

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE
MATERIAIS

LETICIA DE SANTI BARRANTES

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO DE
BIOMASSA FLORESTAL COM FINALIDADES ENERGÉTICAS NO
BRASIL: CASO DE ITAPEVA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

CURITIBA
2016

LETICIA DE SANTI BARRANTES

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO DE
BIOMASSA FLORESTAL COM FINALIDADES ENERGÉTICAS NO
BRASIL: CASO DE ITAPEVA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba, como requisito parcial para a obtenção do título de “Mestre em Engenharia” – Área de Concentração: Engenharia de Manufatura.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Cássia Maria Lie Ugaya.

Co-orientador: Dr^a. Marília Ieda da Silveira Folegatti-Matsuura.

CURITIBA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

B268a Barrantes, Leticia de Santi
2016 Avaliação do desempenho ambiental da produção de biomassa florestal com finalidades energéticas no Brasil : caso de Itapeva / Leticia de Santi Barrantes.-- 2016. 182 p.: il.; 30 cm

Texto em português, com resumo em inglês.
Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós- graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.
Bibliografia: p. 161-178.

1. Engenharia mecânica - Dissertações. 2. Itapeva (SP). 3. Florestas - Ciclos de vida. 4. Ciclo de vida do produto - Aspectos ambientais. 5. Ciclo de vida do produto - Inventários. 6. Biomassa. 7. Eucalipto. 8. Energia. I.Ugaya, Cássia Maria Lie. II.Folegatti-Matsuura, Marília Ieda da Silveira. III.Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. IV. Título.

CDD: Ed. 22 -- 620.1

TERMO DE APROVAÇÃO

LETICIA DE SANTI BARRANTES

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA FLORESTAL COM FINALIDADES ENERGÉTICAS NO BRASIL: CASO DE ITAPEVA

Esta Dissertação foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração em Engenharia de Manufatura, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais.

Prof. Paulo César Borges, Dr.
Coordenador do Programa

Banca Examinadora

Prof. Cássia Maria Lie Ugaya, Dr.
UTFPR – orientadora

Prof. Marília Ieda da S. Folegatti-M, Dr.
EMBRAPA

Prof. Carla Amodio Estorilio, Dr.
UTFPR

Prof. José Adolfo de Almeida Neto, Dr.
UESC

Curitiba, 26 de Agosto de 2016.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à professora Cássia Ugaya, pois sem o seu aceite nada disso teria começado. Obrigada por sempre me incentivar a encarar grandes desafios e por ter me proporcionado diversas experiências ao longo do mestrado, em especial a de trabalhar na Suíça.

À Marília Folegatti que depositou confiança no meu trabalho desde a minha inserção na Avaliação do Ciclo de Vida. Obrigada por toda a atenção ao longo desses anos e por ser um exemplo de dedicação e comprometimento.

Agradeço também ao José Mauro Ávila pelo companheirismo, cuidado e ensinamentos acerca da engenharia florestal, passados durante as atividades iniciais deste projeto.

À colaboração prestada pelos produtores e especialistas entrevistados na região de Itapeva que foi decisiva para os avanços aqui alcançados.

À Professora Carla Estorilio pelo ótimo direcionamento dado na etapa de qualificação, ao Danilo Frascareli pela ajuda na criação de mapas, à Maria Cléa Figueirêdo pelo envio do artigo de ACV de culturas permanentes, ao Marcelo Langer pelos conselhos acerca do tema estudado e ao Viveiro Dacko pelas informações de representatividade de produção de mudas florestais.

Agradeço ao time doecoinvent Centre: Gregor, Tereza, Lucía, Amir, Linda, Guillaume, Tarja e Emilia. Pela incrível experiência que me foi proporcionada, pelo tempo investido, pela paciência e credibilidade.

À minha família, pois sem ela, nenhuma conquista faria sentido! Obrigada mãe, por ser uma mulher tão maravilhosa e me dar tanto amor! Obrigada pai, pelo exemplo mais perfeito de ser humano, marido, pai e amigo! Obrigada Daniel, pela companhia ao longo da vida e pelo carinho que sempre teve por mim. Obrigada tia Sônia por nossa amizade.

Muito obrigada aos colegas de trabalho, da Metrologia e do Grupo de Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida, que tornaram esta jornada muito mais leve: Elaine, Leandro, Ernani, Blancoiz, Paola, Vítor, Marco, Jéssyca, Elizeu, Gustavo e o professor Walter Mikos. Em especial, agradeço à Giovanna, quem esteve ao meu lado em todos os momentos, até nas manhãs congelantes dos Alpes suíços! Obrigada por todo apoio, incentivo e parceria! Por me mostrar que obstáculos são apenas pedras que estão no nosso caminho para serem puladas!

Agradeço às amigas Michelle e Juliana por compartilharem suas experiências em ACV comigo, por discutirem questões técnicas e por serem ainda minhas parceiras para momentos de descontração.

À Roberta, Cristina e Fernanda que foram minha família curitibana, sem vocês eu não teria conseguido!

Agradeço ao Alan, que me deu forças para encarar as dificuldades no final deste período! Obrigada pelo presente que é a sua companhia!

E, por fim, agradeço a minha vó. Mulher inspiradora, cheia de coragem e bondade, com quem compartilho lembranças tão doces!

RESUMO

BARRANTES, Leticia De Santi. **Avaliação do desempenho ambiental da produção de biomassa florestal com finalidades energéticas no Brasil: Caso de Itapeva**. 2016. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Diversas são as vantagens do uso da biomassa florestal para a geração de energia. O Brasil apresenta condições edafoclimáticas que permitem o alcance de altas produtividades dos plantios florestais e, em função disso, o uso da madeira como biomassa energética apresenta significativa participação no balanço energético nacional e se destaca também no cenário de produção internacional. Para avaliar o desempenho ambiental desta atividade no Brasil, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), dados de inventário são requeridos. Estudos revelam que muitas são as variáveis acerca dos manejos florestais e que tais variações influenciam significativamente os resultados de impacto, como o clima local, a espécie cultivada, o uso pretendido da madeira e as operações abrangidas, isso indica que a regionalização dos dados é importante. Logo, um conjunto de dados representativo de um polo de produção brasileiro de florestas com finalidades energéticas foi construído a fim de preencher esta lacuna na literatura e nas bases de dados de ACV. Para a sua construção, baseou-se nas escolhas metodológicas de estudos semelhantes da literatura, as quais foram detalhadas no embasamento teórico deste trabalho, além disso, o conjunto de dados foi adequado de acordo com os padrões da base de dadosecoinvent em conjunto com a sua ferramenta administradora por meio a adição dos dados no EcoEditor. Adicionalmente este trabalho buscou avaliar o desempenho ambiental da atividade, para a referência de 1 m³ de madeira, a partir do método CML 2. Os resultados da AICV mostraram que os pontos que merecem atenção no manejo florestal são a operação de transporte final, a etapa de colheita mais especificamente o corte e a extração e a produção de mudas. Na análise detalhada de cada categoria, foi possível outros pontos críticos como as emissões durante a fase de manejo que contribuem com mais de 80% do Aquecimento Global, em especial as emissões de oxido nitroso. A comparação entre os manejos de diferentes países permitiu sugerir possíveis variações no manejo no Brasil as quais podem trazer benefícios para o seu desempenho, sendo eles relacionados ao maquinário de colheita ao fator de carga do transporte final, a adição de fertilizantes orgânicos e ao aumento do tempo do ciclo total do manejo. Esses resultados serão testados em estudos futuros. Foi possível concluir que o conjunto de dados construído será importante para os estudos de ACV no Brasil já que o produto envolvido faz parte de diversas cadeias produtivas no país. Além disso, concluiu-se que a atividade florestal é de fato muito diversa e que tais diversidades de fato influenciam o resultado de impacto. Como o manejo no Brasil apresentou vantagens com relação aos outros países como menor tempo de cultivo e maior produtividade anual, estudos que busquem a sua melhoria do ponto de vista econômico, ambiental ou social são de extrema importância.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Inventário do Ciclo de Vida (ICV). Biomassa. Eucalipto. Energia.

ABSTRACT

BARRANTES, Leticia De Santi. **Environmental assessment of forest biomass production with energetic purposes in Brazil: The Itapeva case.** 2016. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

There are several advantages of using forest biomass for energy generation. Brazil has soil and climate conditions that allow the achievement of high yields of forest plantations and, on that basis, the use of wood as biomass has significant participation in the national energy balance and also stands out in the international production scenario. In order to evaluate the environmental performance of this activity in Brazil through the Life Cycle Assessment (LCA) technique, inventory data are required. Studies show that there are many variables related to forest management and these variations significantly influence the impact results, such as local climate, crop species, intended use of timber and the operations covered. This means that the regionalization of life cycle data is important. Therefore, a set of representative data of a Brazilian center of forests production with energy purposes in order to fill this gap in the LCA literature and databases. Methodological choices of similar literature studies based the dataset composition. The dataset was also adequate according to the ecoinvent database standards through adding it in EcoEditor. Besides, this work aimed to evaluate the environmental performance of the activity, for 1 m³ of wood, using the CML 2 method. Results of the AICV showed points that deserve attention in the forest management. They are the final transport operation, harvesting step, in particular the cutting operation and the extraction of wood and production of seedlings step. In the detailed analysis of each category, other critical points are found like the management phase emissions that contribute with more than 80% of the Global Warming potential, in particular the emissions of nitrous oxide. The comparison between the management of different countries allowed us to suggest possible variations in the management in Brazil which can bring benefits to their performance, being related to the harvest machinery, final transport load factor, organic fertilizers addition and the increase time cycle. These results will be tested in future studies. It was possible to conclude that the constructed dataset will be important for studies of LCA in Brazil since the product involved is part of several productive chains in the country. In addition, it was concluded that forest activity is indeed very diverse and that such diversities in fact influence the impact result. As the management in Brazil presented advantages with respect to other countries as less time of cultivation and greater annual productivity, studies that seek their improvement from the economic, environmental or social point of view are extremely important.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA). Life Cycle Inventory (LCI). Biomass. Eucalyptus. Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa das áreas de reflorestamento no Estado de São Paulo (não exclusivamente relativas à produção de energia), dando destaque ao município de Itapeva e à bacia hidrográfica na qual está inserido (UGRHI 14).....	60
Figura 2 – Tubete onde as mudas de eucalipto são produzidas.	96
Figura 3 – Fronteiras do sistema indicadas pelo quadrado verde tracejado, em vermelho os processos contabilizados a partir de dados primários e em preto os contabilizados a partir de dados secundários.....	100
Figura 4 – Manejo florestal representativo do polo produtor de lenha localizado entre o sul do Estado de São Paulo e norte do Paraná.....	105
Figura 5 – Fluxograma da etapa de implantação da floresta.	109
Figura 6 – Lenha produzida no polo de Itapeva estocada para secagem antes de ser transportada ao consumidor.....	112
Figura 7 – Fluxograma referente à etapa de colheita florestal.	113
Figura 8 – Fluxograma referente à etapa de condução da rebrota.	115
Figura 9 – Ilustração de um motocoveador.	117
Figura 10 – Ilustração de uma motosserra.	118
Figura 11 – Ilustração de um trator acoplado a uma carreta autocarregável.	118
Figura 12 – Ilustração de um carregador florestal de 110 cv.	119
Figura 13 – Ilustração de uma motoniveladora patrol a esquerda e uma retroescavadeira a direita.	119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo das informações dos estudos de ACV de florestas com criação de conjuntos de dados primários levantados na literatura.	24
Quadro 2 – Fonte dados utilizados nos estudos em análise.	28
Quadro 3 – Fluxos de referência utilizados pelos estudos em análise.....	30
Quadro 4 – Referências utilizadas pelos estudos analisadas para o cálculo das emissões.	40
Quadro 5 – Tratamento dado ao sequestro de carbono na biomassa pelos estudos da literatura.	44
Quadro 6 – <i>Softwares</i> e métodos de AICV utilizados pelos estudos em análise.	46
Quadro 7 - Fronteiras consideradas nos estudos e respectivas etapas críticas do ponto de vista ambiental.	55
Quadro 8 – Emissões consideradas e referências utilizadas para o seu cálculo neste estudo.	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – AICV, método CML 2, UF = 1 m ³ de madeira.	130
Gráfico 2 – Detalhamento da contribuição das operações de colheita para o desempenho ambiental do sistema utilizando o método CML 2, para 1 m ³ de madeira.	132
Gráfico 3 – Potencial para EAD após simulação das emissões de glifosato na muda pela abordagem do ecoinvent.	139
Gráfico 4 – Desempenho nas categorias de TH, EAD e ET a partir da abordagem do PestLCI e do ecoinvent para as saídas de glifosato.....	140
Gráfico 5 – Detalhamento das etapas contribuintes para o potencial de OF..	141
Gráfico 6 – Comparação do desempenho ambiental do sistema considerando absorção de MP na madeira igual a zero e concentração de MP na madeira igual a concentração de MP na cinza da combustão da madeira.	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estudos que consideraram o estoque de carbono na biomassa.	45
Tabela 2 – Produtos da silvicultura de Itapeva.	61
Tabela 3 – Espécies plantadas no município de Itapeva para produção de carvão vegetal e lenha.	62
Tabela 4 – Perfil dos entrevistados na coleta de dados.	63
Tabela 5 – Dados de densidade do eucalipto.	68
Tabela 6 – Fertilizantes aportados, a sua correspondência com os disponíveis em Nemecek e Schnetzer (2012) e os respectivos fatores de emissão de amônia para o ar.	75
Tabela 7 – Profundidade das raízes alcançadas por diferentes culturas.	76
Tabela 8 – Conteúdo de carbono em diferentes camadas de solo. Valores médios encontrados em experimentos realizados em cinco municípios de Minas Gerais.	78
Tabela 9 – Nitrogênio absorvido por diferentes culturas.	78
Tabela 10 – Conteúdo de nitrogênio na serapilheira produzida em diferentes idades de um plantio de eucalipto.	80
Tabela 11 – Metais pesados lixiviados para a água.	85
Tabela 12 – Deposição atmosférica de metais pesados.	85
Tabela 13 – Metais pesados contidos em mg por kg de solo.	86
Tabela 14 – Equivalência das operações realizadas a campo com as operações listadas no guia de construção de Inventários do Ciclo de Vida agrícolas e suas potências nominais e médias.	90
Tabela 15 – Dados de tempo e fatores de emissão para estimar as emissões de HC, NOx e CO.	90
Tabela 16 – Fatores de emissão para cálculo das emissões de outros gases poluentes.	91
Tabela 17 – Combustíveis consumidos nas operações mecanizadas.	92
Tabela 18 – Informações a respeito do transporte do produto final.	93
Tabela 19 – Operações, equipamentos e consumo de combustível em cada operação.	120
Tabela 20 – Conjunto de dados construído. Entradas da natureza e tecnosfera. ...	121
Tabela 21 – Conjunto de dados construído – Emissões resultantes da aplicação de fertilizantes.	122
Tabela 22 – Conjunto de dados construído – Emissões resultantes da aplicação de pesticidas e de calcário.	123
Tabela 23 – Conjunto de dados construído – Operação de motocoveamento.	124
Tabela 24 – Conjunto de dados construído – Operação de corte.	125
Tabela 25 – Conjunto de dados construído – Operação de extração.	126
Tabela 26 – Conjunto de dados construído – Operação de carregamento.	127
Tabela 27 – Conjunto de dados construído – Operações de manutenção de estradas e aceiros.	128
Tabela 28 – Eventos de adubação adotados no regime do Brasil e da Suécia (SRC no cenário com adubação).	135
Tabela 29 – Descrição dos pontos críticos do impacto de EAM.	140
Tabela 30 – Quantidade de metais pesados em cinzas de combustão da madeira.	142
Tabela 31 – Comparação do rendimento operacional e do consumo de combustível nos diferentes cenários de corte e extração.	150

Tabela 32 – Quantidade de nutrientes minerais aplicados no regime atual.	152
Tabela 33 – Cálculo da quantidade equivalente de adubo orgânico para suprir o montante aplicado de nutrientes no manejo atual.	153
Tabela 34 – Analise da qualidade dos dados – Correlação temporal.	155
Tabela 35 – Analise da qualidade dos dados – Correlação geográfica.....	156
Tabela 36 – Analise da qualidade dos dados – Correlação tecnológica.	156
Tabela 37 – Analise da qualidade dos dados – Completude.	157
Tabela 38 – Analise da qualidade dos dados – Confiança.....	157

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 OBJETIVOS	18
1.2 JUSTIFICATIVA	19
2 ESTUDOS DE ACV DE FLORESTAS ENERGÉTICAS NO MUNDO	23
2.1. FONTES DOS DADOS	25
2.2 FLUXOS DE REFERÊNCIA.....	30
2.3 REGIMES DE MANEJO	31
2.4 CÁLCULOS DAS EMISSÕES.....	39
2.5 CONSIDERAÇÃO DOS ESTOQUES DE CARBONO.....	44
2.6 FERRAMENTAS DE MODELAGEM E MÉTODOS DE AICV	46
2.7 PROCEDIMENTOS DE ALOCAÇÃO.....	48
2.8 RESULTADOS E PONTOS CRÍTICOS.....	49
2.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS	55
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	58
3.1 DEFINIÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	58
3.2 COLETA DE DADOS	62
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO REPRESENTATIVO DA REGIÃO	63
3.4 COMPOSIÇÃO DO CONJUNTO DE DADOS DO CICLO DE VIDA	65
3.4.1 Dados de entradas no manejo florestal.....	65
3.4.2 Dados de saídas no manejo florestal	72
3.4.3 Contabilização das operações mecanizadas	88
3.4.4 Contabilização dos fluxos de transporte.....	93
3.4.5 Adaptações no conjunto de dados	94
3.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL	98
3.5.1 Definições da avaliação.....	98
3.5.2 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida	102
3.5.3 Comparação da silvicultura em diferentes países	103
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	104
4.1 MANEJO FLORESTAL REPRESENTATIVO DA REGIÃO	104
4.1.1 Produção das mudas.....	105
4.1.2 Produção florestal	106

4.2 CONJUNTO DE DADOS DO CICLO DE VIDA	120
4.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL	129
4.3.1 Avaliação do desempenho ambiental da atividade no Brasil.....	129
4.4 VARIAÇÕES DOS MANEJOS FLORESTAIS NO MUNDO	144
4.4.1 Possibilidades de variação no manejo do Brasil que podem ser benéficas ...	149
4.5 ANÁLISE DA QUALIDADE DOS DADOS	155
4.6 LIMITAÇÕES DO ESTUDO	158
5 CONCLUSÃO.....	159
REFERÊNCIAS.....	161
APÊNDICES	177

1 INTRODUÇÃO

No atual contexto das mudanças climáticas e da escassez de recursos fósseis, aumenta-se a busca por combustíveis alternativos, dentre os quais, a biomassa se destaca por apresentar vantagens, a princípio, do ponto de vista ambiental.

Segundo Silva (2012b), os hidrocarbonetos do petróleo e gás natural, que têm origem nos hidratos de carbono, passam por processo geológico de fossilização de centenas de milhões de anos, opostamente aos mesmos hidratos de carbono contidos na biomassa, na forma de açúcares, amidos, óleos vegetais ou celulose, que possuem ciclos extremamente curtos.

Outra vantagem da biomassa é que a sua utilização com fins energéticos representa uma forma indireta de aproveitamento da energia solar, já que nela ocorre a conversão da radiação solar em energia química por meio da fotossíntese (MMA, 2014). Por outro lado, críticas relacionadas à competição da biomassa para produção de alimentos versus energia estão também presentes na atualidade.

Diversos são os tipos de biomassa utilizados, como a agrícola, os rejeitos urbanos e industriais e a de origem florestal (ANEEL, 2008).

A produção de biomassa florestal é favorecida no Brasil, já que o país apresenta condições favoráveis relacionadas às características de clima e solo, disponibilidade de terras, mão de obra disponível e tecnologia para silvicultura já desenvolvida. Em função disso, é possível encontrar ótimos desempenhos nos povoamentos florestais nacionais, alcançando produtividades até dez vezes maiores do que em países temperados (VALVERDE et al., 2004).

Dados estatísticos da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) mostram grande participação da silvicultura para energia do Brasil no ranking mundial, que é liderado pela Índia, China e Brasil, na produção de lenha; e pelo Brasil, Nigéria e Etiópia, na produção de carvão vegetal (FAOSTAT, 2013). De acordo com a mesma fonte, em 2013 foram produzidos mais de 1853 milhões de m³ de madeira energética no mundo e no Brasil aproximadamente 120 milhões de m³, o que corresponde a cerca de 6,5% do total.

Em 1965, a economia do setor florestal brasileiro e as atividades de manejo de florestas eram pouco expressivas. A produção de carvão vegetal tinha origem

nas florestas nativas e o país importava quase todo o produto florestal industrial. Os produtores rurais tinham pouco interesse em investir em projetos de reflorestamento devido à baixa rentabilidade da atividade, longo prazo de maturação e riscos elevados (VALVERDE et al., 2004).

Na década de 70 e 80 esta atividade começou a ganhar forças devido à crise do petróleo fazendo com que esta biomassa se tornasse responsável por 17% do total da energia consumida no país, ocupando a terceira posição do balanço energético nacional (BRITO, 1990; BRASIL, 2011).

O crescimento desta atividade também foi influenciado, de acordo com Valverde et al. (2004) e Althaus et al. (2007), aos incentivos fiscais dados pelo governo. Juvenal e Mattos (2002a) detalham que uma política de incentivos fiscais foi instaurada em 1966 pela Lei número 5106, a qual implementou a dedução de Imposto de Renda para investimentos realizados em projetos de reflorestamento e aprovados pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF).

Os mesmos autores afirmam que esta medida propiciou a expansão dos plantios de espécies exóticas no Brasil, especialmente de pinus e eucalipto.

Na última década, a silvicultura de maneira geral no Brasil vem mostrando constante crescimento. Em 2011, havia 7 milhões de hectares de áreas plantadas com florestas, que aumentou para 7,185 milhões em 2012 (ABRAF, 2013), 7,6 milhões em 2013 (IBA, 2014) e 7,74 milhões em 2014 (IBA, 2015). Logo, a área com plantio de florestas vem se expandindo.

As mesmas fontes revelam que as espécies pinus e eucalipto se destacam neste setor com mais de 70% da silvicultura para o eucalipto e mais de 20% para o pinus. O restante envolve espécies como Acácia, Araucária, Populus, Teca, Seringueira e Paricá.

Assim, em vista da grande representatividade da produção de eucalipto no Brasil e da importância da biomassa florestal para energia produzida no Brasil no contexto nacional e internacional, estudos que avaliem o desempenho ambiental dessa atividade e busquem melhorias para os processos envolvidos são de grande importância.

Em busca de melhorias acerca de produtos e processos, Valdivia et al. (2007) afirmam que é importante considerar o conceito de ciclo de vida, levando em conta todas as suas etapas de produção, desde a extração de matérias-primas até a

disposição dos resíduos. Para tanto, a técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (ABNT, 2009a,b) mostra-se ideal.

De acordo com UNEP (1996), a ACV permite: a) identificar e quantificar as cargas ambientais envolvidas, como energia e recursos utilizados e resíduos e emissões gerados; b) avaliar os impactos potenciais dessas cargas; e c) avaliar oportunidades disponíveis para alcançar melhorias ambientais no sistema.

Para a realização da ACV, são necessários conjuntos de dados (datasets) referentes aos processos elementares¹ que irão compor o Inventário do Ciclo de Vida (ICV). Os conjuntos de dados podem ser desagregados, quando se referem a cada processo elementar, ou agregados, quando se referem a mais de um processo elementar. Ambos necessitam de dados relativos aos fluxos de material e energia, assim como de metadados², informações acerca da tecnologia, ano, geografia, dentre outros. Vale lembrar que os conjuntos de dados de processos elementares abrangem os fluxos ambientais, com origem ou destino direto de e para a natureza, e os fluxos tecnológicos, com origem ou destino de e para a tecnosfera³.

Logo, para a avaliação do desempenho ambiental da produção de biomassa florestal no Brasil por meio da ACV um conjunto de dados relacionado a atividade é requerido.

