

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

Inventário de materiais, energia e emissões dos gases de efeito estufa na vida útil de máquinas agrícolas

Edemilson José Mantoam

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2016**

Edemilson José Mantoam
Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial

**Inventário de materiais, energia e emissões dos gases de efeito estufa na
vida útil de máquinas agrícolas**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Engenharia de
Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2016**

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

Mantoam, Edemilson José

Inventário de materiais, energia e emissões dos gases de efeito estufa na vida útil de máquinas agrícolas / Edemilson José Mantoam. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.
123 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Fluxo de material 2. Análise de energia 3. Energia incorporada 4. Sustentabilidade
5. Avaliação do ciclo de vida I. Título

CDD 631.3
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 legado deixado,
com muita fé em Deus, otimismo, dedicação,
persistência, sabedoria, respeito ao próximo,
além de exemplo de vida e dignidade.
Dedico.

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

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a **Deus**, pela vida, saúde, sabedoria e proteção de cada dia.

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

À **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo** pela aprovação do projeto 2015/01613-1.

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** e **Prof. Dr. Marcos Milan**, pela convivência e conhecimento adquirido.

A **Profa. Dra. Sônia Maria de Stefano Piedade**, do Departamento de Ciências Exatas, pelos valiosos ensinamentos sobre estatística e amostragem.

A **Profa. Dra. Taitiâny Káríta Bonzanini Fuzer**, do Departamento de Economia, Administração e Sociologia, pela contribuição na formação docente para o ensino superior.

To **Dr. Hannu J. Mikkola**, from University of Helsinki, Finland for the valuable orientations.

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

Aos colegas de curso: **Maria Carolina da Silva Andrea, Nelson C. Franco Júnior, João Rosa, Ananias F. Dias Júnior e Carlos Rogério Andrade**, pela agradável convivência, respeito e amizade.

À empresa CNH Industrial Latin America Ltda., unidade de Piracicaba, na pessoa do seu gerente industrial **Vagner José Furlan** por propiciar a obtenção de dados fundamentais para a realização desse trabalho.

Ao amigo **Luis Faustino Damião Pinto Braga**, pelo respeito e gratidão.

Aos colegas de trabalho, na pessoa do **Luiz Benedito Fraccaroli**, pela agradável convivência, respeito, gratidão e amizade.

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

Aos **pais e mães**, para que enfrentem com coragem, otimismo e paciência, os desafios da educação dos seus filhos, com o objetivo de criar pessoas íntegras.

"Seja você quem for, seja qual for a posição social
que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa,
tenha sempre como meta,
muita força,
muita determinação,
e sempre faça tudo com muito amor
e com muita fé em Deus,
que um dia você chega lá".

Ayrton Senna da Silva

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 DESENVOLVIMENTO	19
2.1 Revisão Bibliográfica.....	19
2.1.1 Energia e humanidade	21
2.1.2 Mudanças climáticas e o setor industrial.....	23
2.1.3 Desenvolvimento de produtos sustentáveis	28
2.1.4 Fluxos de materiais e de energia	30
2.1.5 Análise de ciclo de vida.....	32
2.1.6 Máquinas agrícolas e seus índices energéticos.....	37
2.2 Material e métodos.....	41
2.3 Resultados e discussão.....	51
3 CONCLUSÕES	109
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
REFERÊNCIAS.....	113

RESUMO

Inventário de materiais, energia e emissões dos gases de efeito estufa na vida útil de máquinas agrícolas

A questão energética, associada às mudanças climáticas e à dependência dos recursos naturais é um dos principais desafios do século XXI. A necessidade de produzir alimentos, para atender a crescente demanda da população, requer o aumento da utilização de máquinas e equipamentos, demandando maior quantidade de energia e causando emissões dos gases de efeito estufa. Fontes de materiais e de energia são consumidas ao longo do ciclo de vida do produto, portanto é importante reduzir a demanda dessas fontes e aperfeiçoar o uso de recursos pelo reuso, reciclagem e materiais renováveis, além da preservação do ambiente. No sistema de produção agrícola, as máquinas agrícolas são consideradas fundamentais para produção de biomassa. A análise de energia em máquinas agrícolas tem sido feita, porém com dados de indicadores da década de 1960. Estudos de energia incorporada e emissões em máquinas agrícolas devem ser feitos, devido à importância do sistema de produção de bioenergia na economia, além da otimização do consumo em operações necessárias à obtenção do produto. Esse estudo propôs determinar o inventário de materiais, energia incorporada e emissões dos gases de efeito estufa em máquinas agrícolas. Foram avaliadas oito máquinas: colhedora de café, pulverizador autopropelido, semeadora-adubadora, colhedora de grãos, trator 55 kW, trator 90 kW, trator 172 kW e trator 246 kW, em seus ciclos de vida útil. Tais dados adotados segundo três fontes distintas. Os dados foram coletados em uma montadora multinacional, em suas unidades localizadas nos municípios de Piracicaba e Sorocaba, Estado de São Paulo e no município de Curitiba, Estado do Paraná, Brasil. Para cada máquina foi contabilizado o consumo dos insumos diretos utilizados na fase de montagem, e também o consumo dos insumos utilizados na fase de manutenção. Os dados de consumo dos insumos foram processados apresentando os fluxos de materiais utilizados, os quais foram multiplicados pelo seu índice de energia incorporada e fator de emissões, resultando na energia incorporada e nas emissões dos gases de efeito estufa, requeridos pelo sistema de produção. Os resultados apresentaram que a energia incorporada e emissões foram maiores no ciclo de vida indicado pelo fabricante, para colhedora de café, pulverizador, semeadora-adubadora, colhedora de grãos, e no ciclo de vida indicado pelo (BRASIL, 2010), para os tratores 55 kW, 90 kW, 172 kW e 246 kW, respectivamente. Para avaliação ambiental em tratores, equações foram fornecidas para demanda de energia e emissões pela massa (energia = $-0,0057 \text{ massa} + 129,2669$), (emissões = $-0,0003 \text{ massa} + 5,9845$) e pela potência motor (energia = $-14,7672 \text{ potência motor} + 6.507,9639$), (emissões = $-0,6861 \text{ potência motor} + 299,1242$).

Palavras-chave: Fluxo de material; Análise de energia; Energia incorporada; Sustentabilidade; Avaliação do ciclo de vida

ABSTRACT

Inventory of materials, energy and greenhouse gases emissions in life cycle of agricultural machinery

The energy subject, associated with global climate changes and the environment dependency is one of the main challenges of 21st century. The need to produce food, to meet the growing demand of the population, requires increased use of machinery and equipment, demanding more energy and raising greenhouse gases emissions. Materials and energy sources are consumed during the product life cycle, so it is important to reduce the demand for these sources and optimizing the use of resources by reuse, recycling and renewable materials, plus environment preservation. At agricultural production system, agricultural machinery are considered fundamental for biomass production. The energy analysis in agricultural machinery has been done, but with indicator data from late 1960s. Embodied energy and emissions studies in agricultural machinery should be done, because of bioenergy production system importance in economy, beyond consumption optimization in operations necessary to obtain the product. This study aimed to determine the inventory for materials, embodied energy and greenhouse gases emissions in agricultural machinery. Eight machines were evaluated, so called: coffee harvester, self-propelled sprayer, seeder-fertilizer, combine harvester, tractor 55 kW, tractor 90 kW, tractor 172 kW and tractor 246 kW, on their life cycle. Such were taken from three different sources. The data were collected in a multinational manufacturer, in its units located at Piracicaba and Sorocaba regions, State of São Paulo and Curitiba region, State of Paraná, Brazil. For every harvester, the consumption of the direct input used in the assembly phase, was accounted, and also the consumption of the input used in the maintenance phase. The consumption data of the inputs were processed presenting the materials flows used, which they were multiplied by their embodied energy indices and emissions factor, resulting in the embodied energy and greenhouse gases emissions required by the production system. The results presented higher embodied energy and emissions on life cycle mentioned per manufacturer, for coffee harvester, sprayer, seeder-fertilizer, combine harvester, and on life cycle mentioned per (BRASIL, 2010), for tractors 55 kW, 90 kW, 172 kW and 246 kW, respectively. For environmental assessment on tractors, equations were provided to energy demand and emissions per mass (energy = $-0.0057 \text{ mass} + 129.2669$), (emissions = $-0.0003 \text{ mass} + 5.9845$) and per engine power (energy = $-14.7672 \text{ engine power} + 6,507.9639$), (emissions = $-0.6861 \text{ engine power} + 299.1242$).

Keywords: Material flow; Energy analysis; Embodied energy; Sustainability; Life cycle assessment

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS - Acrilonitrila Butadieno Estireno
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGECC - Advisory Group on Energy and Climate Change
ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers
ASAE - American Society of Agricultural Engineers
CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - ESALQ/USP
CH₄ - Metano
CO₂ - Dióxido de Carbono
CO₂e - Dióxido de Carbono Equivalente
CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento
cv - Cavalo-vapor
DEFRA - Department for Environment, Food & Rural Affairs
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
g/cm³ - Grama por centímetro cúbico
GEE - Gases de Efeito Estufa
GJ - Giga Joule
h - Hora
ha - Hectare
IAI - International Aluminium Institute
IEA - International Energy Agency
IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO - International Organization for Standardization
ISO/TR - International Organization for Standardization/Technical Report
kg - Quilograma
kg CO₂e - Quilograma de Dióxido de Carbono Equivalente
kW - Quilowatt
kWh - Quilowatt-hora
L - Litro
m - Metro
MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MJ - Mega Joule

MME - Ministério de Minas e Energia

N₂O - Óxido Nitroso

NBR - Norma Brasileira aprovada pela ABNT

NRC - National Research Council

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development

ppm - Partes por Milhão

ppmv - Partes por Milhão por Volume

PVC - Poli Cloreto de Vinila

rpm - Rotações por minuto

t CO₂ - Tonelada de Dióxido de Carbono

TWh - Terawatt-hora

UNCTAD - United Nations Conference on Trade and Development

US EPA - United States Environmental Protection Agency

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

1 INTRODUÇÃO

A segurança energética é um dos principais desafios do século XXI. O aumento da população mundial e do consumo de energia per capita, associados ao problema da mudança climática, demanda ações sustentáveis. A queima de combustíveis fósseis é um dos maiores e mais discutidos problemas globais, proporcionando o aquecimento na atmosfera terrestre. Se o aumento da industrialização e urbanização liberar mais calor na atmosfera, a temperatura da Terra aumentará. O uso de recursos também é um desafio ao paradigma da sustentabilidade, que prega um modelo social e produtivo que não prejudique as oportunidades de sobrevivência e bem-estar das gerações futuras.

A análise de energia é necessária para o gerenciamento de recursos escassos em sistemas de produção, dentre eles a produção agrícola, pois ao se 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, permitindo o atendimento de metas de redução do impacto ambiental negativo. Além disso, sua aplicação em operações industriais pode mostrar resultados que não apresentem apenas os benefícios individuais de uma empresa, mas para a sociedade.

Empresas dos diversos segmentos industriais têm feito avaliações ambientais, com o intuito de conceber produtos de menor impacto ambiental negativo, além do uso racional de materiais e de energia. Portanto, as empresas estão cada vez mais preocupadas com o ambiente, investindo em inovação tecnológica, substituição de materiais de fonte não renovável, além da redução e otimização do consumo nas operações necessárias para obtenção do produto, visando mitigar as emissões dos gases de efeito estufa.

Dependendo do tipo de produto, fontes de materiais e energia são usadas com diferentes intensidades ao longo do seu ciclo de vida. Assim, 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 representam grande custo não só econômico, mas ambiental, e uma redução de seu uso também traz benefícios econômicos.

Desde o início da revolução industrial, as concentrações dos gases de efeito estufa provenientes das atividades humanas, como a queima de combustíveis

fósseis e o desmatamento, aumentaram em 70 % entre 1970 e 2004. A liberação desses gases aumenta o efeito estufa natural, impedindo que o calor emitido pela Terra vá para o espaço, contribuindo dessa forma com o aumento da temperatura média global e conseqüentemente as mudanças climáticas, além de contabilizar o maior aquecimento da Terra desde os anos 1960.

A necessidade de se produzir alimentos, constitui em um importante desafio. Diante disso, surgem inovações tecnológicas que visam o aumento da produtividade, porém, demandando maior quantidade de energia incorporada nos sistemas de produção, tendo em vista maior utilização de máquinas e equipamentos, entre outros insumos, agravando dessa forma cada vez mais o nível de aquecimento global, associado às emissões dos GEE, podendo trazer, às futuras gerações, grandes impactos.

Nos sistemas de produção agrícola, as máquinas são consideradas fundamentais para produção de biomassa. Estudos de energia incorporada e emissões em máquinas agrícolas devem ser realizados, devido à importância do sistema de produção de bioenergia na economia.

A análise de energia em máquinas agrícolas tem sido feita, porém com dados de indicadores antigos, baseados na indústria automobilística dos Estados Unidos da América, para a década de 1960. Os indicadores mais recentes para colhedoras de cana-de-açúcar, mostram grande discrepância aos predecessores, pois a determinação da energia incorporada foi feita considerando os insumos diretos, indiretos e os da manutenção, na vida útil das colhedoras, diferente do predecessor para a indústria automobilística, onde ocorrem omissões de insumos e foram avaliados apenas os insumos diretos. O tempo de uso anual e a demanda pela manutenção tornam a colhedora de cana, um exemplo que não possa ser extrapolado às demais máquinas.

Devido à importância da produção agrícola na economia, a falta de índices energéticos atualizados, a inexistência de índices de emissões para máquinas agrícolas e ainda pelo fato de que as indústrias de máquinas agrícolas planejam alcançar produtos cada vez mais sustentáveis, justifica-se determinar novos indicadores de energia incorporada e emissões dos GEE por máquinas agrícolas, que tenham maior abrangência no cenário agrícola mundial. O presente trabalho propôs determinar os inventários de materiais, energia incorporada e emissões dos GEE em máquinas agrícolas.

2 DESENVOLVIMENTO

Na avaliação do ciclo de vida de um produto para determinar o impacto ambiental, primeiramente os fluxos de materiais devem ser contabilizados, quantificando fisicamente os insumos consumidos pelo produto, proporcionando dessa forma, uma análise abrangente dos seus impactos. Assim, o inventário de materiais é a base para a avaliação do impacto ambiental, associado ao uso da energia e emissões.

2.1 Revisão Bibliográfica

Na história do desenvolvimento do setor de produção por meio da utilização de energia, alguns momentos de grandes inovações tecnológicas capazes de converter as diversas formas de energia em trabalho merecem destaques: o moinho de água, inventado antes do século X, permitiu a substituição dos animais pela energia cinética da água em inúmeras tarefas; 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; PICCHIONI, 1985). Outro destaque no setor de produção foi em 1959, com a início das atividades da indústria de tratores no Brasil (AMATO NETO, 1985), favorecendo a mecanização agrícola e trazendo aos produtores diversos benefícios, dentre eles, a redução de custos, a rapidez na realização das operações de campo, além do aumento na produção de alimentos (OLIVEIRA et al., 2007).

Todavia, a necessidade de se produzir alimentos, para atender a demanda crescente da população, vêm 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; FERREIRA, 1989; ASSENHEIMER et al., 2009).

Boustead e Hancock (1979) comentaram que um dos maiores e mais discutidos problemas globais é a queima de combustíveis fósseis, proporcionando o

aquecimento na atmosfera da Terra e se o aumento da industrialização e urbanização liberar mais calor para a atmosfera, a temperatura da Terra aumenta.

Quando se pensa em obtenção de produtos, eles são compostos por vários tipos de materiais com 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 consumido energia e materiais que determinam emissões, por exemplo, o 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 (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

Çengel e Boles (2001) comentaram 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 regem sobre a conversão de energia são: 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 em seus diversos aspectos (ÇENGEL; BOLES, 2001).

A sociedade moderna industrial usa a energia para criar uma imponente quantidade de bens e serviços, que depois, degradam-se em forma de perda de calor (SUMMERS, 1971).

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 (HINRICHS; KLEINBACH, 2009; INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE - IEA, 2011). Ela 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; HANCOCK, 1979). Mandatória para produzir bens a partir de recursos naturais e fornecer serviços (HINRICHS; KLEINBACH, 2009), ela é necessária para o desenvolvimento econômico, social e a sua demanda está aumentando globalmente (ABUBAKAR; UMAR, 2006).

Macedônio e Picchioni (1985) comentaram que diversas formas de energia são conhecidas: mecânica, térmica, química, elétrica, luminosa e nuclear. De acordo com essas formas de energia utilizadas pelas sociedades, elas podem ser classificadas, pela forma que apresentam na natureza, como sendo energia primária ou secundária. Na energia primária, as fontes são providas pela natureza na sua forma direta, como a energia luminosa provida pelo sol; energia química contida no petróleo e a energia mecânica provida por vento ou água; e outras. 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.

A energia é mais bem descrita, em termos do que ela pode fazer. Conclui-se que a energia não pode ser vista, apenas os seus efeitos; não pode ser gerada, apenas obtida e usada; não pode ser destruída, apenas degradada. Ao contrário da comida e da moradia, a energia não é valorizada por si própria, mas pelo que pode ser feito com ela (HINRICHS; KLEINBACH, 2009). O consumo mundial de energia aumentará em pelo menos um terço entre 2010 e 2035. A demanda será incentivada pelo rápido crescimento dos países como África do Sul, Arábia Saudita, Argentina, Brasil, China, Índia, Indonésia e Rússia, que serão responsáveis por 90 % do crescimento da população, 70 % do aumento da produção econômica e 90 % do crescimento de demanda de energia (IEA, 2011).

Entender como os sistemas de produção gastam e produzem 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; CHABARIBERY, 1982). Segundo Silva et al. (1976), o balanço energético é um fator importante para a eleição de uma matéria-prima para a produção de energia, pois é necessário melhorar a eficiência energética, para minimizar o impacto negativo ao ambiente.

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, sendo adicionais à solar (SOUZA; MILANEZ, 1996). Fluck e Baird (1980), afirmaram que a análise energética é a análise objetiva das quantidades físicas, envolvidas em um processo ou sistema, podendo identificar e medir os fluxos de energia.

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; HANCOCK, 1979). O consumo de energia elétrica pelo setor industrial em 2014 no Brasil, representou 33,0 % da oferta de 624,3 TWh (BRASIL, 2015).

Durante as décadas de 1990 e 2000, o consumo global de energia aumentou 25 %, enquanto o consumo aumentou 15 % apenas nos Estados Unidos da América. Nas décadas de 2010 e 2020, estima-se que o consumo de energia irá aumentar aproximadamente em 100 % nos países em desenvolvimento (HINRICHS; 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; PICCHIONI, 1985).

O mundo está em uma trajetória que resulta em emissões consistentes, com aumento da temperatura média em longo prazo mais de 3,5 °C; sem novas políticas, projeta-se um efeito de maior intensidade, gerando aumento da temperatura de 6 °C ou mais (IEA, 2011).

De acordo com Edenhofer et al. (2012), é necessário reduzir as emissões dos GEE na ordem de 50 % a 85 % até 2050, possibilitando a estabilização da concentração atmosférica desses gases, em níveis que possibilitem mitigar os efeitos das mudanças climáticas em curso. Devido ao agravamento dos problemas ambientais, gerados pelo aumento das emissões de gases poluentes nos últimos anos, cresce em todo o mundo, a busca por materiais renováveis, bem como, por fontes alternativas de energia (LIMA, 2012).

Na avaliação da energia incorporada em 23 culturas no Brasil, para produzir carboidrato e proteína como fonte de energia, Veiga et al. (2015), identificaram a porcentagem de participação das máquinas agrícolas na demanda energética para as culturas: soja 5 % (0,35 GJ ha⁻¹), amendoim 5 % (0,48 GJ ha⁻¹), trigo 3 % (0,46 GJ ha⁻¹), feijão 3 % (0,55 GJ ha⁻¹) e milho 2 % (0,29 GJ ha⁻¹).

2.1.2 Mudanças climáticas e o setor industrial

Tradicionalmente, a sustentabilidade tem sido suportada por um modelo de três pilares: Economia, Ecologia e Sociedade. Esses pilares são considerados interconectados e relevantes para a sustentabilidade (SATHAYE et al., 2011). Sem energia e água não há como satisfazer as necessidades básicas da humanidade, produzir biomassa para uma população em constante crescimento e muito menos alcançar o crescimento econômico planejado. Ambos são fatores críticos no desenvolvimento da humanidade (JÄGERSKOG et al., 2014).

Em nível global, a disponibilização, transformação, distribuição e utilização de energia nos sistemas, têm dominante contribuição para as mudanças climáticas, o que representa aproximadamente 60 % do total dos GEE. Dado que a economia mundial deverá dobrar até 2030, o consumo de energia mundial também deverá aumentar significativamente, se os sistemas de fornecimento de energia atual (conversão e uso), continuarem ineficientes (ADVISORY GROUP ON ENERGY AND CLIMATE CHANGE - AGECC, 2010).

Para os países industrializados, as principais razões para incentivar o uso de fontes de energia renovável, incluem: reduzir as emissões de carbono para mitigar as mudanças climáticas; reforçar a segurança energética; promover ativamente a mudança estrutural na economia, de modo que as perdas de emprego em setores industriais em declínio são absorvidas por novas oportunidades de emprego, relacionadas com energia renovável (SATHAYE et al., 2011). A maioria das comunidades tem visto grande importância nas aplicações de energia renovável, com alto nível de apoio público em geral (DEVINE, 2005; WOLSINK, 2007). No entanto, o apoio público não se traduz necessariamente em apoio ativo para implementação (PAINULY, 2001; WUSTENHAGEN et al., 2007).

No entanto, o aquecimento da superfície da Terra, se caracteriza pelo aumento nas concentrações de gases na atmosfera, produzindo aumento na absorção de energia pela Terra (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - US EPA, 2007). O efeito estufa natural é necessário para à vida como conhecemos, pois mantém a temperatura da superfície da Terra na média de 15 °C, ou seja, 33 °C mais quente (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA, 2007). Dessa forma, os GEE naturais podem absorver a radiação infravermelha, alterar suas concentrações atmosféricas e manter o equilíbrio energético do sistema climático (US EPA, 2007).

Dentre os principais GEE (CO_2 , CH_4 , N_2O), o CO_2 é o gás produzido em maiores quantidades, representando mais de metade do impacto atual no clima da Terra (NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, 2011). Suas emissões aumentaram entre 1970 e 2004 aproximadamente em 80 % (28 % entre 1990 e 2004), isso representou 77 % do total das emissões dos GEE (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2007a). A cada ano as emissões vêm aumentando (RAUPACH et al., 2007). Dependendo das taxas de emissões, a concentração do CO_2 pode dobrar ou quase o triplicar os níveis atuais até o final do século, ampliando enormemente futuros impactos no clima (NRC, 2011). As emissões de CO_2 são provenientes da queima de combustíveis fósseis (carvão, gás natural e derivados de petróleo), de resíduos sólidos, produtos de madeira e também como resultado de certas reações químicas (por exemplo, fabricação de cimento) (IPCC, 2006; US EPA, 2015). Isso está contribuindo para uma nova época, onde as atividades humanas determinarão em grande parte a evolução do clima da Terra (NRC, 2011). O CH_4 é emitido durante a produção e

transporte de carvão, gás natural e petróleo, além das emissões que resultam da criação de gado e outras práticas agrícolas, e pela decomposição de resíduos orgânicos em aterros municipais de resíduos sólidos (IPCC, 2006; US EPA, 2015). O N_2O é emitido durante atividades agrícolas e industriais, bem como, durante a combustão de combustíveis fósseis e de resíduos sólidos (IPCC, 2006; US EPA, 2015). Os gases CH_4 , N_2O estão estimados a produzir 36 % e 64 % do total das emissões na atmosfera por ano, respectivamente (US EPA, 2010).

Além dos principais GEE (CO_2 , CH_4 , N_2O), há os gases fluorados como hidrofluorcarbonetos (HFCs) largamente usado em refrigeração; perfluorcarbonetos (PFCs) subproduto da fundição de alumínio e enriquecimento de urânio; hexafluoreto de enxofre (SF_6) e trifluoreto de nitrogênio (NF_3) usados para fabricar cabos para isolamento de alta tensão e células para aquecimento. Estes gases são sintéticos e potentes para o efeito estufa, porém são emitidos em quantidades menores a partir de uma variedade de processos industriais, no entanto eles destroem a camada de ozônio estratosférico (IPCC, 2006; US EPA, 2015).

As maiores emissões globais entre 1970 e 2004 vieram do setor de fornecimento de energia (145 %) seguido pelo setor de transporte (120 %), indústria (65 %) e uso da terra (40 %) (IPCC, 2007a). Das emissões de CO_2 , o uso de energia está projetado para crescer de 40 % a 110 % entre 2000 e 2030 (IPCC, 2007a). A produção de ferro, aço e cimento resultaram 44 % do total das emissões de CO_2 na indústria (IPCC, 2014), sendo provenientes da queima de combustíveis, utilizados diretamente para operar equipamentos de mineração ou alimentar os fornos, além das atividades como a exploração e extração de petróleo, mineração e beneficiamento de carvão, produção de gás natural (US EPA, 2007). As emissões por tonelada de aço produzida variam entre os países: Brasil 1,25 t CO_2 ; Coreia do Sul e México 1,6 t CO_2 ; Estados Unidos da América 2,0 t CO_2 ; China e Índia 3,1 a 3,8 t CO_2 . As diferenças estão baseadas no processo usado e eficiência energética (KIM; WORREL, 2002). No entanto, a produção do aço pelos países da América Latina e África é impulsionado principalmente pelo consumo da China e Índia, além dos países em desenvolvimento (IPCC, 2007b; UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT - UNCTAD, 2008).

Na indústria, a escolha de materiais reciclados para a produção de aço em fornos elétricos, representa aproximadamente um terço da produção mundial e normalmente consome de 60 % a 70 % menos energia (DE BEER et al., 1998), além

da reciclagem do alumínio que requer apenas 5 % de energia. O alumínio reciclado constitui 33 % da oferta mundial e tem previsão de aumentar para 40 % em 2025 (IAI, 2005; MARTCHECK, 2006). A reciclagem é um importante fator de economia de energia, não apenas para a indústria de aço e alumínio, mas para as outras, como as de metais não ferrosos, vidro e plástico (IPCC, 2007c).

Segundo a Embrapa Agroenergia (2011) na indústria siderúrgica, o carvão mineral, combustível mais poluente em termos de emissões dos GEE, é usado na forma de coque, a fonte de carbono para reagir com o minério de ferro (reductor) e produzir a liga metálica denominada aço. Alternativamente ao coque de carvão mineral para a produção de aço, pode ser usado o carvão vegetal, que é um coque renovável.

No Brasil, o carvão vegetal é utilizado como alternativa ao carvão coque nos fornos. No entanto, o uso desse carvão diminuiu no final de 1990, devido o preço do carvão coque ser mais baixo. A utilização de hidrogênio para reduzir o minério de ferro, é uma tecnologia para longo prazo na produção de aço (KIM; WORRELL, 2002). Há potencial considerável, para melhoria da eficiência energética e redução de emissões de CO₂ na produção de aço (KIM; WORRELL, 2002), com adesão e uso de melhores tecnologias de fundição, controle de processos, além de aumentar o uso de material reciclado de sucata (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY GREENHOUSE GAS - IEA GHG, 2001).

As emissões dos GEE, associados à aquisição de matérias-primas e fabricação de peças são elementos chave, para analisa-los durante o ciclo de vida do produto (US EPA, 2007). A eficiência no uso dos materiais na produção de produtos está diretamente ligada com menor consumo de material, gerando oportunidade para a redução das emissões industriais (ALLWOOD et al., 2013), além de um projeto otimizado, bem como, a substituição de um material por outro (ASHBY et al, 2004). Em sua pesquisa Allwood et al. (2013), concluíram que não existem barreiras para reuso de aço estrutural, além de terem identificado oportunidade de lucro e potencial de crescimento. Devido à alta tecnologia para a produção de aço, muitos produtos como os automóveis poderiam ser um terço mais leve, sem perda de desempenho durante o uso (CARRUTH et al., 2011).

Medidas de mitigação dos GEE na indústria estão associadas por decisões gerenciais e estratégias, que incluem: maior competitividade com redução de custos, novas oportunidades de negócios, maior cumprimento das legislações ambientais,

maior benefício de saúde com melhoria da qualidade do ar e água, melhores condições de trabalho e reduções de resíduos (IPCC, 2014). A sociedade está fazendo escolhas importantes em relação a redução das emissões, não apenas mitigar para as próximas décadas, mas para os próximos séculos e milênios (NRC, 2011).

As metas de estabilização do clima têm sido frequentemente discutidas, em termos de estabilização das concentrações atmosféricas de CO₂. Os principais impactos futuros podem ser quantificados, entre o relacionamento das concentrações atmosférica de CO₂ com a temperatura (NRC, 2011). A Tabela 1 expressa as variações estimadas das concentrações atmosféricas de CO₂e em função do aumento na temperatura. A melhor estimativa sugerida, é que as concentrações CO₂e permaneçam entre os limites inferior e superior. Se aumentar o aquecimento global em 3 °C, a melhor estimativa da concentração CO₂e é 540 ppmv.

Tabela 1 - Relacionamento das concentrações atmosférica de CO₂e e temperatura (NRC, 2011)

Estabilização concentração CO₂e (ppmv)			Equilíbrio médio aquecimento global (°C)
Limite inferior	Melhor estimativa	Limite superior	
320	340	380	1
370	430	540	2
440	540	760	3
530	670	1060	4
620	840	1490	5

Os impactos diretos das mudanças climáticas, causadas pelas emissões de CO₂ são alterações na temperatura e umidade do solo, afetando de forma variada, por localização, estação e cultura. Entre os mais críticos são as culturas se desenvolverem mais rapidamente em temperaturas mais quentes, levando a períodos de crescimento mais curtos e baixa produtividade (SCHLENKER; ROBERTS, 2009; WASSMANN et al., 2009).

Segundo o IPCC (2007a), as principais mitigações dos GEE, para médio prazo até 2030 consistem em: 1) Estabilizar as emissões entre 445 ppm a 710 ppm de CO₂e e redução estimada de 3 % para o produto interno bruto global; 2) Alterações no estilo de vida e padrões de consumo, podem conservar os recursos e contribuir para o desenvolvimento de uma economia de baixo carbono e sustentável; 3) Programas de educação podem melhorar a eficiência energética de processos

industriais; 4) Transferência de modal, de rodoviário para ferroviário, de transporte com poucos passageiros para transporte com muitos passageiros, melhor planejamento urbano; 5) Uso de biomassa a partir de resíduos agrícolas e culturas como maior poder energético, podem ser importantes matérias-primas para bioenergia, porém sem competir com outros usos da terra, que afete a segurança alimentar; 6) Geração de poucos resíduos e reciclagem, proporcionam importantes benefícios para mitigação, por meio da conservação de materiais e de energia.

As principais mitigações para longo prazo após 2030 segundo o (IPCC, 2007a), consistem em: 1) Uso de fontes de energia de baixo carbono, como a energia renovável e a nuclear; 2) Investimento mundial em tecnologias com baixa emissões; 3) Governos devem estimular políticas inovadoras, para uso de tecnologia limpa, além de normas que definem índices e metas para os níveis de emissões.

O indicador potencial de aquecimento global ($\text{kg CO}_2\text{e}$), tem como objetivo medir as emissões dos GEE, para então mitigá-las, pois estão causando aumento na absorção da radiação emitida pela Terra, aumentando o efeito estufa natural (IPCC, 2001).

Para muitos propósitos, a radiação total dos GEE é colocada em termos de um nível equivalente de CO_2 atmosférico, conhecido como concentração de CO_2e (NRC, 2011). A definição dessa concentração de CO_2e , refere-se a quantidade de emissão de CO_2 que causaria a mesma força radiativa, que uma mistura de gases com efeito de estufa, todos multiplicados pelos seus respectivos potenciais de aquecimento global, que leva em conta os diferentes tempos que eles permanecem na atmosfera (CLEVELAND; MORRIS, 2006).

2.1.3 Desenvolvimento de produtos sustentáveis

Empresas dos diversos segmentos industriais como as dos setores automobilísticos, eletrodomésticos e computadores, têm sido conduzidas a conceber produtos de menor impacto ambiental, além do uso racional de materiais e de energia, bem como o reaproveitamento de seus componentes, passando dessa forma não apenas a projetar produtos, mas sim, considerar todo o ciclo de vida (MEDINA, 2003). Ao contrário do que se pensa normalmente, os impactos ambientais dos produtos industriais não começam na fase do consumo, quando eles poluem o ar, contaminam a água e os aterros para descarte no fim de sua vida útil. A

origem desses problemas está na fase do projeto do produto, no desenvolvimento e na produção dos materiais (MEDINA, 2005).

