FRIGO, M.S.; BUENO, O.C., ESPERANCINI, M.S.T. Análise energética da cultura de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em sistema de sequeiro: estudo de caso. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.23, n.1, p. 90-98, 2008.

MACLEAN, H.L.; LAVE, L.B. A life-cycle model of an automobile. **Environmental Science and Technology**, Pittsburgh, v.3, n.7, p. 322A-330A, 1998.

SCHWEIMER, G.W.; LEVIN, M., **Life-cycle inventory for the golf A4**. VW

Environmental Report 2001/2002. Available in:

http://www.volkswagenag.com/vwag/vwcorp/info_center/en/publications/2007/01/Golf_A4_Life_Cycle_Inventory.-bin.acq/qual-BinaryStorageItem.Single.File/golfa4_english.pdf

Access at: 24 July 2010.

ANEXOS

ANEXO A - Índices de energia incorporada dos insumos

(continua)

Insumo	Unidade	Índice energia incorporada MJ unidade ⁻¹	Fonte
ABS reciclado	kg	1,24	U.S. Environmental Protection Agency (1974) apud Boustead and Hancock (1979)
Ácido sulfúrico	kg	2,48	Bravard et al. (1972) apud Boustead and Hancock (1979)
Aço carbono (laminado a quente)	kg	51,52	Berry and Fels (1973) apud Boustead and Hancock (1979)
Aço forjado	kg	78,85	Berry and Fels (1973) apud Boustead and Hancock (1979)
Aço inox	kg	81,77	Berry and Fels (1973) apud Boustead and Hancock (1979)
Água	m ³	2,37	Leach and Slesser (1974) apud Boustead and Hancock (1979)
Alumínio	kg	231,00	Stodolsky et al. (1995)
Anticorrosivo ¹	kg	2,29	Leach and Slesser (1974) apud Boustead and Hancock (1979)
Borracha	kg	88,00	Stodolsky et al. (1995)
Bronze ²	kg	140,00	Stodolsky et al. (1995)
Chumbo	kg	17,31	Porameswaren and Nadkarni (1975) apud Boustead and Hancock (1979)
Cobre	kg	140,00	Stodolsky et al. (1995)
Eletricidade	kWh	15,00	Boustead and Hancock (1979)
Espuma poliuretano ³	kg	110,16	Boustead and Hancock (1979)
Ferro fundido nodular	kg	32,66	Samples (1974) apud Boustead and Hancock (1979)
Fibra sintética algodão ⁴	kg	45,29	Boustead and Hancock (1979)

ANEXO A - Índices de energia incorporada dos insumos

(continuação)

Insumo	Unidade	Índice energia incorporada MJ unidade ⁻¹	Fonte
Fibra têxtil reciclado ⁴	kg	45,29	Boustead and Hancock (1979)
Fibra vidro+alumínio ⁵	kg	0,79	Bravard et al. (1972) apud Boustead and Hancock (1979)
Fibra vidro inorgânica ⁵	kg	0,79	Bravard et al. (1972) apud Boustead and Hancock (1979)
Filme celulose	kg	192,53	Imperial Chemical Industries (1974) apud Boustead and Hancock (1979)
Fio de aço	kg	19,10	Decker (1976) apud Boustead and Hancock (1979)
Gás tetrafluoroetano ⁶	kg	58,89	Boustead and Hancock (1979)
GLP	kg	58,89	Boustead and Hancock (1979)
Graxa	kg	43,38	MME (2000)
Latão ²	kg	140,00	Stodolsky et al. (1995)
Mão-de-obra	h	2,20	Serra et al. (1979)
Nitrogênio gasoso	kg	1,67	U.S. Dept. of Commerce (1975) apud Boustead and Hancock (1979)
Nylon 6.6	kg	31,80	Boustead and Hancock (1979)
Óleo diesel	L	47,78	Cervinka, 1980. In: Pimentel (1980)
Óleo hidráulico ⁷	L	37,28	MME (2009)
Óleo lubrificante	L	37,28	MME (2009)
Óleo motor ⁷	L	37,28	MME (2009)
Papel (impressão de notícia)	kg	34,38	Newton (1973) apud Boustead and Hancock (1979)
Polietileno alta densidade	kg	52,45	Ayres et al. (1974) apud Boustead and Hancock (1979)

ANEXO A - Índices de energia incorporada dos insumos

(conclusão)

Insumo	Unidade	Índice energia incorporada MJ unidade ⁻¹	Fonte
Polipropileno	kg	110,16	Boustead and Hancock (1979)
Poliuretano ³	kg	110,16	Boustead and Hancock (1979)
Pó químico ABC ⁸	kg	2,48	Bravard et al. (1972) apud Boustead and Hancock (1979)
Prédio (construção)	m ²	3500	Tavares (2006)
PVC	kg	10,64	Ayres et al. (1974) apud Boustead and Hancock (1979)
Sílica	kg	0,79	Bravard et al. (1972) apud Boustead and Hancock (1979)
Solvente ⁸	kg	2,48	Bravard et al. (1972) apud Boustead and Hancock (1979)
Tinta ⁸	kg	2,48	Bravard et al. (1972) apud Boustead and Hancock (1979)
Vidro laminado	kg	30,22	Samples (1974) apud Boustead and Hancock (1979)
Zinco	kg	56,63	Porameswaren and Nadkarni (1975) apud Boustead and Hancock (1979)

¹ Adotado índice sulfato de amônia; ² Adotado índice cobre; ³ Adotado índice polipropileno; ⁴ Adotado índice tecer algodão; ⁵ Adotado índice sílica; ⁶ Adotado índice GLP; ⁷ Adotado índice óleo lubrificante; ⁸ Adotado índice ácido sulfúrico.