1.1 OBJETIVOS

Dentro do contexto apresentado, a presente pesquisa objetivou construir o conjunto de dados do ciclo de vida representativo da produção de biomassa florestal com finalidades energéticas de um polo de produção brasileiro e, além disso, conhecer o desempenho ambiental desta atividade.

¹ Processos elementares: “Menor elemento considerado na análise de inventário do ciclo de vida para o qual dados de entrada e saída são quantificados” (ABNT, 2009b). Ou seja, são as etapas de um processo e são também chamadas de processo unitário.

² Metadados: São utilizados para documentar e organizar dados de maneira estruturada, facilitando a manutenção dos dados e auxiliando no entendimento e recuperação das informações (REIS; SANTOS, 2013).

³ Tecnosfera: Tecnosfera indica que os fluxos vêm ou vão para processos tecnológicos, ou seja, processos antrópicos.

Para tanto, os objetivos específicos foram:

- Caracterizar o regime de manejo florestal representativo da região;
- Construir o conjunto de dados do ciclo de vida relacionado à produção de madeira para energia na região estudada;
- Avaliar a atividade do ponto de vista ambiental identificando os pontos críticos;
- Comparar os manejos florestais realizados no Brasil e no mundo a fim de identificar possíveis variações no manejo do Brasil que podem representar melhorias.

1.2 JUSTIFICATIVA

Já existem na literatura conjuntos de dados compostos por estudos acerca da biomassa florestal em diferentes locais do mundo. Dentre eles, alguns foram feitos de forma representativa para determinada região, como é o caso de: Heller et al. (2003) e González-García et al. (2013) que avaliaram o desempenho ambiental do setor florestal de Nova Iorque, Espanha e Alemanha, respectivamente. Heller et al. (2003), além de avaliarem o setor de uma região, adicionalmente analisaram alternativas de adubação e de controle de plantas concorrentes.

Silva et al. (2013) e Mourad et al. (2014) compuseram conjuntos de dados referentes a estudos de caso no Brasil. Os primeiros avaliaram o desempenho de painéis de Partículas de Média Densidade (MDP) produzidos em dois estados do Brasil (Estado de São Paulo e Minas Gerais) e Mourad et al. (2014) compararam a produção de duas embalagens da maior empresa produtora, exportadora e recicladora de papel no Brasil localizada no Estado do Paraná. Para tanto, ambos compuseram os conjuntos de dados da etapa de silvicultura do processo e ambos foram criados com base em regiões específicas do país que possuem representatividade significativa com relação à produção nacional. Em função do uso final determinado para a madeira, o regime de manejo praticado varia significativamente e conseqüentemente as intervenções ambientais causadas, o que impede que os conjuntos de dados de Silva et al. (2013) e Mourad et al. (2014)

sejam utilizados na análise de madeira para produção de energia, foco deste trabalho. Além disso, Mourad et al. (2014) não disponibilizam seus dados de inventário.

Outros estudos ainda compararam o desempenho de diferentes regiões dentro do mesmo país, de diferentes espécies e de manejos por meio da criação de conjunto de dados para diferentes cenários (BERG et al., 2005; DIAS; ARROJA, 2012; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2012a,b; ENGLAND et al., 2013). Tais estudos mostraram que diferenças nas formas de manejo, solo, espécie e clima envolvidos nos cenários e regimes, afetam os dados, o que também impede o uso destes conjuntos de dados para madeiras produzidas no Brasil.

Conjuntos de dados do ciclo de vida podem ainda ser encontrados em bases de dados específicas para ACV. Por exemplo, na base de dados suíça ecoinvent, muito utilizada internacionalmente, que contém conjuntos de dados relacionados à produção de madeira com os seguintes escopos: i) Recursos Renováveis (ALTHAUS et al., 2007): definem como padrão da silvicultura brasileira a espécie *Araucária angustifolia*, ou Pinheiro do Paraná, tendo como uso principal toras para serraria e movelaria; ii) Madeira como combustível e material de construção (WERNER et al., 2007): abrange mais de cem diferentes produtos da madeira inventariados na Áustria, dentre eles, pellets e cavacos que possuem fins energéticos; iii) Energia da madeira (BAUER et al., 2007): abrange juntamente com Werner et al. (2003) o inventário completo da geração de calor a partir da madeira, desde o crescimento da madeira até a disposição das cinzas geradas na queima e, para tanto, usa dados originários da Alemanha.

Antes da década de 70, a *Araucária angustifolia*, ou Pinheiro do Paraná, espécie abordada pelos conjuntos de dados do Brasil disponíveis na base de dados ecoinvent, era de fato uma cultura de grande importância na região sul do país (ALTHAUS et al., 2007). Contudo, a inserção de pinus e eucalipto ganharam força como mostrado anteriormente pelos dados da ABRAF (2013) e IBA (2014). Sabe-se também que a *Araucária* está atualmente presente na lista das espécies brasileiras ameaçadas de extinção. No princípio, ela ocupava cerca de 200 mil km² de área e atualmente está reduzida a 1% da sua área original (PICHELLI, 2014). Fica evidente, portanto, que esta espécie não é representativa da silvicultura do país para nenhum uso final, mostrando a necessidade de melhores dados para a região.

Outra base de dados bastante reconhecido é a base de dados europeia ELCD, que envolve mais de 300 processos, entretanto, a utilização de seus conjuntos de dados de forma isolada (apenas para a etapa de produção florestal da biomassa, por exemplo) se mostra inviável já que esta base de dados armazena as informações do ciclo de vida de processos e produtos de forma agregada (PRé-consultants, 2016).

Os Estados Unidos e Suécia também possuem suas bases de dados próprias, chamadas US LCI Database (NREL, 2015) e Spine (CPM, 2015), respectivamente. Ambas apresentam conjuntos de dados na forma agregada (isto é, não organizados por processos elementares), não havendo dentre eles conjuntos de dados referentes ao Brasil. A base de dados mexicana envolve dados acerca da madeira apenas para materiais de construção (ACLCA, 2015). A China (WANG, 2011) e o Japão (MILCA, 2016) possuem também suas bases de dados, mas a barreira linguística dificulta a acessibilidade.

Logo, conjuntos de dados para a atividade florestal estão disponíveis na literatura e nas bases de dados, contudo a grande maioria não é referente ao Brasil, e, aqueles que são, não abrangem florestas com função energética.

Como ressaltado por Frischknecht et al. (2007), quando uma determinada região é pobre de dados do ciclo de vida, a modelagem específica para este local não pode ser feita sem a adoção de pressupostos e aproximações, como por exemplo, a utilização de dados de outra região.

Tais pressupostos e aproximações, no entanto, podem distorcer os reais efeitos ambientais causados, já que as diferenças de clima, relevo, fatores econômicos, mix de energia, existentes entre os países, podem influenciar fortemente as análises. Especialmente em florestas tropicais, essas condições variam significativamente assim como as práticas de manejo realizadas, as condições socioeconômicas e as propriedades do material genético das espécies de madeira (ALTHAUS et al., 2007).

O trabalho de Silva et al. (2013), por exemplo, reflete o cenário brasileiro e ressalta que as principais diferenças acerca da produção brasileira dos painéis de madeira MDP com relação a outros países, são as fontes da biomassa, as tecnologias de geração de energia e os combustíveis utilizados no processo. Os autores citam os exemplos dos Estados Unidos e Europa onde a madeira usada para produção de MDP é proveniente de resíduos de madeira de outros processos,

enquanto que no Brasil florestas são plantadas para produção de biomassa destinada especificamente para este fim. Outro exemplo citado é a fonte de energia térmica requerida no processo industrial da produção do painel MDP, que nos EUA e Europa é proveniente de gás natural e resíduos de madeira, enquanto que no Brasil são usados óleo combustível e resíduos de madeira.

É importante, por isso, a composição de conjuntos de dados regionalizados, especialmente aqueles referentes à etapa florestal de produção, já que, de acordo com Weidema e Meeusen (2000), a etapa agrícola dos produtos é a que geralmente determina a maior parte dos impactos ao longo do seu ciclo de vida. Aqui se estabelece um paralelo entre as atividades agrícola e florestal, já que ambas fazem uso direto do recurso terra, e também se relacionam muito diretamente com outros recursos naturais. Vale a pena ressaltar, entretanto, que a produção florestal pode ser considerada menos intensiva em intervenções ao longo do tempo do que a agrícola, já que implica em ciclos produtivos mais longos.

O presente trabalho foi realizado por meio de uma parceria entre a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a qual possui um projeto em desenvolvimento intitulado “Florestas Energéticas – Produção e conversão sustentável de biomassa em energia”, o qual visa o aumento da competitividade deste setor e a criação de políticas públicas relacionadas às plantações florestais com fins energéticos no Brasil (BUSCHINELLI, 2014).

Os primeiros resultados deste projeto já identificaram três grandes polos concentradores da produção de madeira com fins energéticos no país (SIMIONI et al., 2013) e, além disso, já avaliaram a viabilidade econômica de um deles, o qual está localizado na região de Itapeva (SP) (MOREIRA et al., 2015). Dando continuidade ao projeto, esta pesquisa buscou avaliar a mesma atividade no mesmo polo, mas do ponto de vista ambiental.

2 ESTUDOS DE ACV DE FLORESTAS ENERGÉTICAS NO MUNDO

Este capítulo apresenta o referencial teórico construído para servir como base para a realização do presente estudo e foi dividido de acordo com o detalhamento da construção de inventários do ciclo de vida por estudos semelhantes da literatura.

A Avaliação do Ciclo de Vida é definida por ABNT (2009a) como a “compilação e avaliação das entradas, saídas e potenciais impactos ambientais de um sistema de produto durante o seu ciclo de vida”.

Estudos de ACV que avaliam florestas plantadas com diferentes finalidades em diversos locais do mundo abrangem diferentes objetivos, cobertura dos dados, fronteiras do sistema, dentre outros. Outras variáveis específicas da atividade estão também presentes, como a espécie cultivada, o regime de manejo realizado, o espaçamento entre as árvores, o uso pretendido para a madeira, as características climáticas do local, dentre outros.

Alguns desses estudos são apresentados neste capítulo com detalhes relacionados às suas escolhas metodológicas e variações de manejo abrangidas. Para tanto, foi dado prioridade para estudos que têm como destino final da madeira a geração de energia.

Além disso, para que os trabalhos da literatura fossem aqui detalhados, definiu-se como obrigatório que os mesmos tivessem criado conjunto de dados com base em dados primários ou secundários relativos à região de estudo, garantindo a regionalização, já que isto corresponde ao objetivo principal desta pesquisa.

O Quadro 1 a seguir relaciona as publicações que atenderam a tais exigências. Os estudos nele relacionados foram detalhados quanto às suas fontes de dados, fluxo de referencia, regime de manejo florestal abrangido, cálculos realizados para estimar as emissões do processo, contabilização do estoque de carbono, ferramenta para modelagem e método AICV utilizados, procedimentos de alocação realizados e os principais resultados encontrados após as análises propostas. Isso pretende contextualizar os estudos de ACV de florestas e basear as escolhas metodológicas necessárias para a criação do conjunto de dados aqui proposto bem como a avaliação dos impactos.

Autor	Local da publicação	Cobertura geográfica	Cobertura temporal	Espécie	Produto	Objetivo
Berg e Lindholm (2005)	Journal of Cleaner Production	Suécia	1996 - 1997	Pinheiro silvestre (<i>Pinus sylvestris</i>), Abeto vermelho (<i>Picea abies</i>) e Bétula (<i>Betula</i>)	Múltiplo uso	Comparar o consumo de energia e emissões por etapas do processo e por regiões da Suécia (norte, central e sul)
Dias e Arroja (2012)	Journal of Cleaner Production	Portugal	Não identificada	Eucalipto (<i>Eucalyptus</i>) e Pinheiro-bravo (<i>Pinus pinaster</i>)	Múltiplo uso	Comparar o desempenho das duas culturas e simular diferentes cenários de intensidade, adubação e equipamento de corte
González-García et al. (2012a)	Journal of Cleaner Production	Itália	2010	Álamos (<i>Populus</i>)	Cavacos de madeira - energia	Comparar dois diferentes manejos realizados na Itália bem como direcionar melhorias para o setor no futuro
González-García et al. (2012b)	Science of the Total Environment	Suécia	Não identificada	Salgueiro (<i>Salix</i>)	Cavacos de madeira - energia	Analisar o desempenho de plantações comerciais no país em rotação curta e comparar diferentes cenários de adubação
England et al. (2013)	Forest Ecology and Management	Austrália	2006	--	Múltiplo uso (toras e cavacos)	Comparar emissões de gases de efeito estufa (GEE) pela produção de madeira conífera de floresta plantada e folhosa de floresta nativa em diferentes regiões representativas do país
González-García et al. (2013)	Journal of Cleaner Production	Alemanha	--	Abeto de Douglas (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	Múltiplo uso	Avaliar o desempenho ambiental das plantações representativas da espécie na Alemanha
Silva et al. (2013)	International Journal of Life Cycle Assessment	Brasil	2011 - 2012	Eucalipto (<i>Eucalyptus ssp.</i>)	Painéis MDP	Avaliar o desempenho ambiental de painéis MDP produzidos no Brasil e sugerir oportunidades de melhoria por meio da simulação de cenários

Quadro 1 – Resumo das informações dos estudos de ACV de florestas com criação de conjuntos de dados primários levantados na literatura.
Fonte: Autor (2016).

Apesar de não se relacionar a produto energético, o estudo de Silva et al. (2013) foi analisado já que a espécie e o clima são semelhantes aos avaliados neste trabalho. Além da publicação científica, utilizou-se também Silva (2012a), que se trata da dissertação de mestrado que gerou o artigo.

2.1. FONTES DOS DADOS

Grande quantidade de dados é requerida em um estudo de ACV. Esses dados, chamados de dados do ciclo de vida, abrangem informações quantitativas e qualitativas a respeito do balanço de material e energia envolvido nos processos produtivos, ou seja, tudo o que é consumido de material e energia e que é emitido para os diferentes compartimentos ambientais ao longo do processo, como por exemplo, a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera que é resultante da queima de um combustível fóssil utilizado na colheita florestal.

As fontes relativas a tais dados devem ser bem documentadas e as suas qualidades interferem nos requisitos da qualidade dos dados⁴, desejados em um estudo de ACV.

Os dados de consumo podem ser coletados de forma primária, em uma abordagem *bottom-up*, ou em estatísticas nacionais, em uma abordagem *top-down*. Quando não estão disponíveis destas maneiras, uma terceira opção é adotada, e referências de literatura, como recomendações técnicas ou estudos semelhantes, são utilizados para completar o conjunto dos dados.

De acordo com González-García et al. (2013), especial atenção deve ser dada na coleta dos dados do processo florestal, já que diferenças podem ser encontradas na produtividade da biomassa e nos regimes de manejo realizados em diferentes países.

Com relação aos dados de saída, ou emissão, eles podem ser medidos, calculados ou estimados. O procedimento mais comum é que sejam estimados e, para tanto, diferentes modelos de emissão estão disponíveis na literatura.

⁴ Os requisitos da qualidade dos dados devem ser definidos no escopo de um estudo de ACV contemplando a cobertura temporal, geográfica e tecnológica dos dados utilizados para o inventário, bem como sua fonte, representatividade, incerteza, dentre outras descrições (ABNT NBR 2009a).

Diferentes escolhas metodológicas foram feitas pelos estudos analisados no presente trabalho. Os dados relativos ao processo principal foram coletados de forma primária, já as lacunas, e dados de processos de fundo⁵ foram preenchidos de diferentes maneiras, bem como as emissões do sistema. A coleta dos dados de fundo é geralmente feita por meio das bases de dados de ACV ou se baseia em dados de outros estudos da literatura que compuseram conjuntos de dados semelhantes.

Neste contexto, Berg e Lindholm (2005) criaram três conjuntos de dados representativos da Suécia relativos a diferentes espécies por meio da coleta de dados estatísticos do setor no país e registros de contratos comerciais. Tais dados permitiram a definição de três regiões com diferentes sistemas de produção no país: norte, central e sul.

González-García et al. (2012a) criaram um conjunto de dados relativo ao manejo de rotação curta e outro relativo ao manejo de rotação muito curta, ambos para a espécie *Populus*, plantada com a finalidade energética na região do Vale do Pó, na Itália.

González-García et al. (2012b) utilizaram dados de plantações cultivadas sob o manejo de rotação curta da espécie *Salgueiro* com a finalidade principal de produzir madeira para energia para a criação de um conjunto de dados representativo da Suécia. Além disso, analisaram o cenário padrão com adubação e assumiram um cenário alternativo sem adubação para a análise dos impactos.

Outro conjunto de dados foi construído por Dias e Arroja (2012), para representar o manejo realizado no cultivo das espécies *Eucalipto* e *Pinheiro Bravo*, em Portugal. Sabendo que diferentes níveis de intensidade e diferentes operações são realizados no manejo dessas espécies no país, os autores simularam três diferentes conjuntos de dados com base em dados coletados em plantações comerciais do país.

Para a Alemanha, um conjunto de dados da produção de *Abeto de Douglas* ou *Douglas-fir*, uma espécie conífera⁶ cultivada para produção de madeira de

⁵ Dados de fundo consistem em todos os dados relacionados aos processos que são necessários anteriormente à produção do produto principal (SONNEMAN; VIGON, 2011).

⁶ Espécies coníferas: são aquelas espécies classificadas como Gimnospermas. A madeira dessas espécies é geralmente considerada macia (*softwood*). Exemplos dessas espécies: *Araucária ssp.* e *Pinus ssp.* (FAO, 2016).

múltiplo uso, foi construído por González-García et al. (2013) com base em uma plantaço representativa do país.

England et al. (2013) se basearam em duas exploraço consideradas representativas da Austrália para construir um conjunto de dados relativo a florestas plantadas de espécies coníferas (*softwood*) e outro relativo à produço de madeira folhosas (*hardwood*)⁷ a partir de florestas nativas.

Por fim, Silva et al. (2013) criaram um conjunto de dados para o Brasil relativo à plantaço de eucalipto para produço de painel MDP, a partir de entrevistas feitas em três grandes empresas da região sudeste do país.

As informaço relacionadas às fontes dos dados utilizados na criaço dos conjuntos de dados dos estudos supracitados estão sumarizadas no Quadro 2.

É possível perceber no Quadro 2 que nem sempre as fontes dos dados estão claras e declaradas nas publicaço, o que reduz a qualidade das informaço do estudo.

Pode-se também observar que todos os estudos envolvem o uso de dados regionalizados para um determinado país e que a coleta de dados acerca das operaço florestais e de consumo de matérias-primas é feita de forma primária.

Além de regionalizados, os conjuntos de dados se mostraram representativos do país em alguns casos. Em England et al. (2013) e Silva et al. (2013), a representatividade é indicada por meio da proporço que a produço envolvida nas áreas analisadas pelos estudos representa com relaço à área total de produço no país. Já em González-García et al. (2013), essa representatividade é assegurada pela análise de uma plantaço que realiza o manejo considerado predominante no país, de acordo com a literatura.

De maneira geral, as lacunas existentes no conjunto dos dados de entrada dos estudos são complementadas com dados secundários. Entende-se aqui que o ideal, para esses casos, é o uso de informaço referentes ao mesmo local para garantir a regionalizaço e minimizar as distorço causadas pelas diferenças geográficas de solo e clima, por exemplo, e de fontes energéticas.

⁷ *Hardwood*: relaciona-se às espécies não coníferas, classificadas como Angiospermas. Exemplos dessas espécies: Populus, Eucalipto (FAO, 2016).

(continua)

Autores	Representatividade dos dados	Objetos de comparação	Fonte dos dados primários de consumo de insumos	Fonte dos dados secundários de consumo de insumos	Fonte dos dados de produção dos insumos
Berg e Lindholm (2005)	Dados médios de empresas localizadas em três regiões produtoras da Suécia	Três sistemas de produção florestal da Suécia: norte, região central e sul	Registros de empresas florestais	Estatísticas do setor nas regiões	Combustíveis - Frischknecht et al. (1996); Produção de mudas - Aldentun (2002); Produção dos fertilizantes - Montfoort (1995)
Dias e Arroja (2012)	Dados representam a produção de madeira de eucalipto e pinheiro bravo em Portugal	Três manejos com diferentes intensidades e equipamentos de colheita foram simulados para cada espécie	Empresas florestais de Portugal	Consumo de combustíveis e lubrificantes - Dias et al. (2007); horas de trabalho e consumo de combustível - literatura representativa das médias de Portugal; fertilizante fosfatado - recomendação técnica de Oliveira et al. (2000).	Base de dados ecoinvent (v. 2.2, 2010)
González-García et al. (2012a)	Dados de duas plantações comerciais e representativas de Álamo localizadas na região do Vale do Pó na Itália	Dois regimes de produção de biomassa - Regime de rotação curta e regime de rotação muito curta	Entrevistas com os produtores das duas plantações em análise	Não foram declaradas	Base de dados ecoinvent (v. 2.0, 2007)
González-García et al. (2012b)	Dados médios de uma grande amostra de plantações comerciais da Suécia	Regime com adubação e cenário sem adubação em Regime de rotação curta	Plantações comerciais suecas que praticam os regimes analisados	Consumo de fertilizantes - Danfors et al. (1997); consumo de combustíveis - American Society of Agricultural Engineers (1999a, 1999b) e Gasol et al. (2009).	Base de dados ecoinvent (v. 2.0, 2007)

Quadro 2 – Fonte dados utilizados nos estudos em análise.

Fonte: Autor (2016).

(continuação)

England et al. (2013)	Dados de 7 estudos de caso da Austrália relativos a dois regimes praticados no país (cobrindo 50% da produção de madeira <i>soft</i> e 20% da produção de madeira <i>hard</i> nativa)	Plantação de madeira <i>soft</i> e produção de madeira <i>hard</i> em floresta nativa	Empresas florestais da Austrália	Não declaradas	Australasian LCI database
González-García et al. (2013)	Dados de uma plantação com manejo representativo de Douglas-fir na Alemanha	Regime único envolvendo operações de implantação, manutenção e colheita	Plantações florestais	Estabelecimento da infraestrutura - Dias e Arroja (2012)	Não declarado
Silva et al. (2013)	Dados médios de três empresas brasileiras de produção de eucalipto destinado à produção de painéis MDP, que representam 57% da produção no país	Produção de eucalipto e respectiva produção de painéis MDP	Plantações comerciais do país	Não declaradas	Ureia, sulfato de amônio, calcário e superfosfato - literatura do Brasil; diesel - Sistema de ICV Brasileiro (2009); glifosato - base de dados ecoinvent (Nemecek e Kagi, 2007); geração de eletricidade, transporte de matérias-primas, cloreto de potássio e operações florestais - base de dados GaBi.

Quadro 2 - Fonte dados utilizados nos estudos em análise.

Fonte: Autor (2016).

Quanto ao uso das bases de dados, vale lembrar que cautela deve ser tomada, especialmente na mistura de diferentes delas. Silva et al. (2013) usaram três diferentes bases de dados para preencher os dados de ciclo de vida do seu produto. Para que esse procedimento assegure a confiabilidade dos resultados, a consistência entre as diferentes bases de dados deve ser previamente avaliada e documentada. Este procedimento não foi relatado pelos autores do estudo.

2.2 FLUXOS DE REFERÊNCIA

De acordo com ABNT (2009b), em estudos de ACV, uma função, unidade funcional e fluxo de referência⁸, devem ser definidos. É possível notar que os estudos da literatura definem apenas o fluxo de referência, assim como mostrado no Quadro 3.

Fluxos de referência dos estudos						
Berg e Lindholm (2005)	Dias e Arroja (2012)	González-García et al. (2012a)	González-García et al. (2012b)	England et al. (2013)	González-García et al. (2013)	Silva et al. (2013)
1 m ³ de madeira sem casca	1 m ³ de madeira sem casca	1 ha de plantação sob as práticas de manejo definidas	1 ha de plantação sob as práticas de manejo definidas	1 m ³ de madeira sem casca	1 m ³ de madeira	1 m ³ de MDF

Quadro 3 – Fluxos de referência utilizados pelos estudos em análise.

Fonte: Autor (2016).

Analisando o uso final pretendido para a madeira, é possível separar os estudos levantados na revisão de literatura em três grupos: múltiplo uso, uso energético e produção de painéis. Foi possível observar que o fluxo de referência está de acordo com o uso final da madeira.