Cada vez mais, as organizações estão preocupadas em atingir e demonstrar um desempenho ambiental correto, por meio do controle dos impactos de suas atividades, produtos e serviços, sobre o ambiente. Agem dentro de um contexto de legislação cada vez mais exigente, visando adotar a proteção ao ambiente e ao desenvolvimento sustentável (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2004a). Isso leva as empresas a repensarem em seus processos industriais e em novas metodologias para projeto de produtos mais sustentáveis (LESKO, 1999), aliado a coleta seletiva, que tem por finalidade recolher materiais potencialmente recicláveis como exemplo: aço, alumínio, cobre, latão, papel, borracha, plástico, vidro, entre outros (JARDIM, 1995; MONTEIRO, 2001). A reciclagem de óleos lubrificantes traz benefícios, como conservação dos recursos energéticos e proteção ao ambiente (ALI et al., 1995). A forma mais adequada de reaproveitamento do óleo lubrificante é o rerrefino, que tem como finalidade recuperar o óleo usado, transformando-o em óleo básico para formulação de novos produtos lubrificantes (ALI et al.; 1995; MARTINS, 1997; AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP, 1999).

Entretanto, um dos critérios principais na produção industrial é o uso racional dos materiais no desenvolvimento do produto. Existem milhares de materiais como: metais, polímeros, cerâmicos, vidros, elastômeros e compósitos (WATERMAN; ASHBY, 1991). A seleção de materiais é muito importante para o sucesso do produto (ASHBY; JOHNSON, 2003).

Todavia, o conceito EcoDesign pode auxiliar as empresas para o desenvolvimento sustentável de seus produtos. Esse conceito para projeto de produto apresenta vantagens ambientais (maior reciclabilidade, menor consumo de materiais, menor consumo energia e emissões de CO₂) durante a vida útil, além de ser instrumento de políticas e estratégias ambientais públicas e privadas (MEDINA, 2005). As empresas consideram EcoDesign não apenas estratégia para melhoria do desempenho ambiental, mas para desenvolvimento de seus produtos (RIITAHUHTA et al., 1994; VERCALSTEREN, 2001). Ele é definido como projeto para o ambiente, que considera a sistemática do desempenho do projeto, com respeito aos objetivos (ambientais, saúde e segurança), ao longo de todo o ciclo de vida do produto ou processo, tornando-os ecoeficientes (FIKSEL, 1996).

Muitas organizações têm efetuado “análises ambientais” para avaliar o seu desempenho ambiental. Essas análises podem não ser suficientes para proporcionar à organização, garantia do desempenho aos requisitos legais e aos de sua política (ABNT, 2004a). Todavia, as organizações estão se conscientizando dos benefícios da integração dos aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto, pois os produtos (bens e serviços) causam impactos no ambiente, podendo ocorrer em qualquer fase do ciclo de vida do produto (ABNT, 2004b). Assim, as empresas estão cada vez mais preocupadas com o ambiente, investindo em inovação tecnológica, por exemplo substituição do polietileno tradicional de fonte não renovável, por fonte renovável (ZAMBANINI, 2014), além do uso das fibras naturais como juta, sisal, algodão, banana, bambu, madeira, palmeira, coco, em reforço com polímeros termorrígidos ou termoplásticos, ganhando destaque para o desenvolvimento de produtos (FUNG et al., 2003; MATTOSO, 1999; HERRERA-FRANCO; VALADEZ-GONZÁLES, 2004). A substituição de fibras sintéticas por vegetais, têm um grande valor ambiental pelo fato do uso de fonte renovável, biodegradável e de baixo custo, contribuindo com a mitigação do impacto ambiental (MATTOSO, 1999). Além das vantagens ambientais, há viabilidade econômica para propriedades familiares, com por exemplo a abertura de novos mercados para os produtos de sisal (ALVES et al., 2005).

2.1.4 Fluxos de materiais e de energia

Os fluxos de materiais baseiam-se nas quantidades físicas (normalmente em termos de toneladas) quantificando as entradas e saídas dos processos (FLUCK; BAIRD, 1980; BRINGEZU et al., 1997). A contabilidade dos fluxos de materiais fornece uma base importante, para a derivação de indicadores ambientais e indicadores para sustentabilidade (BERKHOUT, 1999). Por outro lado, a análise do fluxo de material, pode ser estudada principalmente, para responder às questões internas da companhia em relação aos resíduos sólidos (MORIGUCHI, 2000).

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). Os autores concluíram que 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.

A análise de fluxos de energia avalia as quantidades físicas envolvidas em um processo ou sistema, medindo seu conteúdo energético (FLUCK; BAIRD, 1980). A produção de máquinas agrícolas, quando avaliada visando determinar impactos ambientais é baseada nos fluxos de materiais, bem como, na análise dos fluxos de energia (DYER; DESJARDINS, 2006; ROMANELLI; MILAN, 2010). A energia humana requerida para desempenhar alguma operação ou atividade é geralmente baixa, comparada com as outras categorias de energia (BRIDGES; SMITH, 1979).

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 a energia mínima 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; HANCOCK, 1979).

A operação de uma fábrica deve ser levada em conta detalhadamente, desde o início de sua análise energética. Conhecer o consumo em diferentes áreas de uma fábrica é útil por algumas razões: 1) Os custos de combustíveis têm 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 centros de custos, para prover análise de energia detalhada em uma base realista (BOUSTEAD; HANCOCK, 1979).

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 na análise de energia estão interessados não somente na operação de suas fábricas, mas na quantidade de energia bruta necessária para a produção do produto, independentemente do que o avaliador estiver calculando (BOUSTEAD; 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; VEZZOLI, 2002).

Todavia, 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; 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.

2.1.5 Análise de ciclo de vida

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 materiais, energia e efeitos no ambiente, das atividades que o acompanham durante todo o seu ciclo de vida. 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; VEZZOLI, 2002).

O ciclo de vida útil é uma sequência de fases relacionadas com produto, processo, serviço ou empresa, sendo diferenciado entre o ciclo de vida econômico e o ciclo de vida físico. O primeiro é uma sequência 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 sequência 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). Segundo a ABNT, 2004b, os ciclos de vida são estágios sucessivos de um sistema de produto, desde a aquisição de matéria-prima ou geração de recursos naturais até a disposição final.

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

Assim 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 peças mais sujeitas a avarias e rupturas; predispor o acesso para facilitar a remoção das peças que podem ser reutilizados; projetar peças intercambiáveis, modulares e padronizadas; projetar prevendo um segundo uso (MANZINI; VEZZOLI, 2002). Assim, esses autores concluíram 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 por meio 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.

Todavia, a análise do ciclo de vida é uma técnica de avaliação de aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto (CHEHEBE, 1997). Ela determina quanto um produto consome de energia e seu impacto ambiental, desde a extração de matéria-prima no ambiente (berço), até a disposição do produto final (túmulo) (LJUNGBERG, 2005) e tornará a empresa ecologicamente correta, por

meio da eficiência energética e otimização de matérias-primas consumidas, ao longo da vida útil do produto (ROMM, 1996). Essa análise é a forma mais efetiva de avaliar todos os possíveis impactos ambientais causados por um produto, e por sua cadeia produtiva, compreendido entre a extração de matérias-primas e seu destino final pós-consumo (MEDINA, 2005). Além de permitir identificar os processos, materiais e sistemas que mais ameaçam o ambiente, comparar opções de minimização de risco e planejar estratégia à longo prazo para projeto e uso de materiais (ALMEIDA; GIANNETTI, 2006), além de ser uma ferramenta essencial para implantar os conceitos do EcoDesign (ROMM, 1996). Os impactos ambientais de um produto são determinados por entradas e saídas durante o ciclo de vida. Entram matéria-prima e energia e saem gases, efluentes, resíduos, contaminação do solo, ruído, vibrações, radiações e calor (LJUNGBERG, 2005).

A primeira referência à análise do ciclo de vida foi em 1965, pelo Midwest Research Institute apud Borchardt et al. (2008), quando a Coca-Cola custeou um estudo que comparou alternativas de embalagens e determinou qual apresentava melhor desempenho, quanto à preservação de recursos naturais. Repensar o ciclo de vida dos materiais em bases mais sustentáveis não é uma tarefa simples. Necessita de conhecimentos e informações, para ampliar a oferta de materiais de menor impacto ambiental para os projetistas. Dessa forma, os projetistas não apenas pensam em materiais recicláveis, mas no sentido amplo de sustentabilidade (MEDINA, 2005). A análise do ciclo de vida desenvolve a perspectiva do produtor e do consumidor. O produtor analisa o projeto do produto, a manufatura, os serviços associados, a disposição final e a remanufatura. O consumidor exige que o produto seja definido por características específicas, que requeiram soluções individuais (AURICH et al., 2006).

Durante o ciclo de vida do produto, há necessidade de manutenção e reparo. O tempo gasto nela é atribuído somente pelas atividades pertinentes, não incluem atrasos devido a espera por peças ou mecânico (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE, 1983). No que se refere ao reparo e manutenção de uma máquina, sua demanda energética geralmente é baseada no percentual que o seu custo tem em relação ao custo de aquisição (DOERING, 1980; MIKKOLA; AHOKAS, 2010). Os custos de manutenção e reparo são altamente variáveis e impossíveis de prever sobre o tempo de ocorrência. Pesquisas do custo de manutenção e reparo acumulado mostram tendência consistente, porém um

desvio padrão elevado é uma variação típica nesses dados. É pretendido que a estimativa esteja dentro de 25 % do custo atual, para manter a maioria das máquinas em bom estado de funcionamento. Algumas máquinas podem requerer consideravelmente mais ou menos manutenção e reparo que essa estimativa (ASABE, 2011).

Gastos são necessários para manter a máquina operando devido ao desgaste, falhas, acidentes e deterioração natural, porém gerenciamento adequado da manutenção e reparo pode reduzir os gastos. O tamanho da máquina, refletido por sua lista de preço e a quantidade de horas acumulada de uso, são fatores que afetam os custos. Para máquinas usadas além do ciclo de vida útil, os custos de manutenção e reparo acumulados podem aumentar a uma taxa constante igual à taxa final do seu ciclo de vida (ASABE, 2003).

A energia incorporada na manutenção e reparo de 14 máquinas agrícolas durante o seu ciclo de vida útil, variou entre 61 % a 362 % (FLUCK, 1985).

A energia demandada pela manutenção e reparo é comparada à demandada para a construção do maquinário (FLUCK; BAIRD, 1980). Fluck (1985), apresentou 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 na manutenção e reparo é 38 % maior que a demandada para a manufatura, atingindo o dobro do que indicou o primeiro modelo “custo industrial”.

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

Tabela 2 - Energia incorporada na manutenção e reparo de máquinas agrícolas (FLUCK, 1985)

Fonte	Energia na manutenção e reparo, porcentagem da energia de fabricação (%)	Comentários
Pimentel et al. (1973)	6	Para produção de milho nos Estados Unidos da América.
Bridges e Smith (1979)	6	Segue exemplo de Pimentel et al. (1973).
Smill et al. (1983)	8	Baseado na consulta, com revendedores 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 total de reparo acumulado da ASAE e substituição de um componente da máquina no campo após 10 anos. Energia de fabricação, exclui energia incorporada nos materiais brutos antes da fabricação.
Leach (1976)	53	Para três faixas de potência de tratores, usando intensidade de energia de 200 MJ/£ 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 custo de manutenção do equipamento e intensidade de energia dos produtos e serviços produzidos em um ano.

Umar (2003), calculou que 42,7 MJ ha⁻¹ de energia indireta foi necessária para manutenção, reparo e transporte de um trator com um arado de discos lisos. Sendo o trator com massa aproximada de 2.780 kg e ciclo de vida útil de 12.000 horas, e o arado com 18 discos lisos 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), relataram que a energia para manutenção, reparo e transporte não foi avaliada, devido à insuficiência de dados de massa das máquinas disponíveis nas indústrias da Nigéria e 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 e

informaram que a energia para a mão-de-obra foi determinada de acordo com as horas-homem requeridas para desempenhar uma atividade particular, como relatado por Bridges e Smith (1979).

2.1.6 Máquinas agrícolas e seus índices energéticos

O processo de produção agrícola realiza-se em etapas cronologicamente distintas, por estar sujeito à periodicidade das condições climáticas e às fases de desenvolvimento das plantas cultivadas. Essas etapas ocorrem em uma sequência ordenada, desde a instalação das culturas até a obtenção dos produtos, em condições de serem comercializados (MIALHE, 2012).

O surgimento das máquinas e implementos para a agricultura no século XIX mudou definitivamente, a trajetória das técnicas de produção e oferta de produtos agrícolas no mundo, pois aumentou a produtividade do setor possibilitando o acesso a novas e melhores práticas de produção na agricultura (VIAN et al., 2013; BARICELO; BACHA, 2013). A evolução dessas máquinas é consequência principalmente de dois fatores: 1) Necessidade do aumento da capacidade de trabalho do homem do campo, face à crescente escassez de mão-de-obra rural; 2) A migração das populações rurais para as zonas urbanas, devido ao processo de desenvolvimento econômico (LOPES, 2009). Segundo a Embrapa Clima Temperado (2015), a mecanização agrícola é um meio necessário para o processo de melhoria do sistema produtivo da agricultura, trazendo como pré-requisito a disponibilidade de máquinas e equipamentos para as diferentes necessidades das propriedades rurais.

A crescente demanda por mecanização e equipamentos, que utilizam tecnologias cada vez mais avançadas são elementos importantes, a serem estudados para o entendimento das tendências do setor (VIAN et al., 2013). A intensificação do uso da mecanização na agricultura vem exigindo novos investimentos, em máquinas com maior potência e tecnologia incorporada, para atender as diversas demandas das atividades agrícolas (OLIVEIRA, 2000).

Foi a partir das semeadoras que o processo de mecanização começou a se desenvolver. No final de 1950 os tratores começaram a ser padronizados, face a intercambiabilidade dos componentes à nível mundial, apresentado pelo trator Ferguson, diferente dos predecessores que apresentavam características bastantes diferentes entre si (FONSECA, 1990). As máquinas agrícolas são projetadas

especificamente para realizar de modo integral, a execução das operações agrícolas. Os implementos agrícolas ou sistemas mecânicos são aqueles com movimento próprio ou induzido, que podem ser acoplados às máquinas, não sendo autopropelidos, como exemplo: arados e grades (ABNT, 1987).

A semeadora-adubadora de precisão é uma máquina que executa a operação de semeadura de culturas, cujas sementes são graúdas (MIALHE, 2012). O pulverizador autopropelido a pressão com jato lançado, é uma máquina adequada para pulverização de grandes áreas. A colhedora de café autopropelida é uma máquina que derrixa, recolhe e limpa os frutos do cafeeiro. A colhedora combinada autopropelida de grãos é uma máquina que realiza o corte, trilha, separação e limpeza de grãos e cereais no sistema mecanizado. Os tratores agrícolas 4x2 TDA são máquinas essenciais para execução de operações agrícolas, com aumento da capacidade operacional; usando transmissão por eixo cardã até as rodas dianteiras, permite desenvolver tração dianteira auxiliar (GADANHA JÚNIOR et al., 1991).

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) Incorporada nos materiais; 2) Usada na fabricação; 3) Incorporada na manutenção e reparo, durante o ciclo de vida útil da máquina.

O maquinário agrícola moderno contém muitas peças construídas de materiais sintéticos ou fibra de vidro, por exemplo: tanques, coberturas, engrenagens, mangueiras, juntas moldadas, rodas de compactação de semeadoras, superfície de cabine é protegida por forrações. No entanto, a análise de demanda de energia para fabricação, manutenção e reparo é difícil para fazer, pois existem poucos dados de pesquisas disponíveis (AHOKAS; MIKKOLA, 2007; MIKKOLA; AHOKAS, 2010). O cálculo de energia primária, exigida para fabricação de um artefato ou produto do material bruto foi uma inovação mencionada por (BOUSTEAD; HANCOCK, 1979).

As máquinas agrícolas, assim como quaisquer equipamentos ou infraestrutura que são utilizados 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, devido inúmeros fornecedores e peças

que a máquina pode ter (DOERING, 1980; MIKKOLA; 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 e na siderurgia para a transformação. Ainda seria necessário analisar todos os processos de fabricação das peças, de montagem e reposição (DOERING, 1980). Mantoam et al. (2014), determinaram os fluxos de materiais e analisaram a energia incorporada nas fases de montagem e de manutenção, durante o ciclo de vida de colhedoras autopropelidas de cana-de-açúcar. As máquinas agrícolas consistem de componentes que são fabricados por fornecedores. Além disso, a análise de energia consome tempo e é difícil para fazer, pois as informações necessárias estão dispersas e difíceis para encontra-las (AHOKAS; MIKKOLA, 2007).

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; AHOKAS, 2010).

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. Os autores 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 foi necessário para a fabricação de um automóvel, com massa aproximada 1.653 kg, e identificaram que a demanda de energia para os materiais como o ferro e aço foram mais exatos em relação aos materiais não ferrosos, o qual estes, foram certamente mais exatos em relação aos 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 do uso de energia entre a indústria automobilística e a de máquinas agrícolas, Deleage et al. (1979), adaptaram o índice de Berry e Fels (1972), baseando-se no fato que os materiais consumidos no processo de fabricação de um trator, são diferentes dos materiais consumidos 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 $75,0 \text{ MJ kg}^{-1}$ para as máquinas agrícolas na França para a década de 1970.

Macedônio e Picchioni (1985), calcularam a energia fóssil embutida em máquinas agrícolas, a partir do conhecimento da massa, ciclo de vida útil e da demanda específica de energia por tonelada de máquinas fabricadas 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. As autoras relataram 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.

Dessa 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 de grãos com potência 80 kW (109 cv), com massa aproximada 5.600 kg e ciclo de vida útil 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 $150 \text{ kg linha}^{-1}$ e ciclo de vida útil 10.000 horas.

Na análise de energia incorporada durante o ciclo de vida, de duas colhedoras autopropelidas de cana-de-açúcar (uma com massa aproximada 14.863 kg com rodas e a outra com massa aproximada 16.972 kg com esteiras metálicas, ambas com potência 260 kW (354 cv) e ciclo de vida útil 21.700 horas), foram determinados os índices energéticos $202,6 \text{ MJ kg}^{-1}$ e $204,3 \text{ MJ kg}^{-1}$, respectivamente.

Nessa análise, o maior consumo de energia foi atribuído para a fase de manutenção (72 %) do total $3.011.893,8 \text{ MJ}$ para máquina com rodas e (72,8 %) do total $3.467.495,2 \text{ MJ}$ para máquina com esteiras metálicas. Considerando as demandas de energia e massa, os índices determinados para as colhedoras de cana, foram 2,49-2,72 maiores em relação ao determinado pela indústria automobilística dos anos de 1960 e posteriormente adaptado pela indústria de

tratores. O insumo que resultou maior demanda em termos de massa e energia incorporada foi aço carbono (MANTOAM et al., 2014).

Uma análise comparativa do uso de energia entre as indústrias automobilística e 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; AHOKAS, 2010).

A demanda de energia e emissões dos GEE para fabricação de um trator (ignorando reciclagem) é diretamente proporcional à massa de material (na maior parte ferro e aço) que ele contém (LEE et al., 2000).

2.2 Material e Métodos

Para a execução do projeto, a obtenção dos dados necessário foi realizado em uma companhia multinacional, em suas unidades localizadas nos municípios de Piracicaba e Sorocaba, Estado de São Paulo e no município de Curitiba, Estado do Paraná, Brasil. As características das máquinas que foram avaliadas estão descritas de acordo com a Tabela 3. Todavia, elas são equipadas com motor ciclo diesel, injeção direta, alimentação forçada e pós-refrigerado por carga de ar: colhedora de café, 3 cilindros em linha e rotação nominal 2.500 rpm; pulverizador, 6 cilindros em linha e rotação nominal 2.500 rpm; colhedora de grãos, 6 cilindros em linha e rotação nominal 2.100 rpm; trator 55 kW (75 cv), 4 cilindros em linha e rotação nominal 2.500 rpm; trator 90 kW (123 cv), 4 cilindros em linha e rotação nominal 2.200 rpm; trator 172 kW (234 cv), 4 cilindros em linha e rotação nominal 2.200 rpm; trator 246 kW (335 cv), 6 cilindros em linha e rotação nominal 2.100 rpm, exceto para a semeadora-adubadora que não é motorizada.

A determinação dos inventários de materiais, energia incorporada e emissões dos GEE, foi feito em seus ciclos de vida útil. Tais dados adotados segundo três fontes distintas (fabricante, MAPA, 2010 e ASABE, 2011). Os dados do fabricante envolvem estudos da vida útil; os dados do (MAPA, 2010) são mais gerais para efetuar custos de produção agrícola e os dados da (ASABE, 2011) consideram parâmetros operacionais e custo da manutenção e reparo. A hipótese é que a demanda de energia e emissões são proporcionais à massa e potência.

Tabela 3 - Características das máquinas que foram avaliadas

Sigla	Descrição da máquina	Potência motor (kW)	Massa (kg)	Observação
M1	Colhedora autopropelida de café	40	5.600	-
M2	Pulverizador autopropelido a pressão 4x4	147	10.100	barra pulverização 30 m
M3	Semeadora-adubadora, 13 linhas individuais	-	5.119	-
M4	Colhedora autopropelida de grãos axial	325	15.800	plataforma segadora 10,6 m
M5	Trator de roda 4x2 TDA	55	2.650	sem cabine
M6	Trator de roda 4x2 TDA	90	5.100	com cabine
M7	Trator de roda 4x2 TDA	172	6.950	com cabine
M8	Trator de roda 4x2 TDA	246	10.950	com cabine

O primeiro passo foi definir o fluxograma (1¹) (Figura 1), provido o ponto de decisão (2) para prosseguir com a análise, ela abordou a fase de montagem (3) e a fase de manutenção (4). Na fase de montagem foram identificados os insumos diretamente utilizados (5). E na fase de manutenção foram identificados os insumos utilizados nas manutenções propostas pelo manual do proprietário (2), tendo como base o projeto das máquinas (6).

Os insumos diretamente utilizados (5) são as peças que compõem as máquinas (7). A sua identificação e quantificação (9) foi feita com os dados técnicos, que estão cadastrados no banco de dados da empresa (matéria-prima, massa e quantidade). As peças utilizadas nas máquinas 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 (11). Com os dados técnicos de cada peça (11), multiplicado pelo seu índice de energia incorporada (13), resulta na energia incorporada nos insumos diretos (14).

Na fase manutenção foi adotada a proposta pelo manual do proprietário. Os dados sobre mecanismos de desgastes, por exemplo: talisca transportadora da colhedora de café (M1) e disco corta palha da semeadora-adubadora (M3), foram obtidos junto ao departamento de Engenharia de Protótipos e Testes da montadora de máquinas, uma vez que esses dados variam muito, em função das condições de

¹ Os números entre parênteses referem aos números da Figura 1;

² Dados obtidos na rede privada da empresa, acesso ao público se dá pela aquisição junto à rede de concessionários.

campo e da manutenção realizada (6). A periodicidade das trocas e as atividades propostas de manutenção foram tabuladas (8), a fim de determinar o consumo dos insumos, como óleo, filtro, além do tempo de mão-de-obra necessário para realizar as respectivas atividades de substituição das peças. A identificação e quantificação (10) foi feita com os dados técnicos, que estão cadastrados no banco de dados da empresa (matéria-prima, massa e quantidade). As peças utilizadas na máquina 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 (12). O tempo de mão-de-obra necessário para a substituição das peças foi baseado no cadastro de horas no banco dados da empresa. Com os dados técnicos de cada peça (12), multiplicado pelo seu índice de energia incorporada (13), resulta na energia incorporada nos insumos da manutenção (15). A soma dos resultados da energia incorporada nos insumos diretos (14) e nos insumos da manutenção (15) resulta o total da incorporação energética da máquina ao longo do ciclo de vida útil (16), eq. (1).

$$EI = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N (FM_{ij} * EI_i) \quad (1)$$

Em que:

El = energia incorporada da máquina ao longo do ciclo de vida útil (MJ);

FM_{ij} = fluxo do i-ésimo material (kg; L; h) na j-ésima fase;

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

i = material;

j = fases (montagem, manutenção).

Com os fluxos de materiais calculados (11) e (12), multiplicados pelo seu fator de emissões (17), resulta nas emissões dos GEE nos insumos diretos (18) e nos insumos da manutenção (19). A soma dos resultados das emissões nos insumos diretos (18) e nos insumos da manutenção (19) resulta o total das emissões dos GEE da máquina ao longo do ciclo de vida útil (20), eq. (2).

$$EM = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N (FM_{ij} * EM_i) \quad (2)$$

Em que:

EM = emissões da máquina ao longo do ciclo de vida útil (kg CO₂e);

FM_{ij} = fluxo do i-ésimo material (kg; L) na j-ésima fase;

EM_i = emissões do i-ésimo material (kg CO₂e kg⁻¹; kg CO₂e L⁻¹);

i = material;

j = fases (montagem, manutenção)

Após determinado o total da incorporação energética (16) e o total das emissões dos GEE (20) da máquina ao longo do ciclo de vida útil, resulta os indicadores energia incorporada e emissões, pelo ciclo de vida útil, pela massa e pela potência do motor (21) em seguida o fluxograma é finalizado (22).

De acordo com Mantoam et al. (2014), na análise de energia incorporada para colhedoras de cana-de-açúcar foi identificado baixa demanda de energia no processo produtivo (menor que 1 %), para os insumos indiretamente utilizados, classificados como: insumos comuns (eletricidade, água, gás liquefeito de petróleo, óleo lubrificante e horas de mão-de-obra) e insumos depreciados (alvenaria, máquinas, equipamentos e ferramentas), podendo desconsidera-los quando analisa o fluxo de material e energia em máquinas agrícolas. Para o presente estudo, tais insumos não foram contabilizados.

Para os componentes das máquinas 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 materiais (aço, fio de aço, borracha, e polipropileno), foi estratificado cada tipo de material utilizado, conforme a lista de material e as normas (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 2009a, 2009b), de modo a conhecer a massa de cada material constituinte de cada componente. Nesse trabalho foram determinados os inventários de materiais, energia incorporada e emissões dos GEE para as máquinas, em seus ciclos de vida útil.

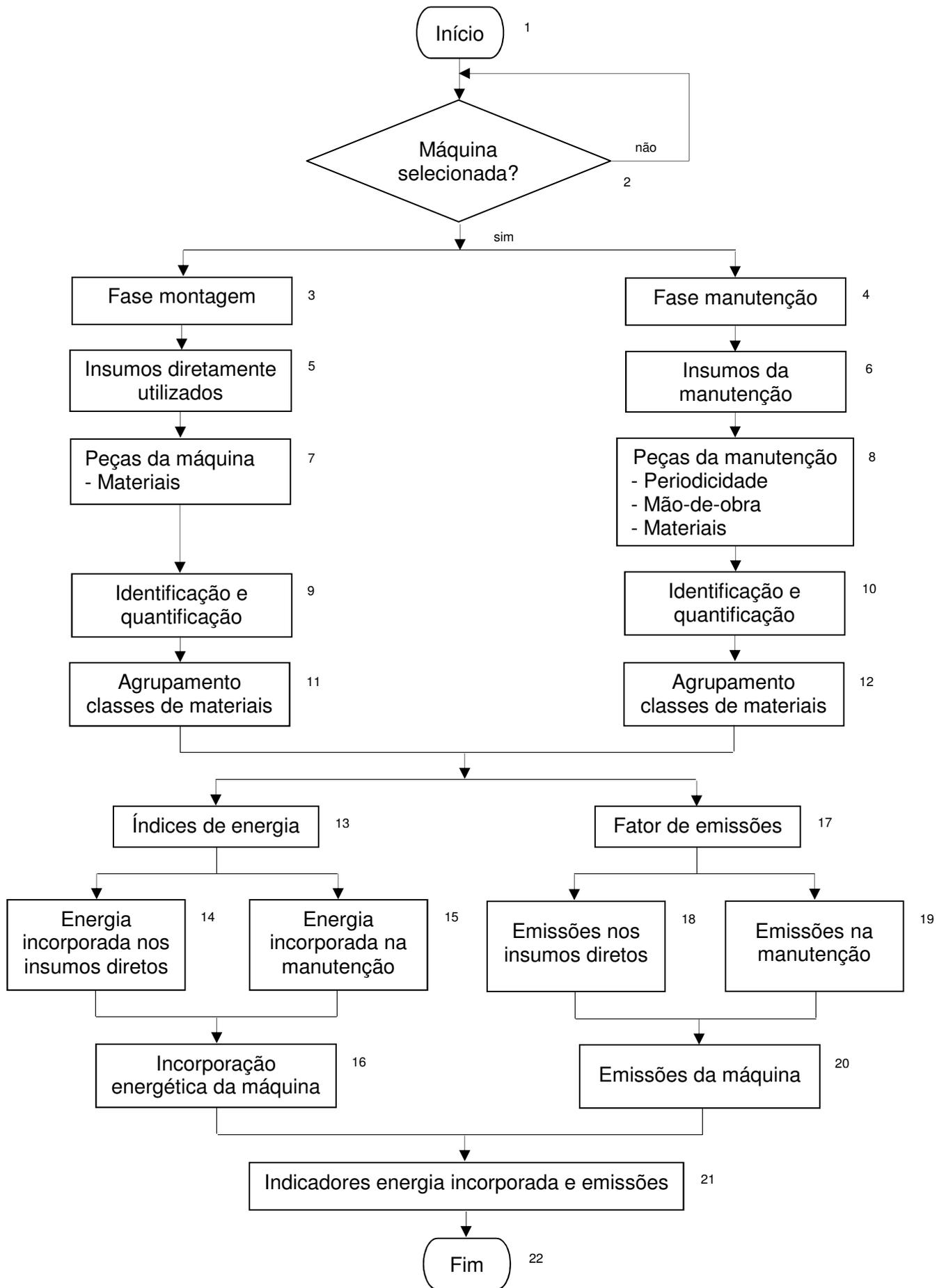


Figura 1 - Fluxograma para determinação da energia incorporada e emissões das máquinas

Para melhor organização dos fluxos de materiais (11) e (12) eles foram classificados em quatro classes, de acordo com as suas características (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI, 1996): metálicos; não metálicos; lubrificantes e fluídos; tintas e solventes, por exemplo: 1) Materiais metálicos (metais ferrosos e não-ferrosos), aço carbono, ferro fundido, alumínio, cobre, chumbo e latão; 2) Materiais não metálicos, borracha, polímeros, vidro laminado, fibras; 3) Lubrificantes e Fluídos, óleos e graxa; 4) Tintas e Solventes, tinta e solvente.

Para cada insumo representado por sua unidade de medida (kg, L, h), foi obtido o seu respectivo índice de energia incorporada, em referências que estão na Tabela 4 e os resultados apresentados em MJ unidade⁻¹. E em termos de emissões, para cada insumo representado por sua unidade de medida (kg, L), foi obtido o seu respectivo fator de emissões, em referências que estão na Tabela 5 e os resultados apresentados em kg CO₂e unidade⁻¹. Para o insumo que não foi encontrado o seu respectivo índice de energia incorporada e fator de emissões, foi adotado o índice de um insumo similar, de modo a conter todos os insumos identificados no processo de montagem e manutenção das máquinas.

Em particular para os insumos óleo lubrificante e graxa os seus índices de energia incorporada foram determinados pela conversão de valores, baseado no seu poder calorífico inferior. Foi considerado como poder calorífico inferior do óleo lubrificante (massa específica 0,88 kg L⁻¹ à temperatura de 20° C) o valor de 37,28 MJ L⁻¹ (BRASIL, 2009) e como poder calorífico inferior da graxa o valor de 43,38 MJ kg⁻¹ (BRASIL, 2000; ROMERO et al., 2006; PRACUCHO et al., 2007; JASPER et al., 2010).