ANEXO B - Estratificação dos materiais utilizados na fabricação dos componentes das máquinas

(continua)

Componente	Material	Máquina 1		Máquina 2	
		% participação	Total kg	% participação	Total kg
Acumulador	Nitrogênio gasoso	60,6	3,1	58,8	8,0
	Aço carbono	39,4	2,0	41,2	5,6
Bateria	Chumbo	79,4	33,7	79,4	33,7
	Ácido sulfúrico	13,2	5,6	13,2	5,6
	Polietileno alta densidade	7,4	3,1	7,4	3,1
Bloco, válvula hidráulica	Alumínio	89,4	183,0	89,4	170,8
	Aço carbono	9,3	19,1	9,3	17,7
	Borracha	1,2	2,5	1,3	2,5
Cabine	Aço carbono	89,1	463,2	89,1	463,2
	ABS reciclado	3,1	16,0	3,1	16,0
	Vidro laminado	2,4	12,3	2,4	12,3
	Espuma poliuretano	2,1	10,7	2,1	10,7
	Ferro fundido nodular	1,1	5,8	1,1	5,8
	Poliuretano	1,0	4,9	1,0	4,9
	Borracha	0,8	4,4	0,8	4,4
	Fibra textil reciclado	0,4	2,2	0,4	2,2
Chicote elétrico	Fibra sintética algodão	0,1	0,6	0,1	0,6
	Cobre	83,3	47,6	83,2	47,8
	PVC	14,5	8,3	14,6	8,4
	Latão	2,3	1,3	2,3	1,3
Conjunto montado	Aço carbono	83,5	8.625,5	81,0	6.943,1
	Ferro fundido nodular	7,8	802,9	8,2	700,2
	Óleo hidráulico	5,2	534,0	6,2	534,0
	Polietileno alta densidade	1,7	174,6	2,0	174,6
	Óleo diesel	0,6	60,6	0,7	60,6
	Borracha	0,3	30,0	0,3	29,8
	Óleo motor	0,2	22,3	0,3	22,3
	Tinta	0,2	20,0	0,2	21,0
	Óleo lubrificante	0,2	18,5	0,3	24,0
	Fibra vidro + alumínio	0,2	16,5	0,2	16,5
	Alumínio	0,1	9,9	0,1	9,9
	Graxa	0,0	5,0	0,1	8,0
	Solvente	0,0	5,0	0,1	5,2
	Cobre	0,0	4,7	0,1	4,7
	Gás tetrafluoroetano	0,0	3,7	0,0	3,7
	Papel (impressão de notícia)	0,0	3,6	0,0	3,6
Aço inox	0,0	1,7	0,0	1,7	
Nylon 6.6	0,0	1,7	0,0	2,1	
Polipropileno	0,0	1,6	0,0	2,2	
Anticorrosivo	0,0	1,0	0,0	1,0	
PVC	0,0	0,1	0,0	0,1	

ANEXO B - Estratificação dos materiais utilizados na fabricação dos componentes das máquinas

		(conclusão)			
Componente	Material	Máquina 1		Máquina 2	
		% participação	Total kg	% participação	Total kg
Extintor de incêndio	Pó químico ABC	65,6	4,0	65,6	4,0
	Aço carbono	34,4	2,1	34,4	2,1
Filtro	Aço carbono	73,6	14,4	73,6	14,4
	Alumínio	14,7	2,9	14,7	2,9
	Filme celulose	9,7	1,9	9,7	1,9
	Borracha	1,3	0,3	1,3	0,3
	Fibra vidro inorgânica	0,6	0,1	0,6	0,1
Mangueira hidráulica	Borracha	45,3	259,3	44,8	263,9
	Fio de aço	27,2	155,9	29,0	170,6
	Aço carbono	17,4	99,8	16,3	95,7
	Polipropileno	10,1	57,6	10,0	59,0
Motor, bomba hidráulica	Ferro fundido nodular	66,8	860,2	66,8	860,2
	Aço carbono	32,5	418,2	32,5	418,2
	Bronze	0,5	6,2	0,5	6,2
	Borracha	0,2	2,8	0,2	2,8
Motor diesel	Ferro fundido nodular	67,5	587,0	67,5	587,0
	Aço carbono	27,8	242,0	27,8	242,0
	Alumínio	4,4	38,0	4,4	38,0
	Borracha	0,1	1,3	0,1	1,3
	Polipropileno	0,1	0,7	0,1	0,7
	Filme celulose	0,1	0,6	0,1	0,6
	Cobre	0,0	0,4	0,0	0,4
Radiador, condensador	Alumínio	99,0	196,4	99,0	196,4
	Cobre	1,0	2,0	1,0	2,0
Roda e pneu	Borracha	69,4	512,0	-	-
	Aço carbono	30,6	225,4	-	-
Esteira metálica	Ferro fundido nodular	-	-	36,6	1.689,9
	Aço forjado	-	-	33,9	1.562,9
	Aço carbono	-	-	29,5	1.358,7

Valores 0,0 ≥ 0,01