Como pode ser visto no Quadro 3, cinco dos sete estudos analisados utilizaram para o fluxo de referência, 1 m³ de madeira. Quatro desses cinco excluem a casca da medida porque eles representam plantações destinadas ao múltiplo uso, com exceção de González-García et al. (2013). A retirada da casca provavelmente precisa ser feita para alguns dos fins dados à madeira. Como por exemplo, em Dias e Arroja (2012), o processo visa a geração da madeira como produto principal e as sobras (casca, ramos, copa e folhagens) como coproduto para geração de energia.

Dias e Arroja (2012) coletaram os dados de entradas das operações de preparo do terreno, manejo e estabelecimento da infraestrutura em função de 1 hectare. A fim de expressar essas entradas proporcionais à unidade de 1 m³ de

⁸ Fluxo de referencia: Medida das saídas de processos em um dado sistema de produto, requeridas para realizar a função expressa pela unidade funcional (ABNT, 2009a).

madeira sem casca, os autores somaram as entradas durante mais de um ciclo de rotação e dividiram pelo volume total produzido no mesmo período.

Os únicos dois estudos que não consideram volume de madeira para o fluxo de referência, mas sim uma unidade de área (1 hectare), são os estudos que envolvem a produção de energia como destino final da madeira sob regimes de rotação curta.

Figueiredo et al. (2015) afirmam que a revisão de estudos de ACV de frutas e outras culturas perenes, como as florestais, mostra que, usualmente, a função de produção é usada e os resultados são apresentados por unidade de massa do produto principal colhido. Já a função de área é usada quando se quer comparar diferentes sistemas de produção.

É possível então perceber que os estudos apresentam fluxos de referência distintos predominantemente ligados ao volume de madeira. Vale ressaltar também que eles não se relacionam a nenhuma função ou unidade funcional.

2.3 REGIMES DE MANEJO

Sabendo que o processo de produção florestal acontece ao longo de diversos anos, diferentes operações culturais são realizadas. Essas são, de maneira geral, denominadas: Implantação, Manutenção, Condução e Colheita.

A fase de implantação é entendida por Martins et al. (2010) como o conjunto de operações que vai do preparo do solo até o momento em que a floresta consiga se desenvolver sozinha. Logo, interpreta-se que, após esta etapa, a floresta cresce sem a necessidade de mais intervenções.

Implantada a floresta, iniciam-se as atividades de manutenção. Sabe-se que as operações de manutenção variam significativamente em função da finalidade da madeira. Nesta etapa ocorre o crescimento da floresta.

Depois de atingida determinada idade, iniciam-se as atividades da colheita do povoamento. Martins et al. (2010) afirmam que a idade de corte, bem como o número de ciclos realizados podem variar em função das condições climáticas e de solo e também em função do objetivo do plantio.

A colheita se inicia com o corte que consiste no tombamento das árvores. No Brasil, os principais equipamentos utilizados são: motosserras (para local de difícil acesso), *feller buncher* (tratores derrubadores e empilhadores) e *harvester* (tratores derrubadores com cabeçotes processadores da madeira) (MACHADO, 2008).

De maneira geral, após o tombamento das árvores, é feita a extração das toras do local do corte até a beira da estrada. De acordo com Machado (2008), esta operação pode ser feita por arraste, baldeio ou suspensão e a escolha do tipo de extração é feita com base nas condições topográficas do terreno. Assim, na extração mecanizada em terrenos pouco acidentados *forwarders* (tratores auto-carregáveis que fazem o baldeio) podem ser usados ou ainda tratores agrícolas com carretas. Para a extração por arraste da carga usa-se um *skidder* (tratores florestais) e para a extração por suspensão, mais incomum, usam-se teleféricos.

A última operação antes do transporte é o carregamento. Este consiste em carregar o veículo do transporte com a carga deixada na beira da estrada. Segundo Martins et al. (2010), ele pode ser realizado de forma manual ou mecanizada por meio de carregadores ou escavadeiras.

Carregado o veículo, dá-se início à etapa de transporte, que leva a carga desde a estrada próxima ao plantio até o consumidor. Os tipos de veículos utilizados no transporte rodoviário variam significativamente em função da carga carregada e das distâncias percorridas.

As operações de produção de madeira, descritas acima de maneira genérica, são, contudo, divididas e identificadas de maneiras diferentes nos estudos da literatura.

Berg e Lindholm (2005) analisaram a produção de toras para múltiplos usos na Suécia dividindo as operações culturais em: produção de mudas, silvicultura, colheita e transporte final.

Os autores consideraram três regimes de produção realizados nas diferentes regiões do país (norte, central e sul). As operações de produção de mudas envolveram: a produção de sementes, a produção das mudas a partir das sementes, o plantio das mudas no campo. A silvicultura envolveu a eliminação da vegetação concorrente, o preparo do solo por escarificação⁹, a limpeza mecanizada da vegetação concorrente e a adubação. A etapa de colheita abrangeu a operação de

⁹ Escarificação do solo: operação que promove a ruptura da camada superficial adensada do solo da floresta (Berg; Lindholm, 2005).

desbaste, em alguns dos casos, e o corte final do povoamento com uso do *harvester*. A extração da madeira do local do corte até os veículos rodoviários de transporte é feita com *forwarder*.

Tanto o *harvester* quanto o *forwarder* são dois equipamentos utilizados para colheita de povoamentos florestais. Eles indicam um sistema intensivo com mecanização de grande porte e alto capital investido, provavelmente em função da grande escala de produção.

O desbaste consiste na realização de cortes parciais em povoamentos imaturos e visa estimular o crescimento das árvores que restam no campo aumentando a produção de madeira por esses indivíduos remanescentes, bem como melhorar a sua qualidade (COUTO, 1995; ARCE, 2002). Por qualidade entende-se a dimensão dos diâmetros das toras ou a densidade da madeira, que é alcançada nas espécies não coníferas (caso do eucalipto), enquanto para as coníferas, o desbaste geralmente reduz a densidade (caso do Pinus) (COUTO, 1995). Esta operação é bastante onerosa e pode ou não ocorrer, em função do uso pretendido e de condições físicas e financeiras.

Quando o desbaste é realizado, espera-se atingir determinadas características requeridas para a madeira, como diâmetro e altura, e o povoamento é então cortado e regenerado natural ou artificialmente, ou seja, por meio da rebrota ou reprodução natural, ou artificialmente pela adição de mudas ou sementes (NRCS, 2003).

Os dois cenários de silvicultura realizados na Austrália, analisados por England et al. (2013), abrangem diferentes regimes e diferentes espécies. Um deles abrange o plantio de espécies coníferas (*softwood*) e o outro envolve o manejo controlado de floresta nativa com exploração de espécies folhosas (*hardwood*), sendo que ambos visam produzir toras para diversos fins e cavacos de madeira para energia.

De acordo com o Clear Energy Regulator¹⁰(2013), o manejo controlado permite que a vegetação nativa cresça e se torne uma floresta nativa logo após a interrupção das atividades de exploração. Para tanto, novas práticas são realizadas em substituição às atividades de exploração da floresta.

¹⁰ Clear Energy Regulator: O Clean Energy Regulator é um órgão do governo australiano responsável pela aceleração do abatimento de carbono na Austrália.

No manejo controlado de produção de madeira de espécie folhosa, analisado por England et al. (2013), na Austrália, o corte é feito a cada 60 a 100 anos em árvores selecionadas que variam em idade. Após a colheita, os resíduos são queimados e alguns tocos são mecanicamente removidos. Após esta etapa, as florestas nativas são reestabelecidas pela semeadura aérea ou por regeneração natural (ENGLAND et al., 2013).

Já o regime de produção das florestas plantadas de espécies coníferas, analisado pelos mesmos autores na Austrália, tem a duração de 25 a 35 anos, abrangendo de um a quatro desbastes antes do corte final. O preparo do local é feito mecanicamente, com a incorporação dos resíduos da colheita ao solo ou, muito raramente, com a queima dos mesmos. A etapa de implantação é feita por operações de produção das mudas, preparo do solo e plantio das mudas. Em seguida é realizada a aplicação de fertilizantes e herbicidas, é feita a prevenção contra o fogo e a construção das estradas florestais. A colheita envolve o corte das árvores e a picagem da madeira no campo. O transporte da madeira até o consumidor, chamado de transporte secundário, é também incluído nas fronteiras do sistema.

As plantações de Abeto de Douglas na Alemanha, analisadas por González-García et al. (2013), são manejadas em três estágios: preparo do solo mecanizado, feito com grade rotativa; implantação e manutenção, que abrangem as operações de plantio, poda, desbaste e baldeio e carregamento dos caminhões relativos à madeira retirada no desbaste. A colheita abrange o corte final, o baldeio e o carregamento dos veículos de transporte. A poda é feita com serrote, o desbaste com *harvesters*, o corte final com motosserra, o baldeio com *forwarder* e o carregamento com guindaste. Vale ressaltar que dois desbastes são feitos, um aos 25 anos e outro aos 40 anos. O corte final é realizado quando a plantação atinge 90 anos. Nenhuma operação é feita dos 40 aos 90 anos.

A poda, também chamada de desrama, consiste na eliminação dos ramos laterais do tronco das árvores para que a madeira produzida fique livre de nós (COUTO, 1995). Isso aumenta a qualidade da madeira, que é um critério requerido para algumas das finalidades do produto. Geralmente a parte mais nobre do produto é destinada para finalidades como serraria e movelaria e a parte residual para fins energéticos, já que neste tipo de uso a qualidade da madeira não interfere no

desempenho, com exceção da densidade que interfere no desempenho energético da mesma.

Ainda dentro das análises de plantações para múltiplo uso, Dias e Arroja (2012) analisaram os plantios de eucalipto e pinheiro bravo em Portugal, que visam a produção de madeira como produto principal e as sobras da madeira (casca, ramos, copa e folhagens) como coproduto. Parte deste coproduto é utilizada para produção de energia e parte é deixada no campo como uma forma de restauração dos nutrientes removidos do solo durante o crescimento das árvores. O processo foi analisado por meio de três cenários, sendo um de alta intensidade (cenário 1), um intermediário (cenário 2) e um cenário de baixa intensidade (cenário 3). Em todos os cenários, as etapas foram divididas em estabelecimento da infraestrutura, preparo do solo, implantação da floresta, manutenção e colheita.

Acerca das plantações de eucalipto no cenário 1, de alta intensidade, as etapas realizadas no preparo do solo são: remoção dos tocos, limpeza no terreno, escarificação e adubação, sendo todas mecanizadas (DIAS; ARROJA, 2012).

A implantação consiste apenas no plantio realizado manualmente. Em seguida inicia-se a manutenção com uma nova limpeza mecanizada do terreno, adubação manual, seleção dos brotos de eucalipto com motosserra, corte com *harvester* e extração com *forwader* (DIAS; ARROJA, 2012).

O cenário 2 se diferencia do cenário 1 com relação ao equipamento de colheita, sendo o corte feito com motosserra e a extração com um trator adaptado. O cenário 3, de baixa intensidade, não abrange as operações de manutenção. A etapa de preparo e implantação são feitas de forma semelhante ao cenário 1 e a colheita, semelhante ao cenário 2.

Além disso, as etapas de estabelecimento da infraestrutura são abrangidas no cenário de alta e intermediária intensidade e não abrangidas no de baixa (DIAS; ARROJA, 2012). A infraestrutura consiste nas estradas construídas para escoamento do produto e nos aceiros construídos como segurança contra incêndios.

Dentro dos regimes de manejo florestal exclusivos para a produção de biomassa para geração de energia tem-se o trabalho de González-García et al. (2012 a), que comparou duas plantações de Álamos comerciais e representativas da Itália. Tais plantações envolvem os sistemas de regimes denominados *Short Rotation Coppices* (SRC), ou seja, regime de rotação curta e *Very Short Rotation Coppices* (VSRC), ou seja, regime de rotação muito curta.

Na região do Vale do Pó, na Itália, esses regimes têm recebido incentivos do governo e já ocupam 6500 hectares (González-García et al., 2012a). Segundo Gabrielle et al. (2013), os regimes de rotação curta vêm sendo bastante investigados na Europa para a geração de energia, predominantemente em forma de calor, a partir de diversas fontes de biomassa. Eles envolvem o cultivo de espécies de rápido crescimento com rotação curta ou muito curta. Além disso, as espécies que têm a capacidade de rebrotar após o corte são as principais estudadas, pois os regimes buscam a viabilização de diversos cortes ao longo do ciclo de vida de um mesmo plantio.

Assim, o VSRC analisado por González-García et al. (2012a) abrange o período de 10 anos com a realização da colheita a cada 2 anos, enquanto que o SRC também abrange um período total de 10 anos, mas com colheitas a cada 5 anos.

De acordo com os autores, a etapa de silvicultura envolve, após o plantio no ano 1, o controle químico de daninhas uma vez em VSRC e duas vezes no SRC. O controle mecânico da vegetação competidora é também realizado por meio do gradeamento do solo, duas vezes no VSRC e uma vez no SRC. Como a espécie Álamos requer água para o seu crescimento, é feita a irrigação nos dois regimes.

Outra diferença observada entre os dois regimes, além do tempo de corte, é o espaçamento entre as plantas e conseqüentemente a sua densidade por hectare. Em VSRC a densidade foi de 5560 plantas por hectare e no SRC é de 1150 plantas por hectare.

Durante a colheita, o *harvester* corta e pica a madeira simultaneamente, na colheita do regime VSRC. Depois disso, os cavacos de madeira são coletados e carregados por *trailers* até o trator florestal para que este armazene os cavacos em local adequado. Já no regime SRC, a colheita envolve o *harvester* para o corte, um trator acoplado a um *trailer* com pinças para transportar a biomassa para fora do campo e só então a madeira é picada (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2012a).

É relatado no trabalho que após cada uma das cinco colheitas do regime VSRC, realizam-se as operações de adubação nitrogenada, aplicação de herbicida e pesticida, controle mecânico de ervas daninhas por meio de gradeamento e irrigação (400 m³/ha*ano). Já no regime SRC, as operações apresentam uma distribuição diferente. A aplicação de herbicida é feita uma vez no ano 2, duas vezes no ano 6 e uma vez no ano 7, a aplicação de nitrogênio é feita após a primeira colheita (ano 6),

o controle mecânico das daninhas duas vezes no ano 2, uma vez no ano 3, duas vezes nos anos 6 e 7 e a última vez no ano 8, a aplicação de herbicida é feita no segundo, sexto e sétimo ano e a irrigação é feita apenas no segundo, quinto e sexto ano, com aplicação da mesma quantidade de água por hectare por ano.

Antes do plantio, ambos os regimes recebem adubação orgânica proveniente de dejetos bovinos com 80-82% de umidade, composto de 0,45 kg de nitrogênio, 0,20 kg de fósforo e 0,35 kg de potássio em 100 kg de dejetos (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2012a).

O regime SRC é também praticado na Suécia para produção de biomassa para energia com o plantio espécie florestal Salgueiro e o mesmo foi analisado por González-García et al. (2012b). Os autores avaliaram o cenário real com adubação e simularam um cenário alternativo sem adubação. Para tanto, separam as operações em três estágios: implantação, colheita e restauração ou substituição.

O cenário intensivo (com adubação) envolve um ciclo de 21 anos e o plantio de 10000 a 13000 mudas por hectare. Durante o primeiro ano, são feitas as operações de preparo do solo por gradagem e o controle de plantas concorrentes com aplicação de pesticidas. No final do primeiro ano, as mudas são podadas para que brotem acelerando o fechamento do dossel, logo a competição é reduzida (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2012b).

Muitas adubações nitrogenadas são feitas neste regime de manejo. Durante a primeira rotação, a plantação recebe o fertilizante no ano 1, em maior quantidade, e no segundo e terceiro ano, em menor quantidade. Nas rotações seguintes a adubação nitrogenada é feita a cada dois anos. Outros tipos de fertilizante, como os de fósforo e potássio, não são adicionados ao sistema, já que os solos suecos são ricos nesses nutrientes (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2012b).

Os autores relatam que cinco rotações são realizadas, já que a plantação é colhida a cada 4 anos. O ciclo total resulta em 21 anos, já que a primeira rotação abrange o primeiro ano de implantação e mais 5 anos referentes ao crescimento do povoamento. As adubações são feitas duas vezes em cada rotação, com diferentes concentrações de nutrientes.

O cenário sem adubação também envolve cinco colheitas a cada 4 anos, com exceção da primeira colheita, feita após 6 anos. Resulta assim em 22 anos de ciclo total (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2012b).

As etapas realizadas e a densidade de plantio são semelhantes, mas a ausência de adubação ocasiona a perda de 38 a 46% da produtividade, dependendo da rotação (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2012b).

De acordo com os autores, alguns dados de colheita foram simulados, assim, foi assumido que a biomassa é convertida em cavacos no próprio local da colheita, o que facilita o transporte do produto que possui fins energéticos, de acordo com os autores.

O estudo de Silva et al. (2013) se encaixa no terceiro grupo de finalidades da madeira, já que consiste em uma plantação de eucalipto com a finalidade de produzir painéis de madeira MDP. Assim, os autores avaliaram a produção silvícola e industrial deste processo. As operações silviculturais de implantação envolveram a produção de mudas, plantio, adubação, correção do solo e aplicação de pesticidas. A manutenção da floresta envolveu o desbaste e a poda das árvores até a idade de corte, aos 6 anos e meio.

A colheita deste sistema apresenta mecanização de grande porte. Utiliza o *feller buncher* para a operação de corte, processador mecânico para o traçamento da madeira, *forwarder* para a extração das toras, escavadeira com garra para o carregamento da carga e, como veículo de transporte, o bitrem. O descasque das toras é feito na etapa seguinte, dentro da indústria de produção dos painéis (SILVA et al., 2013).

Tais equipamentos proporcionam elevado rendimento na operação, indicando que é uma atividade intensiva. De acordo com Silva (2012a):

- *Feller buncher*: é um trator derrubador e empilhador com capacidade de colher 110 m³ de madeira por hora;
- Traçador mecânico: realiza o desgalhamento (retira os galhos das árvores) e o traçamento (reduz o fuste em toras menores) com uma capacidade de processar 110 m³ de madeira por hora;
- *Forwarder*: trator auto-carregável que faz o baldeio da carga e tem capacidade de extrair 32 m³ de madeira por hora;
- Escavadeira: capacidade de carregamento de 80 m³ de madeira por hora.

Assim, é possível observar que cada um dos manejos avaliados pelos estudos da literatura envolve especificidades relacionadas ao tipo de espécie

cultivada, condições físicas do local e uso final pretendido. Além disso, a disponibilidade de recursos e a escala de produção podem influenciar o nível de mecanização do processo.

Um exemplo da espécie influenciando o manejo seria o caso de González-García et al. (2012a), que relataram a realização da irrigação, já que a espécie Álamos requer grande quantidade de água para seu crescimento. Já quanto ao uso final, as operações de poda e desbaste são requeridas no caso do estudo de Silva et al. (2013), que tem como uso final a produção de painéis e portanto, necessitam de uma certa qualidade para a madeira. O caso de González-García et al. (2012b), mostra um exemplo de como as condições edafoclimáticas de um determinado local pode influenciar as práticas realizadas, já que os solos da Suécia, ricos em potássio e fosfato, dispensam a aplicação desses nutrientes por meio de adubação, prática esta extremamente comum para muitos locais.

2.4 CÁLCULOS DAS EMISSÕES

Para estimar as saídas para o ar, água e solo resultantes das aplicações de insumos, bem como da queima de combustíveis fósseis, diferentes modelos e fatores de emissão foram utilizados pelos estudos da literatura, como pode ser observado de forma resumida no Quadro 4.

O quadro mostra que, quanto às emissões dos fertilizantes, Berg e Lindholm (2005) calcularam a infiltração de nitrogênio para a água subterrânea após a aplicação do fertilizante com base em um documento em sueco referente à ciclagem dos nutrientes em uma floresta.

Quanto à modelagem das emissões pela queima dos combustíveis nas operações, esses autores se basearam em um documento também em sueco que trata das emissões de motores de tratores agrícolas e equipamentos florestais, publicado pela Universidade Sueca de Ciências Agrícolas. Outro documento mais recente, de 2001, foi também utilizado nesta etapa do cálculo, contudo também se depara com a barreira linguística. Para as emissões pelo óleo lubrificante utilizado no equipamento de corte, os autores se basearam na tese de Athanassiadis (2000),

que trata do consumo de recursos e emissões causadas pelo equipamento de corte em uma perspectiva de ciclo de vida.

	Fertilizante	Pesticida	Combustão do equipamento florestal
Berg e Lindholm (2005)	Referência em sueco	Desconsiderada a entrada e saída por falta de dados de produção e transporte	Duas referências em sueco
Dias e Arroja (2012)	Fatores de emissão de Audsley et al. (1997) para P e de IPCC (2006) para N	Entrada e saída de pesticidas não mencionadas	Poucas emissões estimadas a partir de EEA (2009)
González-García et al. (2012a)	Fatores de emissões nitrogenadas de Audsley et al. (1997), Brentrup et al. (2000) e EMEP/CORINAIR (2006)	Desconsideram as emissões por desconhecimento das frações que atingem os diferentes compartimentos	Nemecek e Kagi (2007)
González-García et al. (2012b)	Fatores de emissões nitrogenadas de Audsley et al. (1997), Brentrup et al. (2000) e EMEP/CORINAIR (2006)	Estimou emissão para ar, água e solo com base em Hauschild (2000)	Nemecek e Kagi (2007)
England et al. (2013)	Fatores de emissão de IPCC (2006) para emissões nitrogenadas	Emissões para a água negligenciáveis devido ao alto controle	Poucas emissões estimadas a partir de DCC (2009)
González-García et al. (2013)	Considerado que não há mudanças na disponibilidade de nutrientes	Entrada e saída de pesticidas não mencionadas	Nemecek e Kagi (2007)
Silva et al. (2013)	Fatores para emissões nitrogenadas de OSB/WSTB (2000) e fosfatadas de Shigaki (2006)	Emissões para água, ar e solo calculadas por meio de PestLCI 1.1.15 (<i>software</i>)	Aproveitadas dos processos da base de dados do <i>software</i> GaBi

Quadro 4 – Referências utilizadas pelos estudos analisadas para o cálculo das emissões.
Fonte: Autor (2016).

Berg e Lindholm (2005) desconsideram a entrada e saída de pesticidas por falta de dados da produção e transporte.

Dias e Arroja (2012), com relação às emissões resultantes da adição de fertilizantes, se basearam no fator de emissão de 0,024 kg de fosfato para a água

por kg de fósforo adicionado (AUDSLEY et al., 1997). Esta publicação consiste em um guia criado para a harmonização da prática da ACV no contexto da agricultura europeia. Para as emissões nitrogenadas como N_2O e NH_3 para a atmosfera e NO_3 para a água, os autores utilizaram os fatores de emissão de IPCC (2006), sendo de 0,01 para N_2O , 0,1 para NH_3 e 0,3 para NO_3 .

Quanto às emissões da combustão dos combustíveis de CO_2 , CH_4 , N_2O , SO_2 , CO , NH_3 , NO_x , foram calculadas pelos fatores de emissão de EEA (2009), que consiste em um guia para inventários de emissão de poluentes atmosféricos da Agência Ambiental Europeia, publicado em Copenhague, em 2009.

Não foi citada em Dias e Arroja (2012) a entrada de pesticidas no sistema de produção de eucalipto em Portugal e conseqüentemente também não foram estimadas as suas emissões.

González-García et al. (2012a) calcularam as emissões nitrogenadas difusas resultantes da adição dos fertilizantes com base nos fatores de emissão de Audsley et al. (1997), Brentrup et al. (2000) e EmeP/Corinair (2006). Brentrup et al. (2000) descrevem métodos selecionados em uma revisão de literatura para estimar emissões de nitrogênio no campo a partir da produção de culturas agrícolas para estudos de ACV. A referência EmeP/Corinair (2006), que consiste em um guia para preparação de inventários nacionais de emissões atmosféricas na Europa, foi também usada no cálculo envolvido das emissões nitrogenadas.

As emissões causadas pela queima do diesel usado no equipamento florestal se basearam em Nemecek e Kagi (2007), que documenta a construção de Inventários do Ciclo de Vida de sistemas de produção agrícola na Suíça e em outros países europeus.