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

Tabela 4 - Índices de energia incorporada dos insumos

Insumo	Índice energia incorporada		Referência
	Valor	Unidade	
ABS reciclado	1,24	MJ kg ⁻¹	U.S. Environmental Protection Agency (1974) ⁱ
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	2,48	MJ kg ⁻¹	Bravard et al. (1972) ⁱ
Aço carbono (laminado a quente)	51,52	MJ kg ⁻¹	Berry e Fels (1973) ⁱ
Aço inox	81,77	MJ kg ⁻¹	Berry e Fels (1973) ⁱ
Alumínio	231,00	MJ kg ⁻¹	Stodolsky et al. (1995)
Borracha	88,00	MJ kg ⁻¹	Stodolsky et al. (1995)
Bronze ^b	140,00	MJ kg ⁻¹	Stodolsky et al. (1995)
Chumbo	17,31	MJ kg ⁻¹	Porameswaren e Nadkarni (1975) ⁱ
Cobre	140,00	MJ kg ⁻¹	Stodolsky et al. (1995)
Espuma poliuretano ^c	110,16	MJ kg ⁻¹	Boustead e Hancock (1979)
Ferro fundido nodular	32,66	MJ kg ⁻¹	Samples (1974) ⁱ
Fibra sintética algodão ^d	45,29	MJ kg ⁻¹	Boustead e Hancock (1979)
Fibra têxtil reciclado ^d	45,29	MJ kg ⁻¹	Boustead e Hancock (1979)
Fibra vidro e alumínio ^e	0,79	MJ kg ⁻¹	Bravard et al. (1972) ⁱ
Fibra vidro e poliéster ^e	0,79	MJ kg ⁻¹	Bravard et al. (1972) ⁱ
Fibra vidro inorgânica ^e	0,79	MJ kg ⁻¹	Bravard et al. (1972) ⁱ
Filme celulose	192,53	MJ kg ⁻¹	Imperial Chemical Industries (1974) ⁱ
Fio de aço	19,10	MJ kg ⁻¹	Decker (1976) ⁱ
Fluído anticorrosivo ^a	2,29	MJ kg ⁻¹	Leach e Slesser (1974) ⁱ
Gás tetrafluoroetano ^f	58,89	MJ kg ⁻¹	Boustead e Hancock (1979)
Gás liquefeito de petróleo	58,89	MJ kg ⁻¹	Boustead e Hancock (1979)
Graxa	43,38	MJ kg ⁻¹	MME (2000)
Latão ^b	140,00	MJ kg ⁻¹	Stodolsky et al. (1995)
Mão-de-obra	2,20	MJ h ⁻¹	Serra et al. (1979)
Nitrogênio (N ₂)	1,67	MJ kg ⁻¹	U.S. Dept. of Commerce (1975) ⁱ
Nylon 6.6	31,80	MJ kg ⁻¹	Boustead e Hancock (1979)
Óleo diesel	47,78	MJ L ⁻¹	Cervinka, 1980. In: Pimentel (1980)
Óleo hidráulico ^g	37,28	MJ L ⁻¹	MME (2009)
Óleo lubrificante	37,28	MJ L ⁻¹	MME (2009)
Óleo motor ^g	37,28	MJ L ⁻¹	MME (2009)
Papel (impressão de notícia)	34,38	MJ kg ⁻¹	Newton (1973) ⁱ
Polietileno alta densidade	52,45	MJ kg ⁻¹	Ayres et al. (1974) ⁱ
Polipropileno	110,16	MJ kg ⁻¹	Boustead e Hancock (1979)
Poliuretano ^c	110,16	MJ kg ⁻¹	Boustead e Hancock (1979)
Pó químico ABC ^h	2,48	MJ kg ⁻¹	Bravard et al. (1972) ⁱ
PVC	10,64	MJ kg ⁻¹	Ayres et al. (1974) ⁱ
Sílica	0,79	MJ kg ⁻¹	Bravard et al. (1972) ⁱ
Solvente ^h	2,48	MJ kg ⁻¹	Bravard et al. (1972) ⁱ
Tinta ^h	2,48	MJ kg ⁻¹	Bravard et al. (1972) ⁱ
Vidro laminado	30,22	MJ kg ⁻¹	Samples (1974) ⁱ

Notas: ^a Baseado no índice sulfato de amônia; ^b Baseado no índice cobre; ^c Baseado no índice polipropileno; ^d Baseado no índice tecer algodão; ^e Baseado no índice sílica; ^f Baseado no índice gás liquefeito de petróleo; ^g Baseado no índice óleo lubrificante; ^h Baseado no índice ácido sulfúrico; ⁱ Estes fornecedores foram referenciados em dados citados, por Boustead e Hancock (1979).

Tabela 5 - Fator de emissões dos insumos

Insumo	Fator de emissões		Referência
	Valor	Unidade	
ABS	3,10	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) ^b	2,26	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Aço carbono (laminado a quente)	3,19	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Aço carbono (laminado a quente), reciclado	1,00	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Berge (2009)
Aço inox	2,20	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Berge (2009)
Alumínio	15,00	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Berge (2009)
Alumínio, reciclado	1,69	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Borracha	3,18	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Bronze	4,39	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Bronze, reciclado	1,10	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Chumbo	1,13	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Berge (2009)
Chumbo, reciclado	0,53	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Cobre	6,00	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Berge (2009)
Cobre, reciclado	0,96	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Espuma poliuretano	14,50	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Berge (2009)
Ferro fundido nodular	0,75	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Berge (2009)
Fibra sintética algodão	1,28	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Fibra vidro	1,53	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Fibra vidro e alumínio ^c	1,53	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Fibra vidro e poliéster	8,10	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Fibra vidro inorgânica ^c	1,53	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Filme celulose	1,60	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Berge (2009)
Filme celulose, reciclado	0,23	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Berge (2009)
Fio de aço	2,83	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Fluído anticorrosivo ^b	2,26	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Gás tetrafluoroetano ^b	2,26	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Gesso	0,12	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Graxa ^e	5,30	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Latão	2,82	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Lítio	5,30	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Nitrogênio (N ₂) ^b	2,26	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Nylon 6.6	6,50	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Óleo	2,54	kg CO ₂ e L ⁻¹	DEFRA (2014)
Óleo diesel	2,60	kg CO ₂ e L ⁻¹	DEFRA (2014)
Óleo hidráulico ^f	2,54	kg CO ₂ e L ⁻¹	DEFRA (2014)
Óleo lubrificante ^f	2,54	kg CO ₂ e L ⁻¹	DEFRA (2014)
Óleo motor ^f	2,54	kg CO ₂ e L ⁻¹	DEFRA (2014)
Papel (impressão de notícia)	1,50	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Polietileno alta densidade	1,60	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Berge (2009)
Polipropileno	1,65	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Berge (2009)
Poliuretano	3,00	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Pó químico ABC ^d	0,12	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
PVC	3,00	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Berge (2009)
Solvente ^a	3,56	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Tinta	3,56	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Ureia	2,26	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)
Vidro laminado	0,85	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Hammond e Jones (2008)

Notas: ^a Baseado no índice tinta; ^b Baseado no índice ureia; ^c Baseado no índice fibra vidro; ^d Baseado no índice gesso; ^e Baseado no índice lítio; ^f Baseado no índice óleo (destilação fracionada do petróleo entre gasolina e óleo diesel).

Com o resultado total da energia incorporada e emissões dos GEE da máquina e conhecendo o seu ciclo de vida útil, obtém-se o indicador MJ h^{-1} , eq. (3) e o indicador $\text{kg CO}_2\text{e h}^{-1}$, eq. (4).

$$\text{IEC} = \text{EI} / \text{CV} \quad (3)$$

Em que:

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

EI = energia incorporada da máquina ao longo do ciclo de vida útil (MJ);

CV = ciclo de vida útil da máquina, Tabela 6 (h).

$$\text{IEMC} = \text{EM} / \text{CV} \quad (4)$$

Em que:

IEMC = indicador emissões pelo ciclo de vida útil ($\text{kg CO}_2\text{e h}^{-1}$);

EM = emissões da máquina ao longo do ciclo de vida útil ($\text{kg CO}_2\text{e}$);

CV = ciclo de vida útil da máquina, Tabela 6 (h).

Com o resultado total da energia incorporada e emissões dos GEE da máquina e conhecendo a sua massa, obtém-se o indicador MJ kg^{-1} , eq. (5) e o indicador $\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$, eq. (6).

$$\text{IEM} = \text{EI} / \text{MA} \quad (5)$$

Em que:

IEM = indicador energia incorporada pela massa (MJ kg^{-1});

EI = energia incorporada da máquina ao longo do ciclo de vida útil (MJ);

MA = massa da máquina, Tabela 3 (kg).

$$\text{IEMM} = \text{EM} / \text{MA} \quad (6)$$

Em que:

IEMM = indicador emissões pela massa ($\text{kg CO}_2\text{e kg}^{-1}$);

EM = emissões da máquina ao longo do ciclo de vida útil ($\text{kg CO}_2\text{e}$);

MA = massa da máquina, Tabela 3 (kg).

Com o resultado total da energia incorporada e emissões dos GEE da máquina e conhecendo a potência do seu motor, obtém-se o indicador MJ kW⁻¹, eq. (7) e o indicador kg CO₂e kW⁻¹, eq. (8).

$$IEP = EI / PM \quad (7)$$

Em que:

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

EI = energia incorporada da máquina ao longo do ciclo de vida útil (MJ);

PM = potência do motor da máquina, Tabela 3 (kW).

$$IEMP = EM / PM \quad (8)$$

Em que:

IEMP = indicador emissões pela potência do motor (kg CO₂e kW⁻¹);

EM = emissões da máquina ao longo do ciclo de vida útil (kg CO₂e);

PM = potência do motor da máquina, Tabela 3 (kW).

A vida econômica de uma máquina agrícola é um dado que varia muito em função do tipo de máquina utilizada e da sua manutenção (BALASTREIRE, 1987). Não há exatamente um ciclo de vida útil para máquinas agrícolas. Isso depende do uso e nível de serviço (MIKKOLA; AHOKAS, 2010). Mialhe (1974), indicou que a substituição do trator, ocorre depois de 10 anos de ciclo de vida útil. Balastreire (1987), relatou que a substituição ocorre após 8 anos e 9 meses de trabalho com 1.200 horas trabalhadas por ano. Após esse período, o custo de manutenção e reparo dos tratores, pode reduzir o seu ciclo de vida, o que é geralmente determinado em termos econômicos. De acordo com ASABE (2011), a vida útil estimada para um trator é para 12.000 horas trabalhadas. Barros (1999), calculou o estoque de tratores agrícolas no Brasil e estimou a vida útil em 21 anos. Nos Estados Unidos da América, para cálculo da taxa depreciação é considerado 9 anos a vida de serviço do trator (ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD, 2009). A CONAB, para cálculo dos custos de

produção agrícola, considera a vida útil do trator em 10 anos ou 15.000 horas (BRASIL, 2010). Os fabricantes de máquinas agrícolas também estimam a vida útil de seus produtos. Todavia, para o presente trabalho, foram considerados os dados do ciclo de vida útil para as máquinas como sendo: 1) Obtidos a partir do departamento de pós-venda do fabricante; 2) Obtidos a partir do estudo da CONAB (BRASIL, 2010); 3) Obtidos a partir da norma (ASABE, 2011), referenciados pela Tabela 6. Não há estimativas do ciclo de vida útil, para colhedora e café e pulverizador, mencionados pela norma (ASABE, 2011).

Tabela 6 - Ciclo vida útil das máquinas

Máquinas agrícolas	Ciclo vida útil (horas)		
	Fabricante	MAPA, 2010	ASABE, 2011
Colhedora de café (M1)	6.000	5.000	--
Pulverizador (M2)	13.500	10.000	--
Semeadora-adubadora (M3)	4.680	1.200	1.500
Colhedora de grãos (M4)	7.000	5.000	3.000
Trator 55 kW (M5)	10.000	15.000	12.000
Trator 90 kW (M6)	10.000	15.000	12.000
Trator 172 kW (M7)	10.000	15.000	12.000
Trator 246 kW (M8)	10.000	15.000	12.000

2.3 Resultados e Discussão

Os inventários de materiais, energia incorporada e emissões dos GEE para as máquinas agrícolas foram determinados, abordando as duas fases, a de montagem e a de manutenção em seus ciclos de vida, como indicado pelo fabricante, (BRASIL, 2010) e (ASABE, 2011). 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 (avaliação do ciclo de vida e síntese de energia) que baseiam nos materiais para avaliaram processos e produtos.

Com os índices determinados, as avaliações energéticas na produção de biomassa podem ser recalculadas, para a atualização dos dados referentes a essa fonte de energia, além das indústrias de máquinas agrícolas, planejar a otimização e redução de massa dos seus produtos, para alcançar maior sustentabilidade e mitigar as emissões dos GEE, à atmosfera da Terra.

Todavia, os dados desse projeto estão baseados em máquinas de um determinado fabricante, esses dados podem variar para outras empresas, em função

dos vários modelos comerciais e de particularidades, como os opcionais, que cada máquina possa ter.

A Tabela 7 expressa o fluxo de material diretamente utilizado na montagem da colhedora de café (M1), pulverizador (M2), semeadora-adubadora (M3) e colhedora de grãos (M4). O aço carbono foi o insumo que representou maior demanda em termos de massa 3.582,7 kg (M1), 7.776,8 kg (M2), 3.337,3 kg (M3) e 10.253,9 kg (M4) seguido pelo ferro fundido nodular. A demanda do ferro fundido nodular foi 1.145,6 kg para a semeadora-adubadora (M3) e 498,4 kg para o pulverizador (M2). O principal consumo de ferro fundido nodular na semeadora-adubadora (M3) foi pelos braços das rodas compactadoras e hastes sulcadoras.

Na classe dos materiais não ferrosos, o alumínio obteve maior demanda 311,2 kg para a colhedora de grãos (M4). 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 troca de calor). O cobre representou maior demanda 57,4 kg para o pulverizador (M2), consumido principalmente pelo circuito elétrico.

Na classe dos materiais não metálicos, o nylon 6.6 representou maior demanda 932,2 kg para a colhedora de café (M1), consumido principalmente pelas hastes derriçadoras. A borracha representou maior demanda 1.313,6 kg para a colhedora de grãos (M4). O ABS reciclado representou demanda 27,6 kg e 14,8 kg para a colhedora de grãos (M4) e pulverizador (M2), respectivamente, consumidos pelas peças do interior da cabine. O consumo de 265,8 kg de polietileno alta densidade foi principalmente pelas caixas de adubo e sementes, da semeadora-adubadora (M3). A espuma de poliuretano, proveniente do assento do operador e passageiro, representou 11,0 kg para o pulverizador (M2) e o vidro laminado das janelas da cabine, representou 12,3 kg para a colhedora de grãos (M4). As fibras obtiveram baixas demandas, exceto para 30,8 kg de fibra de vidro e poliéster consumido pelo capô do pulverizador (M2).

Na classe lubrificantes e fluídos, o óleo hidráulico representou maior demanda 190,0 L para o pulverizador (M2) seguido pelo óleo lubrificante 66,2 L para a colhedora de grãos (M4). A graxa obteve maior demanda 5,0 kg para a colhedora de grãos (M4).

Na classe tintas e solventes, a maior demanda de tinta foi para a colhedora de grãos (M4) seguido pelo pulverizador (M2), 17,0 kg e 13,5 kg, respectivamente.

O aço carbono foi o insumo que obteve maior demanda em termos de massa, isso é em função da maioria das peças que compõem as máquinas, usam como matéria-prima o aço carbono.

Tabela 7 - Fluxo de material diretamente utilizado na montagem das máquinas (M1, M2, M3 e M4)

Entrada		Fluxo de material na montagem			
Variável	Unid.	Colhedora de café (M1)	Pulverizador (M2)	Semeadora-adubadora (M3)	Colhedora de grãos (M4)
1 Materiais Ferrosos					
Aço carbono	kg	3.582,7	7.776,8	3.337,3	10.253,9
Ferro fundido nodular	kg	511,4	498,4	1.145,6	2.890,2
Fio de aço	kg	12,5	40,5	7,4	41,0
Aço inox	kg	--	26,5	0,3	--
2 Materiais Não Ferrosos					
Alumínio	kg	35,0	51,7	51,1	311,2
Chumbo	kg	10,1	21,5	--	33,7
Cobre	kg	17,6	57,4	0,5	49,6
Latão	kg	0,2	0,5	--	1,5
Bronze	kg	--	--	--	1,1
3 Materiais Não Metálicos					
Nylon 6.6	kg	932,2	54,7	6,0	221,5
Borracha	kg	226,3	790,4	239,5	1.313,6
Polietileno alta densidade	kg	42,5	351,0	265,8	178,4
PVC	kg	11,9	20,4	33,6	11,2
Polipropileno	kg	9,1	83,5	7,3	51,2
Vidro laminado	kg	6,8	8,4	--	12,3
Espuma poliuretano	kg	4,5	11,0	--	10,7
Pó químico ABC	kg	3,2	4,0	--	4,0
Nitrogênio (N ₂)	kg	--	--	--	9,2
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	kg	1,7	3,6	--	5,6
Filme celulose	kg	1,6	0,6	--	1,4
Papel (impressão de notícia)	kg	1,3	3,2	1,2	2,8
ABS reciclado	kg	1,0	14,8	--	27,6
Poliuretano	kg	1,0	11,0	--	17,4
Fibra vidro e poliéster	kg	--	30,8	--	--
Fibra sintética algodão	kg	--	0,4	--	4,6
Fibra vidro inorgânica	kg	--	--	--	0,3
4 Lubrificantes e Fluidos					
Óleo hidráulico	L	158,0	190,0	14,0	162,5
Óleo lubrificante	L	15,3	15,3	--	66,2
Óleo motor	L	7,5	14,2	--	24,0
Óleo diesel	L	14,0	27,0	--	30,0
Graxa	kg	3,7	2,5	2,0	5,0
Fluido anticorrosivo	kg	1,0	1,0	--	1,0
5 Tintas e Solventes					
Tinta	kg	8,0	13,5	7,0	17,0
Solvente	kg	2,0	3,5	2,0	4,0

Nota: -- Não se aplica dado numérico.

A Tabela 8 expressa o fluxo de material diretamente utilizado, na fase de montagem dos tratores (M5, M6, M7 e M8). Diferente das demais máquinas, o ferro fundido nodular foi à principal entrada em termos de massa 6.280,8 kg e 3.905,0 kg para os tratores (M8) e (M7), respectivamente. O projeto estrutural de tratores têm particularidades específicas em relação às demais máquinas agrícolas, como exemplo: seu chassi estrutural feito de ferro fundido nodular, é completamente diferente do chassi estrutural feito por chapas soldadas, para as demais máquinas avaliadas.

Na classe dos materiais não ferrosos, o alumínio representou demanda 88,1 kg e 29,8 kg para os tratores (M8) e (M5), respectivamente. O alumínio também foi usado nos radiadores de água e de óleo no sistema de arrefecimento. O cobre representou maior demanda 15,4 kg para o trator (M6), consumido principalmente pelo circuito elétrico.

Na classe dos materiais não metálicos, borracha, ABS reciclado e polietileno alta densidade representaram maior demanda para o trator (M8), 697,0 kg, 25,2 kg e 100,7 kg, respectivamente. O menor consumo de espuma de poliuretano foi para o trator (M5) 4,0 kg, proveniente do assento do operador. Fibra sintética de algodão representou maior demanda para o trator (M8) 10,9 kg, consumida pelas peças do interior da cabine.

Na classe lubrificantes e fluídos, os óleos hidráulico e lubrificante representaram maior demanda para o trator (M8), 112,0 L e 28,0 L, respectivamente.

Tabela 8 - Fluxo de material diretamente utilizado na montagem dos tratores (M5, M6, M7, M8)

Entrada		Fluxo de material na montagem			
Variável	Unid.	Trator (M5)	Trator (M6)	Trator (M7)	Trator (M8)
1 Materiais Ferrosos					
Ferro fundido nodular	kg	1.194,6	2.899,7	3.905,0	6.280,8
Aço carbono	kg	843,9	1.340,2	1.963,7	3.374,3
Fio de aço	kg	0,1	2,1	4,4	5,2
Aço inox	kg	--	--	--	2,0
2 Materiais Não Ferrosos					
Alumínio	kg	29,8	30,8	53,5	88,1
Chumbo	kg	10,1	10,1	16,9	16,9
Cobre	kg	4,3	15,4	14,4	14,2
Latão	kg	0,3	0,9	0,7	0,6
3 Materiais Não Metálicos					
Borracha	kg	446,7	504,6	674,9	697,0
ABS reciclado	kg	13,5	--	18,0	25,2
Polietileno alta densidade	kg	10,3	42,0	4,6	100,7
Polipropileno	kg	8,5	37,2	61,4	27,8
Espuma poliuretano	kg	4,0	7,0	7,0	7,0
Vidro laminado	kg	--	24,6	26,2	27,8
Pó químico ABC	kg	3,2	3,2	3,2	3,2
Fibra vidro e poliéster	kg	3,5	3,5	6,5	6,4
PVC	kg	2,4	6,4	15,7	15,2
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	kg	1,7	1,7	2,8	2,8
Filme celulose	kg	1,3	1,6	1,3	2,2
Papel (impressão de notícia)	kg	1,2	1,2	1,2	1,2
Poliuretano	kg	0,7	31,2	2,9	25,3
Nylon 6.6	kg	0,7	2,4	28,1	38,8
Fibra sintética algodão	kg	0,2	6,5	8,4	10,9
Fibra vidro inorgânica	kg	0,1	0,1	0,1	0,1
Fibra vidro e alumínio	kg	--	--	--	6,1
4 Lubrificantes e Fluidos					
Óleo hidráulico	L	28,0	80,0	82,0	112,0
Óleo lubrificante	L	18,5	20,0	20,0	28,0
Óleo motor	L	13,4	15,0	15,0	22,0
Óleo diesel	L	10,0	12,0	12,0	12,0
Graxa	kg	2,0	5,0	5,0	5,0
Fluido anticorrosivo	kg	1,0	1,0	1,0	1,0
5 Tintas e Solventes					
Tinta	kg	3,5	7,0	7,0	7,0
Solvente	kg	1,0	2,0	2,0	2,0

Nota: -- Não se aplica dado numérico.

A Tabela 9 expressa o fluxo de material utilizado na manutenção, durante os ciclos de vida útil indicado pelo fabricante e (BRASIL, 2010) para a colhedora de café (M1). Os valores totais 1.393,8 h e 1.162,5 h de mão-de-obra foram requeridos pelas atividades de substituição das peças. Incorporado nesses valores totais de horas, estão as horas de treinamento referente a entrega técnica, que não são proporcionais em relação ao ciclo de vida útil das máquinas avaliadas. A borracha

principalmente usada pelos pneus representou maior massa 405,4 kg para o ciclo de vida indicado pelo fabricante, pois esse estabelece maior vida útil da máquina, em relação ao ciclo de vida indicado pelo (BRASIL, 2010). O consumo de 30,2 kg e 25,1 kg de filme de celulose foram requeridos pelos filtros de ar, combustível e óleo. O óleo lubrificante representou 43,3 % menor consumo em relação ao óleo hidráulico, usado pelas caixas de agitação, agressão, reversão, além do cubo das rodas de tração, no ciclo de vida útil indicado pelo fabricante. O Nylon 6.6 principalmente usado pelas hastes derrçadoras obteve consumo 312,5 kg no ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010). Os maiores consumos foram para o ciclo de vida útil indicado pelo fabricante, pois esse estabelece a vida útil da máquina em 20 % maior em relação ao indicado pelo (BRASIL, 2010).

Tabela 9 - Fluxo de material utilizado na manutenção durante os ciclos vida útil da colhedora de café (M1)

Entrada		Fluxo de material na vida útil	
Variável	Unid.	Colhedora de café (M1)	
		Fabricante	MAPA, 2010
1 Mão-de-obra			
Mão-de-obra	h	1.393,8	1.162,5
2 Materiais Ferrosos			
Aço carbono	kg	307,3	256,1
Ferro fundido nodular	kg	102,0	85,0
3 Materiais Não Ferrosos			
Alumínio	kg	41,4	34,5
4 Materiais Não Metálicos			
Borracha	kg	405,4	337,8
Nylon 6.6	kg	375,0	312,5
Filme celulose	kg	30,2	25,1
Fibra vidro inorgânica	kg	3,6	3,0
Polipropileno	kg	0,6	0,5
5 Lubrificantes e Fluidos			
Óleo hidráulico	L	526,7	438,9
Óleo lubrificante	L	367,5	306,3
Óleo motor	L	225,0	187,5
Graxa	kg	32,5	27,1

A Tabela 10 expressa o fluxo de material utilizado na manutenção, durante os ciclos de vida útil indicado pelo fabricante e (BRASIL, 2010) para o pulverizador (M2). As demandas de aço carbono 760,3 kg e 563,2 kg são provenientes da substituição de peças de desgastes, além da seção externa da barra de pulverização. O consumo 414,5 kg de polietileno alta densidade no ciclo de vida indicado pelo fabricante foi requerido pelas placas de desgastes e proteções. Na

classe lubrificantes e fluídos, o óleo lubrificante proveniente do sistema de tração obteve menor consumo 192,0 L no ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL 2010), pois esse estabelece menor vida útil para a máquina. O maior consumo de óleo hidráulico foi 1.221,4 L no ciclo de vida indicado pelo fabricante. O ciclo de vida útil indicado pelo fabricante obteve os maiores consumos, pois esse estabelece a vida útil da máquina em 35 % maior em relação ao indicado pelo (BRASIL, 2010).

Tabela 10 - Fluxo de material utilizado na manutenção durante os ciclos vida útil do pulverizador (M2)

Entrada		Fluxo de material na vida útil	
Variável	Unid.	Pulverizador (M2)	
		Fabricante	MAPA, 2010
1 Mão-de-obra			
Mão-de-obra	h	3.582,2	2.655,3
2 Materiais Ferrosos			
Aço carbono	kg	760,3	563,2
3 Materiais Não Ferrosos			
Borracha	kg	873,1	646,7
Polietileno alta densidade	kg	414,5	307,0
Polipropileno	kg	351,0	260,0
Filme celulose	kg	64,2	47,5
Nylon	kg	4,8	3,5
4 Lubrificantes e Fluídos			
Óleo hidráulico	L	1.221,4	904,8
Graxa	kg	796,5	590,0
Óleo motor	L	766,8	568,0
Óleo lubrificante	L	259,2	192,0

A Tabela 11 expressa o fluxo de material utilizado na manutenção, durante os ciclos de vida útil indicado pelo fabricante, (BRASIL, 2010) e (ASABE, 2011) para a semeadora-adubadora (M3). Em termos de massa, o aço carbono obteve maior demanda 1.449,9 kg, 371,8 kg e 464,7 kg que também foram usados pelos discos corta palha, rolamentos e raspadores. Na classe materiais não metálicos, a borracha obteve maior demanda 660,0 kg usado pelas rodas compactadoras, no ciclo de vida indicado pelo fabricante, pois esse estabelece maior vida útil para a máquina. O insumo PVC foi requerido pelo sistema de vácuo e obteve o menor consumo 35,6 kg no ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010), pois esse estabelece menor vida útil para a máquina. Os maiores consumos foram para o ciclo de vida útil indicado pelo fabricante, pois esse estabelece a vida útil da máquina em 290 % maior em relação ao indicado pelo (BRASIL, 2010) e 212 % maior em relação ao indicado pela (ASABE, 2011). Os resultados obtidos para o ciclo de vida útil indicado pela (ASABE, 2011) são 25 % maiores que os indicados pelo (BRASIL, 2010).

Tabela 11 - Fluxo de material utilizado na manutenção durante os ciclos vida útil da semeadora-adubadora (M3)

Entrada		Fluxo de material na vida útil		
Variável	Unid.	Semeadora-adubadora (M3)		
		Fabricante	MAPA, 2010	ASABE, 2011
1 Mão-de-obra				
Mão-de-obra	h	798,7	208,7	259,6
2 Materiais Ferrosos				
Aço carbono	kg	1.449,9	371,8	464,7
3 Materiais Não Ferrosos				
Borracha	kg	660,0	169,2	211,5
PVC	kg	138,8	35,6	44,5
Polietileno alta densidade	kg	60,8	15,6	19,5
Polipropileno	kg	28,6	7,3	9,2
4 Lubrificantes e Fluidos				
Óleo lubrificante	L	277,7	71,2	89,0
Graxa	kg	205,1	52,6	65,8

A Tabela 12 expressa o fluxo de material utilizado na manutenção, durante os ciclos de vida útil indicado pelo fabricante, (BRASIL, 2010) e (ASABE, 2011) para a colhedora de grãos (M4). Na classe materiais não metálicos, a borracha obteve a maior demanda 1.175,3 kg que também foram usados pelas correias e pneus no ciclo de vida útil indicado pelo fabricante, pois esse estabelece maior vida útil para a máquina em relação aos demais ciclos de vida útil. O polietileno alta densidade obteve consumo 23,0 kg no ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010) usado pelas peças no sistema de arrefecimento. O consumo 13,8 kg de alumínio no ciclo de vida útil indicado pela (ASABE, 2011) foi requerido pelos componentes do filtro separado de água do combustível. Na classe lubrificantes e fluidos, o óleo hidráulico obteve maiores consumos 1.895,8 L, 1.354,2 L e 812,5 L em relação ao demais insumos. Os maiores consumos foram para o ciclo de vida útil indicado pelo fabricante, pois esse estabelece a vida útil da máquina em 40 % maior em relação ao indicado pelo (BRASIL, 2010) e 133,3 % maior em relação ao indicado pela (ASABE, 2011). Os resultados obtidos para o ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010) são 66,6 % maiores que os indicados pela (ASABE, 2011).

Tabela 12 - Fluxo de material utilizado na manutenção durante os ciclos vida útil da colhedora de grãos (M4)

Entrada		Fluxo de material na vida útil		
Variável	Unid.	Colhedora de grãos (M4)		
		Fabricante	MAPA, 2010	ASABE, 2011
1 Mão-de-obra				
Mão-de-obra	h	1.010,6	721,5	438,1
2 Materiais Ferrosos				
Aço carbono	kg	199,5	142,5	85,5
3 Materiais Não Ferrosos				
Alumínio	kg	32,2	23,0	13,8
4 Materiais Não Metálicos				
Borracha	kg	1.175,3	839,5	503,7
Polietileno alta densidade	kg	35,0	25,0	15,0
Filme celulose	kg	20,5	14,7	8,8
Fibra vidro inorgânica	kg	1,4	1,0	0,6
Polipropileno	kg	0,5	0,3	0,2
5 Lubrificantes e Fluídos				
Óleo hidráulico	L	1.895,8	1.354,2	812,5
Óleo motor	L	560,0	400,0	240,0
Óleo lubrificante	L	536,7	383,3	230,0
Graxa	kg	478,3	341,7	205,0
Fluído anticorrosivo	kg	291,7	208,3	125,0

As Tabelas 13, 14, 15 e 16 expressam os fluxos de materiais utilizados na manutenção, durante os ciclos de vida útil indicado pelo fabricante, (BRASIL, 2010) e (ASABE, 2011) para os tratores (M5, M6, M7 e M8), respectivamente. O menor valor de horas de mão-de-obra 1.133,8 h foi requerido pelas atividades de manutenção para o trator (M5) no ciclo de vida útil indicado pelo fabricante, devido a sua manutenção simples. Não foi identificada diferença entre as horas de mão-de-obra para as manutenções dos tratores (M6 e M7), pois as atividades de manutenção são as mesmas.

Não há diferença pela magnitude no consumo dos insumos como: aço carbono, alumínio, fibra de vidro inorgânica e polipropileno para os tratores, pois esses insumos são usados pelos filtros de ar, combustível e óleo, exceto para o consumo de filme de celulose, que além dos filtros é também usado pelo filtro purificador de ar da cabine dos tratores (M6, M7 e M8). A borracha dos pneus representou mesma massa para os tratores (M7 e M8), pois eles utilizam os mesmos pneus para a configuração do trator avaliada. Na classe lubrificantes e fluídos, o óleo hidráulico obteve menor demanda 275,0 L para o trator (M5) no ciclo de vida útil indicado pelo fabricante em relação aos demais tratores, devido a simplicidade do sistema hidráulico. No entanto a maior demanda de óleo hidráulico 1.400,0 L foi para o trator

(M8) no ciclo de vida indicado pelo (BRASIL, 2010), devido o sistema hidráulico apresentar maior capacidade para execução de trabalhos severos. O óleo do motor apresentou demandas bem distintas entre os tratores (M5 e M8) 535,0 L e 1.100,0 L no ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010), respectivamente. A diferença em termos de potência desses tratores foi 347,3 % (55 kW e 246 kW) no entanto, a diferença em termos de consumo de óleo do motor foi 105,6 % maior para o trator (M8). Considerado a demanda do óleo lubrificante que também foi usado pela tração dianteira e cubo das rodas para os tratores (M6 e M7), a diferença em termos de potência desse tratores foi 91,1 % (90 kW e 172 kW) no entanto, a diferença em termos de consumo de óleo lubrificante foi 5,1 % maior para o trator (M7) no ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010). Tratores com maior potência demandam maior quantidade de óleos do motor e lubrificante, mas a proporção não é a mesma em relação ao aumento de potência. A demanda do fluido anticorrosivo usando no sistema de arrefecimento, para prevenir a corrosão do motor diesel foi a mesma para os tratores (M6, M7 e M8). A graxa representou menor demanda 118,5 kg para o trator (M8) no ciclo de vida útil indicado pelo fabricante, pois esse estabelece menor vida útil para a máquina em relação aos demais ciclos de vida útil.

O ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010) obteve os maiores consumo pois esse estabelece a vida útil da máquina em 50 % maior em relação ao indicado pelo fabricante e 25 % maior em relação ao indicado pela (ASABE, 2011). Os resultados obtidos para o ciclo de vida útil indicado pela (ASABE, 2011) são 20 % maiores que os indicados pelo fabricante.

Tabela 13 - Fluxo de material utilizado na manutenção durante os ciclos vida útil do trator (M5)

Entrada		Fluxo de material na vida útil		
Variável	Unid.	Trator (M5)		
		Fabricante	MAPA, 2010	ASABE, 2011
1 Mão-de-obra				
Mão-de-obra	h	1.133,8	1.699,0	1.359,9
2 Materiais Ferrosos				
Aço carbono	kg	92,3	138,5	110,8
3 Materiais Não Ferrosos				
Alumínio	kg	11,5	17,3	13,8
4 Materiais Não Metálicos				
Borracha	kg	885,7	1.328,5	1.062,8
Filme celulose	kg	29,3	44,0	35,2
Fibra vidro inorgânica	kg	6,7	10,0	8,0
Polipropileno	kg	0,2	0,3	0,2
5 Lubrificantes e Fluidos				
Óleo motor	L	356,7	535,0	428,0
Óleo hidráulico	L	275,0	412,5	330,0
Óleo lubrificante	L	142,5	213,8	171,0
Fluido anticorrosivo	kg	111,7	167,5	134,0
Graxa	kg	100,0	150,0	120,0

Tabela 14 - Fluxo de material utilizado na manutenção durante os ciclos vida útil do trator (M6)

Entrada		Fluxo de material na vida útil		
Variável	Unid.	Trator (M6)		
		Fabricante	MAPA, 2010	ASABE, 2011
1 Mão-de-obra				
Mão-de-obra	h	1.213,8	1.819,7	1.455,8
2 Materiais Ferrosos				
Aço carbono	kg	92,3	138,5	110,8
3 Materiais Não Ferrosos				
Alumínio	kg	11,5	17,3	13,8
4 Materiais Não Metálicos				
Borracha	kg	957,7	1.436,5	1.149,2
Filme celulose	kg	30,2	45,3	36,2
Fibra vidro inorgânica	kg	6,7	10,0	8,0
Polipropileno	kg	0,2	0,3	0,2
5 Lubrificantes e Fluidos				
Óleo hidráulico	L	666,7	1.000,0	800,0
Óleo motor	L	433,3	650,0	520,0
Óleo lubrificante	L	194,2	291,3	233,0
Fluido anticorrosivo	kg	187,5	281,3	225,0
Graxa	kg	102,5	153,8	123,0

Tabela 15 - Fluxo de material utilizado na manutenção durante os ciclos vida útil do trator (M7)

Entrada		Fluxo de material na vida útil		
Variável	Unid.	Trator (M7)		
		Fabricante	MAPA, 2010	ASABE, 2011
1 Mão-de-obra				
Mão-de-obra	h	1.213,8	1.818,9	1.455,8
2 Materiais Ferrosos				
Aço carbono	kg	92,3	138,5	110,8
3 Materiais Não Ferrosos				
Alumínio	kg	11,5	17,3	13,8
4 Materiais Não Metálicos				
Borracha	kg	1.241,7	1.862,5	1.490,0
Filme celulose	kg	30,2	45,3	36,2
Fibra vidro inorgânica	kg	6,7	10,0	8,0
Polipropileno	kg	0,2	0,3	0,2
5 Lubrificantes e Fluidos				
Óleo hidráulico	L	683,3	1.025,0	820,0
Óleo motor	L	500,0	750,0	600,0
Óleo lubrificante	L	204,2	306,3	245,0
Fluido anticorrosivo	kg	187,5	281,3	225,0
Graxa	kg	108,5	162,8	130,2

Tabela 16 - Fluxo de material utilizado na manutenção durante os ciclos vida útil do trator (M8)

Entrada		Fluxo de material na vida útil		
Variável	Unid.	Trator (M8)		
		Fabricante	MAPA, 2010	ASABE, 2011
1 Mão-de-obra				
Mão-de-obra	h	1.227,8	1.839,9	1.472,6
2 Materiais Ferrosos				
Aço carbono	kg	92,3	138,5	110,8
3 Materiais Não Ferrosos				
Alumínio	kg	11,5	17,3	13,8
4 Materiais Não Metálicos				
Borracha	kg	1.241,7	1.862,5	1.490,0
Filme celulose	kg	30,2	45,3	36,2
Fibra vidro inorgânica	kg	6,7	10,0	8,0
Polipropileno	kg	0,2	0,3	0,2
5 Lubrificantes e Fluidos				
Óleo hidráulico	L	933,3	1.400,0	1.120,0
Óleo motor	L	733,3	1.100,0	880,0
Óleo lubrificante	L	226,7	340,0	272,0
Fluido anticorrosivo	kg	187,5	281,3	225,0
Graxa	kg	118,5	177,8	142,2

A Tabela 17 expressa a energia incorporada nos insumos diretamente utilizados na montagem da colhedora de café (M1), pulverizador (M2), semeadora-

adubadora (M3) e colhedora de grãos (M4). O aço carbono foi o insumo que representou maior demanda de energia incorporada 528.278,9 MJ (61,7 %) seguido pelo ferro fundido nodular 94.393,9 (11,0 %) para a colhedora de grãos (M4). O fio de aço utilizado no corpo das mangueiras hidráulicas para garantir resistência contra a ruptura, resultou baixa demanda 237,9 MJ (0,1 %) para a colhedora de café (M1).

Na classe dos materiais não ferrosos, o alumínio principalmente utilizado pelos radiadores de água e óleo obteve maior demanda de energia incorporada 8.080,4 MJ (2,9 %) e 11.947,3 MJ (2,2 %) para a colhedora de café (M1) e pulverizador (M2), respectivamente.

Na classe materiais não metálicos, a borracha obteve maior demanda de energia incorporada 69.555,2 MJ (12,6 %) seguido pelo polietileno alta densidade 18.410,5 (3,3 %) e polipropileno 9.198,1 (1,7 %) para o pulverizador (M2). Também para as demais máquinas, a borracha obteve maior demanda energética utilizada principalmente pelos pneus.

O consumo de nylon 6.6 por unidade de colhedora de café (M1) resultou alto valor de energia incorporada 29.642,9 MJ (10,8 %). O consumo de vidro laminado das janelas da cabine resultou baixa demanda energética 253,2 MJ comparado com a espuma de poliuretano do assento do operador 1.211,8 MJ para o pulverizador (M2). Ácido sulfúrico (H_2SO_4) proveniente do acumulador elétrico (bateria) resultou baixa demanda de energia incorporada 13,9 MJ para a colhedora de grãos (M4).

Por outro lado, quando se usa 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. Comparando a demanda energética do ABS reciclado 34,2 MJ e espuma de poliuretano 1.178,7 MJ para a colhedora de grãos (M4), se torna evidente a importância do uso de materiais reciclados, para redução do consumo de energia incorporada no produto, além de mitigar as emissões dos GEE.

Na classe lubrificantes e fluídos, o óleo hidráulico resultou maior demanda de energia incorporada 7.083,2 MJ (1,3 %) para o pulverizador (M2). A graxa usado para lubrificar os pontos de atrito sólido reduzindo o desgaste entre as superfícies, resultou 108,5 MJ e 86,8 MJ para o pulverizador (M2) e semeadora-adubadora (M3), respectivamente.

Na classe tintas e solventes, os insumos tinta e solvente resultaram baixa demanda energética 17,4 MJ e 5,0 MJ para a semeadora-adubadora (M3), respectivamente.

Em relação a porcentagem total de energia incorporada, vários insumos tiveram demanda menor que 0,1 %, como exemplo: latão, papel (impressão de notícia), pó químico ABC do extintor de incêndio, fluído anticorrosivo, tinta e solvente.

Nos insumos diretos, a colhedora de grãos (M4) resultou maior demanda de energia incorporada 856.234,0 MJ atribuindo a menor demanda, para a semeadora-adubadora (M3) 258.431,8 MJ. Além da diferença da colhedora de grãos (M4) ter órgão de propulsão e transmissão em relação a semeadora-adubadora (M3) a diferença em termos de massa foi aproximadamente 209 % e em termos de energia incorporada foi aproximadamente 231,4 % maior para a colhedora de grãos (M4).

Tabela 17 - Energia incorporada insumos diretamente utilizados na montagem máquinas (M1, M2, M3, M4)

Entrada	Energia incorporada na montagem							
	Colhedora de café (M1)		Pulverizador (M2)		Semeadora-adubadora (M3)		Colhedora de grãos (M4)	
	MJ	%	MJ	%	MJ	%	MJ	%
1 Materiais Ferrosos								
Aço carbono	184.580,7	67,4	400.660,7	72,6	171.937,7	66,5	528.278,9	61,7
Ferro fundido nodular	16.703,3	6,1	16.277,7	2,9	37.415,2	14,5	94.393,9	11,0
Fio de aço	237,9	0,1	774,1	0,1	141,1	0,1	783,5	0,1
Aço inox	--	--	2.169,6	0,4	21,3	0,0	-	-
2 Materiais Não Ferrosos								
Alumínio	8.080,4	2,9	11.947,3	2,2	11.808,7	4,6	71.882,6	8,4
Cobre	2.461,9	0,9	8.033,9	1,5	64,0	0,0	6.941,9	0,8
Chumbo	175,2	0,1	372,9	0,1	--	--	584,0	0,1
Latão	31,9	0,0	71,1	0,0	--	--	212,7	0,0
Bronze	--	--	--	--	--	--	158,8	0,0
3 Materiais Não Metálicos								
Nylon 6.6	29.642,9	10,8	1.740,7	0,3	191,1	0,1	7.044,5	0,8
Borracha	19.914,4	7,3	69.555,2	12,6	21.076,0	8,2	115.600,0	13,5
Poliétileno alta densidade	2.231,4	0,8	18.410,5	3,3	13.939,6	5,4	9.356,5	1,1
Polipropileno	1.002,5	0,4	9.198,1	1,7	807,7	0,3	5.637,5	0,7
Espuma poliuretano	495,7	0,2	1.211,8	0,2	--	--	1.178,7	0,1
Filme celulose	300,3	0,1	111,7	0,0	--	--	277,2	0,0
Vidro laminado	205,5	0,1	253,2	0,0	--	--	370,4	0,0
Poliuretano	110,2	0,0	1.211,8	0,2	--	--	1.911,3	0,2
PVC	126,4	0,0	217,0	0,0	357,3	0,1	119,0	0,0
Papel (impressão de notícia)	43,0	0,0	111,4	0,0	41,3	0,0	96,3	0,0
ABS reciclado	1,2	0,0	18,3	0,0	--	--	34,2	0,0
Nitrogênio (N ₂)	--	--	--	--	--	--	15,4	0,0
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	4,2	0,0	8,8	0,0	--	--	13,9	0,0
Pó químico ABC	7,9	0,0	9,9	0,0	--	--	9,9	0,0
Fibra de vidro e poliéster	--	--	24,3	0,0	--	--	--	--
Fibra sintética algodão	--	--	15,9	0,0	--	--	207,4	0,0
Fibra vidro inorgânica	--	--	--	--	--	--	0,2	0,0
4 Lubrificantes e Fluidos								
Óleo hidráulico	5.890,2	2,2	7.083,2	1,3	521,9	0,2	6.058,0	0,7
Óleo diesel	668,9	0,2	1.289,6	0,2	--	--	1.433,4	0,2
Óleo lubrificante	568,5	0,2	568,5	0,1	--	--	2.467,9	0,3
Óleo motor	279,6	0,1	529,4	0,1	--	--	894,7	0,1
Graxa	160,5	0,1	108,5	0,0	86,8	0,0	216,9	0,0
Fluido anticorrosivo	2,3	0,0	2,3	0,0	--	--	2,3	0,0
5 Tintas e Solventes								
Tinta	19,8	0,0	33,5	0,0	17,4	0,0	42,2	0,0
Solvente	5,0	0,0	8,7	0,0	5,0	0,0	9,9	0,0
Total	273.951,8	100,0	552.029,5	100,0	258.431,8	100,0	856.234,0	100,0

Notas: -- Não se aplica dado numérico; 0,0 Dado numérico igual a zero resultante de arredondamento de dado numérico originalmente positivo.

A Tabela 18 expressa a energia incorporada nos insumos diretamente utilizados na montagem dos tratores (M5, M6, M7 e M8). Na classe materiais ferrosos, o ferro fundido nodular representou maior demanda de energia incorporada 40,3 %; 40,0 % e 42,3 % seguido pelo aço carbono 29,4 %, 31,7 % e 35,8 % para os tratores (M6, M7 e M8), respectivamente. A maior demanda de energia incorporada para o trator (M5) foi para o aço carbono 32,3 %. O aço inox apresentou demanda energética 163,5 MJ para o trator (M8) consumido por uma tela de proteção do sistema de exaustão.

Na classe dos materiais não ferrosos, o alumínio obteve maior demanda de energia incorporada 6.874,6 MJ (5,1 %) para o trator (M5). A demanda energética do cobre, consumido principalmente pelo circuito elétrico resultou entre 0,4 % a 0,9 % do total de energia, para os tratores (M5, M6, M7 e M8). A demanda energética do cobre 2.157,8 MJ foi semelhante a do polietileno alta densidade 2.200,7 MJ, para o trator (M6). O latão consumido pelos terminais das conexões do circuito elétrico resultou baixa demanda energética para o trator (M5) 35,8 MJ.

Na classe materiais não metálicos, a borracha representou demanda energética 39.306,2 MJ (29,2 %) e 44.407,1 MJ (18,9 %) para os tratores (M5) e (M6), respectivamente. O polipropileno resultou alto valor de energia incorporada 6.762,7 MJ comparado com o vidro laminado 791,2 MJ, o qual foi utilizado nas janelas da cabine, pelo trator (M7).

O ABS reciclado apresentou baixa demanda energética para as máquinas prevalecendo a de outros polímeros, como polipropileno e poliuretano (Tabelas 17 e 18). Talvez peças fabricadas com esses polímeros, possam ser fabricadas em ABS reciclado, não afetando a qualidade e propriedades das peças, além de economizar energia incorporada e reduzir as emissões globais.

O pó químico ABC proveniente do extintor de incêndio apresentou baixa demanda energética 7,9 MJ para os tratores, bem como, a demanda energética 4,8 MJ da fibra de vidro e alumínio do trator (M8), proveniente de proteções do sistema de exaustão.

Na classe lubrificantes e fluídos, o óleo hidráulico representou menor demanda energética 1.043,8 MJ para o trator (M5), devido à simplicidade mecânica do sistema em relação aos demais tratores. Todavia, a maior demanda energética 4.175,4 MJ desse insumo foi para o trator (M8). A demanda energética do óleo lubrificante ficou entre 689,7 MJ a 1.043,8 MJ para os tratores (M5) e (M8), respectivamente.

A graxa e fluído anticorrosivo apresentaram baixa demanda energética, aproximadamente 0,1 % cada.

Na classe tintas e solventes, a tinta apresentou maior demanda energética em relação ao solvente entre 8,7 MJ e 17,4 MJ. Porém, na percentagem total de energia incorporada, representou baixa demanda 0,1 %.

Não está claro, que os sistemas de produção estão se tornando mais eficiente em termos de energia, devido aos novos materiais utilizados apresentarem mais energia incorporada do que o aço (MIKKOLA; AHOKAS, 2010). Isto ficou evidente neste estudo, pois a demanda energética do polietileno alta densidade 5.280,1 MJ foi 285,5 % menor que a demanda energética do alumínio 20.354,8 MJ, para o trator (M8).

Outros materiais, como fibra sintética de algodão das peças da cabine, fios de aço das mangueiras hidráulicas, representaram baixa demanda de energia, aproximadamente 0,1 % cada.

Nos insumos diretos, o trator (M8) resultou maior demanda de energia incorporada 485.307,9 MJ atribuindo menor demanda para o trator (M5) 134.656,7 MJ. A diferença em termos de massa do trator (M8) para o trator (M5) foi aproximadamente 313,2 % e em termos de energia incorporada foi aproximadamente 260,4 %.

As máquinas agrícolas não diferem muito em termos de grupos distintos de materiais. Os principais materiais a serem avaliados são: aço carbono, ferro fundido nodular, alumínio, borracha, polietileno e polipropileno alta densidade, que foram identificados como os maiores consumidores de energia incorporada nos insumos diretos, utilizados na montagem das máquinas. Portanto, esses valores podem ser utilizados como valores iniciais, para novos estudos que avaliam energia incorporada para outras máquinas e implementos agrícolas.

Tabela 18 - Energia incorporada insumos diretamente utilizados na montagem dos tratores (M5, M6, M7 e M8)

Entrada	Energia incorporada na montagem							
	Trator (M5)		Trator (M6)		Trator (M7)		Trator (M8)	
	MJ	%	MJ	%	MJ	%	MJ	%
1 Materiais Ferrosos								
Ferro fundido nodular	39.015,6	29,0	94.705,0	40,3	127.535,7	40,0	205.130,3	42,3
Aço carbono	43.477,7	32,3	69.048,4	29,4	101.170,9	31,7	173.843,8	35,8
Fio de aço	1,7	0,0	40,1	0,0	84,2	0,0	99,3	0,0
Aço inox	--	--	--	--	--	--	163,5	0,0
2 Materiais Não Ferrosos								
Alumínio	6.874,6	5,1	7.105,6	3,0	12.359,4	3,9	20.354,8	4,2
Cobre	599,8	0,4	2.157,8	0,9	2.009,1	0,6	1.983,4	0,4
Chumbo	175,2	0,1	175,2	0,1	291,8	0,1	292,0	0,1
Latão	35,8	0,0	125,3	0,1	95,5	0,0	86,4	0,0
3 Materiais Não Metálicos								
Borracha	39.306,2	29,2	44.407,1	18,9	59.395,0	18,6	61.339,1	12,6
Polipropileno	936,4	0,7	4.098,8	1,7	6.762,7	2,1	3.065,5	0,6
Polietileno alta densidade	537,8	0,4	2.200,7	0,9	242,4	0,1	5.280,1	1,1
Espuma poliuretano	440,6	0,3	771,1	0,3	771,1	0,2	771,1	0,2
Vidro laminado	--	--	743,4	0,3	791,2	0,2	839,2	0,2
Filme celulose	242,6	0,2	300,3	0,1	250,3	0,1	431,3	0,1
Poliuretano	74,6	0,1	3.437,0	1,5	317,7	0,1	2.787,0	0,6
PVC	25,1	0,0	68,3	0,0	167,0	0,1	161,7	0,0
Papel (impressão de notícia)	41,3	0,0	41,3	0,0	41,3	0,0	41,3	0,0
Nylon 6.6	21,8	0,0	75,6	0,0	894,2	0,3	1.233,8	0,3
Pó químico ABC	7,9	0,0	7,9	0,0	7,9	0,0	7,9	0,0
ABS reciclado	16,7	0,0	--	--	22,3	0,0	31,2	0,0
Fibra sintética algodão	9,1	0,0	295,5	0,1	380,4	0,1	493,8	0,1
Fibra vidro e poliéster	2,8	0,0	2,8	0,0	5,1	0,0	5,1	0,0
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	4,2	0,0	4,2	0,0	6,9	0,0	6,9	0,0
Fibra vidro inorgânica	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
Fibra vidro e alumínio	--	--	--	--	--	--	4,8	0,0
4 Lubrificantes e Fluidos								
Óleo hidráulico	1.043,8	0,8	2.982,4	1,3	3.057,0	1,0	4.175,4	0,9
Óleo lubrificante	689,7	0,5	745,6	0,3	745,6	0,2	1.043,8	0,2
Óleo diesel	477,8	0,4	573,4	0,2	573,4	0,2	573,4	0,1
Óleo motor	497,7	0,4	559,2	0,2	559,2	0,2	820,2	0,2
Graxa	86,8	0,1	216,9	0,1	216,9	0,1	216,9	0,0
Fluído anticorrosivo	2,3	0,0	2,3	0,0	2,3	0,0	2,3	0,0
5 Tintas e Solventes								
Tinta	8,7	0,1	17,4	0,0	17,4	0,0	17,4	0,0
Solvente	2,5	0,0	5,0	0,0	5,0	0,0	5,0	0,0
Total	134.656,7	100,0	234.913,6	100,0	318.778,9	100,0	485.307,9	100,0

Notas: -- Não se aplica dado numérico; 0,0 Dado numérico igual a zero resultante de arredondamento de dado numérico originalmente positivo.

A Tabela 19 expressa a energia incorporada nos insumos utilizados na manutenção, durante os ciclos de vida útil para colhedora de café (M1), pulverizador (M2), semeadora-adubadora (M3) e colhedora de grãos (M4). As demandas de

energia incorporada foram: na classe materiais ferrosos, o aço carbono (12,3 %) para a colhedora de café (M1); na classe materiais não metálicos, a borracha (39,4 %) para a colhedora de grãos (M4) e na classe lubrificantes e fluídos, o óleo hidráulico (14,4 %) seguido pela graxa (11,0 %) para o pulverizador (M2). Apesar do uso da máquina ser dissemelhante no setor agrícola, o pulverizador requer (2,5 % e 24,4%) na demanda energética das horas de mão-de-obra e borracha, valores próximos à percentagem para a colhedora de café (M1) (2,4 % e 27,8 %), respectivamente. A colhedora de grãos (M4) requer (27,0 %) na demanda de energia do óleo hidráulico, enquanto a colhedora de café (M1) requer (15,3 %).

Todavia, o ciclo de vida útil indicado pelo fabricante é o que mais demanda energia incorporada para as máquinas. Para a colhedora de café (M1) (128.398,8 MJ) é 20 % maior em relação ao indicado pelo (BRASIL, 2010) (107.001,1 MJ); para o pulverizador (M2) (315.131,5 MJ) é 35 % maior em relação ao indicado pelo (BRASIL, 2010) (233.434,8 MJ); para a semeadora-adubadora (M3) (161.600,2 MJ) é 290 % maior em relação ao indicado pelo (BRASIL, 2010) (41.444,6 MJ) e 212 % maior em relação ao indicado pela (ASABE, 2011) (51.802,9 MJ); para a colhedora de grãos (M4) (262.185,9 MJ) é 40 % maior em relação ao indicado pelo (BRASIL, 2010) (187.277,5 MJ) e 133,3 % maior em relação ao indicado pela (ASABE, 2011) (112.377,3 MJ).

A Tabela 20 expressa a energia incorporada nos insumos utilizados na manutenção, durante os ciclos de vida útil para os tratores (M5, M6, M7 e M8). As maiores demandas de energia incorporada entre os tratores foram: na classe materiais ferrosos, o aço carbono (3,7 %); na classe materiais não metálicos, a borracha (61,4 %) para o trator (M5) e na classe lubrificantes e fluídos, o óleo hidráulico (17,3 %) seguido pelo óleo motor (13,6 %) para o trator (M8). O trator (M7) obteve 18,7 % maior demanda energética que o trator (M6) (182.042,0 MJ e 153.310,3 MJ), respectivamente, no ciclo de vida útil indicado pelo fabricante. A demanda energética do trator (M6) foi 20,7 % maior em relação ao trator (M5) no ciclo de vida útil indicado pela (ASABE, 2011).

Todavia, o ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010) é o que mais demanda energia incorporada para os tratores, pois é 50 % maior em relação ao indicado pelo fabricante e 25 % maior em relação ao indicado pela (ASABE, 2011).

Tabela 19 - Energia incorporada insumos utilizados na manutenção durante os ciclos de vida útil máquinas (M1, M2, M3 e M4)

Entrada	Energia incorporada no ciclo de vida útil (%)			
	Colhedora de café (M1)	Pulverizador (M3)	Semeadora-adubadora (M2)	Colhedora de grãos (M4)
1 Mão-de-obra				
Mão-de-obra	2,4	2,5	1,1	0,8
2 Materiais Ferrosos				
Aço carbono	12,3	12,4	46,2	3,9
Ferro fundido nodular	2,6	--	--	--
3 Materiais Não Ferrosos				
Alumínio	7,4	--	--	2,8
4 Materiais Não Metálicos				
Borracha	27,8	24,4	35,9	39,4
Filme celulose	4,5	3,9	--	1,5
Polipropileno	0,1	12,3	1,9	0,0
Polietileno alta densidade	--	6,9	2,0	0,7
Nylon 6.6	9,3	0,0	--	--
PVC	--	--	0,9	--
Fibra vidro inorgânica	0,0	--	--	0,0
5 Lubrificantes e Fluidos				
Óleo hidráulico	15,3	14,4	--	27,0
Óleo lubrificante	10,7	3,1	6,4	7,6
Óleo motor	6,5	9,1	--	8,0
Graxa	1,1	11,0	5,5	7,9
Fluído anticorrosivo	--	--	--	0,3
Total	100,0	100,0	100,0	100,0
Fabricante (MJ)	128.398,8	315.131,5	161.600,2	262.185,9
MAPA, 2010 (MJ)	107.001,1	233.434,8	41.444,6	187.277,5
ASABE, 2011 (MJ)	--	--	51.802,9	112.377,3

Notas: -- Não se aplica dado numérico; 0,0 Dado numérico igual a zero resultante de arredondamento de dado numérico originalmente positivo.

Tabela 20 - Energia incorporada insumos utilizados na manutenção durante os ciclos de vida útil dos tratores (M5, M6, M7 e M8)

Entrada	Energia incorporada no ciclo de vida útil (%)			
	Trator (M5)	Trator (M6)	Trator (M7)	Trator (M8)
1 Mão-de-obra				
Mão-de-obra	2,0	1,7	1,5	1,3
2 Materiais Ferrosos				
Aço carbono	3,7	3,1	2,6	2,3
3 Materiais Não Ferrosos				
Alumínio	2,1	1,7	1,5	1,3
4 Materiais Não Metálicos				
Borracha	61,4	55,0	60,0	54,3
Filme celulose	4,4	3,8	3,2	2,9
Fibra vidro inorgânica	0,0	0,0	0,0	0,0
Polipropileno	0,0	0,0	0,0	0,0
5 Lubrificantes e Fluidos				
Óleo hidráulico	8,1	16,2	14,0	17,3
Óleo motor	10,5	10,6	10,2	13,6
Óleo lubrificante	4,2	4,7	4,2	4,2
Graxa	3,4	2,9	2,6	2,6
Fluído anticorrosivo	0,2	0,3	0,2	0,2
Total	100,0	100,0	100,0	100,0
Fabricante (MJ)	126.970,3	153.310,3	182.042,0	201.364,1
MAPA, 2010 (MJ)	190.454,8	229.966,6	273.062,4	302.045,5
ASABE, 2011 (MJ)	152.365,4	183.973,3	218.451,4	241.637,9

Notas: -- Não se aplica dado numérico; 0,0 Dado numérico igual a zero resultante de arredondamento de dado numérico originalmente positivo.

Em termos de energia, o trabalho humano exigido é pequeno em comparação com outros fatores de produção, concordando com os encontrados por Bridges e Smith (1979) e Mantoam et al. (2014). Neste estudo, o total de energia na mão-de-obra resultou entre 0,8 % a 2,5 % para as máquinas (Tabelas 19 e 20). Diante dessa baixa participação, não é necessário levar em conta as horas de mão-de-obra para fins de concretização de energia, quando se considera o ciclo de vida de uma máquina agrícola. Porém, a análise separada dessa energia poderá mostrar com detalhe a operação da fábrica e fornecer ao gerente industrial, subsídios para melhoria do desempenho da fábrica e redução no consumo energia na mão-de-obra, como relatado por Boustead e Hancock (1979).

Nos insumos da manutenção, a borracha foi a que obteve maior representatividade em termos de massa e energia incorporada. No entanto, o óleo hidráulico usado no circuito hidráulico foi o segundo maior consumidor de energia incorporada nas máquinas.

A energia demandada na manutenção é proporcional às horas de vida útil. Usando os valores totais de energia demandada nos ciclos de vida útil, indicado pelo

fabricante, (MAPA, 2010) e (ASABE, 2011) informados nas Tabelas (19 e 20), além de considerar os ciclos de vida útil informado na Tabela (6) e assumido a mesma frequência de troca das peças para tempo de vida útil diferentes. A Tabela 21 expressa as equações para fins de cálculo da energia demandada na manutenção, em função das horas de vida útil.

Tabela 21 - Energia demandada na manutenção em função das horas de vida útil

Máquina	Energia demandada na manutenção*
Colhedora de café (M1)	MJ = 21,3976 h + 12,9316
Pulverizador (M2)	MJ = 23,3419 h + 15,6571
Semeadora-adubadora (M3)	MJ = 34,5275 h + 11,6726
Colhedora de grãos (M4)	MJ = 37,4522 h + 19,4833
Trator (M5)	MJ = 12,6969 h + 2,1553
Trator (M6)	MJ = 15,3313 h - 2,1356
Trator (M7)	MJ = 18,2040 h + 2,0158
Trator (M8)	MJ = 20,1362 h + 2,1158

* $R^2 = 1,0$; h = hora

A Tabela 22 expressa a energia incorporada ao longo do ciclo de vida útil para as máquinas. A maior demanda de energia incorporada para a colhedora de café (M1) foi nos insumos diretos 273.951,8 MJ. Quando usado o ciclo vida útil indicado pelo fabricante, a energia incorporada na manutenção foi 128.398,8 MJ (31,9 %).

Para o pulverizador (M2), semeadora-adubadora (M3) e colhedora de grãos (M4) a maior demanda de energia incorporada foi para os insumos diretos 552.029,5 MJ, 258.431,8 MJ e 856.234,0 MJ, respectivamente. Quando usado o ciclo vida útil indicado pelo fabricante, a energia incorporada na manutenção dessas máquinas foi 315.131,5 MJ (36,3 %), 161.600,2 MJ (38,5 %) e 262.185,9 MJ (23,4 %), respectivamente.

Para o trator (M5), a maior demanda de energia incorporada foi para os insumos da manutenção, no ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010) 190.454,8 MJ (58,6 %). Nos insumos diretos, a energia incorporada foi 134.656,7 MJ. Para os tratores (M6, M7 e M8), a maior demanda de energia incorporada foi para os insumos diretos 234.913,6 MJ, 318.778,9 MJ e 485.307,9 MJ, respectivamente. Quando usado o ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010), a energia incorporada na manutenção dessas máquinas foi 229.966,6 MJ (49,5 %), 273.062,4 MJ (46,1 %) e 302.045,5 (38,4 %), respectivamente.

Todavia, a principal entrada de energia incorporada nas máquinas foi para os insumos diretos, discordando com os mencionados por Mantoam et al. (2014) para colhedoras de cana-de-açúcar. A demanda de energia incorporada para os insumos da manutenção foi acima 50 %, quando usado os ciclos de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010) e (ASABE, 2011) para o trator (M5). Na análise do fluxo de material desse trator, identificado maior frequência de substituição de peças em relação os demais tratores.

A energia incorporada na manutenção para os tratores (M5, M6, M7 e M8), ficou entre 190.454,8 MJ (trator M5) a 302.045,5 MJ (trator M8), quando usado o ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010).

O trator (M8) em termos de potência e massa é o maior em relação aos demais tratores (246 kW e 10.950 kg), no entanto, ele demandou a maior quantidade total de energia incorporada, nos ciclos de vida útil. Em relação as demais máquinas, a colhedora de grãos (M4) é a máquina com maior potência e massa (325 kW e 15.800 kg), no entanto, essa máquina obteve a maior demanda total de energia incorporada, nos ciclos de vida útil.