Gonzalez-García et al. (2012a), ainda, desconsideraram as emissões de pesticidas para os compartimentos ambientais em função do desconhecimento das frações que atingem esses compartimentos.

Em González-García et al. (2012b), as fontes utilizadas para os cálculos de emissão foram semelhantes às de González-García et al. (2012a), com exceção das emissões de herbicidas, que foram calculadas de maneira diferente, considerando a emissão pelo vento, evaporação, escoamento para água superficial e lixiviação para a água subterrânea, com base no livro de Hauschild (2000), que trata especificamente das emissões de pesticidas para produtos agrícolas em ACV.

González-García et al. (2013), assim como González-García et al. (2012a,b) estimaram as emissões da combustão em equipamentos florestais com base em Nemecek e Kagi (2007). E quanto às outras emissões, os autores consideraram que não ocorre mudança na disponibilidade de nutriente no solo e na água. Os autores não mencionaram entradas e saídas de pesticidas na produção de Abeto de Douglas na Alemanha.

England et al. (2013) se basearam em DDC (2009) para a realização do cálculo das emissões da queima dos combustíveis fósseis durante o manejo da floresta plantada. Este documento consiste em um Guia Técnico para a Estimativa da Emissão de GEE pelas Instalações da Austrália e apresenta fatores de emissão desenvolvidos para o país, para diferentes combustíveis e diferentes atividades.

Os autores citam uma pequena emissão e absorção de metano que ocorre no solo florestal considerando este balanço neutro. As emissões de N_2O resultantes do processo natural que ocorre nos solos são denominadas nitrificação e desnitrificação, as quais também foram desconsideradas. Outra emissão considerada negligenciável e, portanto, desconsiderada foi a deriva para a atmosfera resultante da aplicação dos pesticidas.

Para as emissões resultantes da adição dos fertilizantes, os autores se basearam em estudos específicos da Austrália e de outros países e assumiram que: 13% do fertilizante nitrogenado aplicado nas florestas e remanescente da volatilização lixiviam para a água subterrânea como nitrato e 2% como amônio; 30% do potássio aplicado é emitido para a água subterrânea e 40% do enxofre também. A emissão resultante da aplicação de potássio foi desconsiderada.

England et al. (2013) ainda afirmaram em seu estudo que as emissões resultantes dos pesticidas para a água são mínimas e por isso assumidas como sendo negligenciáveis. De acordo com os autores, os mecanismos de controle são rigorosos e por isso essas emissões são baixas.

Silva et al. (2013) basearam os cálculos das emissões para o ar e a água por fertilizantes à base de ureia e sulfato de amônio em um documento que descreve a problemática da poluição por fertilizantes nas regiões costeiras dos Estados Unidos (OSB/WSTB, 2000). Este documento determina que 15% do nitrogênio adicionado volatilizam como amônia, 2% do nitrogênio são emitidos para a atmosfera como N_2O e 20% do nitrogênio adicionado escoam superficialmente e lixiviam para a água subterrânea.

Para as emissões a partir do superfosfato simples (SSP), os autores utilizaram a tese de Shigaki (2006), que estudou o transporte de fósforo na enxurrada em função do tipo de fonte de fósforo e intensidade das chuvas em bacias hidrográficas dos Estados Unidos. Esta referência sugere que 10% do SSP são emitidos para a água superficial.

Para as emissões resultantes da aplicação do herbicida Glifosato no solo, o mesmo autor utilizou o software PestLCI versão 1.1.15. Sabe-se que oecoinvent considera que 100% dos pesticidas aplicados vão para o solo, com isso, os efeitos causados sobre este compartimento ambiental são superestimados, já que se ignora, por exemplo, a parte das substâncias depositada na planta (Birkved, 2006). Logo, o Pest LCI minimiza esses problemas, já que considera o fracionamento das emissões para diferentes compartimentos ambientais.

Com relação às emissões de GEE, os autores utilizaram processos disponíveis na base de dados PE Internacional, utilizada no software de ACV Gabi.

Assim, foi observado que diferentes formas de estimar as emissões resultantes da adição de fertilizantes são utilizadas, contudo, todas elas são feitas com base em fatores de emissão, os quais determinam uma porcentagem do fertilizante de entrada que é emitida para os diferentes compartimentos ambientais que são determinados para o contexto europeu não se adequando necessariamente às condições brasileiras, bastante diferenciadas, com exceção de Silva et al. (2013), que utilizam referências para os EUA e England et al. (2013) para a Austrália. Alguns dos autores, ainda, não contabilizam essas emissões alegando que são neutras, não apresentam, contudo, argumentos para o uso desta abordagem.

Da mesma forma, as saídas resultantes da aplicação de pesticidas foram desconsideradas na maioria dos estudos. As duas únicas referências possíveis de serem utilizadas para o presente trabalho (PestLCI e Hauschild (2000)) serão mais bem analisadas mais adiante.

Por fim, quanto às emissões dos gases da combustão, a maioria dos estudos utiliza a referência de Nemecek e Kagi (2007).

É possível notar que em nenhum dos estudos é citada a estimativa das emissões de metais pesados decorrentes da entrada desses componentes com os fertilizantes, pesticidas e calcário.

2.5 CONSIDERAÇÃO DOS ESTOQUES DE CARBONO

A atividade florestal é grande alvo das análises de mudanças climáticas em função das suas altas taxas de crescimento e produtividade, que promovem alto sequestro de carbono (HOLMFREN, 2008).

Não são todos os estudos analisados da literatura, contudo, que consideraram este estoque, como pode ser visto no Quadro 5.

Sequestro de carbono						
Berg e Lindholm (2005)	Dias e Arroja (2012)	González-García et al. (2012a)	González-García et al. (2012b)	England et al. (2013)	González-García et al. (2013)	Silva et al. (2013)
Desconsiderado	Desconsiderado	C capturado na biomassa igual a 50%* (FIALA al., 2010)	C capturado na biomassa igual a 49,4%* (HELLER et al., 2004)	C capturado na biomassa igual a 50%* (GIFFORD, 2004)	Desconsiderado	C capturado na biomassa igual a 50%* (REIS et al., 1994)

*porcentagem referente à massa de biomassa

Quadro 5 – Tratamento dado ao sequestro de carbono na biomassa pelos estudos da literatura.

Fonte: Autor (2016).

Berg e Lindholm (2005), Dias e Arroja (2012), e González-García et al. (2013) consideraram que o dióxido de carbono absorvido durante o crescimento da plantação é igual ao dióxido de carbono emitido na oxidação da madeira no seu fim de vida, por isso desconsideraram este estoque.

Já England et al. (2013), González-García (2012a,b) e Silva et al. (2013) consideram captura de carbono correspondente a cerca de 50% da massa seca da biomassa produzida.

Os estudos de González-García (2012a,b) contabilizaram os estoques de carbono na biomassa, e para tanto, utilizaram as considerações relatadas a seguir.

Tabela 1 – Estudos que consideraram o estoque de carbono na biomassa.

	Estoque de carbono na biomassa (%/kg)	Fonte	Razão de C acima/abaixo do solo	Fonte
González-García et al. (2012a)	50	Fiala et al. (2010)	0,2	Mattheus (2001)
González-García et al. (2012b)	49,4	Heller et al. (2004)	0,33	Mattheus (2001)

Fonte: Autor (2016).

A razão de C refere-se ao estoque de carbono na parte aérea com relação à parte subterrânea (raízes) da biomassa. Os autores contabilizaram este estoque assumindo que o carbono estocado durante o crescimento da floresta é uma forma de “compensar” o carbono emitido durante as atividades florestais como a queima de combustíveis fósseis nos tratores e a emissão de N₂O no campo resultante da adubação. Contudo, vale lembrar que novo montante de carbono será emitido na etapa de queima dos cavacos de madeira produzidos neste sistema. Os autores não consideraram essas emissões provavelmente porque se trata de um estudo do berço ao portão.

Silva et al. (2013) contabilizaram o estoque de carbono na madeira, já que o produto gerado, painel MDP, promove sua manutenção ao longo de anos. Os autores realizaram este cálculo multiplicando a densidade da madeira, pelo volume de madeira produzido e por 0,5, que é considerado o conteúdo de carbono, estando de acordo com Reis et al. (1994), que trata do sequestro e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Além disso, consideraram que 1 tonelada de CO₂ corresponde a 0,27 toneladas de carbono.

Os estudos que consideram o estoque de C na biomassa ao longo do crescimento da floresta, não contabilizaram as essas emissões do fim de vida do produto porque apresentam a abordagem do berço ao portão lembrando que, com exceção de González-García et al. (2012a,b) os demais estudos não abordam a produção de biomassa exclusiva para energia, logo, o tempo de captura pode ser mais longo nesses outros produtos.

Vale esclarecer ainda que nenhum dos estudos considerou Mudança do Uso da Terra, desconsiderando assim as mudanças no estoque de carbono no solo.

2.6 FERRAMENTAS DE MODELAGEM E MÉTODOS DE AICV

As análises de ACV envolvem a manipulação de um grande volume de dados e informações, para tanto, é necessário o uso de ferramentas computacionais de auxílio, como os *softwares* (RODRIGUES et al., 2008).

Os *softwares* auxiliam o processamento dos dados na fase de análise do inventário do ciclo de vida, disponibilizam bancos de dados para composição dos inventários e realizam a AICV por meio de métodos neles contidos (RODRIGUES et al., 2008).

Vale lembrar que os estudos de ACV envolvem a realização de quatro fases: definição do objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV); e interpretação (ABNT, 2009 a,b).

O Quadro 6 reúne os *softwares* utilizados pelos estudos analisados, bem como os métodos de AICV.

Softwares e métodos AICV						
Berg e Lindholm (2005)	Dias e Arroja (2012)	González-García et al. (2012a)	González-García et al. (2012b)	England et al. (2013)	González-García et al. (2013)	Silva et al. (2013)
Não descrito	Não descrito	SimaPro 7.10	SimaPro 7.10	SimaPro 7.10	SimaPro 7.3.3	GaBi
SEMC, 2000*	CML 2	CML 2 e Demanda Cumulativa de Energia	CML 2 e Demanda Cumulativa de Energia	Não descrito	Recipe Midpoint H	CML 2, EDIP e Usetox 2008

*Swedish Environmental Management Council's criteria

**Fatores de caracterização de IPCC (2007) foram usados para o cálculo do impacto de aquecimento global

Quadro 6 – Softwares e métodos de AICV utilizados pelos estudos em análise.

Fonte: Autor (2016).

O SimaPro (Pre-sustainability, 2012), *software* utilizado pela maior parte dos estudos em análise (quatro, de sete) juntamente com o GaBi (PE-international, 2012), utilizado no caso do estudo brasileiro, são os dois programas líderes de utilização em ACV (HERMANN; MOLTESSEN, 2015).

De acordo com Herrmann e Moltesen (2015), as duas ferramentas apresentam as mesmas funções: a) disponibilizam uma interface para modelagem

do sistema de produto, b) disponibilizam uma base de dados com processos unitários, c) possuem diversos métodos de AICV, e d) realizam cálculos que combinam números de base de dados em acordo com a modelagem do sistema de produto.

O estudo feito por esses autores buscou comparar os resultados de inventário obtidos utilizando o GaBi e o SimaPro. Para tanto, as versões mais recentes disponíveis até o momento dos *softwares* e a base de dados ecoinvent versão 2.01 foram utilizadas em ambos os *softwares*. A partir da análise de 100 processos unitários selecionados aleatoriamente, dos 250 fluxos elementares envolvidos, os autores averiguaram que apenas 6 foram inventariados diferente pelo GaBi e SimaPro. Todos os outros foram considerados idênticos. Já na análise em nível de impacto, os autores comparam os resultados gerados pelos programas para o processo de produção de soja no Brasil. Para tanto, selecionaram o fluxo de referência de 1 kg de soja e os métodos de AICV: EDIP 2003, CML 2001 e Ecoindicator 99. Compararam os resultados em nível de caracterização¹¹, normalização¹² e ponderação¹³. Os autores concluíram que o uso dos diferentes *softwares* apresenta diferenças pequenas nos níveis de inventário, mas diferenças significativas no nível de impacto, podendo assim diferir os resultados finais para uma ACV utilizando um programa ou outro (HERRMANN; MOLTESEN, 2015).

A etapa de AICV é aquela que realiza a quantificação dos impactos (danos às áreas de proteção¹⁴) de um produto ou processo, a partir dos dados de inventário (intervenções no meio ambiente) (EC-JRC-IES, 2011).

Como visto na Tabela 2, os estudos utilizaram, em sua grande maioria, o método CML. Sabe-se que cada método de AICV analisa diferentes categorias de impacto. Quanto ao CML, as categorias abordadas são: depleção abiótica, acidificação, eutrofização, aquecimento global, depleção da camada de ozônio, formação de oxidante fotoquímico (GUINÉE et al., 2002). Adicionalmente, González-

¹¹ Caracterização: Transformação dos resultados do inventário nos indicadores de categoria. Exemplo: o indicador da categoria de impacto de Aquecimento Global é toneladas de CO₂ equivalentes (ABNT, 2009b).

¹² Normalização: Cálculo da magnitude dos resultados de indicador de categoria com relação a uma emissão de referência em um determinado período e local (ABNT, 2009b).

¹³ Ponderação: É o processo de conversão dos resultados de indicadores de diferentes categorias de impacto por fatores numéricos escolhidos para determinar o peso de cada categoria (ABNT, 2009b).

¹⁴ Área de proteção são as entidades que se deseja proteger: saúde humana, ambiente natural e recursos naturais (EC-JRC-IES, 2011).

García et al. (2012a,b) realizaram uma análise energética, contabilizando o uso de energia primária no sistema, por meio do método da Demanda Cumulativa de Energia. Silva et al. (2013) utilizaram o método CML 2001 e adicionalmente os métodos USEtox 2008 e EDIP. De acordo com Berthoud et al. (2011), os impactos de toxicidade humana e ecotoxicidade podem ser abordados pelo método CML e EDIP, contudo o método USEtox é, na atualidade, considerado o mais completo para estas análises.

O método adotado por Berg e Lindholm (2005) aborda os requerimentos para declarações ambientais de produtos na Suécia, publicado pelo *Swedish Environmental Management Council* (SEMC). E, por fim, González-García et al. (2013) utilizam o método Recipe Midpoint H.

2.7 PROCEDIMENTOS DE ALOCAÇÃO

Um estudo de ACV permite a análise de sistemas de produto que apresentem mais uma saída, ou seja, produtos e coprodutos. Para esses casos, procedimentos de alocação devem ser adotados. De acordo com ABNT (2009a), a alocação consiste na repartição dos fluxos de entrada ou saída de uma unidade de processo no sistema de produto sob estudo.

Apesar de se tratarem de plantações múltiplo uso no caso do estudo da Suécia, Portugal, Austrália e Alemanha, ou seja, plantações que produzem madeira para diferentes funções, os autores não utilizam procedimentos de alocação para a realização dos seus estudos.

González-García et al. (2012a,b) não realizaram o procedimento de alocação já que a unidade funcional adotada foi 1 hectare de área cultivada, dessa forma, todos os efeitos ambientais foram atribuídos a essa área, já outros estudos como de Dias e Arroja (2012), Berg e Lindholm (2005), González-García et al. (2013) e Silva et al. (2013), desconsideraram a alocação assumindo que o produto principal florestal é a tora de madeira, mesmo que a casca e os resíduos sejam destinados, em alguns casos, para a produção de energia.

England et al. (2013) realizou a alocação econômica em seu estudo. Nas florestas estudadas pelo autor, três produtos são gerados: toras para celulose, toras

para madeira serrada e cavacos para energia. Os autores partiram então as cargas ambientais entre os dois principais produtos: toras para celulose e toras para madeira serrada. Para tanto, utilizaram o preço desses produtos para determinar a proporção de responsabilidade de cada um.

2.8 RESULTADOS E PONTOS CRÍTICOS

A seguir são relatados os principais resultados encontrados pelas análises realizadas pelos estudos da literatura.

Berg e Lindholm (2005), durante a comparação de três diferentes manejos realizados no mesmo país (Suécia), constataram que:

- Entre as três regiões analisadas, a região norte é a maior consumidora de energia, em função de dois fatores: a etapa de transporte final da madeira seguida pela de colheita são as maiores contribuintes para o consumo energético do sistema e, nas regiões norte e central, o fator de carga do transporte final é de 50% enquanto no sul é de 57%; além disso, o crescimento na região norte é menor causando assim menor produtividade anual o que causa maior consumo energético por m³ produzido pelo sistema.
- Quase toda a energia consumida pelo setor florestal da Suécia provém de fontes fósseis e apenas 0,1% de energia renovável, podendo este ser um foco de melhorias;
- Existe ganho de energia no processo, já que o balanço de energia é positivo: 1 m³ de madeira contém 7700 MJ de poder calorífico e consome apenas 200 MJ na sua produção;
- De toda a energia consumida, a etapa de transporte da madeira até o setor industrial foi a maior consumidora, com mais de 50% do total de energia consumida nas três regiões analisadas, lembrando que se trata de um estudo do berço ao portão;
- A simulação do fator de carga do transporte final de 70% influenciou fortemente o consumo energético, já que os três regimes mostraram redução

do consumo de energia na etapa de transporte de 19 a 26%, causando uma diminuição do total de energia consumida de 10 a 14%;

- A etapa da colheita foi a segunda mais significativa para o consumo energético, representando 30% no norte e centro e 40% no sul;
- O desempenho das operações de silvicultura apresentou diferenças para as três regiões em função de: tempo de crescimento diferente, volume de produção, tamanhos diferentes das áreas;
- As etapas de colheita e silvicultura apresentaram os maiores índices de emissão de outros gases poluentes, enquanto o transporte da madeira emitiu maior quantidade de dióxido de carbono e metano.

Dias e Arroja (2012) concluíram, com relação aos cenários relacionados ao eucalipto:

- A etapa da colheita é a maior contribuinte para a depleção de recursos abióticos em todos os cenários;
- O impacto de aquecimento global mostra redução de 9% quando a colheita é realizada com motosserra e tratores florestais (no cenário intermediário), ao invés de *harvester* e *forwarder* (no cenário mais intensivo), para ambas as espécies, em função do menor consumo de combustíveis fósseis;
- Com relação ao cenário menos intensivo, essa redução é ainda maior, de 55% para eucalipto e 60% para pinheiro bravo, porque o consumo de combustível é ainda menor e, além disso, o cenário menos intensivo não abrange a adubação e com isso não há emissão de N₂O proveniente desta operação, reduzindo a contribuição ao impacto de aquecimento global;
- A formação de oxidante fotoquímico é menor para o cenário mais intensivo devido à combustão realizada nos equipamentos maiores ser mais eficiente (*harvester* e *forwarder*). Os maiores responsáveis são as emissões de SO₂ e CO pela queima dos combustíveis;
- O potencial de acidificação é maior para o cenário mais intensivo e menor para o menos intensivo. A operação de adubação é a maior responsável, no cenário intensivo, já que emite NH₃. Nos outros dois

cenários, a colheita é a maior causadora do impacto em função da emissão de SO₂ e NO_x;

- O comportamento do impacto da eutrofização é semelhante para todos os cenários porque a colheita tem uma menor participação neste impacto, lembrando que a colheita é que possui grandes variações entre os cenários. Assim, esse impacto é um pouco menor para o cenário menos intensivo, que aplica quantidades bem menores de fertilizante fosfatado;
- No geral, os impactos são menores no cenário de baixa intensidade, isso por que o consumo de combustível, lubrificante e fertilizante é menor;
- Os impactos causados pelos dois cenários mais intensivos não mostraram grande diferença para as duas espécies, sendo que o cenário que usa motosserra e tratores na colheita causa menos emissões que aquele que usa *harvester* e *forwarder*, com exceção da formação de ozônio fotoquímico, categoria para a qual o impacto causado pela motosserra e trator é maior do que o causado pelo *harvester* e *forwarder*;
- Para o mesmo tipo de manejo, os impactos do eucalipto são maiores do que os do pinheiro bravo por várias razões: nas etapas de implantação e manutenção existem mais operações ligadas ao eucalipto (por exemplo, a poda); o consumo de diesel é maior no eucalipto devido às menores dimensões da sua tora; e quantidades menores de fertilizantes nitrogenados são adicionadas ao pinheiro bravo;
- Os impactos encontrados para o eucalipto são menores do que estudos da literatura para outros países, provavelmente porque, apesar do sistema de produto ser semelhante, os métodos de AICV foram diferentes e também detalhes no escopo;
- Emissões relativas ao consumo de combustíveis fósseis na floresta são as principais responsáveis pelos impactos, enquanto a produção dos combustíveis, de lubrificantes e de fertilizantes apresentaram pequena contribuição.

No estudo de González-García et al. (2012a), em sete das 11 categorias de impacto analisadas, observou-se melhor desempenho para o regime de rotação curta (SRC); além disso, a qualidade da madeira cortada aos 5 anos e os benefícios

econômicos do seu regime são maiores do que para a madeira cortada aos 2 anos. As variáveis que mais contribuíram para os impactos foram:

- Depleção abiótica: consumo de diesel pelo equipamento agrícola e produção da ureia;
- Potencial de acidificação e de eutrofização: emissão de amônia devido à aplicação de nitrogênio;
- Aquecimento global: emissão de gases de efeito estufa durante o controle de plantas daninhas, produção de ureia, colheita e coleta de biomassa;
- Depleção da camada de ozônio: operações de colheita, adubação nitrogenada e controle mecânico de plantas concorrentes, principalmente devido às emissões envolvidas na produção dos combustíveis fósseis consumidos;
- Toxicidade humana e ecotoxicidade: operações de colheita, controle mecânico de plantas concorrentes, extração da madeira e adubação nitrogenada, para toxicidade humana, principalmente em função das emissões de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos; para ecotoxicidade exclui-se controle de invasoras. Devem-se principalmente às emissões de níquel e cobalto na produção do equipamento, diesel e ureia;
- Formação de oxidante fotoquímico: operações de colheita, seguidas da adubação nitrogenada, controle de plantas concorrentes e extração da biomassa, principalmente devido às emissões oxidantes da produção do diesel e combustão nos equipamentos, da produção de ureia e da produção dos equipamentos;
- Demanda cumulativa de energia: alto consumo de diesel nas operações de colheita, extração da madeira e picagem da madeira em cavaco.

Assim, as atividades mais impactantes do sistema foram: aplicação de nitrogênio e operações agrícolas de controle mecânico de plantas concorrentes, corte e extração da madeira, principalmente devido ao consumo de energia e emissões difusas.

González-García et al. (2012b) constataram que:

- Mesmo abrangendo operações, local, espécie e tempo semelhante, o cenário com adubação apresentou produtividade cerca de 60% maior que o cenário sem adubação;
- O desempenho da produção da biomassa de Salgueiro para fins energéticos sem adubação, analisado em função de 1 hectare, mostrou menor impacto ambiental em todas as categorias de impacto, com exceção do aquecimento global;
- O balanço de energia mostrou melhor desempenho no cenário com adubação, em função da sua maior produtividade;
- As operações de colheita se mostraram as maiores contribuintes para os impactos do cenário com adubação, também analisado em função de 1 hectare;
- No cenário sem adubação, os pontos críticos também foram as operações de colheita, mas adicionalmente o plantio mostrou relevância para a ocorrência dos impactos;
- As emissões de maior contribuição ao impacto de aquecimento global foram as provenientes da queima do diesel na colheita no cenário sem adubação, e as emissões de óxido nitroso da produção e uso dos fertilizantes, no cenário com adubação;
- O impacto de aquecimento global total foi negativo, já que foi contabilizado o sequestro de carbono na biomassa durante o ciclo de vida da floresta, com relação às emissões geradas no seu cultivo ao longo do mesmo tempo.

González-García et al. (2013) tiveram como resultados:

- O estabelecimento e a manutenção da floresta são os maiores responsáveis pelos impactos, isso porque essas etapas envolvem, no regime realizado nas plantações analisadas da Alemanha, além do plantio manual, a produção das sementes, duas podas, dois desbastes, os quais abrangem o desbaste, a extração e o carregamento;

- O segundo maior ponto de contribuição aos impactos foi o corte final, realizado após 90 anos de ciclo e acompanhado pelas mesmas atividades de extração e carregamento da madeira;
- As razões dos impactos não foram exploradas no estudo.

England et al. (2013) concluíram que:

- A madeira proveniente das florestas nativas sequestra mais carbono do que aquela proveniente das plantadas, contabilizando-se o carbono até a entrega de ambas as madeiras na planta de processamento;
- Emissões para a água foram encontradas apenas nas plantações de coníferas já que fertilizantes não são aplicados nas florestas nativas;
- Quanto às emissões de GEE exceto CO₂, na floresta nativa, todas elas foram emitidas a partir da queima dos resíduos da colheita e das cinzas e quanto às emissões de CO₂, foram maiores nas nativas do que nas plantadas, também em função da queima de resíduos e de cinzas.
- Em se tratando das emissões associadas à exploração da floresta, tem-se que o total de GEE emitido por metro cúbico de madeira sem casca nas florestas nativas foi três vezes maior que nas plantadas de coníferas. Essa diferença se dá pelas diferentes operações realizadas. Um dos fatores que influenciam a diferença entre as operações é o terreno mais acidentado das florestas nativas. Ele ocasiona, por exemplo, maior consumo de combustível;
- Os pontos críticos das emissões de CO₂ nas florestas plantadas foram o transporte da madeira, em seguida a colheita e, por fim, a queima de resíduos. Para as florestas nativas, os pontos críticos encontrados foram em ordem de maior para menor importância: queima das cinzas, transporte da madeira e colheita;
- As emissões totais de carbono geradas pela plantação de coníferas representam apenas 3,3% do total de carbono sequestrado pela madeira. Para a produção nativa de folhosas, essa proporção é de 7,3%, lembrando que se trata de um inventário do berço-ao-portão.

Comparando a contribuição das etapas envolvidas na produção de MDP, Silva et al. (2013) observaram que a etapa industrial apresentou maior contribuição para os impactos do que a etapa florestal, com exceção do impacto de ecotoxicidade. Para esta categoria de impacto, o maior contribuinte foi o uso do herbicida glifosato. Como a etapa industrial da produção de painéis não é relevante para o presente trabalho, sua discussão de resultados não será levada em conta.

2.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS

É possível observar, por meio dos principais resultados encontrados nos estudos que, apesar de analisarem atividades semelhantes, eles variam significativamente. De maneira geral, a etapa da colheita se mostra crítica em todos os estudos, adicionalmente, a etapa de transporte também se mostra problemática para o desempenho ambiental dos setores florestais analisados por Berg e Lindholm (2005), González-García et al. (2013) e England et al. (2013). Contudo, vale ressaltar que nem todos os estudos abrangeram as mesmas etapas dentro das fronteiras, como pode ser visto no Quadro 7.

Estudos	Autor	Fronteiras	Etapas críticas
Alemanha	González-García et al. (2013)	I, M, C, MEA	I + M + C
Austrália	England et al. (2013)	I, M, C, T, MEA	C + T
Brasil	Silva et al. (2013)	I, M, C, T, MEA	M + C
Itália	González-García et al. (2012a)	I, M, C	Diversos
Portugal	Dias e Arroja (2012)	I, M, C, MEA	C e I
Suécia	González-García et al. (2012b)	I, M, C	C + I*
Suécia	Berg e Lindholm (2005)	I, M, C, T	C + T

Quadro 7 – Fronteiras consideradas nos estudos e respectivas etapas críticas do ponto de vista ambiental.

I = Implantação; M = Manutenção; C = Colheita; MEA = Manutenção de estradas e aceiros; T = Transporte final.

**No regime com adubação e no cenário sem adubação a etapa crítica foi a colheita, contudo, no cenário sem adubação encontrou-se adicionalmente a etapa de plantio (dentro da implantação) como crítica*

Fonte: Autor (2016).

As variações encontradas nos resultados podem ter ocorrido em função das diferenças nas práticas de manejo realizadas (que variam significativamente com o uso pretendido para a madeira e com as características edáficas e climáticas do local), das fronteiras do sistema que envolvem ou não o transporte final da madeira e as atividades de manutenção de estradas e aceiros (assim como mostrado no quadro acima) e até a forma como o manejo é organizado pelos autores. Para o ultimo item, em González-García et al. (2013), por exemplo, os maiores impactos foram causados pelas etapas de implantação e manutenção, que são consideradas como uma etapa só e envolvem, neste sistema analisado na Alemanha, a operação de desbaste e a extração e o carregamento da madeira retirada no desbaste. Essas operações são geralmente componentes da etapa de colheita e não compõem a implantação e manutenção considerada nos outros estudos.

Dias e Arroja (2012) verificaram que duas espécies diferentes cultivadas sob o mesmo cenário e localização apresentam diferentes desempenhos em função da diferença de produtividade. González-García et al. (2012a) mostraram também que a variação na idade de corte e no número de rotações acarretam diferentes desempenhos ambientais.

England et al. (2013) revelaram que uma característica física do local, como o relevo, influencia diretamente o impacto causado, já que em áreas mais acidentadas, diferentes equipamentos são requeridos para a silvicultura.

Os cenários com e sem adubação estudados por González-García et al. (2012b) revelaram produtividade 60% maior, quando realizada a operação de adubação, mostrando que esta prática influencia fortemente o desempenho encontrado, quando os resultados se dão em unidades de volume. Além disso, as diferentes fontes de nutrientes aplicadas relatadas também podem influenciar o comportamento dos impactos.

Tais diferenças que trazem variações aos resultados das contribuições ambientais evidenciam a importância de se regionalizar os estudos de ACV, de forma que eles sejam mais fiéis à realidade local ou regional e sejam representativos.

Na análise feita por González-García et al. (2012b), o fluxo de referência de 1 hectare de área cultivada sob o manejo definido implicou na contabilização das emissões restritas à área do campo, não considerando o volume de produção por área (que varia significativamente com a adubação). Por isso, os impactos que

diferiram entre os dois manejos foram apenas a produção de energia líquida e o aquecimento global, em função do sequestro de carbono maior para a produção maior de biomassa. Contudo, vale lembrar que as emissões da queima para obtenção de energia (foco exclusivo desta madeira) não entram nas fronteiras consideradas no estudo.

Pôde-se perceber, pela análise do estudo de England et al. (2013), que, na Austrália, a queimada controlada é uma parte crucial do manejo de florestas, como técnica para eliminação de resíduos após o corte, além do preparo da área para plantio das sementes ou semeadura aérea no ciclo subsequente, ou ainda para redução de combustível utilizado para a redução do risco de incêndios. Segundo os autores, essa prática também é realizada no Canadá e nos Estados Unidos, apesar dessas emissões não serem incluídas nos seus ICV. Logo, é possível notar que esta é uma prática realizada em locais específicos, não podendo ser extrapolada para outros locais.

O manejo realizado nas plantações de Abeto de Douglas da Alemanha (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2013) apresenta-se muito diferente dos demais, abrangendo 90 anos de ciclo total, três podas, dois desbastes e o corte final. Esta diferença provavelmente é ocasionada pelas condições climáticas da Alemanha e pelas características de crescimento da espécie. De acordo com Richard et al. (1999), a espécie Abeto de Douglas apresenta alta produtividade, contudo é cultivada ao longo de, pelo menos, 50 anos, em países da América do Norte e da Europa.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 DEFINIÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Para início do presente estudo de Avaliação do Ciclo de Vida relativo às florestas plantadas com fins energéticos no Brasil, foi primeiramente necessária a definição da área de estudo.

Sabe-se que a partir da base de dados da Pesquisa de Extração Vegetal e Silvicultura (PEVS) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014), considerando os dados do período entre 2001 e 2010, Simioni et al. (2013) delimitaram três polos concentradores da produção de biomassa florestal para energia no país. Dois deles produzem prioritariamente lenha estando um no Rio Grande do Sul e outro entre o município de Cornélio Procópio no Paraná e Itapeva em São Paulo. E o terceiro está localizado no centro do estado de Minas Gerais e produz prioritariamente carvão vegetal.

Assim, para a realização deste estudo, a região entre os Estados do Paraná e São Paulo foi selecionada, tendo como foco das análises a região do município de Itapeva (SP) que realiza prioritariamente o fornecimento de lenha de eucalipto para indústrias de celulose e papel, mineração (cal e cimento), cerâmica vermelha e secagem de grãos na região.

Esta região foi selecionada para início das atividades do presente trabalho e os outros dois polos serão posteriormente analisados com a continuação do projeto por outras equipes de trabalho.

O município de Itapeva encontra-se na região Sudeste do Brasil e Sudoeste do Estado de São Paulo e faz divisa com os municípios de Itaí, Paranapanema, Buri, Taquarivaí, Capão Bonito, Guapiara, Ribeirão, Ribeirão Branco, Nova Campina, Itararé e Itaberá.

Geograficamente, sua sede localiza-se em uma latitude 23° 27' S, 48° 53' W, ao norte e ao sul seus pontos extremos são, respectivamente, 23° 34' S, 24° 18' S, a leste e a oeste encontra-se em 49° 11' W e 48° 33' W e está em uma altitude média de 708 metros.

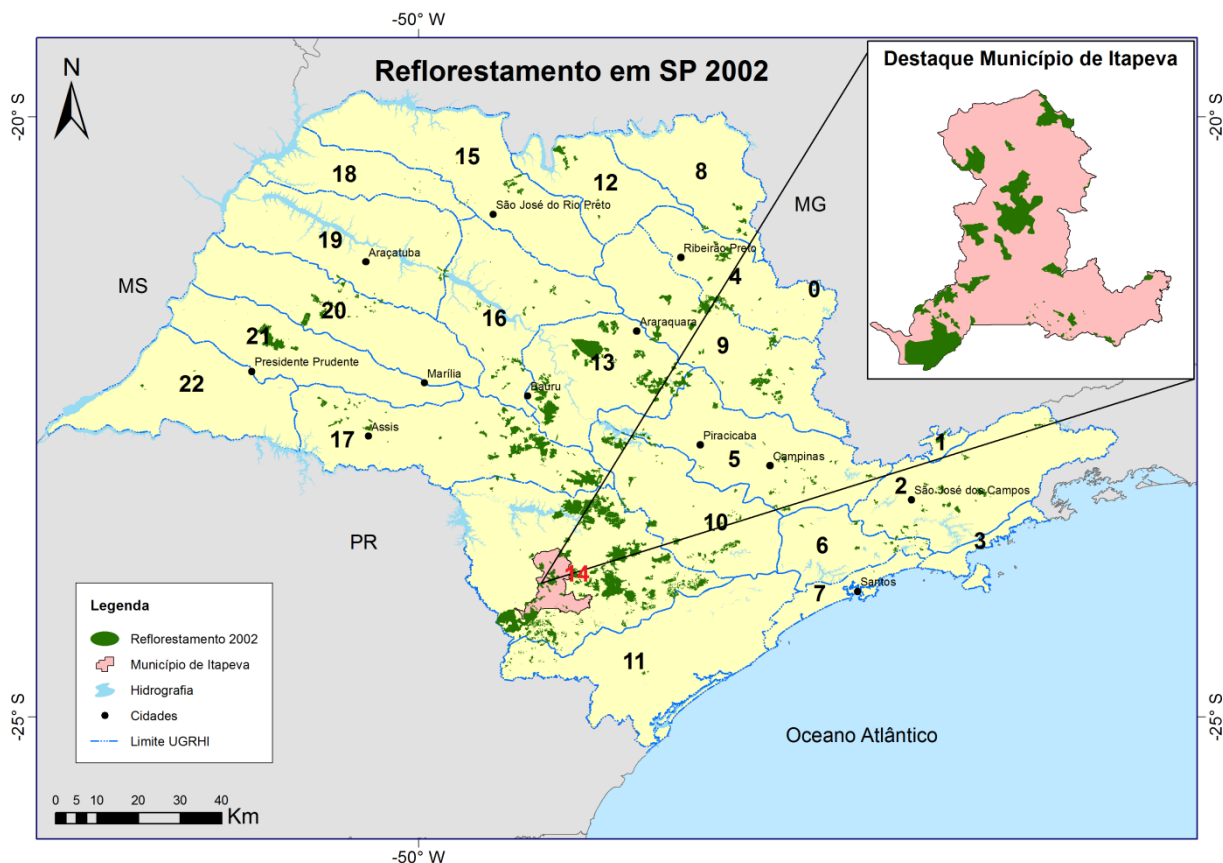
De acordo com o Censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2010), Itapeva possui uma área de 1.826,258 km² e sua população está estimada em 87.753 habitantes.

De acordo com o histórico divulgado pela prefeitura municipal, Itapeva tornou-se a “Capital dos Minérios” a partir da década de 60; em 1970, tiveram início atividades de reflorestamento; na década de 80, destacou-se a intensa produção de feijão que, na década seguinte, foi em parte substituída pela produção de soja e milho.

Com relação aos tipos de solo encontrados no local e a sua classificação quanto ao conteúdo de argila, de acordo com o mapa de solos do IBGE (2001), sabe-se que:

- 87,72% da área do município de Itapeva possuem solo do tipo Latossolo vermelho, distrófico;
- 12,25% da área do município de Itapeva possuem solo do tipo Argissolo vermelho-amarelo, distrófico;
- 0,02% da área possui Cambissolo háplico, argila de atividade baixa, distrófico;
- 100% da área estão na categoria de textura “argilosa ou muito argilosa”.

A região de Itapeva está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 14 (UGRHI 14), ou Bacia Hidrográfica do Alto do Paranapanema, e é drenada pelo Rio Pirituba (SSRH/CRHi, 2011). A Figura 1 ilustra sua localização dentro da bacia bem como as áreas com florestas plantadas no Estado de São Paulo no ano de 2002, já que este era o dado mais recente disponível.



**Figura 1 – Mapa das áreas de reflorestamento no Estado de São Paulo (não exclusivamente relativas à produção de energia), dando destaque ao município de Itapeva e à bacia hidrográfica na qual está inserido (UGRHI 14).
Fonte: Adaptado dos dados do Probio (2002).**

De acordo com o Relatório de Situação dos Recursos hídricos das Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo, a UGRHI 14 abrange 42 municípios e possui uma área de drenagem de 22.689 km², cujos principais cursos d'água são o Rio Paranapanema, Rio Santo Inácio, Jacu, Guareí, Itapetininga e Turvo, Itararé, Taquari, Apiaí-Guaçu, Paranapitanga e das Almas. No território da bacia, encontram-se os reservatórios: Usina Jurumirim, Chavantes, Paranapanema, Pilar, Piraju, Maringá (CBH-ALPA, 2014).

Os dados oficiais do *website* Climate-data.org indicam para o município de Itapeva (SP) a temperatura média anual de 18,9°C, com média anual de pluviosidade de 1254,00 mm. Além disso, o município é dominado pelo clima tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen, ou seja, clima temperado úmido com verão quente.

De acordo com o Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo, a bacia do Alto do Paranapanema, onde está situado o município de

Itapeva, ocupa uma área de 2.273.000 hectares, apresentando 338.001 hectares de vegetação natural remanescente, correspondentes a 14,9% da sua superfície. A vegetação predominante é a Floresta Ombrófila em Contato/Floresta Ombrófila Mista Montana e a Floresta Estacional Semidecidual. Especificamente o município de Itapeva apresenta 11,7% da sua área total cobertos por floresta nativa e 1% corresponde a uma Unidade de Conservação (IBGE, 2005).

Comparada a outras cidades, a região apresenta baixos níveis de desenvolvimento socioeconômico e, em contrapartida, o maior potencial florestal do Estado de São Paulo (SHIMBO, 2006).

A silvicultura da região se destaca, apresentando alta produção de carvão vegetal e lenha. De acordo com o Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2006), em 1990, a atividade já estava presente na região, apresentando uma produção de 22391 toneladas de carvão vegetal e 358457 metros cúbicos de lenha. Essa produção vem apresentando crescimento ao longo como pode ser observado no histórico da produção na Tabela 2.

Tabela 2 – Produtos da silvicultura de Itapeva.

Ano	CARVÃO VEGETAL		LENHA	
	Quantidade produzida (t)	Valor (R\$/t)	Quantidade produzida (m ³)	Valor (R\$/t)
2004	13.000	500	245.000	19
2005	13.500	550	250.000	18
2006	13.300	520	260.000	17
2007	13.700	590	270.000	19
2008	12.500	750	250.000	23
2009	11.375	950	232.500	28
2010	11.500	950	218.300	29
2011	12.000	980	220.000	28,5
2012	13.000	980	235.000	31
2013	13.000	980	235.000	31

Fonte: Adaptado da pesquisa de Produção da Extração Vegetal e Silvicultura (IBGE, 2014).

A principal espécie plantada na região é o eucalipto, seguida pelo pinus (Tabela 3).

Tabela 3 – Espécies plantadas no município de Itapeva para produção de carvão vegetal e lenha.

Espécies plantadas para produção de carvão vegetal e lenha em Itapeva em 2013

Espécies	CARVÃO VEGETAL (t)	% do total	LENHA (m³)	% do total
Eucalipto	8.000	61,5	150.000	64
Pinus	5.000	38,4	85.000	36

Fonte: Adaptado da pesquisa de Produção da Extração Vegetal e Silvicultura (IBGE, 2014).

Além desses produtos que possuem fins energéticos, são produzidos também: madeira em tora para papel e celulose, madeira em tora para outras finalidades e resina (IBGE, 2014).

3.2 COLETA DE DADOS

Definido o local de estudo, deu-se início a coleta dos dados que basearam a realização do presente trabalho. Para tanto, duas viagens foram feitas até a região de Itapeva (SP), tendo sido a primeira realizada nos dias 08, 09 e 10 de setembro de 2014 e a segunda nos dias 06, 07 e 08 de novembro de 2014.

Durante essas ocasiões, entrevistas à pequenos, médios e grandes produtores da região, além de viveiro de mudas e prestadores de serviço de silvicultura, colheita e remoção de madeira, foram conduzidas.

As entrevistas consistiram na aplicação de um questionário com os responsáveis pelas atividades de manejo florestal das unidades industriais. Nessas ocasiões foi possível identificar dois perfis de produtores de florestas para energia na região de Itapeva (SP). O perfil do pequeno produtor, que possui cerca 300 hectares de plantio de eucalipto e não possui qualquer controle de custos e receitas, nem ferramentas para planejamento da colheita. E o perfil do grande produtor, que possui plantios com cerca de 5000 hectares, com maior organização técnica, administrativa e financeira da atividade. Assim, o perfil detalhado dos produtores entrevistados está discriminado na Tabela 4.

Tabela 4 – Perfil dos entrevistados na coleta de dados.

Perfil dos entrevistados na região de Itapeva/SP					
Perfil	Viveiro de mudas	Pequeno produtor	Grande produtor	Prestador de serviço - Silvicultura	Prestador de serviço - Colheita
Quantidade	1	2	2	2	2

Fonte: Autor (2016).

O questionário aplicado requereu informações relativas às etapas de cada processo, às quantidades de matérias-primas e insumos consumidos, às quantidades de produtos gerados e o consumo de combustível e tempo de duração das operações mecanizadas. Além disso, procurou-se conhecer o ano de vigência para os dados, a geografia a qual os dados se referem, a idade de corte das plantações, o número de rotações realizadas, as espécies cultivadas, dentre outras informações que caracterizam o processo produtivo na região.

As pessoas que responderam a tal questionário foram as responsáveis pelas atividades de manejo florestal das unidades industriais.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO REPRESENTATIVO DA REGIÃO

Com os dados coletados relativos aos nove produtores, pôde-se então aplicar o conceito de sistema modal. Este conceito, bastante utilizado em projetos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), consiste na definição do sistema de produção que é encontrado com maior frequência em uma determinada região (MOREIRA et al., 2015). Assim, as características mais comuns encontradas dentre as informações coletadas com os entrevistados, foram reunidas, definindo um sistema modal inicial que abrangeu detalhes como:

- Período de rotação e ciclo total das plantações;
- Quantidade de rotações realizadas;
- Espécies de eucalipto plantadas;

- Espaçamento de plantio resultando na densidade de plantas por hectare;
- Operações realizadas;
- Insumos consumidos no processo (tipos e quantidades);
- Tipo de equipamento de colheita.

O sistema modal inicial foi construído e em seguida validado por meio da realização de um painel que, por Zen e Peres (2002), a metodologia do painel é descrita como a reunião de um grupo de pessoas com as seguintes características: pesquisadores, técnicos, agricultores ou agentes setoriais. Ela se mostra uma importante no Brasil, já que existe um forte consenso de que os produtores rurais, em sua grande maioria, não têm estruturas de controle de sua propriedade, o que dificulta toda a forma de coleta de informações no campo.

O painel para a validação foi realizado durante uma terceira visita técnica, no dia 11 de junho de 2015, quando foi feita a apresentação do sistema de produção modal inicial e de um conjunto de dados de entrada inicial, construídos com base nos dados já coletados, para os dois dos três maiores produtores da região.

Nesta ocasião, os dados foram discutidos e consolidados. Para esclarecer, procurou-se saber a opinião dos participantes com relação a qual o sistema de produção é o mais comum da região bem como qual o conjunto de dados de entradas mais comumente encontrados. Ao final, chegou-se a um consenso sobre as informações mais representativas para a atividade naquela região.

Os resultados entregues nesta etapa de trabalho são a definição do manejo florestal representativo da região de Itapeva (SP), que representa um dos polos brasileiros da produção de madeira para energia no Brasil e o conjunto de dados de entrada desta atividade.

Sabendo que a produtividade dos grandes produtores é de 633,8 m³/ha quando somados primeiro e segundo corte, obtém-se que a produtividade anual 45,3 m³/ano. De acordo com informações coletadas, os dois produtores entrevistados, os quais participaram da validação dos dados, possuem um total de 7329 hectares de floresta. Sabendo que existe mais um produtor do mesmo porte na região, a média da área dos dois produtores entrevistados foi assumida como área do terceiro produtor equivalente no local, resultando em um total de 10993,5 hectares. Assumindo a mesma produtividade para o terceiro, tem-se que 1.494.017 m³ de

lenha de eucalipto são produzidos anualmente por essas propriedades. Isto representa cerca de 10% da produção do Estado de SP, de acordo com IBGE (2014). Com relação a representatividade dos dados com relação a região de Itapeva, sabe-se pela mesma fonte que, em 2015, havia 18.000 hectares com plantações de Eucalipto no município, assim, tem-se que os dados validados na presente pesquisas representam 61% da área total, contudo, não se sabe qual porcentagem da plantação total do município tem finalidade energética.

3.4 COMPOSIÇÃO DO CONJUNTO DE DADOS DO CICLO DE VIDA

3.4.1 Dados de entradas no manejo florestal

Como já explicado anteriormente, o conceito de sistema modal foi aplicado também para o conjunto de dados de entrada do processo analisado, ou seja, foram quantificadas as entradas de material e energia mais comuns aos empreendedores. E durante a realização do painel, este conjunto de dados foi também validado.

Este conjunto de dados de entrada é composto de entradas da natureza e da tecnosfera (que serão mais bem descritas nos subitens a seguir) e pelos dados de fundo.

Os dados de fundo, ou dados *background*, foram utilizados da base de dadosecoinvent versão 3.2, sendo eles a produção dos insumos e os transportes dos insumos.

a) *Transformação dos dados*

Os dados coletados relativos à atividade florestal foram disponibilizados pelos produtores em função de 1 hectare ou de 1 metro estéril¹⁵ em alguns casos, como para o rendimento das operações mecanizadas. Gonzalez-Garcia et al

¹⁵ Metro estéril: A medida metro estéril é utilizada em empreendimentos florestais por facilitar a medição da produção em campo. Ela consiste em uma pilha de madeira de 1 metro cúbico. Por incluir os vazios entre as toras, existem fatores de conversão que estimam a quantidade de madeira que de fato está presente na pilha.

(2012a,b) selecionaram a unidade de 1 hectare de plantação comercial de eucalipto para energia sob as práticas de manejo em análise, na Itália e Suécia, respectivamente. Adotou-se a unidade de 1 m³ de madeira para a construção do conjunto de dados do presente trabalho, que está de acordo com os outros cinco estudos analisados na literatura (Berg e Lindholm, 2005; Dias e Arroja, 2012; England et al., 2013; González-García et al., 2013;). Além disso, na base de dadosecoinvent, de maneira geral, a atividade florestal possui como fluxo de referência o produto e não a área.