Tabela 22 - Energia incorporada ao longo do ciclo de vida útil para as máquinas

Máquina	Insumo	Energia incorporada no ciclo vida útil					
		Fabricante		MAPA, 2010		ASABE, 2011	
		MJ	%	MJ	%	MJ	%
Colhedora de café (M1)	Diretamente	273.951,8	68,1	273.951,8	71,9	--	--
	Manutenção	128.398,8	31,9	107.001,1	28,1	--	--
	Total	402.350,6	100,0	380.952,9	100,0	--	--
Pulverizador (M2)	Diretamente	552.029,5	63,7	552.029,5	70,3	--	--
	Manutenção	315.131,5	36,3	233.434,8	29,7	--	--
	Total	867.161,0	100,0	785.464,3	100,0	--	--
Semeadora-adubadora (M3)	Diretamente	258.431,8	61,5	258.431,8	86,2	258.431,8	83,3
	Manutenção	161.600,2	38,5	41.444,6	13,8	51.802,9	16,7
	Total	420.031,9	100,0	299.876,4	100,0	310.234,7	100,0
Colhedora de grãos (M4)	Diretamente	856.234,0	76,6	856.234,0	82,1	856.234,0	88,4
	Manutenção	262.185,9	23,4	187.277,5	17,9	112.377,3	11,6
	Total	1.118.419,8	100,0	1.043.511,5	100,0	968.611,3	100,0
Trator (M5)	Diretamente	134.656,7	51,5	134.656,7	41,4	134.656,7	46,9
	Manutenção	126.970,3	48,5	190.454,8	58,6	152.365,4	53,1
	Total	261.627,0	100,0	325.111,5	100,0	287.022,1	100,0
Trator (M6)	Diretamente	234.913,6	60,5	234.913,6	50,5	234.913,6	56,1
	Manutenção	153.310,3	39,5	229.966,6	49,5	183.973,3	43,9
	Total	388.223,9	100,0	464.880,3	100,0	418.887,0	100,0
Trator (M7)	Diretamente	318.778,9	63,7	318.778,9	53,9	318.778,9	59,3
	Manutenção	182.042,0	36,3	273.062,4	46,1	218.451,4	40,7
	Total	500.820,9	100,0	591.841,2	100,0	537.230,3	100,0
Trator (M8)	Diretamente	485.307,9	70,7	485.307,9	61,6	485.307,9	66,8
	Manutenção	201.364,1	29,3	302.045,5	38,4	241.637,9	33,2
	Total	686.671,9	100,0	787.353,3	100,0	726.945,8	100,0

Nota: -- Não se aplica dado numérico.

Para projeções futuras de energia incorporada em tratores, foi determinado o modelo matemático da regressão linear. Os modelos de um conjunto de sistema, estão descritos inicialmente pela equação energia demandada na fabricação. A

Tabela 23 expressa a potência do motor e a energia demandada na fabricação de tratores, que estão em referências nas Tabelas 3 e 18, respectivamente.

Tabela 23 - Energia demandada na fabricação de tratores

Energia demandada na fabricação de tratores				
Potência motor (kW)	55	90	172	246
Energia demandada (MJ)	134.656,7	234.913,6	318.778,9	485.307,9

Com os dados da Tabela 23, foi provido o gráfico energia demandada na fabricação em função da potência do motor (Figura 2), obtendo $R^2 = 0,9716$ e que determinou a primeira equação do sistema, eq. (9). O modelo apresentou-se ajudado por meio do coeficiente de determinação, em que 97,16 % dos dados foram explicados à amostra.

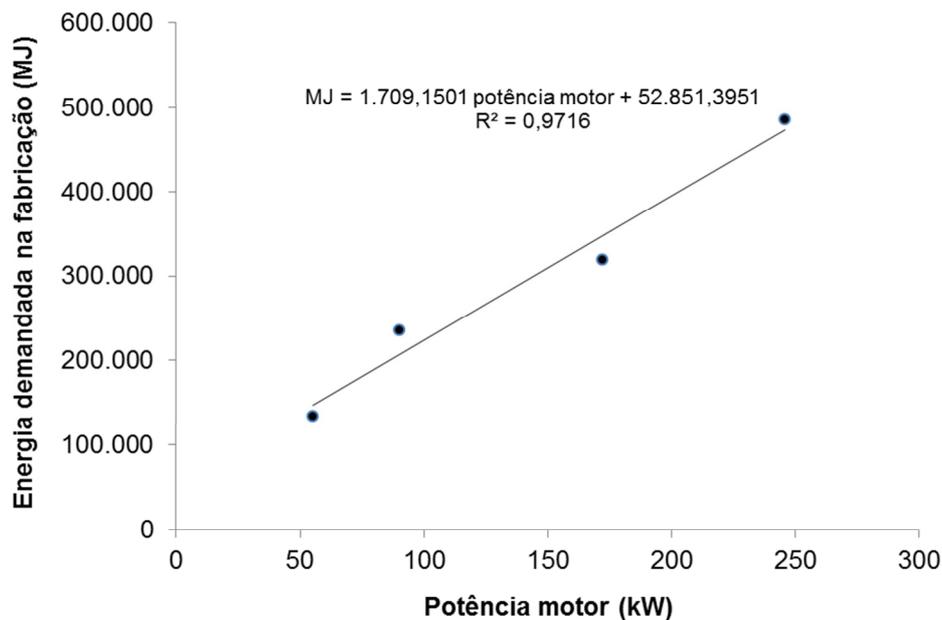


Figura 2 - Energia demandada na fabricação de tratores em função da potência motor

$$ENDF = (1.709,1501 * PM) + 52.851,3951 \quad (9)$$

Em que:

ENDF = energia demandada na fabricação de tratores (estimado) (MJ);

PM = potência do motor (kW).

Em seguida, o modelo foi descrito pela energia demandada na manutenção. A Tabela 24 expressa os ciclos de vida útil e a energia demandada na manutenção, que estão em referências nas Tabelas 6 e 20, respectivamente.

Tabela 24 - Energia demandada na manutenção de tratores

Ciclo de vida útil (h)		Energia demandada na manutenção de tratores (MJ)			
		Potência motor (kW)			
		55	90	172	246
Fabricante	10.000	126.970,3	153.310,3	182.042,0	201.364,1
MAPA, 2010	15.000	190.454,8	229.966,6	273.062,4	302.045,5
ASABE, 2011	12.000	152.365,4	183.973,3	218.451,4	241.637,9

Com os dados da Tabela 24, foi provido o gráfico energia demandada na manutenção em função do ciclo de vida útil, obtendo $R^2 = 1,0$ (Figura 3).

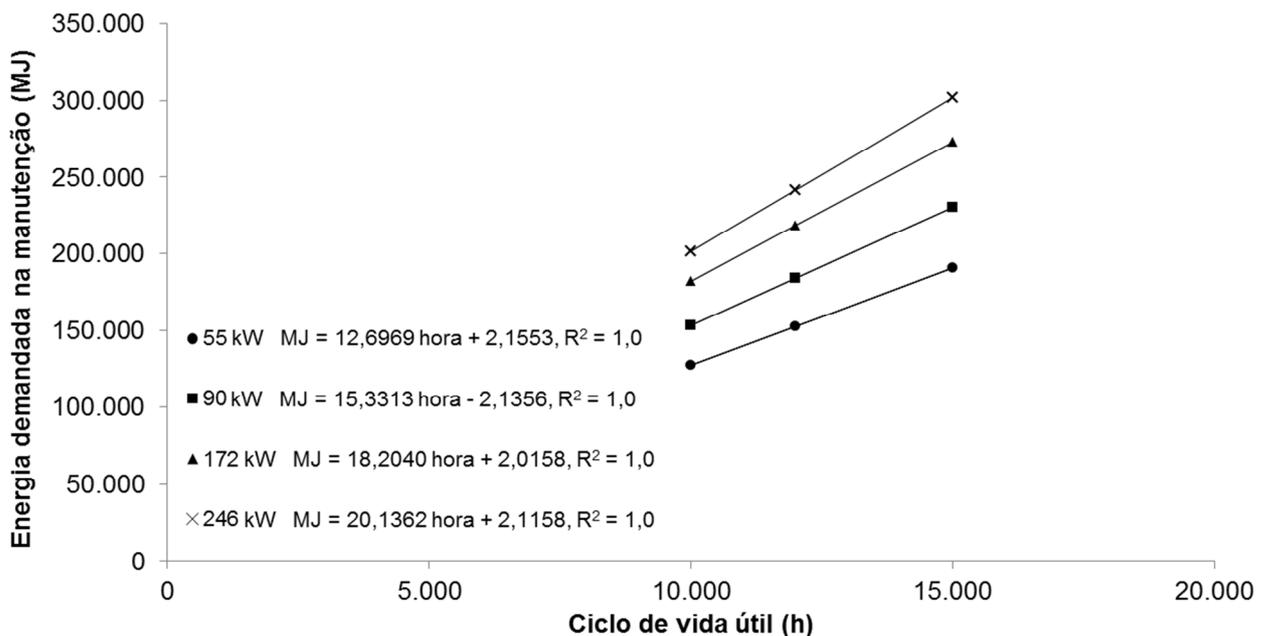


Figura 3 - Energia demandada na manutenção de tratores em função do ciclo de vida útil

Na Tabela 25, foi inserido a variável potência motor (kW) com função dos coeficientes angular da reta "a" e linear da reta "b", resultantes das equações da Figura 3, obtendo $R^2 = 0,9615$ para a inclinação da reta "a" e $R^2 = 0,1482$ para a translação vertical do gráfico "b" (Figura 4), em que determinou a segunda equação do sistema com duas variáveis (potência do motor e ciclo de vida útil), eq. (10).

Tabela 25 - Coeficientes angular e linear em função da potência motor

Variável kW com função dos coeficientes da reta		
kW	Angular (a)	Linear (b)
55	12,6969	2,1553
90	15,3313	-2,1356
172	18,2040	2,0158
246	20,1362	2,1158

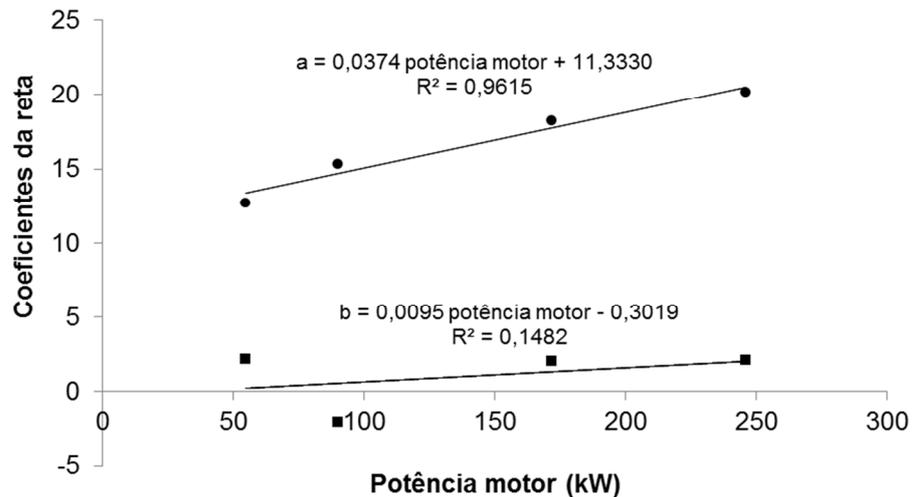


Figura 4 - Coeficientes angular e linear em função da potência motor

$$\text{ENDM} = (((0,0374 * \text{PM}) + 11,3330) * \text{CV}) + (0,0095 * \text{PM}) - 0,3019 \quad (10)$$

Em que:

ENDM = energia demandada na manutenção de tratores (estimado) (MJ);

PM = potência do motor (kW);

CV = ciclo de vida útil (h).

Dessa forma, a energia total demandada foi considerada como sendo a soma da energia demandada na fabricação e manutenção, provendo a equação que completa o modelo, eq. (11).

$$\text{ENTD} = \text{ENDF} + \text{ENDM} \quad (11)$$

Em que:

ENTD = energia total demandada na vida útil de tratores (estimado) (MJ);

ENDF = energia demandada na fabricação de tratores (estimado) (MJ);

ENDM = energia demandada na manutenção de tratores (estimado) (MJ).

A Tabela 26 expressa os indicadores de energia incorporada para as máquinas, que têm como finalidade: 1) Indicador de energia incorporada pelo ciclo de vida útil, pode ser usado para determinar a demanda de material e energia; 2) Indicador energia incorporada pela massa, pode ser usado para comparações com índices de outras máquinas; 3) Indicador energia incorporada pela potência do motor, pode ser usado para comparar a energia incorporada baseado na potência requerida do motor do maquinário agrícola.

O indicador energia incorporada pelo ciclo de vida útil (BRASIL, 2010), para a colhedora de café (M1) e pulverizador (M2) foi $76,2 \text{ MJ h}^{-1}$ e $78,5 \text{ MJ h}^{-1}$, respectivamente. Para os tratores (M5, M6, M7 e M8), o indicador que resultou maior energia incorporada pelo ciclo de vida útil foi o indicado pelo fabricante $26,2 \text{ MJ h}^{-1}$, $38,8 \text{ MJ h}^{-1}$, $50,1 \text{ MJ h}^{-1}$ e $68,7 \text{ MJ h}^{-1}$, respectivamente.

O indicador energia incorporada pela massa, para a colhedora de grãos (M4), nos ciclos de vida indicado pelo fabricante e (ASABE, 2011), foram $70,8 \text{ MJ kg}^{-1}$ e $61,3 \text{ MJ kg}^{-1}$, respectivamente. A semeadora-adubadora (M3), obteve $82,1 \text{ MJ kg}^{-1}$, quando usado o ciclo vida útil indicado pelo fabricante. Entre os tratores, o trator (M5) apresentou maior indicador $122,7 \text{ MJ kg}^{-1}$, quando usado o ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010).

O indicador energia incorporada pela potência do motor, para as colhedoras de café (M1) e de grãos (M4) foi $9.523,8 \text{ MJ kW}^{-1}$ e $3.210,8 \text{ MJ kW}^{-1}$ quando usado o ciclo vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010). O trator (M7) obteve $2.911,7 \text{ MJ kW}^{-1}$ quando usado o ciclo vida útil indicado pelo fabricante.

Comparando o indicador energia incorporada pela massa entre as máquinas e usando o ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010), a semeadora-adubadora (M3) resultou menor indicador $58,6 \text{ MJ kg}^{-1}$. As colhedoras de café (M1) e de grãos (M4) apresentaram indicadores muito semelhantes pela massa, quando usando os ciclos de vida útil indicado pelo fabricante e (BRASIL, 2010), ($71,8 \text{ MJ kg}^{-1}$ e $70,8 \text{ MJ kg}^{-1}$) e ($68,0 \text{ MJ kg}^{-1}$ e $66,0 \text{ MJ kg}^{-1}$), respectivamente.

Tabela 26 - Indicadores energia incorporada para as máquinas

Indicador	Unidade	Máquina	Ciclo vida útil		
			Fabricante	MAPA, 2010	ASABE, 2011
IEIH ^a	MJ h ⁻¹	Colhedora de café (M1)	67,1	76,2	--
		Pulverizador (M2)	64,2	78,5	--
		Semeadora-adubadora (M3)	89,8	249,9	206,8
		Colhedora de grãos (M4)	159,8	208,7	322,9
		Trator (M5)	26,2	21,7	23,9
		Trator (M6)	38,8	31,0	34,9
		Trator (M7)	50,1	39,5	44,8
		Trator (M8)	68,7	52,5	60,6
IEIM ^b	MJ kg ⁻¹	Colhedora de café (M1)	71,8	68,0	--
		Pulverizador (M2)	85,9	77,8	--
		Semeadora-adubadora (M3)	82,1	58,6	60,6
		Colhedora de grãos (M4)	70,8	66,0	61,3
		Trator (M5)	98,7	122,7	108,3
		Trator (M6)	76,1	91,2	82,1
		Trator (M7)	72,1	85,2	77,3
		Trator (M8)	62,7	71,9	66,4
IEIP ^c	MJ kW ⁻¹	Colhedora de café (M1)	10.058,8	9.523,8	--
		Pulverizador (M2)	5.899,1	5.343,3	--
		Semeadora-adubadora (M3)	--	--	--
		Colhedora de grãos (M4)	3.441,3	3.210,8	2.980,3
		Trator (M5)	4.756,9	5.911,1	5.218,6
		Trator (M6)	4.313,6	5.165,3	4.654,3
		Trator (M7)	2.911,7	3.440,9	3.123,4
		Trator (M8)	2.791,3	3.200,6	2.955,1

Notas: ^a Indicador energia incorporada pelo ciclo de vida útil; ^b indicador energia incorporada pela massa; ^c indicador energia incorporada pela potência motor; -- Não se aplica dado numérico.

Considerando um determinado cenário da agricultura brasileira, em que para instalar a cultura da soja, o agricultor necessita de um trator (M7) com potência 172 kW, mais uma semeadora-adubadora (M3), mais um pulverizador (M2), mais uma colhedora de grãos (M4), além de adotar o ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010), a incorporação energética pela massa desse conjunto motomecanizado foi 287,6 MJ kg⁻¹ (Tabela 26), respectivamente. Ainda nesse mesmo cenário, a demanda de material e de energia para os insumos borracha e óleo hidráulico, durante a vida útil desse conjunto motomecanizado foi 3.517,9 kg e 3.284,0 L (Tabelas 10, 11, 12 e 15) e 309.579,5 MJ e 122.424,8 MJ (Tabelas 19 e 20), respectivamente.

A Tabela 27 expressa as emissões nos insumos diretamente utilizados na montagem da colhedora de café (M1), pulverizador (M2), semeadora-adubadora

(M3) e colhedora de grãos (M4). O aço carbono foi o insumo que representou maior emissões para as máquinas (M1, M2, M3 e M4) 11.428,8 kg CO₂e (57,1 %), 24.808,0 kg CO₂e (79,1 %), 10.646,0 kg CO₂e (77,6 %) e 32.709,8 kg CO₂e (69,3 %), respectivamente. O ferro fundido nodular e alumínio representaram emissões na ordem de 859,2 kg CO₂e (6,3%) e 766,8 kg CO₂e (5,6%) para a semeadora-adubadora (M3). O nylon 6.6 representou maior emissões para a colhedora de café (M1) 6.059,1 kg CO₂e (30,3 %). A borracha representou 2.513,5 kg CO₂e (8,0 %) e 4.177,4 kg CO₂e (8,9 %) para o pulverizador (M2) e colhedora de grãos (M4), respectivamente.

O vidro laminado das janelas da cabine, resultou baixa emissões 7,1 kg CO₂e, comparado com a espuma de poliuretano do assento do operador 159,5 kg CO₂e, para o pulverizador (M2). O cobre proveniente dos cabos elétricos, resultou maior emissões 297,5 kg CO₂e comparado com polietileno alta densidade 285,4 kg CO₂e, para a colhedora de grãos (M4).

O consumo de ABS resultou 85,4 kg CO₂e, enquanto o consumo de espuma de poliuretano resultou 155,2 kg CO₂e para a colhedora de grãos (M4). A espuma de poliuretano é destinada para fabricar o assento do operador e passageiro, alternativamente pode ser substituído esse insumo pela fibra de coco, como relatado por Heitzmann (2001). As fibras vegetais foram largamente utilizadas pelas indústrias para confecção de estofamentos de automóveis, porém a partir da década de 1960 começaram a ser gradativamente substituídos pelas espumas de poliuretano (MARROQUIM, 1994). Todavia, é necessário retroceder para mitigar as emissões na fabricação de estofamentos.

O consumo de graxa, usado para lubrificar os pontos de atrito sólido, reduzindo o desgaste entre as superfícies, resultou 13,3 kg CO₂e e 10,6 kg CO₂e para o pulverizador (M2) e semeadora-adubadora (M3), respectivamente. Os insumos tinta e solvente resultaram 28,5 kg CO₂e e 7,1 kg CO₂e para a colhedora de café (M1).

As emissões para a colhedora de café (M1) foram 56,5 % menores em relação ao pulverizador (M2), porém a diferença em termos de massa entre as máquinas foi 80,3 % maior para o pulverizador (M2) (5.600 kg e 10.100 kg).

Tabela 27 - Emissões insumos diretamente utilizados na montagem das máquinas (M1, M2, M3 e M4)

Entrada	Emissões na montagem							
	Colhedora de café (M1)		Pulverizador (M2)		Semeadora-adubadora (M3)		Colhedora de grãos (M4)	
	kg CO ₂ e	%	kg CO ₂ e	%	kg CO ₂ e	%	kg CO ₂ e	%
Aço carbono	11.428,8	57,1	24.808,0	79,1	10.646,0	77,6	32.709,8	69,3
Nylon 6.6	6.059,1	30,3	355,8	1,1	39,1	0,3	1.439,9	3,1
Borracha	719,6	3,6	2.513,5	8,0	761,6	5,6	4.177,4	8,9
Alumínio	524,7	2,6	775,8	2,5	766,8	5,6	4.667,7	9,9
Óleo hidráulico	401,3	2,0	482,6	1,5	35,6	0,3	412,8	0,9
Ferro fundido nodular	383,6	1,9	373,8	1,2	859,2	6,3	2.167,7	4,6
Cobre	105,5	0,5	344,3	1,1	2,7	0,0	297,5	0,6
Polietileno alta densidade	68,1	0,3	561,6	1,8	425,2	3,1	285,4	0,6
Fibra de vidro e poliéster	--	--	249,5	0,8	--	--	--	--
Espuma poliuretano	65,3	0,3	159,5	0,5	--	--	155,2	0,3
Fio de aço	35,2	0,2	114,7	0,4	20,9	0,2	116,1	0,2
PVC	35,6	0,2	61,2	0,2	100,7	0,7	33,6	0,1
Óleo diesel	36,4	0,2	70,2	0,2	--	--	78,0	0,2
Óleo lubrificante	38,7	0,2	38,7	0,1	--	--	168,1	0,4
Chumbo	11,4	0,1	24,3	0,1	--	--	38,1	0,1
Polipropileno	15,0	0,1	137,8	0,4	12,1	0,1	84,4	0,2
Óleo motor	19,1	0,1	36,1	0,1	--	--	61,0	0,1
Aço inox	--	--	58,4	0,2	0,6	0,0	--	--
Graxa	19,6	0,1	13,3	0,0	10,6	0,1	26,5	0,1
Tinta	28,5	0,1	48,1	0,2	24,9	0,2	60,5	0,1
Latão	0,6	0,0	1,4	0,0	--	--	4,3	0,0
Filme celulose	2,5	0,0	0,9	0,0	--	--	2,3	0,0
Vidro laminado	5,8	0,0	7,1	0,0	--	--	10,4	0,0
Poliuretano	3,0	0,0	33,0	0,1	--	--	52,1	0,1
Papel (impressão de notícia)	1,9	0,0	4,9	0,0	1,8	0,0	4,2	0,0
ABS	3,1	0,0	45,8	0,1	--	--	85,4	0,2
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	3,8	0,0	8,0	0,0	--	--	12,6	0,0
Nitrogênio (N ₂)	--	--	--	--	--	--	20,8	0,0
Bronze	--	--	--	--	--	--	5,0	0,0
Pó químico ABC	0,4	0,0	0,5	0,0	--	--	0,5	0,0
Fibra sintética algodão	--	--	0,4	0,0	--	--	5,9	0,0
Fibra vidro inorgânica	--	--	--	--	--	--	0,4	0,0
Fluido anticorrosivo	2,3	0,0	2,3	0,0	--	--	2,3	0,0
Solvente	7,1	0,0	12,5	0,0	7,1	0,1	14,2	0,0
Total	20.026,0	100,0	31.343,9	100,0	13.714,9	100,0	47.200,0	100,0

Notas: -- Não se aplica dado numérico; 0,0 Dado numérico igual a zero resultante de arredondamento de dado numérico originalmente positivo.

A Tabela 28 expressa as emissões nos insumos diretamente na montagem dos tratores (M5, M6, M7 e M8). O aço carbono foi o insumo que representou maior emissões entre os tratores: 2.692,0 kg CO₂e (45,8 %) trator (M5) e 10.764,0 kg CO₂e (52,5 %) trator (M8), respectivamente. O ferro fundido nodular representou menor emissões em relação ao aço carbono, variando entre 895,9 kg CO₂e (15,2 %) a 4.710,6 kg CO₂e (23,0 %) para os tratores (M5, M6, M7 e M8). A borracha

representou emissões 1.420,4 kg CO₂e (24,2 %); 1.604,7 kg CO₂e (17,0 %), 2.146,3 kg CO₂e (16,2 %) e 2.216,6 kg CO₂e (10,8 %) para os tratores (M5, M6, M7 e M8), respectivamente. Incentivar a fabricação de peças, usando o material ferro fundido em substituição ao aço carbono pode aumentar a sustentabilidade na fabricação das máquinas agrícolas, além mitigar as emissões e o aquecimento da atmosfera da Terra.

Comparando a demanda de energia incorporada com as emissões, resultam em proporções bem distintas. Para o trator (M6) o consumo de 15,4 kg de cobre resultou menor demanda energética 2.157,8 MJ, em relação ao consumo de 42,0 kg de polietileno alta densidade 2.200,7 MJ (Tabelas 8 e 18), enquanto as emissões foram maiores para o cobre 92,5 kg CO₂e em relação 67,1 kg CO₂e do polietileno alta densidade (Tabela 28), respectivamente. Não há relação, em que maior quantidade de energia incorporada no material, resulta maior quantidade de emissões.

Comparando as emissões para o óleo hidráulico foram na ordem de 71,1 kg CO₂e, 203,2 kg CO₂e, 208,3 kg CO₂e e 284,5 kg CO₂e, muito menores que as emissões para o alumínio 446,4 kg CO₂e, 461,4 kg CO₂e, 802,6 kg CO₂e e 1.321,7 kg CO₂e para os tratores (M5, M6, M7 e M8), respectivamente (Tabela 28).

Fica claro a importância e necessidade do uso de materiais recicláveis para a produção de máquinas agrícolas. A reciclagem do alumínio requer apenas 5 % de energia (INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE - IAI, 2005; MARTCHECK, 2006), sendo um importante fator de economia para energia e emissões (IPCC, 2007c). Além da produção do aço a partir da sucata, que utiliza apenas de 30 % a 40 % da energia e redução das emissões de CO₂ (DE BEER et al., 1998).

Tabela 28 - Emissões insumos diretamente utilizados na montagem dos tratores (M5, M6, M7 e M8)

Entrada	Emissões na montagem							
	Trator (M5)		Trator (M6)		Trator (M7)		Trator (M8)	
	kg CO ₂ e	%						
Aço carbono	2.692,0	45,8	4.275,3	45,3	6.264,3	47,3	10.764,0	52,5
Borracha	1.420,4	24,2	1.604,7	17,0	2.146,3	16,2	2.216,6	10,8
Ferro fundido nodular	895,9	15,2	2.174,8	23,0	2.928,7	22,1	4.710,6	23,0
Alumínio	446,4	7,6	461,4	4,9	802,6	6,1	1.321,7	6,4
Óleo hidráulico	71,1	1,2	203,2	2,2	208,3	1,6	284,5	1,4
Espuma poliuretano	58,0	1,0	101,5	1,1	101,5	0,8	101,5	0,5
Óleo lubrificante	47,0	0,8	50,8	0,5	50,8	0,4	71,1	0,3
ABS	41,9	0,7	--	--	55,7	0,4	78,1	0,4
Óleo motor	33,9	0,6	38,1	0,4	38,1	0,3	55,9	0,3
Fibra vidro e poliéster	28,4	0,5	28,4	0,3	52,4	0,4	52,2	0,3
Cobre	25,7	0,4	92,5	1,0	86,1	0,6	85,0	0,4
Óleo diesel	26,0	0,4	31,2	0,3	31,2	0,2	31,2	0,2
Polietileno alta densidade	16,4	0,3	67,1	0,7	7,4	0,1	161,1	0,8
Chumbo	11,4	0,2	11,4	0,1	19,1	0,1	19,1	0,1
Polipropileno	14,0	0,2	61,4	0,7	101,3	0,8	45,9	0,2
Graxa	10,6	0,2	26,5	0,3	26,5	0,2	26,5	0,1
Tinta	12,5	0,2	24,9	0,3	24,9	0,2	24,9	0,1
Vidro laminado	--	--	20,9	0,2	22,3	0,2	23,6	0,1
PVC	7,1	0,1	19,3	0,2	47,1	0,4	45,6	0,2
Nylon 6.6	4,5	0,1	15,4	0,2	182,8	1,4	252,2	1,2
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	3,8	0,1	3,8	0,0	6,3	0,0	6,3	0,0
Solvente	3,6	0,1	7,1	0,1	7,1	0,1	7,1	0,0
Fio de aço	0,3	0,0	5,9	0,1	12,5	0,1	14,7	0,1
Latão	0,7	0,0	2,5	0,0	1,9	0,0	1,7	0,0
Aço inox	--	--	--	--	--	--	4,4	0,0
Filme celulose	2,0	0,0	2,5	0,0	2,1	0,0	3,6	0,0
Poliuretano	2,0	0,0	93,6	1,0	8,7	0,1	75,9	0,4
Papel (impressão de notícia)	1,8	0,0	1,8	0,0	1,8	0,0	1,8	0,0
Pó químico ABC	0,4	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0
Fibra sintética algodão	0,3	0,0	8,4	0,1	10,8	0,1	14,0	0,1
Fibra vidro inorgânica	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
Fibra vidro e alumínio	--	--	--	--	--	--	9,3	0,0
Fluído anticorrosivo	2,3	0,0	2,3	0,0	2,3	0,0	2,3	0,0
Total	5.880,4	100,0	9.437,2	100,0	13.251,1	100,0	20.505,8	100,0

Notas: -- Não se aplica dado numérico; 0,0 Dado numérico igual a zero resultante de arredondamento de dado numérico originalmente positivo.

A Tabela 29 expressa as emissões nos insumos utilizados na manutenção, durante os ciclos de vida útil, para colhedora de café (M1), pulverizador (M2), semeadora-adubadora (M3) e colhedora de grãos (M4). As emissões para o óleo hidráulico foram: (15,8 %, 18,8 % e 30,6 %) para a colhedora de café (M1), pulverizador (M2) e colhedora de grãos (M4), respectivamente. A maior emissões

para a semeadora-adubadora (M3) foi para o aço carbono (51,0 %). A graxa apresentou maior emissões (25,6 %) para o pulverizador (M2).

Todavia, o ciclo de vida útil indicado pelo fabricante é o que mais demanda emissões para as máquinas. Para a colhedora de café (M1) (8.474,1 kg CO₂e) é 20 % maior em relação ao indicado pelo (BRASIL, 2010) (7.061,8 kg CO₂e); para o pulverizador (M2) (16.507,6 kg CO₂e) é 35 % maior em relação ao indicado pelo (BRASIL, 2010) (12.227,9 kg CO₂e); para a semeadora-adubadora (M3) (9.077,2 kg CO₂e) é 290 % maior em relação ao indicado pelo (BRASIL, 2010) (2.327,5 kg CO₂e) e 212 % maior em relação ao indicado pela (ASABE, 2011) (2.909,4 kg CO₂e); para a colhedora de grãos (M4) (15.744,0 kg CO₂e) é 40 % maior em relação ao indicado pelo (BRASIL, 2010) (11.245,8 kg CO₂e) e 133,3 % maior em relação ao indicado pela (ASABE, 2011) (6.747,5 kg CO₂e).

A Tabela 30 expressa as emissões nos insumos utilizados na manutenção, durante os ciclos de vida útil para os tratores (M5, M6, M7 e M8). As maiores emissões entre os tratores foram: a borracha (46,3 % e 43,9%) para os tratores (M5 e M7) e o óleo hidráulico (22,9 % e 21,7 %), para os tratores (M8 e M6), respectivamente. As emissões do trator (M7) foram 47,7 % maiores em relação ao trator (M5), respectivamente, no ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010). Porém, a diferença em termos de massa do trator (M7) é 162,2 % maior em relação ao trator (M5).

Todavia, o ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010) é o que mais demanda emissões para os tratores, pois é 50 % maior em relação ao indicado pelo fabricante e 25 % maior em relação ao indicado pela (ASABE, 2011).

Tabela 29 - Emissões insumos utilizados na manutenção durante os ciclos de vida útil máquinas (M1, M2, M3 e M4)

Entrada	Emissões no ciclo de vida útil (%)			
	Colhedora de café (M1)	Pulverizador (M3)	Semeadora-adubadora (M2)	Colhedora de grãos (M4)
Óleo hidráulico	15,8	18,8	--	30,6
Borracha	15,2	16,8	23,1	23,7
Aço carbono	11,6	14,7	51,0	4,0
Óleo lubrificante	11,0	4,0	7,8	8,7
Alumínio	7,3	--	--	3,1
Óleo motor	6,7	11,8	--	9,0
Graxa	2,0	25,6	12,0	16,1
Ferro fundido nodular	0,9	--	--	--
Filme celulose	0,6	0,6	--	0,2
Fibra vidro inorgânica	0,1	--	--	0,0
Polipropileno	0,0	3,5	0,5	0,0
Polietileno alta densidade	--	4,0	1,1	0,4
Nylon 6.6	28,8	0,2	--	--
PVC	--	--	4,6	--
Fluído anticorrosivo	--	--	--	4,2
Total	100,0	100,0	100,0	100,0
Fabricante (kg CO₂e)	8.474,1	16.507,6	9.077,2	15.744,0
MAPA, 2010 (kg CO₂e)	7.061,8	12.227,9	2.327,5	11.245,8
ASABE, 2011 (kg CO₂e)	--	--	2.909,4	6.747,5

Notas: -- Não se aplica dado numérico; 0,0 Dado numérico igual a zero resultante de arredondamento de dado numérico originalmente positivo.