Como mostrado anteriormente, três dos cinco estudos consideram 1 m³ de madeira sem casca como fluxo de referência. Provavelmente porque as plantações são de múltiplo uso e alguns dos usos requerem a retirada da casca, diferentemente do polo brasileiro, que não envolve a retirada da casca da madeira, já que tem destino exclusivo para geração de energia por meio da queima da lenha ou carvão vegetal. Em função disso, a unidade definida foi de 1 m³ de madeira com casca.

Para converter os dados de entrada em função desta unidade volumétrica, um procedimento semelhante ao realizado por Dias e Arroja (2012), citado anteriormente, foi realizado. Assim, as seguintes transformações dos fluxos de referência foram feitas:

- 1 hectare para 1 metro estéril de madeira;
- 1 metro estéril para 1 metro cúbico de madeira.

A transformação de 1 hectare para 1 metro estéril foi possível pelo dado da produtividade média dos talhões, que no primeiro corte é de cerca de 500 metros estéreis por hectare e no segundo corte, 400 metros estéreis por hectare.

Assim como nos estudos da literatura, considerou-se aqui o período total da atividade para a determinação da produção total de 1 hectare. Foi considerado então que 1 hectare produz 900 metros estéreis ao longo dos 14 anos de manejo.

Sabe-se, contudo, que a unidade metro estéril é utilizada especificamente no setor florestal e corresponde ao volume de 1 metro cúbico de madeira empilhada, que é a maneira mais prática de medição em campo (BATISTA; COUTO, 2002). Assim, esta medida envolve também os espaços contidos na pilha, o que dificulta a conversão de 1 metro estéril para 1 metro cúbico de madeira sólida.

Batista e Couto (2002) afirmam que erros podem ser inseridos aos dados quando essa conversão é realizada, isso porque muitos são os aspectos que

influenciam no volume sólido de madeira em uma pilha, como a variação do diâmetro das toras, do comprimento das toras, do tempo de secagem e do método de empilhamento.

Logo, um especialista da área florestal da Embrapa Florestas foi consultado e o mesmo recomendou o uso do fator de conversão de 1,42. Este fator se refere à madeira de eucalipto para energia, ou seja, 1 m³ de madeira sólida de eucalipto para energia é correspondente a 1,42 metros estéreis (MOREIRA, 2015).

Referências sobre tais fatores de conversão, chamados de fatores de empilhamento, estão também disponíveis na literatura, como relatado por Batista e Couto (2002). Os autores levantaram estudos que indicam fatores de empilhamento variando de 1,16 a 2,00. Para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, o fator de empilhamento referente à madeira para energia de florestas é de 1,19 a 1,62 com variação de 36%. Esses valores englobam florestas de primeira e segunda rotação, com diferentes idades, de diferentes regiões edafoclimáticas e de várias classes de Diâmetro a Altura do Peito (DAP).

Assim, o fator de empilhamento sugerido pelo especialista consultado, de 1,42, está dentro da faixa de valores da literatura encontrados por Batista e Couto (2002) e foi, portanto, adotado no presente estudo.

b) *Entradas da natureza*

As entradas da natureza no processo estudado se referem à energia contida na biomassa, à ocupação da terra e ao dióxido de carbono absorvido na biomassa.

A energia contida na biomassa consiste na energia capturada do ambiente e corresponde ao poder calorífico do produto. De acordo com Weidema et al. (2013), a energia contida em um produto é contabilizada como o poder calorífico bruto daquele produto, o qual consiste na quantidade de energia gerada quando o mesmo é totalmente oxidado.

Neste caso foi considerada a média dos dados levantados na revisão da literatura realizada por Quirino et al. (2005) para o poder calorífico superior da madeira de *Eucalyptus saligna* que resultou em 4689,9 kcal por kg e, para tanto precisou-se do dado de densidade da madeira. O poder calorífico superior foi utilizado já que a madeira entregue possui determinado teor de umidade.

Na falta de dados primários, buscou-se esta informação na literatura. Sabe-se que a densidade varia em função da umidade da madeira, assim, priorizou-se o uso do dado relacionado ao produto seco, já que na região de estudo a madeira fica armazenada na beira na estrada por cerca de dois meses para que seque alcançando uma umidade de cerca de 15%.

Para tanto, dados da Tabela 5 que relaciona as densidades básicas utilizadas por estudos da literatura relacionados à madeira de eucalipto foram consultados.

Tabela 5 – Dados de densidade do eucalipto.

Densidade da madeira		
Autores	Produto	Densidade (kg/m ³)
Dias e Arroja (2012)	Eucalipto	550
Gonzalez-García et al. (2009)	Eucalipto	549
Silva et al. (2013)	Eucalipto	474
SBS (2005)	<i>Eucalyptus saligna</i>	560 - 660
Ferreira et al. (1979)	<i>Eucalyptus saligna</i>	504

Fonte: Baseado nos estudos da literatura.

Os dados de densidade publicados das duas primeiras referências se relacionam ao produto com umidade de 40% enquanto os outros se relacionam ao produto totalmente seco. Além disso, Dias e Arroja (2012) referem-se à plantações de eucalipto em Portugal e González-García et al. (2009) na Espanha, enquanto que as três demais referências são do Brasil. O dado de Ferreira et al. (1979) é experimental, utilizado no município de Rio Claro (SP) para a madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, mas principalmente *Eucalyptus saligna*, com idade de 7 anos, ou seja, corresponde à mesma espécie, à mesma idade do produto e é de uma região muito próxima.

Assim, apesar da madeira estudada no presente estudo conter 15% de umidade enquanto que as citadas pelos estudos da literatura serem relacionadas a madeiras sem umidade (densidade básica), utilizou-se a média dos dados de Silva et al. (2013), SBS (2008) e Ferreira et al. (1979) para determinar a densidade da madeira na região deste estudo, que resultou em 529 kg/m³. Em estudos futuros a sensibilidade deste parâmetro nos resultados será avaliada.

A ocupação da terra reflete o período de tempo em anos que uma determinada área está impedida de ser transformada para um estado natural (WEIDEMA et al., 2013), ou seja, está ocupada por alguma atividade humana.

No presente estudo, a ocupação foi considerada para uma área de floresta intensiva, isso porque se encaixa na descrição de Weidema et al. (2013) já que possui fim extrativo, abrange o corte de indivíduos da mesma idade, com menos de três espécies no plantio e com idade média menor que 30 anos.

A ocupação da terra foi calculada no presente trabalho dividindo 1 hectare por 633,8 m³, valor que caracteriza a produtividade de 1 hectare nos dois cortes, e multiplicando o resultado pela duração do ciclo (14 anos). Tem-se então que 0,02209 ha*ano são ocupados para a produção de 1 m³ de madeira na região.

Quanto ao carbono do ar capturado na biomassa, foi apresentado na revisão da literatura, que há duas diferentes abordagens adotadas para tal dinâmica; a primeira considera que a quantidade de carbono emitida na fase de uso do produto é igual à quantidade de carbono absorvida ao longo do crescimento da florestal por meio da fotossíntese e assim considera uma absorção nula; a segunda considera que o carbono sequestrado na biomassa corresponde a cerca de 50% da sua massa.

Como as florestas em análise neste trabalho são para a geração de energia, existe um montante de carbono absorvido como CO₂ capturado na fotossíntese ao longo do crescimento das árvores e, em contrapartida, outro montante de carbono emitido na fase de queima do produto que se encontra em forma de lenha ou carvão vegetal. Contudo, como a etapa de queima não foi abrangida pela fronteira do conjunto de dados, a absorção do dióxido de carbono na biomassa foi contabilizada seguindo o padrão dos estudos que consideram esta absorção estando também de acordo com o padrão considerado pelo ecoinvent.

De acordo com Weidema et al. (2013), o carbono consumido do ar deve ser calculado pelo carbono contido no produto colhido. Assim, foi feita a estequiometria, como mostrado na Equação 1.

$$CO_{2\ ar} = (CC_{madeira} * MS_{madeira}) * \frac{44}{12} \quad (1)$$

Onde:

$CO_2 \text{ ar}$ = Dióxido de carbono do ar absorvido em 1 m³ de madeira (kg);

CC_{madeira} = Conteúdo de carbono na massa seca (%);

MS_{madeira} = Quantidade de massa seca (kg);

44/12 = Relação dos pesos estequiométricos do CO₂ com relação ao elemento carbono.

O mesmo procedimento foi adotado na composição do conjunto de dados das mudas. Para evitar dupla contagem, a absorção de dióxido de carbono nas mudas foi subtraída da absorção de carbono na madeira.

c) *Entradas da tecnosfera*

As entradas da esfera tecnológica abrangem a produção dos pesticidas (formicida e herbicida), fertilizantes (NPK de diferentes fontes minerais), calcário, mudas (produzidas em viveiros da região), brita (utilizada na manutenção das estradas para escoamento da madeira), óleos lubrificantes e os combustíveis: diesel e gasolina.

Alguns dos conjuntos de dados de produção dos insumos utilizados em campo não estão disponíveis na base de dados e, por isso, conjuntos de dados não específicos foram utilizados, como discriminados a seguir:

- *Pesticide, unspecified {GLO}, market for* (formicida): utilizado para representar um formicida granulado à base de Sulfluramida;
- *Pesticide, unspecified {GLO}, market for* (herbicida): também utilizado para representar um herbicida pré-emergente à base de Isoxaflutol.

Grande quantidade e variedade de fertilizantes são aportadas ao sistema nas etapas de implantação e condução da rebrota. Assim, três tipos de fertilizantes nitrogenados são aplicados, sendo um proveniente da fonte nitrato de amônio, outro de sulfato de amônio e um terceiro de monoamônio fosfato (MAP). Como o MAP não se encontra disponível na base de dados, um conjunto de dados relativo à fertilizante nitrogenado sem fonte especificada foi utilizado (*Nitrogen fertiliser, as N {GLO}, market for*). O mesmo ocorreu com o fertilizante fosfatado proveniente de

MAP (*Phosphate fertiliser, as P₂O₅ {GLO}, market for*). Além desses, foi incluído o fertilizante de cloreto de potássio, como K₂O.

Os micronutrientes zinco e boro foram desconsiderados por falta de dados referentes à sua fonte mineral.

Uma importante lacuna estava presente nos dados de entrada da tecnosfera, a etapa de produção de mudas de eucalipto. Como ela não está disponível na base de dados utilizada e como os dados coletados estavam muito incompletos foi preciso o uso de dados secundários, com origem nas publicações de Silva (2012a) e Silva et al. (2013).

Essas publicações avaliaram florestas de eucalipto com foco na produção de MDP, ou painéis de partículas de média densidade. Por isso, os dados estão publicados em função de 1 m³ de MDP, sendo necessária a transformação dos dados de inventário em função de unidades de muda, já que este é o fluxo de referência padrão dos conjuntos de dados de mudas disponíveis na base de dados ecoinvent.

Para tanto, utilizou-se parâmetros de conversão baseados nas informações relatadas nas publicações:

- 1850 mudas são plantadas por hectare de floresta;
- A produtividade da floresta é de 137460 kg de madeira/ha;
- 687 kg de madeira são consumidos para produção de 1 m³ de MDP;

A partir das informações acima, criou-se um novo parâmetro. Sabendo que 137460 kg de madeira são produzidos por hectare e que 1850 mudas são plantadas por hectare, tem-se que cada muda produz 74,3 kg de madeira.

Assim, as equivalências foram feitas com base na quantidade de madeira consumida para produzir 1 m³ de MDP e na quantidade de madeira produzida por 1 muda (fluxo de referência desejado).

Por exemplo, 0,18 MJ de eletricidade são consumidos no viveiro por metro cúbico de MDP produzido (informação publicada no inventário do estudo), logo, 0,18 MJ são consumidos para produzir 687 kg de madeira. Portanto, para produzir 74,3 kg de madeira, 0,0195 MJ são consumidos e, assim, o consumo de eletricidade por unidade de muda é de 0,0195 MJ.

As entradas de água, eletricidade, fertilizantes; as saídas para o ar de amônia, óxido nitroso e glifosato; e as saídas para a água de sulfato de amônio, superfosfato simples e glifosato seguiram o procedimento descrito acima.

Duas operações mecanizadas são inventariadas no processo: o transporte de insumos dentro do viveiro, realizado com tratores, e o transporte do produto final, realizado com caminhões.

Os fluxos relacionados ao transporte interno de insumos dentro do viveiro de produção de mudas bem como os relacionados ao transporte final das mudas foram incluídos por meio da adição do combustível consumido nos tratores/caminhões e das emissões para o ar resultantes da sua combustão. Vale ressaltar que todos esses dados têm como origem a publicação de Silva (2012a).

O processo relatado por Silva (2012a) abrange o aquecimento das estufas de produção de mudas, e, para tanto, o viveiro consome resíduos e cascas de madeira. Contudo, este aquecimento foi desconsiderado do ciclo de vida, já que, de acordo com informações coletadas ao longo deste trabalho com produtores de mudas de eucalipto no Brasil, esta é uma prática muito pouco realizada no país em função do clima tropical. Segundo os mesmos, apenas grandes empresas investem no aquecimento de suas estufas, já que este representa um investimento muito alto. Por não ser a realidade mais representativa, esses fluxos foram desconsiderados do conjunto de dados criado neste trabalho.

Estava presente no conjunto de dados original de produção de mudas no Brasil (SILVA, 2012a), a emissão de sulfato de amônio para a água resultante da sua entrada como adubação. Como esta saída não está disponível na base de dados, assumiu-se que o sulfato de amônio é convertido em nitrato, sendo emitido para a água subterrânea, assim como orientado em Nemecek e Schnetzer (2012).

3.4.2 Dados de saídas no manejo florestal

A partir dos dados de entrada, os dados de saídas foram estimados por meio de modelagem matemática. As saídas consistem nas emissões do sistema para os diferentes compartimentos ambientais, resultantes das intervenções no ambiente.

Os modelos de emissão utilizados pelos estudos da revisão da literatura foram avaliados e, quando conveniente, as mesmas referências foram aplicadas para o presente conjunto de dados. Quando não, modelos adicionais foram buscados. Achou-se conveniente priorizar modelos que abrangessem as especificidades do país buscando assegurar a regionalização dos dados.

Um resumo das emissões durante a produção florestal abrangidas no conjunto de dados construído, das suas definições e das referências dos modelos utilizados para os cálculos pode ser observado no Quadro 8.

Emissões causadas pelo sistema e referências para seus cálculos			
Emissões	Origem da emissão	Compartimento ambiental de destino	Referência para cálculo
Emissões de gases na combustão e metais pesados	Queima do diesel durante as operações silviculturais mecanizadas	Ar	Nemecek e Kagi (2007)
Amônia (NH ₃)	Conversão do nitrogênio contido nos fertilizantes em amônia que é liberada para o ar	Ar	Nemecek e Schnetzer (2012)
Lixiviação de Nitrato (NO ₃ ⁻)	Nitrogênio é fornecido ao solo por fertilizantes ou produzido por micro-organismos na mineralização da matéria orgânica	Água subterrânea	Nemecek e Schnetzer (2012)
Escoamento do Fósforo pela erosão do solo	Erosão de partículas de solo contendo fósforo	Água superficial	Nemecek e Schnetzer (2012)
Óxido nitroso (N ₂ O)	Liberado pela adição de fertilizantes nitrogenados e resíduos da cultura, sob ação dos micro-organismos do solo	Ar	Nemecek e Schnetzer (2012)
Óxido de nitrogênio (NO _x)	Produzido pelos microorganismos do solo a partir da matéria-orgânica	Ar	Nemecek e Schnetzer (2012)
Emissão de CO ₂ pelo calcário	Dissolução do carbonato presente no calcário emite bicarbonato que se transforma em CO ₂	Ar	IPCC (2006)
Escoamento de metais pesados pela erosão do solo	Entrada via fertilizantes, pesticidas e deposição atmosférica	Água superficial	Nemecek e Schnetzer (2012)
Metais pesados	Entrada via sementes, fertilizantes, pesticidas e deposição atmosférica	Solo	Nemecek e Schnetzer (2012); Figueiredo (2015)
Lixiviação de metais pesados	Entrada via sementes, fertilizantes, pesticidas e deposição atmosférica	Água subterrânea	Nemecek e Schnetzer (2012)
Pesticidas	Adição de pesticidas	Solo	Nemecek e Schnetzer (2012)

Quadro 8 – Emissões consideradas e referências utilizadas para o seu cálculo neste estudo.

Fonte: Autor (2016).

a) *Emissões decorrentes da aplicação de fertilizantes*

Como mencionado na revisão da literatura, diversas são as formas de calcular as emissões dos fertilizantes pelas publicações, contudo a maior parte dos modelos utilizados é desenvolvida para o contexto europeu ou em outros países que não o Brasil.

Sabendo disso, uma nova referência foi buscada na literatura, o guia “Methods to assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems”, publicado em 2012 por Nemecek e Schnetzer. Este guia recomenda modelos para estimar as emissões diretas no campo para ICVs de sistemas de produção agrícola. Tais modelos foram também desenvolvidos para a realidade europeia, entretanto adequações para regiões tropicais podem ser feitas por meio da utilização de parâmetros específicos da região de estudo, os quais alimentam os modelos.

Por exemplo, utilizando Nemecek e Schnetzer (2012) pode-se estimar a lixiviação de nitrato para a água subterrânea por meio da alimentação do modelo com parâmetros específicos para o Brasil ou até para a região de Itapeva, como: precipitação, teor de argila no solo, profundidade da raiz da cultura, nitrogênio fornecido pelo fertilizante, nitrogênio orgânico contido no solo e nitrogênio absorvido pela cultura.

Assim, sabe-se que a aplicação de fertilizantes no solo resulta em emissões para a água, ar e o solo. A primeira emissão calculada foi a de amônia. De acordo com Nemecek e Schnetzer (2012), o amônio contido nos fertilizantes pode facilmente ser emitido como amônia para o ar.

Como dito anteriormente, o sistema aporta três tipos de nutrientes nitrogenados. Cada um desses apresenta diferentes fatores de emissão na forma de amônia, sendo eles os mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Fertilizantes aportados, a sua correspondência com os disponíveis em Nemecek e Schnetzer (2012) e os respectivos fatores de emissão de amônia para o ar.

Insumo adicionado	Tipo de fertilizante disponível na publicação	Fator de emissão para amônia
MAP	Multinutrient fertilisers (NPK, NP, NK-fertilisers)	4%
Nitrato de amônio	Ammonium nitrate, calcium ammonium nitrate	2%
Sulfato de amônio	Ammonium sulphate	8%

Fonte: Baseado em Nemecek e Schnetzer (2012).

Assim, a quantidade de N contida nos fertilizantes NPK adicionados no campo foi multiplicada pelos fatores de emissão (terceira coluna da tabela) de acordo com a fonte de nitrogênio (indicada pela segunda coluna da tabela).

Outra emissão que ocorre no ambiente é a produção de nitrato pelos microrganismos do solo que mineralizam a matéria orgânica disponível. O nitrato produzido pode ser absorvido como nutriente pelas plantas, contudo, pode lixiviar para a água subterrânea em períodos de chuva intensa, quando a precipitação excede a evapotranspiração (NEMECEK; SCHNETZER, 2012).

O processo de infiltração da água no solo é afetado por diversos fatores como: as condições da superfície do solo, o seu conteúdo inicial de água, o tempo de infiltração, a topografia do terreno e suas propriedades físico-químicas (COSTA et al., 1999).

Existem modelos disponíveis para o cálculo da ocorrência de lixiviação de nitrato para a água subterrânea, como o determinado a seguir e utilizado no presente trabalho (NEMECEK; SCHNETZER, 2012).

$$N = 21,37 + \frac{P}{c*L} [0,0037 * S + 0,0000601 * N_{org} - 0,00362 * U] \quad (2)$$

Onde:

N = Nitrato lixiviado (kg N/ha*ano);

P = Precipitação + irrigação (mm/ano);

C = Conteúdo de argila do solo (%);

L = Profundidade da raiz (m);

S = Nitrogênio disponibilizado pelos fertilizantes (kg N/ha);

N_{org} = Nitrogênio na matéria orgânica;

U = Nitrogênio absorvido pela cultura.

A irrigação não é uma prática feita nas plantações de eucalipto em estudo, por isso foi desconsiderada. Para a precipitação, considerou-se o dado de Climate-data que indica uma precipitação média para o município de Itapeva de 1254 mm/ano. O teor de argila no solo baseou-se no mapa de solos do IBGE de 2001, que indica que 100% da região de Itapeva se encontram na classificação de solos “argiloso e muito argiloso”, a qual apresenta 50% de conteúdo de argila. O dado de profundidade da raiz não está disponível, logo, baseou-se em Nemecek e Schnetzer (2012) para determinar esta variável (Tabela 7).

É possível observar na Tabela 7 que as culturas são predominantemente agrícolas, sendo a palma a única opção de cultura perene e arbórea, para a qual a profundidade de raiz de 1 metro. Contudo, de acordo com a opinião de um especialista publicada em Eucalyptus Online Book & Newsletter (FOELKEL, 2016), quando se trata de uma espécie adulta de eucalipto, em alta competição, de plantios clonais, o comprimento máximo das raízes é de 2,5 a 3,5 metros. Assim, foi adotado o valor de 2,5 metros.

Tabela 7 – Profundidade das raízes alcançadas por diferentes culturas.

Cultura	Profundidade da raiz (m)
Batata	0,5
Cana de açúcar	1,6
Sorgo doce	1,5
Colza	0,9
Soja	0,95
Palma	1
Trigo	1,2
Milho	1,35
Arroz	0,6
Algodão	1,35

Fonte: Nemecek e Schnetzer (2012).

O montante total fornecido de nitrogênio para cultura se deu pela soma da entrada de nitrogênio pelas três fontes já citadas: nitrato de amônio, sulfato de amônio e MAP. O nitrogênio orgânico é contabilizado na camada superior do solo de 50 centímetros. Apenas uma fração do mesmo é mineralizada, podendo ser absorvida pela cultura e lixiviada para a água subterrânea. Uma taxa de

mineralização de 1,6% está, portanto, implícita no modelo de determinação do nitrogênio orgânico ilustrado na Equação 3 e publicado por Nemecek e Schnetzer (2012).

$$N_{org} = \left(\frac{C_{org}}{100} * V * D_b \right) / r_{\frac{C}{N}} * r_{N_{org}} \quad (3)$$

Onde:

N_{org} = Nitrogênio na matéria orgânica;

C_{org} = Conteúdo de carbono orgânico no solo (%);

V = Volume de solo (m^3/ha) correspondente a $5000 m^3$, já que são considerados os 50 cm superiores do solo e que é assumido que o conteúdo de carbono em 30-50 cm de profundidade é o mesmo que em 0-30 cm;

D_b = Densidade aparente (kg/m^3), considerada $1300 kg/m^3$;

$R_{c/n}$ = Expressa a razão entre carbono orgânico e nitrogênio total;

$r_{N_{org}}$ = Expressa a razão entre o nitrogênio orgânico e o nitrogênio total, assumida como 0,85.

Os valores D_b e $r_{N_{org}}$ foram assumidos como os valores padrões publicados por Nemecek e Schnetzer (2012).

O cálculo no carbono orgânico foi realizado de acordo com a Equação 4, disponível em Nemecek e Schnetzer (2012). Esta equação permite a conversão do conteúdo de carbono em toneladas por $3000 m^3$ ($1 ha * 30 cm$) para fração de massa.

$$C_{org}[\%] = C_{org} * 1/1,3 * 100 * 1/3000 \quad (4)$$

Onde:

$C_{org}[\%]$ = Conteúdo de carbono;

C_{org} = Conteúdo de carbono orgânico contido na camada superior de solo de 30 cm ($t/3000 m^3$).

O dado de carbono orgânico é disponibilizado para ecozonas definidas pela FAO, que se baseiam principalmente em condições climáticas da região. Assim,

dependendo da ecozona onde a cultura é produzida, têm-se uma estimativa do conteúdo de carbono na camada superior de solo (FAO, 2001). A fim de tornar os dados mais regionalizados, priorizou-se o uso de estudos locais. O trabalho publicado por Gatto et al. (2010) realizou experimentos em plantações de eucalipto de 84 meses em cinco municípios de Minas Gerais os quais abrangem seis tipos de solo. Um dos resultados encontrados pelos autores foi o conteúdo de carbono em diferentes camadas para todos os solos e todas as cidades. Priorizaram-se aqui os resultados do Latossolo Vermelho Amarelo médios para as cinco cidades, já que este é o solo encontrado em maior proporção no município de Itapeva (SP). As informações utilizadas se encontram na Tabela 8.

Tabela 8 – Conteúdo de carbono em diferentes camadas de solo. Valores médios encontrados em experimentos realizados em cinco municípios de Minas Gerais.

Profundidade do solo (cm)	Teor de carbono médio para 5 regiões de Latossolo Vermelho Amarelo (t/ha)
0-20	43,95
20-40	32,39

Fonte: Adaptado de Gatto et al. (2010).

Assim, para encontrar o valor na camada de 30 centímetros superior do solo, somou-se o conteúdo de 0-20 cm com a metade do conteúdo de 20-40 cm, o que resultou em 60,145 t/3000 m³.

Por fim, definiu-se a variável nitrogênio absorvido pela cultura. Como os valores disponibilizados por Nemecek e Schnetzer (2012) e encontrados na Tabela 9, são relativos a culturas agrícolas, optou-se por considerar o dado relativo à cultura da palma, por ser a única cultura perene e arbórea.

Tabela 9 – Nitrogênio absorvido por diferentes culturas.

Cultura	País de produção	U (kg N/ha)
Soja	EUA	81
Soja	Brasil	78
Palma	Malasia	150
Trigo	EUA	51
Milho	EUA	196
Arroz	EUA	119
Algodão	EUA	89
Algodão	China	135

Fonte: Nemecek e Schnetzer (2012).

Outra importante emissão relatada por Nemecek e Schnetzer (2012), que ocorre nos processos agrícolas e conseqüentemente nos florestais, é a emissão de óxido nitroso e monóxido de dinitrogênio para o ar, que decorrem dos processos de nitrificação e de desnitrificação causados pelos micro-organismos presentes no solo. A estimativa da emissão de N₂O se baseia nos modelos do Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC), e é dada por Nemecek e Schnetzer (2012), como indicado na Equação 5.

$$N_2O = \frac{44}{28} * (0,01(N_{tot} + N_{cr}) + 0,01 * \frac{14}{17} * NH_3 + 0,0075 * \frac{14}{62} * NO_3^-) \quad (5)$$

Onde:

N₂O = Emissão de N₂O (kg N₂O/ha);

N_{tot} = Total de nitrogênio nos fertilizantes minerais e orgânicos (kg N/ha);

N_{cr} = Nitrogênio contido nos resíduos culturais (kg N/ha);

NH₃ = Perdas de nitrogênio na forma de amônia (kg NH₃/ha);

NO₃⁻ = Perdas de nitrogênio na forma de nitrato (kg NO₃⁻/ha).

Assim, o modelo leva em consideração as entradas de nitrogênio por meio da adubação (N_{tot}), a perda de amônia para o ar (NH₃) e de nitrato para a água subterrânea (NO₃⁻), já calculadas anteriormente. A entrada de nitrogênio pelos resíduos da cultura também é considerada. Para tanto, o estudo de Barreto et al. (2008), que realizou um experimento com plantações de eucalipto com idades de 1, 3, 5 e 13 anos, gerou resultados úteis para a determinação do nitrogênio aportado ao sistema pela produção de resíduos culturais. Os autores realizaram a coleta da serapilheira no entorno das árvores para determinação de atributos como o conteúdo de nitrogênio presente neste material. Esses valores estão disponíveis na Tabela 10.

De acordo com os autores, a quantidade de N acumulada na biomassa microbiana na serapilheira apresenta contribuição relevante no suprimento de N em plantações de eucalipto, uma vez que esta representa um reservatório do nutriente a ser liberado ao longo do tempo.

Tabela 10 – Conteúdo de nitrogênio na serrapilheira produzida em diferentes idades de um plantio de eucalipto.

Idade da plantação de eucalipto (anos)	N na serrapilheira (g/kg)
1	13,03
3	8,84
5	6,69
13	9,8

Fonte: Adaptado de Barreto (2008).

Para determinar a entrada de N pelos resíduos culturais, utilizou-se então os dados publicados por Barreto et al. (2008). A média dos valores apresentados na Tabela 10 foi multiplicada por 14 anos resultando em 134,26 g de N por kg de serrapilheira no período total da atividade em estudo.

Sabendo, de acordo com Barreto et al. (2008), que 20% da biomassa viva corresponde a produção de matéria orgânica morta, tem-se 67 toneladas de serrapilheira gerada por hectare, que corresponde a 20% de 335,28 toneladas de madeira produzidas por hectare na região de estudo.

Se 67 t/ha de serrapilheira são geradas e 134,26 g de N por kg de serrapilheira estão presentes, tem-se uma entrada de 9003 kg de N por hectare decorrente da deposição de serrapilheira.

A emissão de NO_x é um processo paralelo à emissão de N_2O , de acordo com Nemecek e Schnetzer (2012), logo pode ser calculada de maneira relacional, como mostrado na Equação 6.

$$NO_x = 0,21 * N_2O \quad (6)$$

As emissões para o ar, água e solo dos micronutrientes presentes nos fertilizantes NPK (boro, cobre e zinco), foram desconsideradas neste trabalho, assim como em Silva (2012a).

Além das emissões em função das adições nitrogenadas, podem existir as resultantes das adições fosfatadas. O fósforo é um nutriente importante que deve ser fornecido para as plantas, contudo uma parte dele pode ser perdida para a água subterrânea em função da lixiviação, outra parte para a água superficial devido ao escoamento e a erosão (NEMECEK; SCHNETZER, 2012).

De acordo com Novais e Smyth (1999), o fósforo apresenta baixa mobilidade na maioria dos solos brasileiros por apresentar mecanismos de fixação com certa

irreversibilidade, o que impede a sua dissolução e, conseqüentemente, o escoamento ou lixiviação.

Optou-se assim por desconsiderar as emissões por lixiviação e escoamento, considerando apenas a erosão de partículas de solo que carrega consigo partículas de fósforo para a água superficial. Esta emissão pode ser estimada por meio do modelo de Nemecek e Schnetzer (2012). Shigaki (2006), utilizado no conjunto de dados do Brasil, em Silva (2012a), analisou o transporte de fósforo por enxurrada, e determinou um fator de emissão para o fósforo que atinge a água superficial, por meio de um experimento em uma bacia da Pensilvânia. Assim, achou-se mais pertinente mais uma vez a utilização do modelo disponibilizado pelo guia de Nemecek e Schnetzer (2012).

$$P_{er} = S_{er} * P_{cs} * F_r * F_{erw} \quad (7)$$

Onde:

P_{er} = Quantidade de fósforo emitido por meio da erosão para os rios (kg P/ha*ano);

S_{er} = Quantidade de solo erodido (kg/ha*ano);

P_{cs} = Fósforo contido no topo do solo (kg P/kg solo);

F_r = Fator de enriquecimento para o fósforo;

F_{erw} = Fração de solo erodido que alcança o rio.

O fator de enriquecimento indica que a camada mais superficial do solo, que sofre erosão, contém mais fósforo do que a média de conteúdo de fósforo no solo. É admitido o valor médio de 1,86 para essa variável. Para F_{erw} é adotado um valor médio de 0,2 e para P_{cs} 0,00095 kg/kg (NEMECEK; SCHNETZER, 2012).

A variável relativa à perda de solo é de grande importância na consideração desta modelagem. De acordo com Silva et al. (2010), a erosão hídrica contribui fortemente na erosão dos solos, e a cobertura vegetal influencia a intensidade desta erosão. Em função disso, priorizou-se o uso de dados relativos à cultura de eucalipto com condições semelhantes às encontradas em Itapeva (SP).

Assim, um experimento desenvolvido por Silva et al. (2010) forneceu as informações sobre a perda de solo adotadas no presente trabalho. O experimento se deu em uma plantação de eucalipto com espaçamento 3 m X 3 m com 4 anos de idade cultivada em Latossolo Vermelho Amarelo em uma declividade de 25 a 30%.

Como resultado, os autores encontraram que no período de janeiro a junho de 2009, houve uma perda de 0,2599 toneladas de solo por hectare. Como o ciclo total do manejo florestal na região de Itapeva dura 14 anos, este período foi considerado para determinar a erosão total de solo. O período de janeiro a junho abrange parte da estação seca e parte da estação chuvosa, sabendo disso, o valor da perda de solo neste período em 2009, foi extrapolado para 12 meses e depois para 14 anos, resultando em um montante de 7277,2 kg de solo/ha.

Vale ressaltar que de acordo com os mesmos autores, um experimento foi anteriormente desenvolvido para a mesma classe de solo para floresta nativa com condições edafoclimáticas semelhantes e encontrou o valor de 0,109 toneladas/ha de perda de solo por ano. Logo, é possível observar que a plantação de eucalipto contribui para a erosão em função da retirada da cobertura vegetal natural.

b) *Emissão decorrente da aplicação de calcário*

O calcário é utilizado para corrigir a acidez do solo e assim melhorar o desenvolvimento de uma cultura. Os carbonatos adicionados por meio do calcário se dissolvem e liberam bicarbonatos que posteriormente são emitidos na forma de CO₂ e água (IPCC, 2006).

Apesar de não ter sido considerada nos estudos da literatura, sabe-se que esta emissão ocorre nos processos agrícolas e florestais, assim, para estimá-la, a Equação 8, publicada por IPCC (2006), foi utilizada.

$$CO_2 = M * FE * 44/12 \quad (8)$$

Onde:

M = Quantidade de calcário adicionado ao sistema (toneladas);

FE = Fator de emissão relativo ao conteúdo de carbono do calcário.

O fator de emissão recomendado para o calcário (C_aCO₃) é de 12% para calcário calcítico e de 13% para calcário dolomítico. Como não há dados acerca do tipo de calcário aplicado na região de estudo, utilizou-se a média de 12,5% para ser multiplicada pela quantidade de entrada de calcário. O resultado foi multiplicado por 44/12 para permitir a conversão da emissão de carbono para CO₂.

c) *Emissões decorrentes da aplicação de pesticidas*

Como já mostrado anteriormente, dois modelos utilizados para estimar as saídas dos pesticidas e possíveis de serem aqui utilizados foram encontrados nos estudos da literatura.

Silva (2012a) calculou a dinâmica dos pesticidas por meio da modelagem do PestLCI. De acordo com Dijkiman et al. (2013), a modelagem PestLCI leva em consideração a deriva do pesticida para o ar, a sua deposição nas folhas da cultura e a sua deposição no solo.

É assumido por este modelo que os resíduos de pesticida que ficam na cultura vão para o solo no momento da primeira chuva. Essa quantidade juntamente com o resíduo de pesticida no solo pode sofrer escoamento e fluxo de macroporos¹⁶. Após o escoamento e fluxo de macroporos a massa que resta no solo inicia então o processo de lixiviação para o subsolo. No subsolo ocorre a degradação do pesticida. A fração não degradada, quando atinge a profundidade de 1 m é assumida como emissão para águas subterrâneas (DIJKIMAN et al., 2013).

O modelo considera também a influência da drenagem, a qual não é uma prática comum na silvicultura (DIJKIMAN et al., 2013).

Esta modelagem está presente nas duas versões do PestLCI (1 e 2.0) descritas na publicação desses autores. Assim, é possível perceber uma modelagem complexa realizada para determinar a dinâmica dos pesticidas no meio ambiente por meio do PestLCI.

Contudo, pode-se afirmar que a dinâmica considerada nas folhas da cultura não se aplica ao caso estudado, e nem a deriva para o ar. Como as mudas de eucaliptos são cultivadas em um local diferente do local de plantio, elas possuem certa vulnerabilidade, apresentando até uma taxa de mortalidade. Assim, para evitar ao máximo danos e perdas das mesmas, os herbicidas são aplicados apenas ao seu redor ou nas entrelinhas. O espaçamento de 3 metros por 2 metros permite que esta atividade seja feita com cuidado e manualmente com o uso da bomba costal com bico aplicador que permite a assertividade do local de aplicação.

Quanto à dinâmica que ocorre no solo, existem críticas na atualidade na comunidade de ACV que destacam que o PestLCI possui fronteiras que podem ir

¹⁶ Fluxos de macroporos se relacionam a poros formados no solo quando este se encontra seco que facilitam a passagem dos pesticidas diluídos até a água subterrânea (Dijkiman et al., 2013).

além do inventário (ROSENBAUM et al., 2015). Ou seja, o destino dos pesticidas no solo abordado por esta modelagem considera caminhos ambientais que já são considerados nos métodos de AICV. Assim, utilizando a modelagem PestLCI e um método de AICV que quantifique os impactos de toxicidade causados pelos pesticidas como o Usetox, pode-se inferir uma dupla contagem ou erros nas análises já que os caminhos ambientais são contabilizados duas vezes.

Outro fato a ser ressaltado a respeito do PestLCI é que ele não é parametrizado para condições de clima e solo brasileiras.

Assim, achou-se mais pertinente a utilização do cálculo padrão utilizado peloecoinvent e recomendado por Nemecek e Schnetzer (2012) que considera que 100% do pesticida fica no solo.

d) *Emissões de metais pesados*

As entradas de metais pesados por meio de sementes, fertilizantes, pesticidas e deposição atmosférica ocasionam emissões de metais pesados para diferentes compartimentos ambientais (NEMECEK; SCHNETZER, 2012). Por isso, elas foram consideradas no presente conjunto de dados apesar de não terem sido levadas em conta nos estudos da literatura.

Uma parcela da entrada desses metais sofre lixiviação atingindo águas subterrâneas, outra parte atinge águas superficiais por meio da erosão de partículas do solo que carregam consigo os metais pesados e uma terceira parte permanece no solo (NEMECEK; SCHNETZER, 2012).

De acordo com o mesmo guia, as emissões de metais pesados para a água superficial são estimadas pela Equação 9.

$$M_{lixivada} = m_{lixivada} * A_i \quad (9)$$

Onde:

$M_{lixivada}$ = Quantidade total do metal pesado (mp) i lixiviado (mg/ha*ano);

$m_{lixivada}$ = Emissão média do mp i para a água (mg/ha*ano);

A_i = fator de alocação.

A emissão média dos metais pesados para a água está disponível no guia é pode ser vista na Tabela 12. Vale lembrar que esses dados foram calculados para a realidade suíça e que assim, a concentração de metais pesados se difere para os fertilizantes no Brasil. Além disso, o comportamento dos metais pesados no solo de diferentes regiões também varia. Contudo, tais dados foram utilizados já que eram os disponíveis. O mesmo vale para a deposição de metais pesados pela atmosfera (Tabela 11).

Tabela 11 – Metais pesados lixiviados para a água.

Metais pesados	Cd	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Hg
mg/ha/ano	50	3600	33000	600	n.a.	21200	1,3

Fonte: Nemecek e Schnetzer (2012).

O fator de alocação pode ser calculado por meio da Equação 10, também disponível no guia.

$$A_i = \frac{M_{agro\ i}}{(M_{agro\ i} + M_{depo\ i})} \quad (10)$$

Onde:

A_i = Fator de alocação;

$M_{agro\ i}$ = Entradas de mp ao longo do processo (fertilizantes + sementes + pesticidas) (mg/ha*ano);

$M_{depo\ i}$ = Entradas de mp por deposição atmosférica (mg/ha*ano).

Dados acerca da deposição atmosférica dos metais pesados são disponibilizados pelo guia, como mostrado na Tabela 12.

Tabela 12 – Deposição atmosférica de metais pesados.

Metais pesados	Cd	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Hg
mg/ha/ano	700	2400	90400	18700	5475	3650	50

Fonte: Nemecek e Schnetzer (2012).

Para o cálculo da emissão de metal pesado para a água superficial por meio da erosão, a Equação 11 disponibilizada por Nemecek e Schnetzer (2012) foi utilizada.

$$M_{ero} = c_{total\ i} * B * a * f_{ero} * A_i \quad (11)$$

Onde:

M_{ero} = Emissão de mp por erosão (kg/ha*ano);

$C_{total\ i}$ = Mp total contido no solo (kg/kg);

B = Quantidade de solo erodido (kg/ha*ano);

A = Fator de acumulação;

F_{ero} = Fração de solo erodido que atinge o rio;

A_i = Fator de alocação.

Vale lembrar que os valores B e F_{ero} estão coerentes com os valores adotados para o cálculo das emissões de fósforo. Valores para a quantidade total de metal pesado contida no solo estão disponíveis no guia, como pode ser visto na Tabela 13.

Tabela 13 – Metais pesados contidos em mg por kg de solo.

Uso da terra	Cd	Cu	Zn	Pb mg/kg	Ni	Cr	Hg
Prados e pastagens permanentes	0,309	18,3	64,4	24,6	22,3	24	0,088
Terra arável	0,24	20,1	49,6	19,5	23	24,1	0,073
Culturas intensivas	0,307	39,2	70,1	24,9	24,8	27	0,077

Fonte: Nemecek e Schnetzer (2012).

A escolha do tipo de uso da terra se baseou na escolha feita por Figueiredo et al. (2015), já que este estudo também abrange uma cultura perene arbórea, o cajueiro. Assim, os conteúdos de metal pesado no solo foram os referentes ao uso da terra como prados e pastagens permanentes.

A quantidade de solo erodido permaneceu a mesma considerada no cálculo da emissão de fósforo para a água superficial. O fator de acumulação recomendado pelo guia é de 1,86 e o de erosão de 0,2.

A parte dos metais pesados que permanece no solo foi estimada por meio da Equação 12, disponibilizada pelo guia.

$$M_{solo} = \left(\sum \text{entradas } i - \sum \text{saídas } i \right) * A_i \quad (12)$$

A Equação 12 indica que as entradas de um determinado metal pesado por meio dos insumos adicionados menos as saídas para os outros compartimentos ambientais vezes o fator de alocação resultam na emissão de metais pesados para o solo. Vale ressaltar que esta é a única dentre as três emissões que pode apresentar valor negativo em função do resultado deste balanço. Nemecek e Schnetzer (2012) afirmam que a emissão negativa indicaria então, que houve mais consumo pela cultura do que emissão para o solo do metal pesado.

O cálculo das saídas abrangidas neste modelo foi baseado no artigo de Figueiredo et al. (2015), como mostrado na Equação 13.

$$\sum \text{saídas } i = Bio_i + M_{lix} i + M_{erosion} i \quad (13)$$

Onde:

Bio = Quantidade total do metal pesado que deixa o sistema com a biomassa (madeira, casca, galhos) (mg/ha).

A quantidade total que deixa o sistema com a biomassa colhida se refere a concentração de metal pesado na biomassa vezes a quantidade total de biomassa colhida. Como o dado da concentração de metais pesados na madeira não está disponível foi suposto que a madeira colhida não exporta do sistema nenhum metal pesado, acarretando na emissão total dos mesmos para os compartimentos ambientais. Desta forma, a variável Bio não foi contabilizada na modelagem.

3.4.3 Contabilização das operações mecanizadas

No manejo florestal realizado na região, seis tipos de operações mecanizadas são realizados, como será mais bem detalhado na caracterização do manejo florestal. Elas foram abrangidas no conjunto de dados através da adição dos fluxos de consumo de combustíveis e óleos lubrificantes e das emissões resultantes da queima dos combustíveis.

Para a inserção do conjunto de dados de produção e transporte da gasolina, seguiu-se o método proposto por Choma e Ugaya (2015), que considera 25% de etanol na composição da gasolina no Brasil.

Para tanto, os autores utilizaram na composição deste combustível o etanol 99,7% do Brasil e o petróleo sem chumbo com a cobertura geográfica da Europa, já que na versão 2 da base de dadosecoinvent (versão utilizada no estudo de Choma e Ugaya (2015)) era este o dado disponível. Para a composição do mesmo conjunto de dados no presente trabalho, a partir da versão 3 da base de dados, a equivalência dos nomes dos conjuntos de dados (que mudaram de uma versão para outra) foi possível por meio do arquivo de correspondência disponibilizado em *ecoinvent.org*. Observou-se então, que o conjunto de dados de petróleo sem chumbo está disponível para a cobertura geográfica *Rest of the World*, ou seja, resto do mundo, na versão 3. Quando simulado a diferença entre o impacto causado por esses combustíveis na Europa versus resto do mundo, obtém-se uma diferença de cerca de até 30% no resultado do impacto de ecotoxicidade terrestre. Contudo, ao analisar esta diferença no ciclo de vida total da produção de eucalipto para energia no Brasil, observa-se praticamente nenhuma diferença nos resultados do impacto. Em função disso, o conjunto de dados do petróleo sem chumbo para o resto do mundo foi selecionado já que é o dado mais atualizado disponível na base de dados e já que essa diferença não interfere nos resultados.

O consumo de gasolina foi alterado de litros para quilo utilizando a densidade de 0,75 kg/l, que está de acordo com a Ficha de Informações de Segurança de Produto Química (FISPQ) da gasolina comum tipo C disponibilizada pela Petrobrás Distribuidora. Com base na mesma fonte o óleo lubrificante mineral que é consumido junto com a gasolina foi contabilizado a partir da densidade de 0,882 kg/l e de 0,854 kg/m³ para o diesel consumido em outras operações.

Quanto às emissões decorrentes da combustão de combustíveis fósseis, três dos sete estudos utilizam Nemecek e Kagi (2007) para realizar os cálculos. As referências utilizadas por Berg e Lindholm (2005) estão em sueco. Em Silva et al. (2013), as emissões de GEE foram aproveitadas dos processos existentes na base de dados PE Internacional, inacessível para o presente trabalho. E outras duas referências são também utilizadas (EEA, 2009; DCC, 2009), contudo elas permitem estimar a saída de poucos fluxos elementares. Por exemplo, enquanto Nemecek e Kagi (2007) permitem estimar a emissão de 24 fluxos elementares resultantes da queima de combustíveis fósseis, EEA (2009), utilizada por Dias e Arroja (2012) permite estimar apenas 7.

Pela mesma razão, descartou-se a modelagem utilizada por England et al. (2013), em seu estudo na Austrália, encontrada em DDC (2009). Este documento orienta a quantificação das emissões de combustíveis fósseis líquidos. Contudo, foca apenas na emissão de três fluxos: dióxido de carbono, metano e óxido nitroso.

Por se tratar de um manejo florestal relativamente simples, na região estudada, poucas operações mecanizadas são realizadas ao longo do ciclo total de 14 anos. A queima dos combustíveis fósseis consumidos em tais operações emite gases de efeito estufa, os quais foram então estimados com base em Nemecek e Kagi (2007), estando de acordo com os estudos de González-García et al. (2012a,b) e González-García et al. (2013).

Assim, para utilização de Nemecek e Kagi (2007), foi feita uma equivalência entre as operações realizadas no campo com as operações listadas na publicação, a fim de adotar os fatores de emissão propostos por esta publicação.

Para realizar esta equivalência, primeiramente a descrição da atividade foi levada em conta, quando uma operação de descrição semelhante não estava presente, a semelhança entre a potência dos equipamentos foi utilizada para determinar as operações equivalentes. A relação entre as operações realizadas a campo e as operações listadas na publicação de referência, explicitando a potência dos equipamentos, pode ser vista na Tabela 14.

Tabela 14 – Equivalência das operações realizadas a campo com as operações listadas no guia de construção de Inventários do Ciclo de Vida agrícolas e suas potências nominais e médias.

Atividade	Operação equivalente	Potência nominal (kW)	Potência média (kW)
Motocoveamento	<i>Mowing, by motor mower</i>	8	0,8
Colheita com motosserra	<i>Mowing, by motor mower</i>	8	0,8
Extração	<i>Transport, tractor and trailer</i>	62	19,8
Carregamento	<i>Combine harvesting</i>	150	105
Manutenção de aceiros	<i>Combine harvesting</i>	150	105
Manutenção de estradas	<i>Combine harvesting</i>	150	105

Fonte: Baseado nos dados primários coletados a campo e em Nemecek e Kagi (2007).