Tabela 30 - Emissões insumos utilizados na manutenção durante os ciclos de vida útil dos tratores (M5, M6, M7 e M8)

Entrada	Emissões no ciclo de vida útil (%)			
	Trator (M5)	Trator (M6)	Trator (M7)	Trator (M8)
Borracha	46,3	38,9	43,9	38,2
Óleo motor	14,9	14,1	14,1	18,0
Óleo hidráulico	11,5	21,7	19,3	22,9
Graxa	8,7	6,9	6,4	6,1
Óleo lubrificante	5,9	6,3	5,8	5,6
Aço carbono	4,8	3,8	3,3	2,8
Fluído anticorrosivo	4,1	5,4	4,7	4,1
Alumínio	2,8	2,2	1,9	1,7
Filme celulose	0,8	0,6	0,5	0,5
Fibra vidro inorgânica	0,2	0,1	0,1	0,1
Polipropileno	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0
Fabricante (kg CO₂e)	6.089,5	7.825,2	8.997,2	10.335,0
MAPA, 2010 (kg CO₂e)	9.134,4	11.738,0	13.496,0	15.502,7
ASABE, 2011 (kg CO₂e)	7.307,5	9.390,4	10.796,8	12.402,2

Notas: -- Não se aplica dado numérico; 0,0 Dado numérico igual a zero resultante de arredondamento de dado numérico originalmente positivo.

Em termos de emissões, o aço carbono foi o insumo que obteve a maior representatividade, devido a sua quantidade demandada pelas máquinas. Dificilmente essa liga metálica será substituída na fabricação das máquinas agrícolas. Com a alta tecnologia para a produção de aço, muitos produtos como os automóveis poderiam ser um terço mais leve, sem perda de desempenho durante o uso (CARRUTH et al., 2011). Esse conceito também pode ser adotado para as máquinas agrícolas, para então mitigar as emissões atuais. A borracha dos pneus e os óleos; (hidráulico, do motor e lubrificantes) também resultaram grandes emissões. A reciclagem dos pneus agrícolas, além da recuperação dos óleos pelo processo rerrefino, transformando-os em novos produtos lubrificantes, contribuirão para a redução do consumo de energia e emissões, tendo em vista que a reciclagem é um importante fator de economia e de energia, não apenas para a indústria de aço e alumínio, mas para outras como a de óleos lubrificantes (IPCC, 2007c, ALI et al.; 1995; MARTINS, 1997; ANP, 1999).

Todavia, como relatado pelo IPCC (2014), às medidas de mitigação dos GEE na indústria, estão associadas por decisões gerenciais e estratégias. Essas decisões não devem apenas levar em consideração (competitividade, redução de custos, oportunidades de negócios, cumprimento das legislações ambientais, redução de resíduos), mas acima de tudo, ter o devido respeito e proteção pelo ambiente.

As emissões demandadas na manutenção são proporcional às horas de vida útil. Usando a valores totais de emissões nos ciclos de vida útil, indicado pelo fabricante, (MAPA, 2010) e (ASABE, 2011) informados nas Tabelas (29 e 30), além de considerar os ciclos de vida útil informado na Tabela (6) e assumido a mesma frequência de troca das peças para tempo de vida útil diferentes. A Tabela 31 expressa as equações para fins de cálculo das emissões demandadas na manutenção, em função das horas de vida útil.

Tabela 31 - Emissões demandadas na manutenção em função das horas de vida útil

Máquina	Emissões demandadas na manutenção*
Colhedora de café (M1)	kg CO ₂ e = 1,4124 h
Pulverizador (M2)	kg CO ₂ e = 1,2228 h + 0,1857
Semeadora-adubadora (M3)	kg CO ₂ e = 1,9396 h + 0,0363
Colhedora de grãos (M4)	kg CO ₂ e = 2,2491 h + 0,1417
Trator (M5)	kg CO ₂ e = 0,6090 h - 0,2737
Trator (M6)	kg CO ₂ e = 0,7826 h - 0,2745
Trator (M7)	kg CO ₂ e = 0,8998 h - 0,3474
Trator (M8)	kg CO ₂ e = 1,0335 h - 0,3211

* R² = 1,0; h = hora

A Tabela 32 expressa as emissões ao longo do ciclo de vida útil para as máquinas. A maior parte das emissões para a colhedora de café (M1) foram para os insumos diretos 20.026,0 kg CO₂e. Quando usado o ciclo vida útil indicado pelo fabricante, as emissões na manutenção foram 8.474,1 kg CO₂e (29,7 %).

Para o pulverizador (M2), semeadora-adubadora (M3) e colhedora de grãos (M4), a maior parte das emissões foram para os insumos diretos 31.343,9 kg CO₂e, 13.714,9 kg CO₂e e 47.200,0 kg CO₂e, respectivamente. Quando usado o ciclo vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010), as emissões na manutenção dessas máquinas foram 12.227,9 kg CO₂e (28,1 %), 2.327,5 kg CO₂e (14,5 %) e 11.245,8 kg CO₂e (19,2 %), respectivamente.

Para os tratores (M5, M6 e M7), a maior parte das emissões foram para os insumos da manutenção, no ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010) 9.134,4 kg CO₂e (60,8 %), 11.738,0 kg CO₂e (55,4 %) e 13.496,0 kg CO₂e (50,4 %), respectivamente. Nos insumos diretos, as emissões foram 5.880,4 kg CO₂e, 9.437,2 kg CO₂e e 13.251,1 kg CO₂e, respectivamente. Para o trator (M8) a maior parte das emissões foram para os insumos diretos 20.505,8 kg CO₂e, diferente dos demais tratores. Quando usado os ciclos vida útil indicado pelo fabricante e (ASABE, 2011), as emissões na manutenção foram 10.335,0 kg CO₂e (33,5 %) e 12.402,2 kg CO₂e (37,7 %), respectivamente.

Todavia, a principal entrada de emissões nas máquinas foram para os insumos diretos. Acima dos 60 % para a colhedora de café (M1), pulverizador (M2), semeadora-adubadora (M3) e colhedora de grãos (M4), respectivamente. O trator (M8) obteve maior emissões nos insumos diretos, haja visto que a massa desse trator (10.950 kg) é aproximadamente 57,5 % maior em relação à massa do trator (M6) (6.950 kg). As emissões na manutenção ficaram entre 9.134,4 kg CO₂e trator

(M5) a 15.502,7 kg CO₂e trator (M8), quando usado o ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010).

Tabela 32 - Emissões ao longo do ciclo de vida útil para as máquinas

Máquina	Insumo	Emissões no ciclo vida útil					
		Fabricante		MAPA, 2010		ASABE, 2011	
		kg CO ₂ e	%	kg CO ₂ e	%	kg CO ₂ e	%
Colhedora de café (M1)	Diretamente	20.026,0	70,3	20.026,0	73,9	--	--
	Manutenção	8.474,1	29,7	7.061,8	26,1	--	--
	Total	28.500,2	100,0	27.087,8	100,0	--	--
Pulverizador (M2)	Diretamente	31.343,9	65,5	31.343,9	71,9	--	--
	Manutenção	16.507,6	34,5	12.227,9	28,1	--	--
	Total	47.851,5	100,0	43.571,7	100,0	--	--
Semeadora-adubadora (M3)	Diretamente	13.714,9	60,2	13.714,9	85,5	13.714,9	82,5
	Manutenção	9.077,2	39,8	2.327,5	14,5	2.909,4	17,5
	Total	22.792,2	100,0	16.042,4	100,0	16.624,3	100,0
Colhedora de grãos (M4)	Diretamente	47.200,0	75,0	47.200,0	80,8	47.200,0	87,5
	Manutenção	15.744,0	25,0	11.245,8	19,2	6.747,5	12,5
	Total	62.943,9	100,0	58.445,8	100,0	53.947,4	100,0
Trator (M5)	Diretamente	5.880,4	49,1	5.880,4	39,2	5.880,4	44,6
	Manutenção	6.089,5	50,9	9.134,4	60,8	7.307,5	55,4
	Total	11.969,9	100,0	15.014,8	100,0	13.187,9	100,0
Trator (M6)	Diretamente	9.437,2	54,7	9.437,2	44,6	9.437,2	50,1
	Manutenção	7.825,2	45,3	11.738,0	55,4	9.390,4	49,9
	Total	17.262,5	100,0	21.175,3	100,0	18.827,7	100,0
Trator (M7)	Diretamente	13.251,1	59,6	13.251,1	49,6	13.251,1	55,1
	Manutenção	8.997,2	40,4	13.496,0	50,4	10.796,8	44,9
	Total	22.248,3	100,0	26.747,1	100,0	24.047,9	100,0
Trator (M8)	Diretamente	20.505,8	66,5	20.505,8	57,0	20.505,8	62,3
	Manutenção	10.335,0	33,5	15.502,7	43,0	12.402,2	37,7
	Total	30.840,8	100,0	36.008,5	100,0	32.908,0	100,0

Nota: -- Não se aplica dado numérico.

Para projeções futuras de emissões em tratores, foi determinado o modelo matemático da regressão linear. Os modelos de um conjunto de sistema, estão descritos inicialmente pela equação emissões demandadas na fabricação. A Tabela 33 expressa a potência do motor e as emissões demandadas na fabricação de tratores, que estão em referências nas Tabelas 3 e 28, respectivamente.

Tabela 33 - Emissões demandadas na fabricação de tratores

Emissões demandadas na fabricação de tratores				
Potência motor (kW)	55	90	172	246
Emissões demandadas (kg CO₂e)	5.880,4	9.437,2	13.251,1	20.505,8

Com os dados da Tabela 33, foi provido o gráfico emissões demandadas na fabricação em função da potência do motor (Figura 5), obtendo $R^2 = 0,9765$ e que determinou a primeira equação do sistema, eq. (12). O modelo apresentou-se ajudado por meio do coeficiente de determinação, em que 97,65 % dos dados foram explicados à amostra.

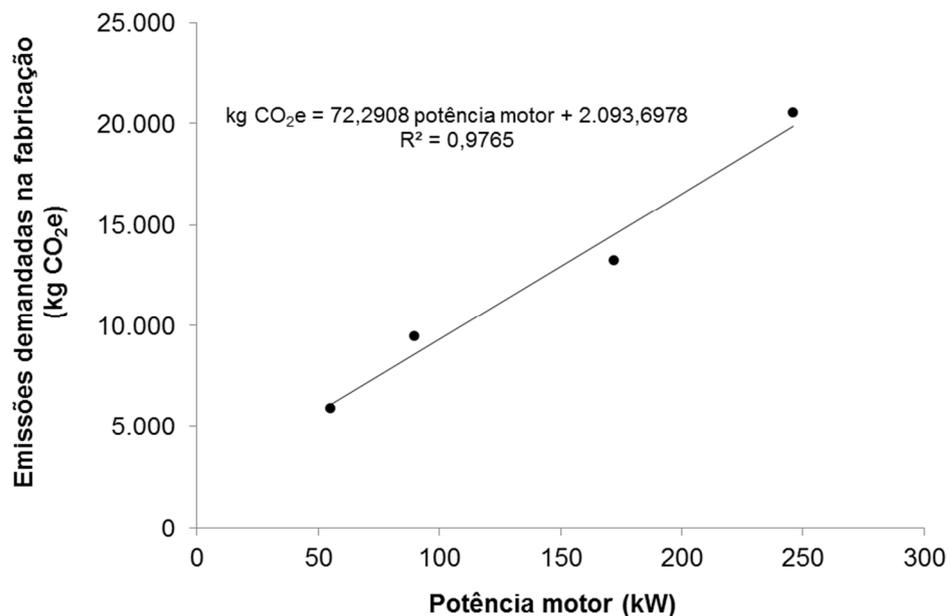


Figura 5 - Emissões demandadas na fabricação de tratores em função da potência motor

$$\text{EMDF} = (72,2908 * \text{PM}) + 2.093,6978 \quad (12)$$

Em que:

EMDF = emissões demandadas na fabricação de tratores (estimado) (kg CO₂e);

PM = potência do motor (kW).

Em seguida, o modelo foi descrito pelas emissões demandadas na manutenção. A Tabela 34 expressa o ciclo de vida útil e as emissões demandadas na manutenção, que estão em referências nas Tabelas 6 e 30, respectivamente.

Tabela 34 - Emissões demandadas na manutenção de tratores

Emissões demandadas na manutenção de tratores (kg CO ₂ e)					
Ciclo de vida útil (h)	Potência motor (kW)				
	55	90	172	246	
Fabricante	10.000	6.089,5	7.825,2	8.997,2	10.335,0
MAPA, 2010	15.000	9.134,4	11.738,0	13.496,0	15.502,7
ASABE, 2011	12.000	7.307,5	9.390,4	10.796,8	12.402,2

Com os dados da Tabela 34, foi provido o gráfico emissões demandadas na manutenção em função do ciclo de vida útil, obtendo R² = 1,0 (Figura 6).

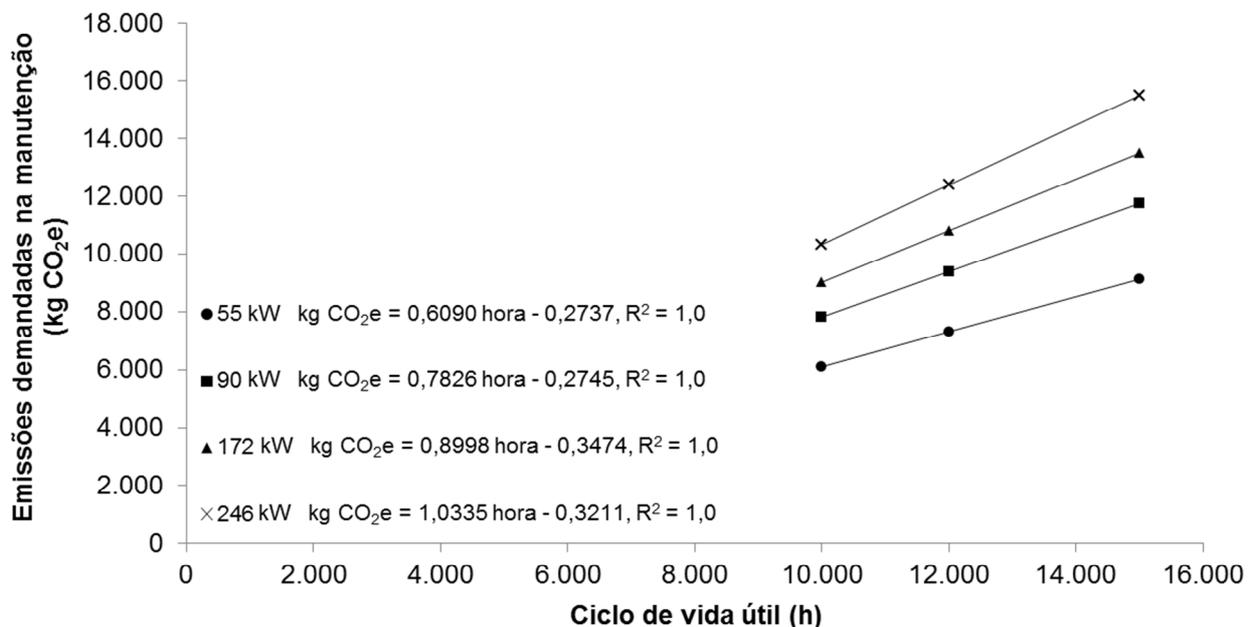


Figura 6 - Emissões demandadas na manutenção de tratores em função do ciclo de vida útil

Na Tabela 35, foi inserido a variável potência motor (kW), com função dos coeficientes angular da reta "a" e linear da reta "b", resultantes da Figura 6, obtendo

$R^2 = 0,9442$ para a inclinação da reta “a” e $R^2 = 0,6034$ para a translação vertical do gráfico “b” (Figura 7), em que determinou a segunda equação do sistema com duas variáveis (potência do motor e ciclo de vida útil), eq. (13).

Tabela 35 - Coeficientes angular e linear em função da potência motor

Variável kW com função dos coeficientes da reta		
kW	Angular (a)	Linear (b)
55	0,6072	-0,2000
90	0,7826	-0,2745
172	0,8966	-0,3737
246	1,0188	-0,1342

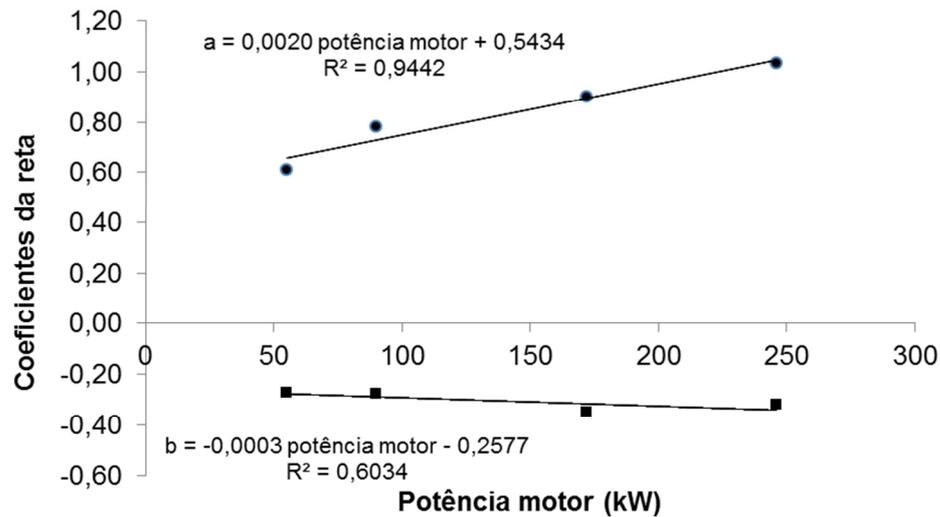


Figura 7 - Coeficientes angular e linear em função da potência motor

$$\text{EMDM} = (((0,0020 * \text{PM}) + 0,5434) * \text{CV}) - (0,0003 * \text{PM}) - 0,2577 \quad (13)$$

Em que:

EMDM = emissões demandadas na manutenção de tratores (estimado) (kg CO₂e);

PM = potência do motor (kW);

CV = ciclo de vida útil (h).

Dessa forma, as emissões totais demandadas foram consideradas como sendo a soma das emissões demandadas na fabricação e manutenção, provendo a equação que completa o modelo, eq. (14).

$$\text{EMTD} = \text{EMDF} + \text{EMDM} \quad (14)$$

Em que:

EMTD = emissões totais demandadas na vida útil de tratores (estimado) (kg CO₂e);

EMDF = emissões demandadas na fabricação de tratores (estimado) (kg CO₂e);

EMDM = emissões demandadas na manutenção de tratores (estimado) (kg CO₂e).

Nota-se que resultou valor baixo do R² para “b” nas demandas de energia (0,1482) (Figura 4) e emissões (0,6034) (Figura 7), respectivamente. Segundo o Portal Action, o R² aumentará com maior amplitude de variação dos x’s e diminuirá em caso contrário; um valor grande de R² poderá ser grande simplesmente porque o x variou em uma amplitude muito grande; por outro lado, o R² poderá ser pequeno porque a amplitude dos x’s foi muito pequena, para permitir que uma relação com y fosse detectada. Assim, o R² não leva em consideração a falta de ajuste do modelo e não deve ser considerado sozinho, mas sempre aliado a outros diagnósticos do modelo.

A Tabela 36 expressa os indicadores emissões para as máquinas, que têm como finalidade: 1) Indicador emissões pelo ciclo de vida útil, pode ser usado para determinar a demanda de material e emissões; 2) Indicador emissões pela massa, pode ser usado para comparações com índices de outras máquinas; 3) Indicador emissões pela potência do motor, pode ser usado para comparar as emissões baseadas na potência requerida do motor do maquinário agrícola.

O indicador emissões pelo ciclo de vida útil (BRASIL, 2010), para a colhedora de café (M1) e pulverizador (M2) foi 5,4 kg CO₂e h⁻¹ e 4,4 kg CO₂e h⁻¹, respectivamente. Para os tratores (M5, M6, M7 e M8) o indicador que resultou maior emissões pelo ciclo de vida útil foi o indicado pelo fabricante 1,2 kg CO₂e h⁻¹, 1,7 kg CO₂e h⁻¹, 2,2 kg CO₂e h⁻¹ e 3,1 kg CO₂e h⁻¹, respectivamente.

O indicador emissões pela massa, quando usando o ciclo de vida útil indicado pela (ASABE, 2011) para a semeadora-adubadora (M3) e colhedora de grãos (M4) foi 3,2 kg CO₂e kg⁻¹ e 3,4 kg CO₂e kg⁻¹, respectivamente. Entre os tratores, o trator (M5) apresentou maior indicador emissões pela massa, quando usado o ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010) 5,7 kg CO₂ kg⁻¹. No ciclo de vida útil indicado pelo fabricante, o indicador pela massa para o trator (M6) foi 3,4 kg CO₂e kg⁻¹.

O indicador emissões pela potência do motor, para a colhedora de café (M1), pulverizador (M2) e colhedora de grãos (M4) foi 677,2 kg CO₂e kW⁻¹, 296,4 kg CO₂ kW⁻¹ e 179,8 kg CO₂e kW⁻¹, quando usado o ciclo vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010). O trator (M8) obteve 125,4 kg CO₂e kW⁻¹ quando usado o ciclo vida útil indicado pelo fabricante. Comparando o indicador emissões pela massa entre as máquinas e usando o ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010), a semeadora-adubadora (M3) resultou menor indicador 3,1 kg CO₂e kg⁻¹ e o maior foi para o trator (M5) 5,7 kg CO₂e kg⁻¹. A colhedora de café (M1), o pulverizador (M2) e o trator (M6) apresentaram indicadores muito semelhantes pela massa, quando usado o ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010) 4,8 kg CO₂e kg⁻¹, 4,3 kg CO₂e kg⁻¹ e 4,2 kg CO₂e kg⁻¹, respectivamente.

Tabela 36 - Indicadores emissões para as máquinas

Indicador	Unidade	Máquina	Ciclo vida útil		
			Fabricante	MAPA, 2010	ASABE, 2011
IEMC ^a	kg CO ₂ e h ⁻¹	Colhedora de café (M1)	4,8	5,4	--
		Pulverizador (M2)	3,5	4,4	--
		Semeadora-adubadora (M3)	4,9	13,4	11,1
		Colhedora de grãos (M4)	9,0	11,7	18,0
		Trator (M5)	1,2	1,0	1,1
		Trator (M6)	1,7	1,4	1,6
		Trator (M7)	2,2	1,8	2,0
		Trator (M8)	3,1	2,4	2,7
IEMM ^b	kg CO ₂ e kg ⁻¹	Colhedora de café (M1)	5,1	4,8	--
		Pulverizador (M2)	4,7	4,3	--
		Semeadora-adubadora (M3)	4,5	3,1	3,2
		Colhedora de grãos (M4)	4,0	3,7	3,4
		Trator (M5)	4,5	5,7	5,0
		Trator (M6)	3,4	4,2	3,7
		Trator (M7)	3,2	3,8	3,5
		Trator (M8)	2,8	3,3	3,0
IEMP ^c	kg CO ₂ e kW ⁻¹	Colhedora de café (M1)	712,5	677,2	--
		Pulverizador (M2)	325,5	296,4	--
		Semeadora-adubadora (M3)	--	--	--
		Colhedora de grãos (M4)	193,7	179,8	166,0
		Trator (M5)	217,6	273,0	239,8
		Trator (M6)	191,8	235,3	209,2
		Trator (M7)	129,4	155,5	139,8
		Trator (M8)	125,4	146,4	133,8

Notas: ^a Indicador emissões pelo ciclo de vida útil; ^b indicador emissões pela massa; ^c indicador emissões pela potência motor; -- Não se aplica dado numérico.

Considerando o mesmo cenário da agricultura brasileira para o cálculo da energia incorporada, em que para instalar a cultura da soja, o agricultor necessita de um trator (M7) com potência 172 kW, mais uma semeadora-adubadora (M3), mais um pulverizador (M2), mais uma colhedora de grãos (M4), além de adotar o ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010), as emissões durante o ciclo de vida desse conjunto motomecanizado foi 31,3 kg CO₂e h⁻¹ (Tabela 36), respectivamente. Ainda nesse mesmo cenário, as emissões para os insumos borracha e óleo hidráulico, durante a vida útil desse conjunto motomecanizado foram 11.187,1 kg CO₂e e 8.341,2 kg CO₂e (Tabelas 29 e 30), respectivamente.

Considerando que os mesmos tipos de materiais são usados na fabricação dos tratores, acrescentando mais potência no trator, aumentará a sua massa, mas não na mesma proporção, o qual resulta menor energia demandada e emissões pela massa. Quando analisa essa relação no ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010), demonstra ter resultado linear. Embora a diferença em termos de massa entre os tratores (M6) e (M7) foi 36,2 % maior para o trator (M7) (5.100 kg e 6.950 kg), respectivamente. A energia demandada e emissões pela massa foram aproximadamente 7,0 % e 9,5 % menores para o trator (M7) 85,2 MJ kg⁻¹ e 3,8 kg CO₂e kg⁻¹ em relação ao 91,2 MJ kg⁻¹ e 4,2 kg CO₂e kg⁻¹ do trator (M6) (Figura 8).

A abordagem foi testada considerando a potência motor com resultado semelhante. As emissões pela potência motor, foram 86,5 % menores para o trator 246 kW (M8) 146,4 kg CO₂e kW⁻¹ em relação 273,0 kg CO₂e kW⁻¹ do trator 55 kW (M5) (Figura 9).

Para relações de energia incorporada e emissões pela massa e potência motor em tratores, foram determinados modelos matemáticos da regressão linear, para permitir fazer projeções para instantes futuros. A tendência mostra que trator com alta potência motor e maior massa, demanda menos energia incorporada e emissões que trator com baixa potência e massa (Figuras 8 e 9). Incentivar o uso coletivo de máquinas agrícolas, pode aumentar a sustentabilidade na agricultura.

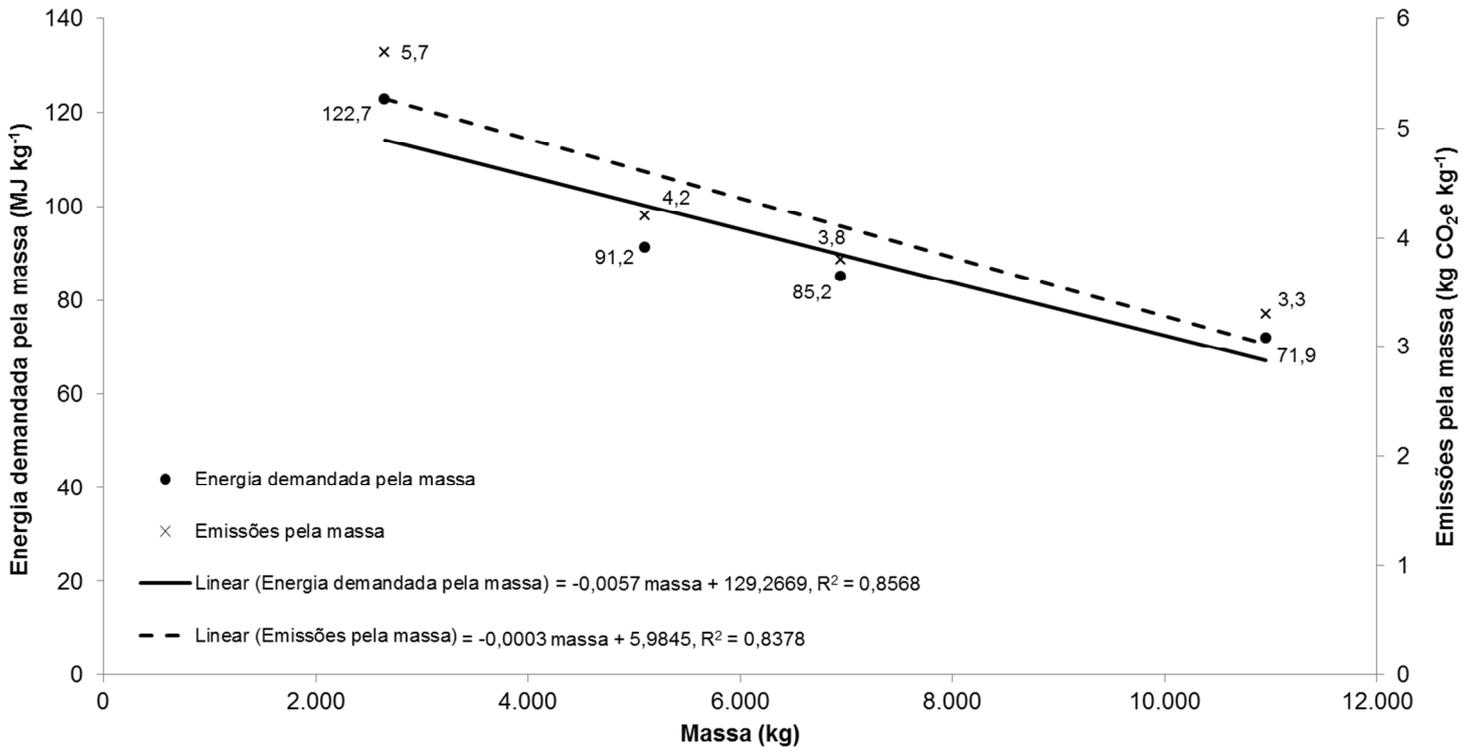


Figura 8 - Tendência energia demandada e emissões pela massa para tratores

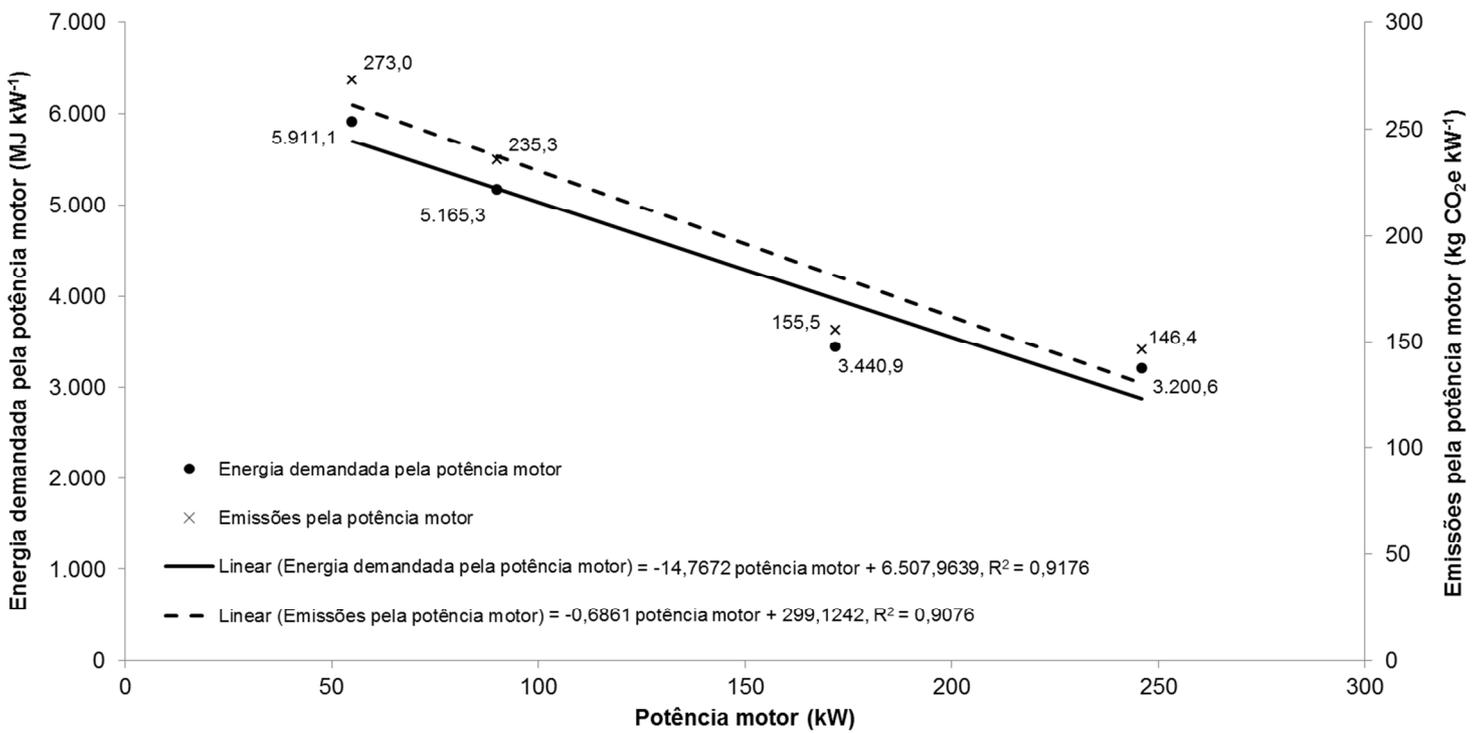


Figura 9 - Tendência energia demandada e emissões pela potência motor para tratores

Diante da importância do uso de materiais recicláveis, para prover economia do uso de energia e mitigação das emissões globais, foi criado um determinado cenário, em que foram calculadas as emissões considerando material bruto e reciclado. A quantidade total de material definido na (Tabela 37), refere-se à soma dos fluxos de materiais diretamente utilizados (Tabelas 7 e 8), bem como, os da manutenção durante a vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010) (Tabelas 9 a 16) para todas as máquinas avaliadas.

Dessa forma a demanda total de 34.357,9 kg de aço carbono são necessários para produzir uma unidade de cada máquina avaliada, bem como, manter as manutenções propostas. Se considerar a produção e manutenção dessas máquinas, a partir de aço carbono do metal bruto, as emissões são na proporção 109.601,7 kg CO₂e, enquanto se considerar a produção e manutenção, a partir de aço carbono do metal reciclado, as emissões são na proporção 34.357,9 kg CO₂e, obtendo economia 219 % menos emissões globais.

No caso do cobre, 173,4 kg do metal bruto, apresentou emissões 1.040,4 kg CO₂e, enquanto do metal reciclado, as emissões foram 166,5 kg CO₂e, economia 525 % menos emissões globais.

O uso do alumínio reciclado, apresentou emissões 1.314,7 kg CO₂e, enquanto do alumínio convencional, as emissões foram 11.668,5 kg CO₂e, visando aumento das emissões globais 787,5 % e desperdício do uso de energia.

É evidente que os benefícios da reciclagem dos materiais, superam significativamente as emissões na produção.

Tabela 37 - Fluxo de material e emissões do material bruto e reciclado

Entrada	Todas as máquinas avaliadas				
	Fluxo de material (kg)	Fator emissões (kg CO ₂ e)		Total emissões (kg CO ₂ e)	
		Metal bruto	Metal reciclado	Metal bruto	Metal reciclado
Aço carbono	34.357,9	3,19	1,00	109.601,7	34.357,9
Alumínio	777,9	15,00	1,69	11.668,5	1.314,7
Bronze	1,1	4,39	1,10	4,8	1,2
Chumbo	119,3	1,13	0,53	134,8	63,2
Cobre	173,4	6,00	0,96	1.040,4	166,5
Filme celulose	277,2	1,60	0,23	443,5	63,8
Total				122.893,8	35.967,2

Considerado os principais insumos: 1) Nos fluxos de materiais diretamente utilizados e nos da manutenção, em termos de massa; 2) Na energia incorporada, em termos energéticos; 3) Nas emissões dos GEE, em termos de emissões. Foram sumarizados os resultados para as máquinas avaliadas, nas Figuras 10 a 17, com o intuito de subsidiar estudos complementares, permitindo aos pesquisadores evitar dados muito detalhados, que não vão representar importância nos índices. Para a conversão da quantidade dos óleos lubrificantes, de litro para quilograma, foi baseada na densidade de $0,890 \text{ kg L}^{-1}$ a 15° C , conforme indicado pela norma (ISO, 1998). Dessa forma, conhecemos a massa desses óleos lubrificantes, nos fluxos de materiais das máquinas.

Durante a análise dos fluxos de materiais diretos das máquinas, verifico que a colhedora de café (M1) é constituída aproximadamente por 9.685 peças, sendo os materiais constituintes de maior representatividade: aço carbono (64,0 %), nylon 6.6 (16,6 %), ferro fundido (9,1 %), outros (10,3 %), representados pela Figura 10. O pulverizador (M2) é constituído aproximadamente por 10.032 peças, sendo os materiais constituintes de maior representatividade: aço carbono (77,0 %), borracha (7,8 %), ferro fundido (4,9 %), outros (10,3 %), representados pela Figura 11. A semeadora-adubadora (M3) é constituída aproximadamente por 4.063 peças, sendo os materiais constituintes de maior representatividade: aço carbono (65,2 %), ferro fundido (22,4 %), polietileno (5,2 %), outros (7,2 %), representados pela Figura 12. A colhedora de grãos (M4) é constituída aproximadamente por 11.933 peças, sendo os materiais constituintes de maior representatividade: aço carbono (64,9 %), ferro fundido (18,3 %), borracha (8,3 %), outros (8,5 %), representados pela Figura 13. O trator (M5) é constituído aproximadamente por 2.546 peças, sendo os materiais constituintes de maior representatividade: ferro fundido (45,1 %), aço carbono (31,8 %), borracha (16,9 %), outros (6,2 %), representados pela Figura 14. O trator (M6) é constituído aproximadamente por 7.524 peças, sendo os materiais constituintes de maior representatividade: ferro fundido (56,9 %), aço carbono (26,3 %), borracha (9,9 %), outros (6,9 %), representados pela Figura 15. O trator (M7) é constituído aproximadamente por 15.752 peças, sendo os materiais constituintes de maior representatividade: ferro fundido (56,2 %), aço carbono (28,3 %), borracha (9,7 %), outros (5,8 %), representados pela Figura 16. O trator (M8) é constituído aproximadamente por 15.057 peças, sendo os materiais

constituintes de maior representatividade: ferro fundido (57,4 %), aço carbono (30,8 %), borracha (6,4 %), outros (5,4 %), representados pela Figura 17.

Praticamente, todas as máquinas avaliadas têm como principal matéria-prima o aço carbono, exceto para os tratores, que demonstrou ser a principal matéria-prima o ferro fundido. Apesar dos materiais não ferrosos como alumínio e cobre, terem alto valor de energia incorporada e emissões, esses materiais não são consumidos em larga escala pelas máquinas agrícolas. Em relação as emissões nos insumos diretamente utilizados, o aço carbono representou acima 40 %. E nos insumos da manutenção, a borracha representou acima 20 % para as máquinas avaliadas, exceto para a colhedora de café (M1) e pulverizador (M2) (Figuras 10 a 16).

Para os tratores (M5, M6, M7 e M8), ferro fundido, aço carbono e borracha representaram a maior parte de energia incorporada (90 %) e emissões (85 %) nos insumos diretos. A maior parte das emissões foi devida o uso do ferro fundido. Para a manutenção, os principais materiais foram borracha, óleo hidráulico e óleo do motor, representados por (80 %) de energia incorporada e (75 %) de emissões. A maior parte das emissões foi devida o uso da borracha (Figuras 14 a 17).

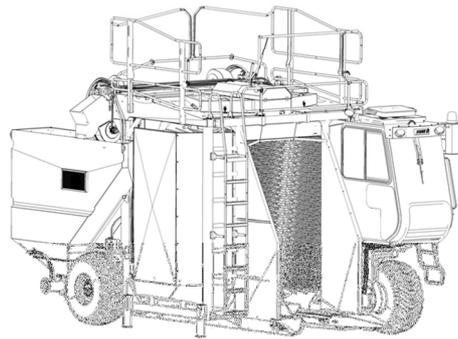
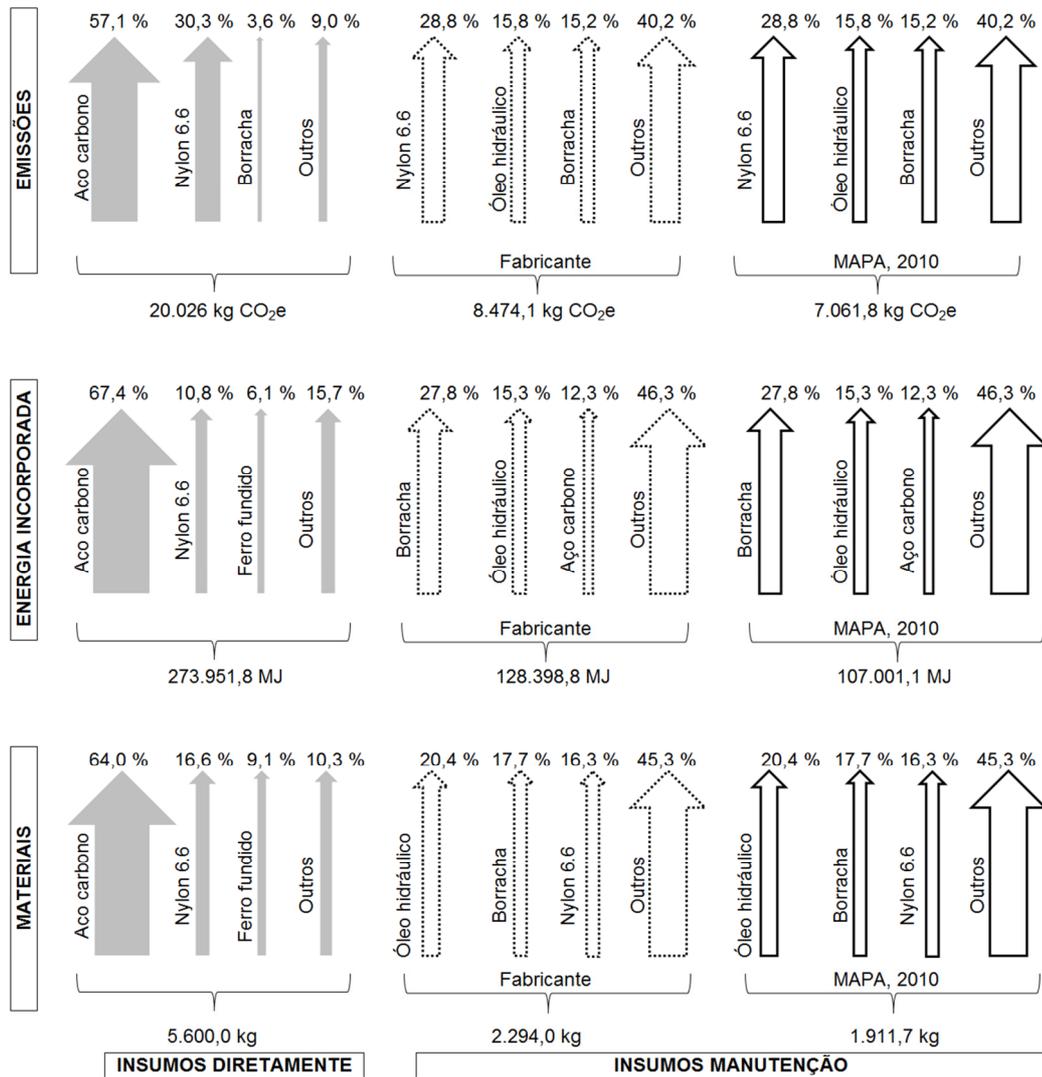


Figura 10 - Composição materiais, energia incorporada e emissões para a colhedora de café (M1)
 Fonte da imagem: Banco de dados da montadora avaliada

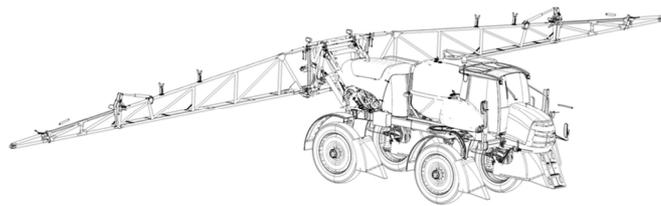
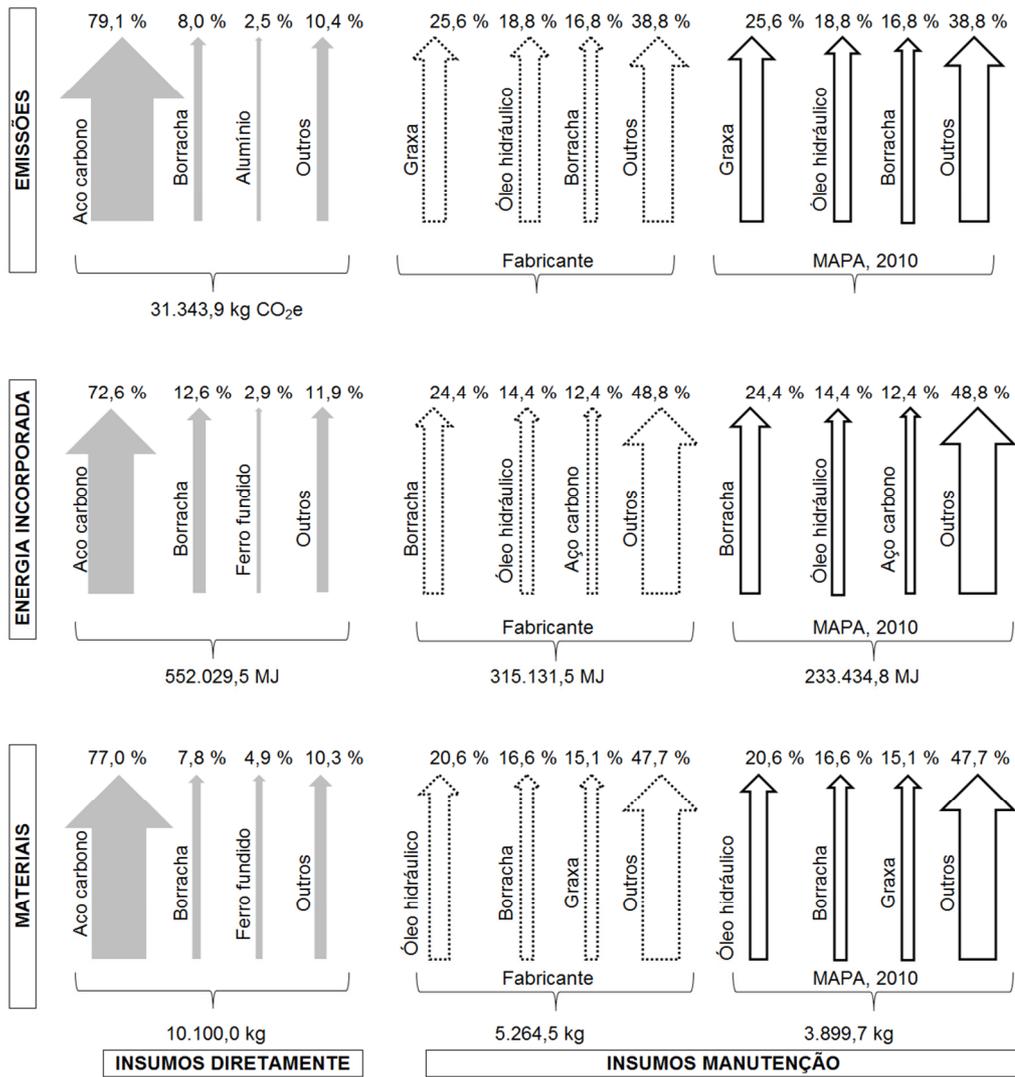


Figura 11 - Composição materiais, energia incorporada e emissões para o pulverizador (M2)
 Fonte da imagem: Banco de dados da montadora avaliada

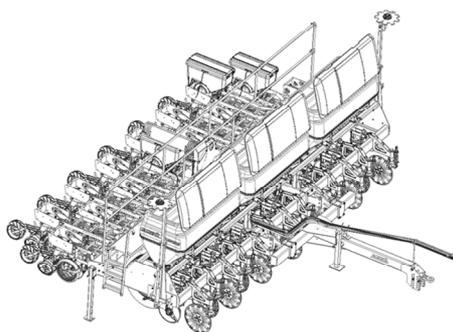
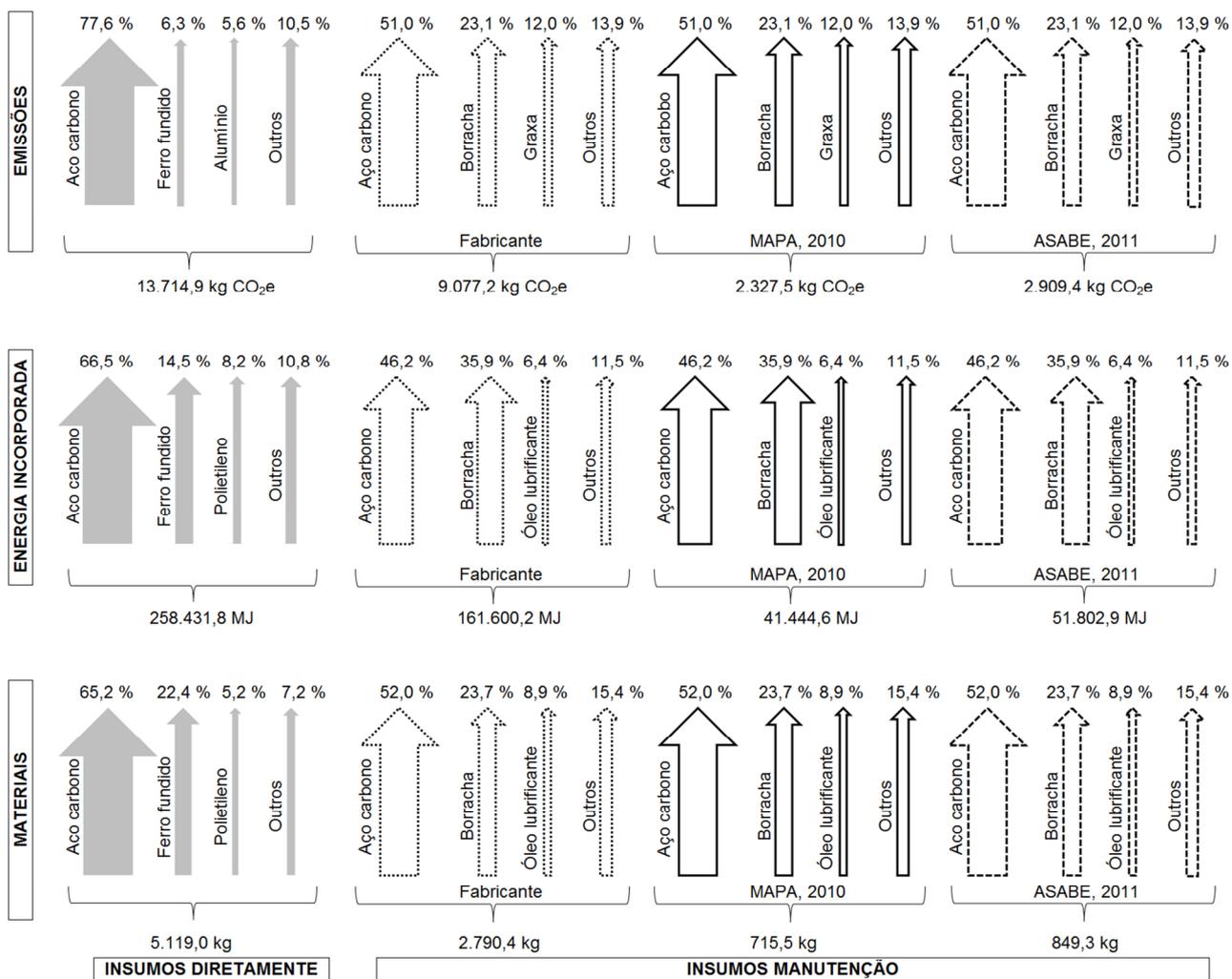


Figura 12 - Composição materiais, energia incorporada e emissões para a semeadora-adubadora (M3)

Fonte da imagem: Banco de dados da montadora avaliada

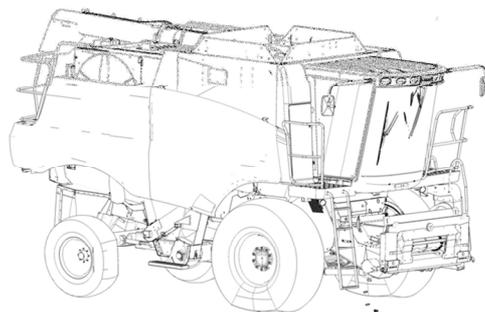
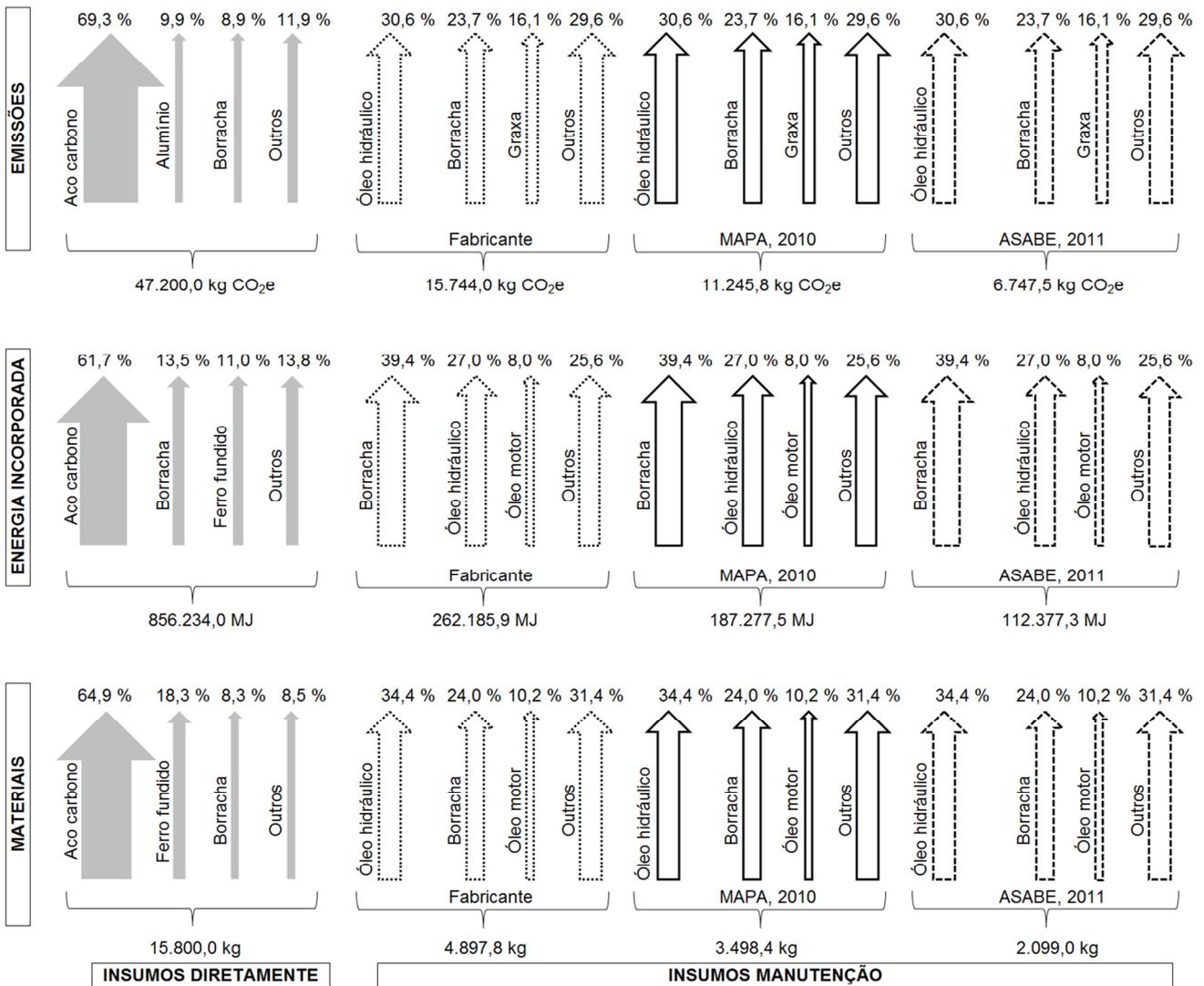


Figura 13 - Composição materiais, energia incorporada e emissões para a colhedora de grãos (M4)
Fonte da imagem: Banco de dados da montadora avaliada

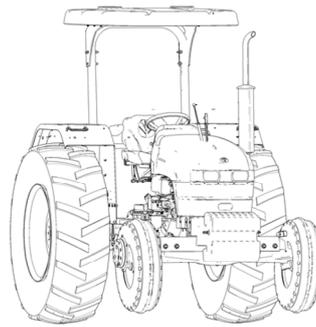
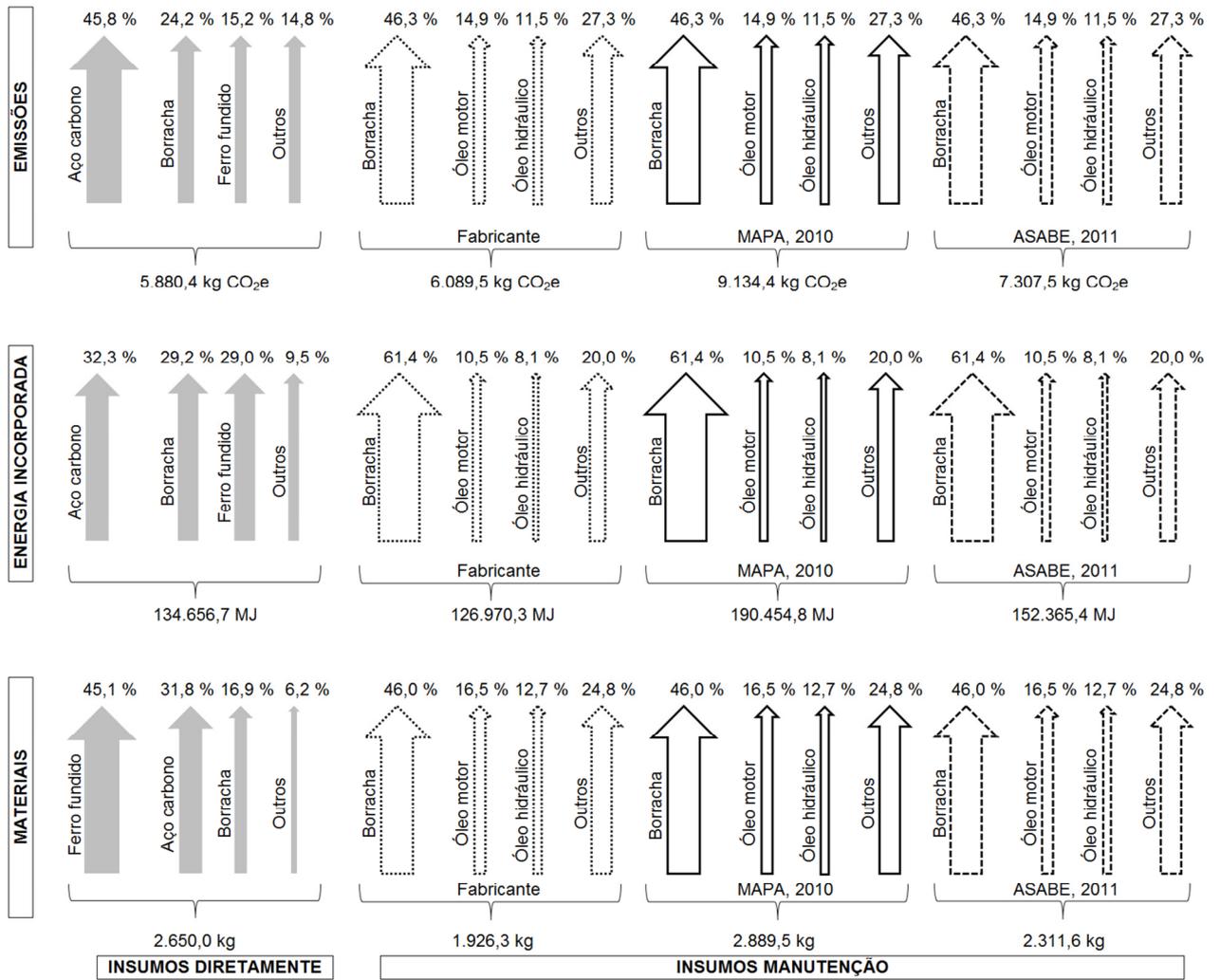


Figura 14 - Composição materiais, energia incorporada e emissões para o trator (M5)
 Fonte da imagem: Banco de dados da montadora avaliada

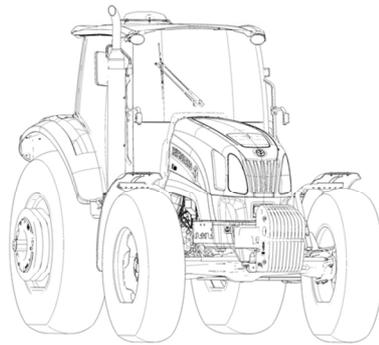
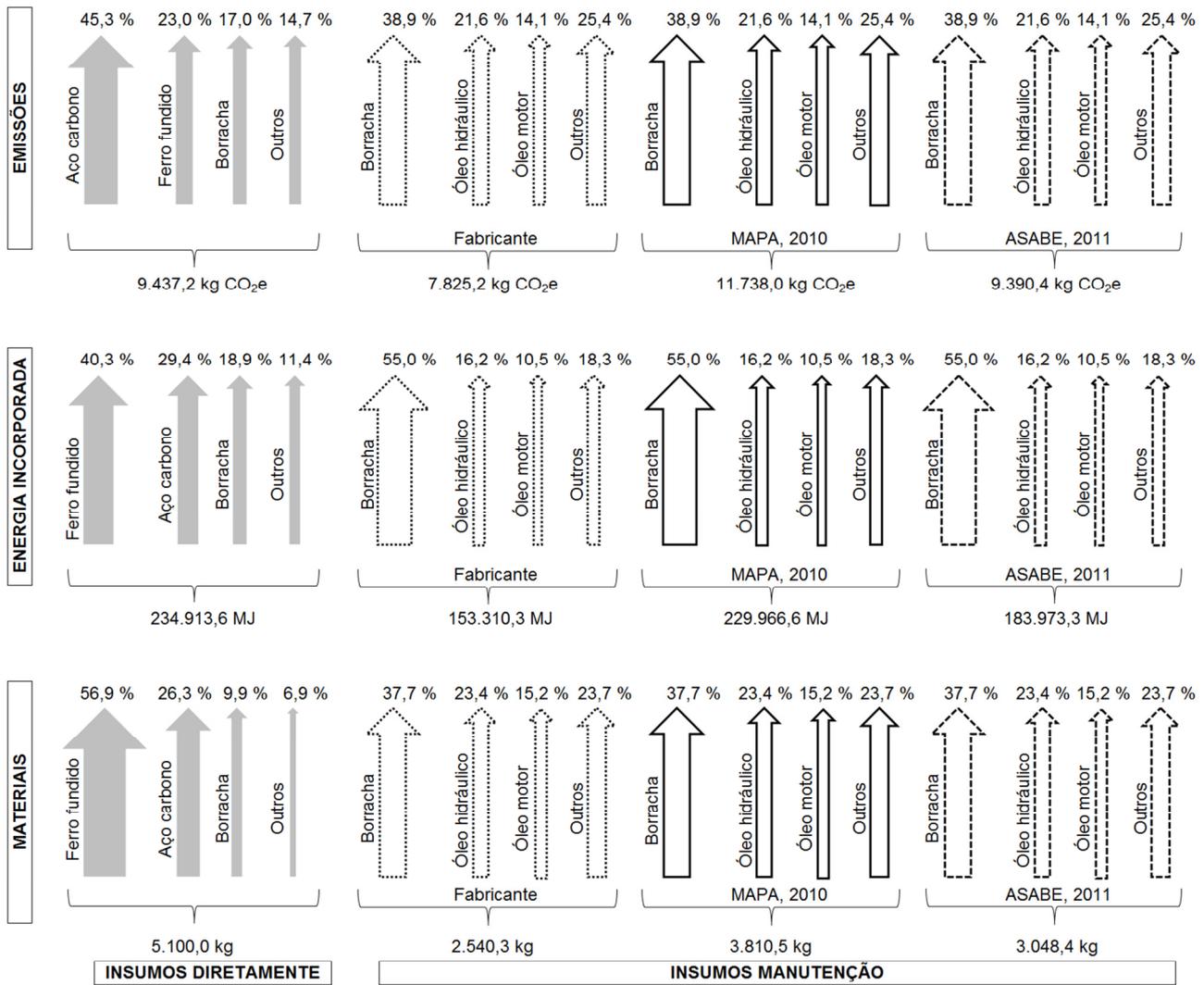


Figura 15 - Composição materiais, energia incorporada e emissões para o trator (M6)
 Fonte da imagem: Banco de dados da montadora avaliada

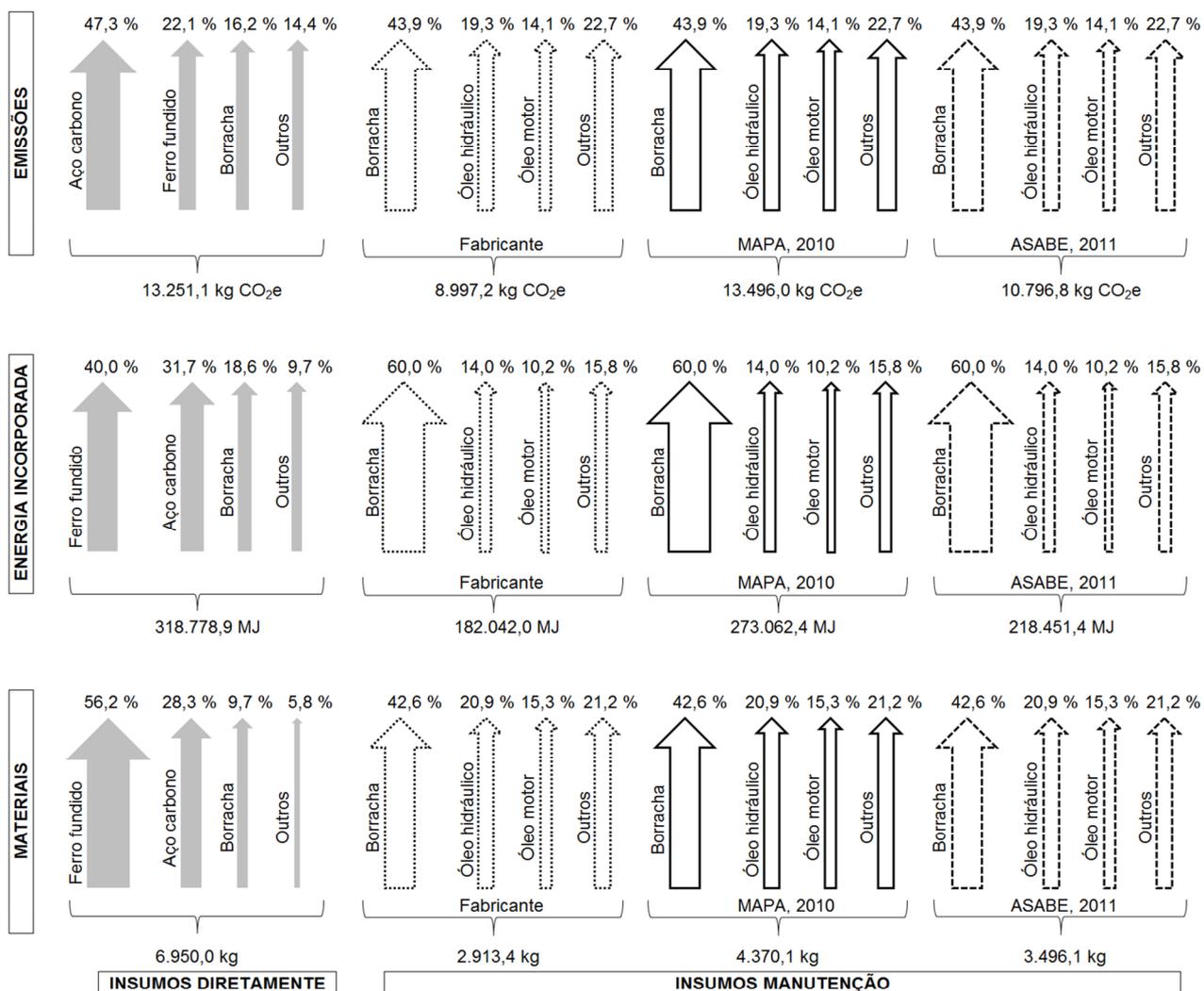


Figura 16 - Composição materiais, energia incorporada e emissões para o trator (M7)
 Fonte da imagem: Banco de dados da montadora avaliada

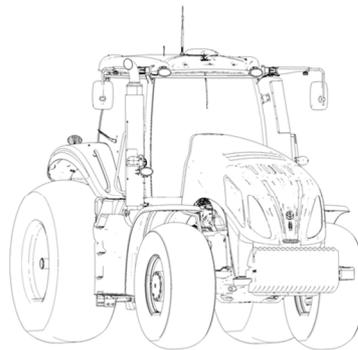
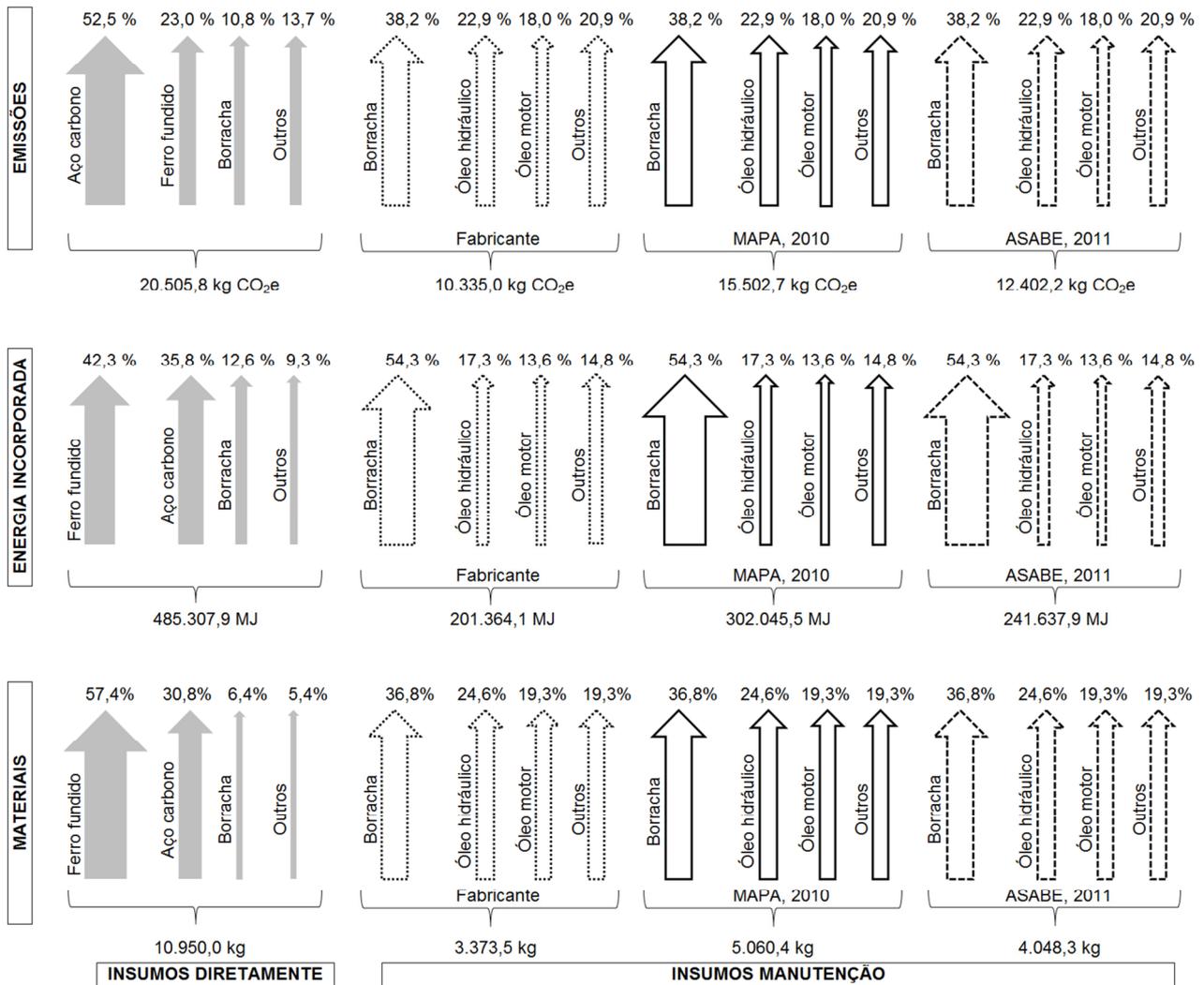


Figura 17 - Composição materiais, energia incorporada e emissões para o trator (M8)
 Fonte da imagem: Banco de dados da montadora avaliada

Na avaliação do ciclo de vida indicado pelo fabricante, o trator (M5) consumiu maior quantidade de energia incorporada pela massa $98,7 \text{ MJ kg}^{-1}$, em relação aos demais tratores. O pulverizador (M2) consumiu maior quantidade de energia incorporada pela massa $85,9 \text{ MJ kg}^{-1}$ em relação a colhedora de café (M1)

(71,8 MJ kg⁻¹), semeadora-adubadora (M3) (82,1 MJ kg⁻¹) e colhedora de grãos (M4) (70,8 MJ kg⁻¹), no ciclo de vida indicado pelo fabricante.

Na avaliação durante o ciclo de vida indicado pelo (BRASIL, 2010), a semeadora-adubadora (M3) resultou maior emissões 13,4 kg CO₂e h⁻¹, atribuindo menor emissões para o trator (M5) 1,0 kg CO₂e h⁻¹.

3 CONCLUSÕES

Nesse trabalho foram determinados os inventários de materiais, energia incorporada e emissões dos GEE em máquinas agrícolas, em seus ciclos de vida útil. Aumentando a massa das máquinas, aumenta a demanda por energia e emissões. Os insumos com maiores demandas em termos de massa, energia incorporada e emissões, na fase de montagem (aço carbono e ferro fundido) e na fase de manutenção (óleo hidráulico e borracha).

Os insumos diretamente utilizados apresentaram elevada demanda por energia incorporada e emissões. Os insumos da manutenção obtiveram maiores demandas por energia incorporada e emissões, no ciclo de vida útil indicado pelo fabricante, para a colhedora de café (M1), pulverizador (M2), semeadora-adubadora (M3), colhedora de grãos (M4) e no ciclo de vida útil indicado pelo (BRASIL, 2010), para os tratores (M5, M6, M7 e M8).

Tratores mais potentes demandam menos energia incorporada e emissões relativas às potência motor e massa, em relação aos tratores pequenos. Embora as demandas de energia incorporada e emissões pelo ciclo de vida útil, foram menores para os tratores pequenos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fluxos de materiais foram detalhados durante o desenvolvimento do trabalho, visando colaborar com a aplicação de outras metodologias de avaliação ambiental. O aço carbono apresenta baixo índice de energia incorporada e fator de emissões, comparado com os polímeros e metais não ferrosos, porém pela magnitude demandada desse insumo pelas máquinas agrícolas, se torna um metal com grande demanda energética e elevada emissões.

Empresas trabalham continuamente para alcançar maior sustentabilidade em seus produtos e serviços, uma maneira delas alcançarem esse objetivo, é reduzir a quantidade de massa no produto e prolongar a vida útil das peças. Conseqüentemente reduzirão a energia incorporada na extração e processamento do minério, além dos danos causados ao ambiente, como as severas emissões dos GEE.

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; VEZZOLI , 2002).

O uso de materiais que resultem maior sustentabilidade do produto, consumindo menor demanda por energia, além de gerar menores emissões e impacto ambiental negativo, deverá ser avaliado quando idealizando um produto. A análise dos fluxos de materiais fornece informações detalhadas para essa decisão, com o objetivo de obter produtos e processos cada vez mais sustentáveis, contribuindo com a mitigação das emissões dos GEE. Essa análise deve ser feita na fase de projeto do produto e não após o produto produzido, pois a meta é ter produtos e processos que reduzam os resíduos e as emissões, sendo mais sustentáveis. Na análise do ciclo de vida, deve considerar a fase de reciclagem.

Identificado nos fluxos de materiais, que vários componentes da cabine das máquinas, usam ABS reciclado como matéria-prima. Isso é uma boa iniciativa ambiental, no entanto, é importante gradativamente aumentar o uso de materiais recicláveis e de fontes renováveis, como as fibras vegetais (juta, sisal, banana, algodão e coco), em substituição ao uso dos polímeros e fibra de vidro, para fabricação dos produtos. Com o uso dessas fontes renováveis, reduzirá o consumo

de energia e emissões dos GEE que afetam o aquecimento global, além do que aumenta o rendimento para a agricultura.

Como sugestões para futuros estudos, analisar o destino final das máquinas agrícolas após cessar a vida útil, bem como, a disposição final dos óleos lubrificantes (especialmente óleo hidráulico) e borracha dos pneus, após as trocas.

Com essa base de dados criada para análise do ciclo de vida em máquinas agrícolas, as indústrias de máquinas agrícolas podem adequar os processos e cooperar para a redução do consumo de energia e mitigação dos GEE, em seus produtos. O fluxograma (Figura 18) sintetiza a produção de máquinas agrícolas, por meio do desenvolvimento desse trabalho. Se o objetivo é produzir máquinas agrícolas eficientes para a prosperidade global, deve-se proporcionar maior incentivo para a redução do consumo de energia e emissões dos GEE, além de aumentar a eficiência da oferta para o usuário final, usando materiais e serviços energéticos, que transfiram cada vez menos prejuízo ao ambiente.

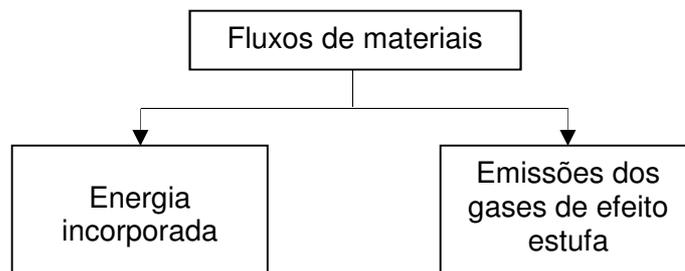


Figura 18 - Fluxograma produção de máquinas agrícolas

REFERÊNCIAS

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

ADVISORY GROUP ON ENERGY AND CLIMATE CHANGE. The Secretary-General's Advisory Group on Energy and Climate Change. **Energy for a sustainable future: summary report and recommendations**. New York, 2010. 26 p.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Definições para rerefino e coleta de óleos lubrificantes usados e contaminados**: portaria ANP n.81 de 30 de abril de 1999. Brasília. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/1999/maio/panp%2081%20-%201999.xml?fn=document-frameset.htm?f=templates\\$3.0](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/1999/maio/panp%2081%20-%201999.xml?fn=document-frameset.htm?f=templates$3.0)>. Acesso em: 30 ago. 2015.

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.

ALI, M.F.; HAMDAN, A. J.; RAHMAN, F. Techno-economic evaluation of waste lube oil re-refining in Saudi Arabia. **American Chemical Society, Division of Fuel Chemistry**, Chicago, v. 40, n. 4, p. 901-907, 1995.

ALLWOOD, J.M.; ASHBY, M.F.; GUTOWSKI, T.G.; WORRELL, E. Material efficiency: providing material services with less material production. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. A: Mathematical, physical and Engineering Sciences**, London, v. 371, n. 1986, p. 2-15, 2013

ALMEIDA, C.M.V.B.; GIANNETTI, B.F. **Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 109 p.

ALVES, M.O.; SANTIAGO, E.G.; LIMA, A.R.M. **Diagnóstico socioeconômico do setor sisaleiro do Nordeste brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2005. 90 p.

AMATO NETO, J. A indústria de máquinas agrícolas no Brasil: origens e evolução. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 57-69. 1985.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Failure cause, frequency, and repair for harvesting equipment In: _____. **Agricultural engineers yearbook of Standards**. St. Joseph, 1983. p. 1673-1677.

_____. **D497.7**: agricultural machinery management data. St. Joseph, 2011. 8 p.

_____. **EP496.2**: agricultural machinery management. St. Joseph, 2003. p. 367-372.

- ASHBY, M.F.; JOHNSON, K. The art of materials selection. **Materials Today**, London, v. 6, n. 12, p. 24-35, 2003
- ASHBY, M.F.; BRECHET, Y.J.M.; CEBON, D.; SALVO, L. Selection strategies for materials and process. **Materials & Design**, Oxford, v. 25, n. 1, p. 51-67, 2004
- ASSENHEIMER, A.; CAMPOS, A.T.; GONÇALVES JÚNIOR, A.F.C. 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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB 66**: conceituação e normalização das máquinas agrícolas, Rio de Janeiro, 1987. 20 p.
- _____. **NBR ISO 14001**: sistemas da gestão ambiental; requisitos com orientação para uso, Rio de Janeiro, 2004a. 27 p.
- _____. **ISO/TR 14062**: gestão ambiental: integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto, Rio de Janeiro, 2004b. 26 p.
- AURICH, J.; FUCHS, C.; WAGENKNECHT, C. Life cycle oriented of technical product-service systems. **Journal of Cleaner Production**, Kaiserslautern, v. 14, p. 1480-1494, 2006
- BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 307 p.
- BARICELO, L.G.; BACHA, C.J.C. Oferta e demanda de máquinas agrícolas no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, ano 22, n. 4, p. 67-83, 2013
- BARROS, A.L.M. de. **Capital, produtividade e crescimento da agricultura: o Brasil de 1970 a 1995**. 1999. 149 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999
- BERRY, R.S.; FELLS, 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. Chicago: University of Chicago, Department of Chemistry, 1972. 74 p.
- BERGE, B. **The ecology of building materials**. 2nd ed. Oxford: Elsevier, 2009. 427 p.
- BERKHOUT, F.G. **The concept of industrial metabolism and its implication for statistics**. Luxembourg: European Communities, 1999. 56 p. (Eurostat Working Papers, 2/1999/B/2).
- BORCHARDT, M.; POLTOSI, L.A.C.; SELLITTO, M.A.; PEREIRA, G.M. Considerações sobre ecodesign: um estudo de caso na indústria eletrônica automotiva. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 341-353, 2008.

BOUSTEAD, I.; HANCOCK, G.F. **Handbook of industrial energy analysis**. Chichester: Ellis Horwood Publ., 1979. 422 p.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Custos de produção agrícola: a metodologia da CONAB**. Brasília: CONAB, 2010. 60 p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Balço energético nacional**. Brasília, 2000. 154 p.

_____. **Balço energético nacional**. Brasília, 2009. 274 p.

_____. **Balço energético nacional**. Brasília, 2015. 292 p.

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

BRINGEZU, S.; KLEIJN, R. Short review of the MFA work presented. In: CONACCOUNT WORKSHOP, 147., Amsterdam, 1997. **Regional and national material flow accounting: from practice to paradigm of sustainability: proceedings...** Wuppertal: Wuppertal Institute, 1997. p. 21-23.

CARRUTH, M.A.; ALLWOOD, J.M.; MOYNIHAN, M.C. The technical potential for reducing metal requirements through lightweight product design. **Resources, Conservation and Recycling**, Michigan, v. 57, p. 48-60, 2011.

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).

ÇENGEL, Y.A.; BOLES, M.A. **Termodinâmica**. Tradução de E. Rodrigues e J.P. Ferreira. Lisboa: 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: CRC Press, 1980. chap. 2, p. 15-21.

CHEHEBE, J.R. **Análise do ciclo de vida de produtos: uma ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Quality Mark; CNI, 1997. 120 p.

CLEVELAND, C.J.; MORRIS, C. **Dictionary of energy**. Amsterdam: Elsevier, 2006. 503 p.

DE BEER, J.G.; WORRELL, E.; BLOK, K. Future technologies for energy efficient iron and steelmaking. **Annual Review of Energy and Environment**, Palo Alto, v. 23, p. 123-205, 1998.

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

DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD & RURAL AFFAIRS. **Guidelines for DEFRA/DECC's: greenhouse gas conversion factor repository**. 2014. Disponível em: <<http://www.ukconversionfactorscarbonsmart.co.uk/>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

DEVINE, W.P. Beyond NIMBYism: towards an integrated framework for understanding public perceptions of wind energy. **Wind Energy**, Nasr, v. 8, n. 2, p. 125-139, 2005.

DOERING, O.C. Accounting for energy in farm machinery and buildings. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 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**, Herts, v. 93, n. 1, p. 107-118, 2006.

EDENHOFER, O.; PICHS-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; SEYBOTH, K.; MATSCHOSS, P.; KADNER, S.; ZWICKEL, T.; EICKEMEIER, P.; HANSEN, G.; SCHLOEMER, S.; VON STECHOW, C. (Ed.). **Renewable energy sources and climate change mitigation: special report of the intergovernmental panel on climate change**. New York: Cambridge University Press, 2012. 230 p,

EMBRAPA AGROENERGIA. **O carvão vegetal no Brasil e a produção de aço verde**. 2011. Disponível em: <<http://www.cnpae.embrapa.br>>. Acesso em: 11 abr. 2015.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. **Máquinas para agricultores familiares: idéias, inovações e criações apresentadas na 3ª mostra de máquina e inventos**: Brasília: EMBRAPA, 2015. 187 p.

FIKSEL, J. **Design for environment: creating eco-efficient product and processes**. New York: McGraw-Hill, 1996. 513 p.

_____. **Ingeniería de diseño medioambiental DFE: desarrollo integral de productos y procesos ecoeficientes**. Madrid: McGraw-Hill, 1997. 512 p.

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

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

FONSECA, M.D.G.D. **Concorrência e progresso técnico na indústria de máquinas para agricultura: um estudo sobre trajetórias tecnológicas**. 1990. 268 p. Tese (Doutorado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1990.

FUNG, K.L.; XING, X.S.; LI, R.K.Y.; TJONG, S.C.; MAI, Y.W. An investigation on the processing of sisal fibre reinforced polypropylene composites. **Composites Science and Technology**, Delaware, v. 63, n. 9, p. 1255-1258, 2003.

GADANHA JÚNIOR, C.D.; MOLIN, J.P.; COELHO, J.L.D.; YAHN, C.H.; TOMIMORI, S.M.A.W. **Máquinas e implementos agrícola do Brasil**. São Paulo: IPT; Porto Alegre: CIENTEC, 1991. 468 p.

HAMMOND, G.; JONES, C. **Inventory of carbon & energy**: Bath: University of Bath, Department of Mechanical Engineering, Sustainable Energy Research Team, 2008. 64 p.

HEITZMANN, L.F.; FERRARESI, G.; NEIS, A.; CARVALHO, E.; CASA, F.; MEIRE, J.; REIS NETO, O.P. **Aplicação de materiais de fontes renováveis na indústria automobilística**. São Paulo: Daimler Chrysler do Brasil, 2001. 9 p.

HERRERA-FRANCO, P.J.; VALADEZ-GONZALES, A. Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites. **Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing**, Bristol. v. 35, n. 3, p. 339-345, 2004.

HINRICHS, R.A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. 3. ed. Tradução de F.M. Vichi e L.F. Mello. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 543 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2001: the scientific basis**. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2001. 881 p.

_____. **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**: prepared by the national greenhouse gas inventories programme. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2006. 302 p.

_____. Summary for policymakers. In: _____. **Climate Change 2007: mitigation**. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2007a. 851 p.

_____. Technical summary. In: _____. **Climate Change 2007: mitigation**. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2007b. 851 p.

_____. Industry. In: **Climate Change 2007: mitigation**. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2007c. 851 p.

_____. Industry. In: _____. **Climate Change 2014: mitigation of climate change**. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2014. 1435 p.

INTERNATIONAL ALUMINIUM INSTITUTE. **Aluminium for future generations: sustainability update 2005**. Disponível em: <http://www.world-aluminium.org/iai/publications/documents/update_2005.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World energy outlook 2011**. Paris, 2011. 659 p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY GREENHOUSE GAS. **Abatement of emissions of other greenhouse gases: engineered chemicals**. Cheltenham, 2001. 83 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **3675: crude petroleum and liquid petroleum products - Laboratory determination of density; hydrometer method**. Switzerland, 1998. 10 p.

_____. **1436: rubber hoses and hose assemblies: wire braid reinforced hydraulic types for oil based on water based fluids specification**. Switzerland, 2009a. 12 p.

_____. **3862: rubber hoses and hose assemblies: rubber covered spiral wire reinforced hydraulic types for oil based on water based fluids specification**. Switzerland, 2009b. 13 p.

JÄGERSKOG, A.; CLAUSEN, T.J.; HOLMGREN, T.; LEXËN, K. (Ed.). **Energy and water: the vital link for a sustainable future**. Stockholm: SIWI, 2014. 64 p. (Report, 33).

JARDIM, N.S.O. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas; CEMPRE, 1995. 278 p.

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, 1984. 50 p.

KIM, Y.; WORREL, E. International comparison of CO₂ emissions trends in the iron and steel industry. **Energy Policy**, Nevada, v. 30, n. 10, p. 827-838, 2002.

LEE, J.; CHO, H.; CHOI, B.; SUNG, J.; LEE, S.; SHIM, M. Life cycle analysis of tractors. **The international Journal of Life Cycle Assessment**, London, v. 5, n. 4, p. 205-208, 2000.

LENNART, Y.L.; KEVIN, L.E. Design, materials selection and marketing of successful products. **Materials & Design**, Surrey, v. 24, n. 7, p. 519-529, 2003.

LESKO, J. **Materials and manufacturing guide industrial design**. New York: John Wiley, 1999. 175 p.

LIMA, A.M. **Estudos recentes e perspectivas da viabilidade técnico-econômica da produção de biodiesel**. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012. 23 p.

LJUNGBERG, L. Responsible products: selecting design and materials. **Design Management Review**, Malden, v. 16, n. 3, p. 64-73, 2005

LOPES, R.A.P. **Tratores e motores agrícolas**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Depto. de Engenharia Agrícola, 2009.

Disponível em:

<<http://www.dea.uem.br/disciplinas/tratoresmotores/tratoresmotores.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2015.

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

MANTOAM, E.J.; MILAN, M.; GIMENEZ, L.M.; ROMANELLI, T.L. Embodied energy on sugarcane harvesters. **Biosystems Engineering**, Herts, v. 118, p. 156-166, 2014.

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

MARROQUIM, S. **Uso da fibra de coco e látex na engenharia automotiva**: memorial da Crina-Látex do Brasil. Abreu e Lima: ABRACOCO, 1994. 50 p.

MARTCHECK, K. Modelling more sustainable aluminum. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, London. v. 11, n. 1 p. 34-37, 2006.

MARTINS, J.P. The extraction-flocculation re-refining lubricating oil process using ternary organic solvents. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Pennsylvania, v. 36, n. 9 p. 3854-3858, 1997

MATTOSO, L.H.C. Conferência internacional de compósitos reforçados com fibras vegetais. **Polímeros**, São Carlos, v. 9, n. 2, p. 16-16, 1999.

MEDINA, H.V. Eco-design na indústria automobilística: o conceito de carro urbano. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE P&D EM DESIGN, 6., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Nacional de Pesquisa em Design, 2003. v. 1, p. 1.

_____. A análise de ciclo de vida aplicada à pesquisa e desenvolvimento de ecomateriais no Brasil: In: PIRES, A.C.; PAULA, M.C.S.; VILLAS BÔAS, R.C. (Ed.). **A avaliação do ciclo de vida: a ISO 14040 na América Latina**. Rio de Janeiro: CETEM, 2005. p. 310-330.

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1974. 300 p.

_____. **Máquinas agrícolas para plantio**. Campinas: Millennium Editora, 2012. 623 p.

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

MONTEIRO, J.H.P., ZVEIBIL, V.Z. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001, 200 p.

MORIGUCHI, Y. Industrial ecology in Japan. **Journal of Industrial Ecology**, Malden, v. 4, n. 1, p. 7-9, 2000.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Frequently asked questions 2007**. Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/infodata/faq_cat-3.html>. Acesso em: 17 ago. 2015.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Climate stabilization targets: emissions, concentrations, and impacts over decades to millennia**. Washington: National Academic Press, 2011. 286 p.

OLIVEIRA, E.; SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREDO, C.A.P. Influência da colheita mecanizada na produção cafeeira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, p. 1466-1470, 2007.

OLIVEIRA, M.D. Custo operacional e ponto de renovação de tratores agrícolas de pneus: avaliação de uma frota. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Foz do Iguaçu. **Anais...** Cascavel: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. 1 CD ROM.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Measuring capital OECD manual**. 2nd ed. Paris, 2009. 232 p.

PAINULY, J.P. Barriers to renewable energy penetration: a framework for analysis. **Renewable Energy**, Lemesos, v. 24, n. 1, p. 73-89, 2001.

PORTAL ACTION. **1.6 Coeficiente de determinação**: análise de regressão/regressão linear simples/1.6 coeficiente de determinação. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/analise-de-regressao/16-coeficiente-de-determinacao>>. Acesso em: 22 mar. 2016.

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.

RAUPACH, M.R.; MARLAND, G.; CIAIS, P.; LE QUÉRÉ, C.; CANADELL, J.G.; KLEPPER, G.; FIELD C.B. Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 104, n. 24, p. 10288-10293, 2007.

RIITAHUHTA, A.; SALMINEN, V.; SIRKKOLA, E. Greening as strategic choice. **Journal of Environmentally Conscious Design & Manufacturing**, Orono, v. 3, n. 1, p. 27-33, 1994.

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

_____. 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: Os Autores, 2009b. v. 1, p. 304-312.

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

ROMANELLI, T.L.; COHEN, M.J.; MILAN, M.; BROWN, M.T. Energy synthesis of intensive eucalyptus cultivation in São Paulo, Brazil. **Forest Science**, Bethesda, v. 54, p. 228-241, 2008.

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.

ROMM, J.J. **Um passo além da qualidade: como aumentar seus lucros e produtividade através de uma administração ecológica**. São Paulo: Futura, 1996. 245 p.

SATHAYE, J.; O. LUCON; A. RAHMAN; J. CHRISTENSEN; F. DENTON; J. FUJINO; G. HEATH; S. KADNER; M. MIRZA; H. RUDNICK; A. SCHLAEPFER; A. SHMAKIN, 2011: renewable energy in the context of sustainable development. In: EDENHOFER, O.; PICHES-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; SEYBOTH, K.; MATSCHOSS, P.; KADNER, S.; ZWICKEL, T.; EICKEMEIER, P.; HANSEN, G.; SCHLÖMER, S.; VON STECHOW, C. (Ed.). **IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation**. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2011. p. 18-20.

SCHLENKER, W.; ROBERTS, M.J. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 106, n. 37, p. 15594-15598, 2009.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Apostila materiais metálicos e não metálicos**. Vitória, 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.

SILVA, J.G.; SERRA, G.E.; MOREIRA, J.R.; GONCALVEZ, J.C. Balanço energético cultural da produção de álcool etílico de cana de açúcar, mandioca e sorgo sacarino, fase agrícola e industrial. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 88, n. 6, p. 8-12, 1976.

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.

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z., MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (Ed.). **Climate change 2007: the physical science basis**. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2007. 996 p.

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. Disponível em: <<http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/106.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2015.

SUMMERS, M.C. The conversion of energy. **Scientific American**, Armonk, v. 225, n. 3, p. 148-160, Sept. 1971.

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**. Maiduguri: The CIGR Journal of Scientific Research and Development, Agricultural Engineering International, 2003. 11 p.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. **World investment report 2008: transnational corporations and the infrastructure challenge**. New York, 2008, 294 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA-430-R-07-002: inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks; 1990-2005**. Pennsylvania, 2007. 393 p.

_____. **EPA-430-R-10-001: methane and nitrous oxide emissions from natural sources**. Washington, 2010. 194 p.

_____. **EPA 430-R-15-004: inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks; 1990-2013**. Pennsylvania, 2015. 564 p.

VEIGA, J.P.S.; ROMANELLI, T.L.; GIMENEZ, L.M.; BUSATO, P.; MILAN, M. Energy embodiment in Brazilian agriculture: an overview of 23 crops. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, n. 6, p. 471-477, 2015.

VERCALSTEREN, A. Integrating the ecodesign concept in small and medium-sized enterprises, experiences in the Flemish region of Belgium. **Environmental Management and Health**, Bingley, v. 12, n. 4, p. 347-355, 2001

VIAN, C.E.F.; ANDRADE JÚNIOR, A.M.; BARICELO, L.G.; SILVA, R.P.D. Origens, evolução e tendências da indústria de máquina agrícolas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 51, n. 4, p. 719-744, 2013.

WASSMANN, R.; JAGADISH, S.V.K.; HEUER, S.; ISMAIL, A.; REDONA, E.; SERRAJ, R.; SINGH, R.K.; HOWELL, G.; PATHAK, H.; SUMFLETH, K. Climate change affecting rice production: the physiological and agronomic basis for possible adaptation strategies. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 101, p. 59-122, 2009.

WATERMAN, N.A.; ASHBY, M.F. **CRC: Elsevier materials selector**. Oxford: CRC Press, 1991. v. 1, p. 383-390.

WOLSINK, M. Wind power implementation: the nature of public attitudes; equity and fames instead of “backyard motives”. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, v. 11, n. 6, p. 1188-1207, 2007.

WUSTENHAGEN, R.; WOLSINK, M.; BURER M.J. Social acceptance of renewable energy innovation: an introduction to the concept. **Energy Policy**, Nevada, v. 35, n. 5, p. 2683-2691, 2007.

ZAMBANINI, M.E.; BRESCIANI, L.P.; PEREIRA, R.S.; SOUZA, D.A.; ORTEGA, G. Sustentabilidade e inovação: um estudo sobre o plástico verde. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**. Maringá, v. 7, n. 2, p. 429-453, 2014.