As primeiras estimativas feitas para as emissões resultantes da queima de combustíveis fósseis são relativas aos gases: HC (hidrocarbonetos), NO_x (óxidos de nitrogênio) e CO (monóxido de carbono). Eles foram calculados de acordo com a Equação 14.

$$E_{\text{exaustão}} = E_r * \text{tempo de operação} \quad (14)$$

Onde:

$E_{\text{exaustão}}$ = Emissão de HC, NO_x e CO (g/hora);

E_r = Valor de referência da emissão (g/hora);

Tempo de operação = Duração da operação no campo (horas).

Os valores de referência se relacionam às operações agrícolas padrão listadas na mesma publicação que relaciona valores de referência de emissão desses compostos para cada uma das operações (Tabela 15). A determinação de tais valores leva em conta a velocidade e potência do equipamento (NEMECEK; KAGI, 2007).

Tabela 15 – Dados de tempo e fatores de emissão para estimar as emissões de HC, NO_x e CO.

Atividade	Tempo da operação (h)	Gases de referência (g/h)		
		HC	NO _x	CO
Motocoveamento	13,4	35	30	950
Colheita com motosserra	130	35	30	950
Extração	28,8	14	239	36
Carregamento	3,6	4,5	51	9,6
Manutenção de aceiros	51,5	4,5	51	9,6
Manutenção de estradas	7,4	4,5	51	9,6

Fonte: Dados primários de tempo da operação e dados de Nemecek e Kagi (2007) para valores de referência das emissões dos gases.

Outras emissões para o ar resultantes da combustão durante as operações mecanizadas foram também estimadas, são elas: dióxido de carbono, dióxido sulfúrico, chumbo, metano, benzeno, cádmio, cromo, cobre, monóxido de dinitrogênio, níquel, zinco, benzeno(a)pireno, amônia, selênio e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. Esses últimos são compostos pelas emissões de: benzeno(a)antraceno, benzeno(a)fluorantraceno, criseno, dibenze(a, h)-antraceno, fluoranteno e fenanteno. Para estimar tais emissões a Equação 15 foi utilizada.

$$E_{op} = C * FE_{GEE} \quad (15)$$

Onde:

E_{op} = Emissão de outros gases poluentes (g);

C = Consumo de combustível (kg);

FE_{op} = Fator de emissão dos outros gases poluentes.

Tabela 16 – Fatores de emissão para cálculo das emissões de outros gases poluentes.

Substância	Fator de emissão (g/kg gasolina)	Fator de emissão (g/kg diesel)
Dióxido de carbono (CO ₂)	3,00E+03	3,12E+03
Dióxido sulfúrico (SO ₂)	7,20E-02	1,01E+00
Chumbo (Pb)	1,46E-01	0,00E+00
Metano (CH ₄)	2,92E+00	1,29E-01
Benzeno (C ₆ H ₆)	9,48E+00	7,30E-03
Cádmio (Cd)	1,00E-05	1,00E-05
Cromo (Cr)	5,00E-05	5,00E-05
Cobre (Cu)	1,70E-03	1,70E-03
Óxido nitroso (N ₂ O)	1,30E-01	1,20E-01
Níquel (Ni)	7,00E-05	7,00E-05
Zinco (Zn)	1,00E-03	1,00E-03
Benzo(a)pireno	4,00E-05	3,00E-05
Amônia (NH ₃)	4,00E-02	2,00E-02
Selênio (Se)	1,00E-05	1,00E-05
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos		
Benzo(a)antraceno	7,50E-05	8,00E-05
Benzo(a)fluorantraceno	4,00E-05	5,00E-05
Criseno	1,00E-05	2,00E-04
Dibenzo(a,h)-antraceno	1,50E-04	1,00E-05
Fluoranteno	4,50E-04	4,50E-04
Fenanteno	1,20E-03	2,50E-03

Fonte: Nemecek e Kagi (2007).

Conhecendo o consumo de combustíveis pelas operações (Tabela 17), foi possível determinar a emissão dos gases poluentes acima citados.

Tabela 17 – Combustíveis consumidos nas operações mecanizadas.

Operação	Consumo de combustível (kg/m³)	
Motocoveamento	Gasolina	0,0089
Manutenção de estradas	Gasolina	0,0269
Tombamento	Diesel	0,1893
Extração	Diesel	0,3396
Carregamento	Diesel	0,0218
Manutenção de aceiros	Diesel	0,1886

Fonte: Baseado nos dados primários coletados a campo.

Por fim, foi calculada a emissão de material particulado também resultante da combustão nas operações mecanizadas. Para tanto, baseou-se na Equação 16, disponibilizada por Nemecek e Kagi (2007).

$$MP_{2,5} = FE_{MP2,5} * FC * PM * tempo\ de\ operação / 1000 \quad (16)$$

Onde:

$MP_{2,5}$ = Emissão de material particulado 2,5 (g);

$FE_{MP2,5}$ = Fator de emissão (g de material particulado/kg de combustível);

FC = Fator de conversão (kg de combustível/kWh);

PM = Potência média (kW).

O fator de emissão do material particulado de dimensão 2,5 micrômetros pôde ser obtido por meio da Equação 17.

$$FE_{MP2,5} = A - B * PN^{0,1} \quad (17)$$

De acordo com os autores, a variável A, medida em g de material particulado por kg de combustível, é igual a 7,25 para diesel e 2,23 para gasolina e a variável B, medida em g de material particulado por kg de combustível vezes kW de potência, é igual a 3,62 para diesel e -3,9 para a gasolina.

Conhecendo a potência nominal e média dos equipamentos e o tempo das operações, foi possível calcular o fator de emissão e posteriormente o montante final desta emissão.

3.4.4 Contabilização dos fluxos de transporte

Como os dados relacionados aos transportes dos insumos que chegam à floresta não estavam disponíveis de maneira completa, os transportes dos insumos foram considerados neste conjunto de dados a partir da base de dados ecoinvent v. 3.2. Para tanto, foram utilizados os processos denominados de “*market*” que são aqueles que já consideram as informações de transporte, para representar a chegada dos produtos até o local de estudo.

Já o transporte final da madeira pôde ser modelado com base em dados primários. Utilizou-se para tanto, o conjunto de dados de transporte disponível na base de dados ecoinvent versão 3.2, o qual possui referência de 1 tkm (toneladas carregadas vezes quilômetros percorridos). Sabe-se que a madeira na região de Itapeva é entregue a uma distância média de 30 km e que a carga transportada é de 60 metros estéreis por viagem.

Utilizando a densidade de 529 kg/m³, têm-se uma carga transportada por viagem de 22,35 toneladas, o que resulta em 1341 tkm por viagem. Como um hectare produz no total 900 metros estéreis, fez a proporção, indicando 20115 tkm por hectare.

Tabela 18 – Informações a respeito do transporte do produto final.

Transporte final da madeira	
Tipo de veículo =	Romeu e Julieta
Dataset correspondente =	Caminhão, EURO 3, 16 - 32 toneladas
Carga transportada =	22,35 t
Distância média percorrida (ida e volta) =	60 km
tkm/ha =	20115
tkm/ha com fator de carga de 50% =	10057,5

Fonte: Autor (2016).

O fator de carga considerado nos conjunto de dados de transporte da base de dados considera 25% de carregamento do caminhão, quando na atividade real, este carregamento é de 50%, já que o caminhão chega até o povoamento vazio e retorna cheio. A equivalência inversa foi feita para a correta proporção de entrada desta operação no sistema. As informações consideradas para cálculo da quantidade de entrada do processo de transporte relativo ao transporte final da madeira colhida estão disponíveis na Tabela 18.

O transporte das mudas desde o viveiro até o local de plantio não se encontra disponível na base de dados já que foi criado um produto novo para a produção de mudas, por isso, foi adicionado com base nos dados de consumo de combustível e emissões disponíveis em Silva (2012a).

3.4.5 Adaptações no conjunto de dados

Para que um conjunto de dados sirva de entrada para outros estudos de ACV é importante que o mesmo esteja disponível em um formato adequado. Muitos estudos são encontrados na literatura, contudo nem sempre as informações estão totalmente acessíveis e transparentes, o que dificulta o aproveitamento dos seus dados. Por ser uma atividade que demanda grande tempo e recursos, em função principalmente da coleta de dados, é de extrema importância que os dados possam continuar sendo utilizados.

Os princípios globais de *Shonan Guidance*, publicados por Sonnemann e Vigon (2011), determinam requisitos a serem seguidos para a qualidade de bases de dados de ACV. O trabalho de Barrantes e Ugaya (2015) mostrou que oito dos doze princípios podem ser também aplicados para inferir qualidade a conjuntos de dados individualizados, sendo eles: acessibilidade, responsabilidade, acurácia, completude, qualidade, relevância, reprodutibilidade e transparência.

O mesmo estudo mostrou também que quando aplicados a conjuntos de dados de florestas plantadas disponíveis na literatura, o requisito da completude, de maneira geral, não é atendido, já que as entradas e saídas nunca são totalmente cobertas pelo conjunto de dados. Quanto aos requisitos de responsabilidade e relevância, mostram-se satisfatórios para todos os casos analisados. Já os

relacionados à acurácia, qualidade, reprodutibilidade e transparência deixam a desejar em alguns deles (BARRANTES; UGAYA, 2015).

A fim de evitar tais problemas, assegurando a qualidade e a disponibilidade dos dados, realizou-se nesta etapa a adequação do conjunto de dados do presente trabalho de acordo com os padrões da base de dados de ACV ecoinvent, por meio das orientações da própria equipe do ecoinvent Centre.

De acordo com Frischknecht et al. (2007), o sistema da base de dados ecoinvent consiste em sete componentes básicos, sendo eles: a base de dados central, as rotinas de cálculo, o editor ecoEditor, uma ferramenta administradora, a ferramenta query (ecoQuery), o formato ecoSpold e as bases de dados locais.

A base de dados central consiste nos conjuntos de dados de processo e nos métodos de avaliação de impacto reunidos em um servidor e que podem ser acessados via internet. As rotinas de cálculo permitem o processamento dos resultados computacionais cumulativos dos inventários. O editor ecoEditor permite que o usuário crie novos conjuntos de dados, altere conjuntos de dados existentes, complete ou ainda exclua os mesmos. A ferramenta administradora permite a inserção dos conjuntos de dados dentro na base dados e é a responsável pela verificação da sua qualidade. O ecoQuery, disponível em www.ecoinvent.org, é uma ferramenta que facilita o acesso e a aquisição de conjuntos de dados da base de dados central (FRISCHKNECHT et al., 2007).

Assim, para que um conjunto de dados seja submetido para a base de dados central, todos esses componentes são envolvidos. No presente trabalho, o conjunto de dados foi adequado de acordo com os padrões do ecoinvent em conjunto com a ferramenta administradora (equipe ecoinvent Centre) e foi ainda inserido no ecoEditor para que seja submetido no futuro. Nesta etapa, alterações foram necessárias para o conjunto de dados inicial, as quais estão detalhadas a seguir.

Para esclarecer, de acordo com Frischknecht et al. (2007), o ecoEditor permite a administração dos nomes dos conjuntos de dados, por meio de um link direto com a base de dados, inclui uma unidade de conversão para os dados e atua como uma interface entre o usuário e a base de dados central permitindo a geração de arquivos no formato requerido para o ecoinvent, chamado EcoSpold.

As alterações sugeridas pela ferramenta administradora e incorporadas ao conjunto de dados do presente trabalho a fim de manter a sua qualidade foram basicamente as seguintes:

- Inclusão da infraestrutura nos conjuntos de dados;
- Adição de saídas relacionadas às entradas de forma a manter o balanço de massa seca e de água do conjunto de dados.

Assim, quanto ao conjunto de dados de produção de mudas, dois fluxos relacionados à infraestrutura foram adicionados ao conjunto de dados original criado por Silva (2012a). As entradas de polietileno e de extrusão de filme plástico, relacionadas à construção das estufas dos viveiros foram extrapoladas dos outros conjuntos de dados de produção de mudas florestais disponíveis na base de dados: “*tree seedling production, in heated greenhouse*” e “*tree seedling production, in unheated greenhouse*”. O resíduo proporcional gerado pelo polietileno foi também levado em conta. Sabendo que 0,00116 kg de polietileno por muda foram consumidos proporcionalmente à sua utilização durante 3 anos e meio (dado considerado nos conjuntos de dados da base de dados), foi assumida a mesma quantidade de entrada e saída deste material, a fim de que de o conjunto de dados apresente um balanço de massa coerente.

Outros fluxos adicionados correspondem à entrada e saída dos recipientes dentro dos quais as mudas são produzidas e transportadas até a área de plantio, chamados de tubetes (Figura 2).



**Figura 2 – Tubete onde as mudas de eucalipto são produzidas.
Fonte: Santos (2016).**

De acordo com fichas técnicas deste produto, os tubetes são compostos de polipropileno com densidade de $0,946 \text{ g/cm}^3$. Sabendo que a espessura da sua parede é de 7 mm e que o recipiente comporta 58 cm^3 de volume interno, tem-se um volume da parede de $14,76 \text{ cm}^3$ por recipiente. A mesma é composta de polipropileno. Logo, a massa de polipropileno por muda resulta em 13,96 g. De acordo com Silva (2012a), os tubetes são reutilizados durante 6 a 8 anos. Como o ciclo de produção dura 3 meses, concluiu-se que ele é reutilizado em média 28 vezes. Esta informação foi útil para calcular a entrada proporcional de material e também a quantidade proporcional gerada de resíduo por ciclo, que resulta em 0,49 g de polipropileno de entrada e saída em cada ciclo produtivo.

Foi possível observar que o conjunto de dados original abrangia entradas de água e nenhuma saída, o que compromete o balanço de água. Desta forma, dados de literatura foram utilizados para estimar as emissões de água.

Um experimento realizado por Oliveira (2012) indicou que ao longo das quatro fases de desenvolvimento de mudas de eucalipto 29,4% da água adicionada no processo evapotranspirou. Esta informação foi utilizada para determinar a emissão de água para o ar e assumiu-se que o restante da água que entra é incorporado pela muda.

Para a estimativa das saídas de água da produção florestal, utilizou a modelagem padrão adotada peloecoinvent quando não se tem dados exatos relacionados a esta dinâmica. Assumiu-se que 15% da água que entra no processo, que neste caso é em pequena quantidade já que é utilizada apenas para a diluição dos fertilizantes e pesticidas, é emitida para o ar. Do restante, assume-se que 20% atinge a água superficial e o restante o lençol freático (LEVOVÁ; PFISTER, 2014).

Alterações adicionais foram requeridas para que o conjunto de dados pudesse no futuro ser incluído na base de dados, contudo elas não foram incorporadas no presente trabalho por não serem úteis para os objetivos aqui propostos ou para que não houvesse perda de informações primárias. Esses detalhamentos podem ser encontrados no Anexo 1.

3.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL

3.5.1 Definições da avaliação

O objetivo e o escopo de um estudo de ACV devem ser definidos de acordo com a NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 (ABNT, 2009a,b). Assim, seguindo os direcionamentos destas normas, foram delineados: a aplicação pretendida, as razões para execução do estudo, o público-alvo que se pretende atingir, o sistema de produto, a função, unidade funcional e o fluxo de referência, as fronteiras do sistema, os requisitos da qualidade dos dados e procedimentos de alocação.

Para basear tais definições, estudos semelhantes foram buscados nas bases de dados científicas Capes e *Google Scholar*, ou seja, estudos de ACV de florestas com produtos energéticos que criaram de maneira primária conjuntos de dados representativos de alguma região do mundo. Outras escolhas metodológicas feitas por esses autores também influenciaram as escolhas do presente trabalho, tais como: fatores utilizados para conversão de massa/volume de madeira, modelos de emissão e métodos de Avaliação do Impacto utilizados.

O objetivo do presente estudo de ACV foi analisar, do ponto de vista ambiental, o desempenho da produção de biomassa florestal com fins energéticos em uma região concentradora desta atividade no Brasil a partir da criação de um conjunto de dados primários, a fim de identificar os pontos críticos da atividade para sugestão de melhorias.

As razões para a realização deste estudo são a falta de dados do ciclo de vida e de estudos de ACV acerca desta atividade no Brasil. Vale ressaltar que como a atividade florestal é significativamente variável em função das condições de relevo e edafoclimáticas de uma região, material genético envolvido e uso pretendido do produto, o manejo também varia substancialmente, reforçando a importância das análises regionalizadas. Além disso, por ser um produto que se conecta a cadeia produtiva de muitos outros produtos, já que é uma fonte de energia, a criação de um conjunto de dados regionalizado contribui para a regionalização dos impactos encontrados para diversos outros produtos no Brasil, dentro dos estudos de ACV.

A busca por melhorias do desempenho ambiental da atividade se mostra importante pela grande participação da biomassa florestal no cenário nacional e internacional, mostrada pelo Balanço Energético Nacional e pelos dados estatísticos da FAO, já citados anteriormente.

O público-alvo abrange a comunidade científica da área de ACV e da área florestal, formuladores de políticas públicas e gestores públicos do setor florestal, produtores florestais familiares e empresariais e seus potenciais clientes.

O sistema de produto¹⁷ abrange o sistema de produção de toras de *Eucalyptus saligna*, durante um ciclo total de 14 anos, com corte aos 7 e aos 14 anos, em um espaçamento 3x2 metros.

a) *Função, unidade funcional e fluxo de referência*

A função do sistema de produto em análise é produzir biomassa de eucalipto para a geração de energia. Como o fluxo de referência já foi definido para estar em consonância com os estudos semelhantes, sendo de 1 m³ de madeira, tem-se que a unidade funcional é produzir 8,86 kcal (sabendo que a densidade da madeira é de 529 kg/m³ e o poder calorífico é de 4689,9 kcal/kg).

Vale lembrar que apesar da fase de uso não ser abrangida nas fronteiras do sistema e, logo, o produto não cumpre de fato a sua função dentro da análise do estudo, deve-se ainda assim, de acordo com ABNT (2009a), fazer a definição da função e unidade funcional.

b) *Fronteiras do sistema*

A fronteira do sistema é a que define quais processos elementares serão considerados no sistema de produto, bem como aqueles desconsiderados. A fronteira considerada no presente trabalho está ilustrada na Figura 3. Ela abrange as fases do manejo florestal realizado no polo de Itapeva (implantação, manutenção, colheita, condução da rebrota, segunda manutenção e segunda colheita), as quais estão detalhadas na caracterização do sistema de produção. Vale ressaltar que a

¹⁷ Sistema de produto é o “Conjunto de unidades de processo, conectadas material e energeticamente, que realiza uma ou mais funções definidas” (ABNT, 2009 a), ou seja, o sistema de produto é o delineamento das etapas consideradas para o estudo dentro do ciclo de vida do produto.

fase de colheita abrange os processos de corte, a extração e o carregamento da madeira. O ciclo de vida considerado abrange ainda o transporte final da madeira até o consumidor que, na região, são empresas cerâmicas, cimenteiras, de secagem de grãos, de produção de calcário e empresas siderúrgicas. Nessas empresas a madeira é utilizada em forma de carvão vegetal ou lenha para geração de vapor em caldeiras ou geração de calor pela queima.

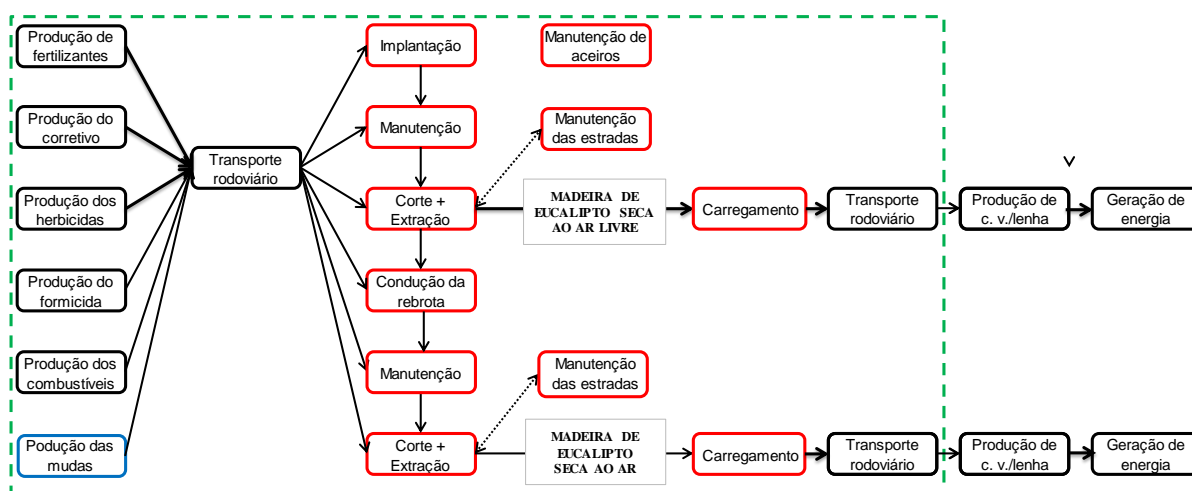


Figura 3 – Fronteiras do sistema indicadas pelo quadrado verde tracejado, em vermelho os processos contabilizados a partir de dados primários e em preto os contabilizados a partir de dados secundários.

Fonte: Autor (2016).

Os processos em vermelho foram contabilizados a partir de dados coletados de forma primária, seguindo a metodologia de coleta e validação dos dados já descrita.

Para contabilizar a produção dos insumos, dados *background* foram utilizados da base de dadosecoinvent versão 3.2, os quais estão representados pelas caixas pretas dentro do tracejado verde, e, para que o transporte dos mesmos até a floresta fosse contabilizado, a versão *market* de tais processos foi selecionada. Priorizam-se processos globais quando os específicos para o Brasil não estão disponíveis. O quadrado azul indica que a produção deste insumo foi considerada de maneira regionalizada, com base em dados secundários (SILVA, 2012a).

A manutenção de estradas está ligada por uma flecha pontilhada por que ocorre paralelamente à etapa de colheita. Esta atividade tem a finalidade de deixar

as estradas florestais em condições que facilitem o escoamento do produto colhido. Já a manutenção de aceiros não está ligada a nenhuma outra atividade, pois ocorre anualmente com o objetivo de manter a segurança dos talhões, evitando os riscos de incêndio.

A fronteira desconsidera a fase de uso do produto. Desconsidera também a implantação da infraestrutura, já que apenas a manutenção da mesma é realizada nas plantações já bem estabelecidas no local por um longo período.

c) *Procedimentos de alocação*

Os processos elementares para os quais foram coletados dados primários não apresentam multifuncionalidade e, com isso, não há necessidade de alocação. Para os demais processos, a alocação foi realizada conforme a base de dados.

d) *Requisitos dos dados*

Para que o objetivo e escopo do estudo sejam alcançados, os requisitos da qualidade dos dados devem ser especificados (ABNT, 2009a). No presente estudo eles envolvem:

- Cobertura temporal: 2014/2016;
- Cobertura geográfica: polo brasileiro concentrador de florestas para energia localizado entre o norte do Estado do Paraná e o sul do Estado de São Paulo;
- Cobertura tecnológica: o processo produtivo da região apresenta baixa mecanização, quando comparado a processos produtivos relativos à produção de madeira para outros fins. Assim, grande parte das operações é realizada manualmente, em função do relevo da região e da escala de produção. As tecnologias envolvidas serão mais bem detalhadas na caracterização do processo.

3.5.2 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

A Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida, de acordo com ABNT (2009a,b) visa “o entendimento e a avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”.

Assim, os dados de inventário são correlacionados a diferentes categorias de impacto por meio dos métodos de avaliação de impactos disponíveis.

A seleção do método de AICV para avaliar o desempenho ambiental da produção de biomassa florestal para energia no Brasil foi baseada nos métodos utilizados pelos estudos da literatura. A maior parte dos estudos (DIAS; ARROJA 2012; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2012a,b; SILVA, 2013) realizou a AICV a partir do método CML 2 versão 2.05, o qual avalia as seguintes categorias de impacto:

- Depleção abiótica;
- Acidificação;
- Eutrofização;
- Aquecimento global;
- Depleção da camada de ozônio;
- Toxicidade humana;
- Ecotoxicidade de água doce;
- Ecotoxicidade de água marinha;
- Ecotoxicidade terrestre;
- Oxidação fotoquímica.

A interpretação dos resultados foi feita a fim de compreender o comportamento ambiental da atividade e identificar os seus pontos críticos. Buscou-se inicialmente realizar a sugestão de melhorias para tais pontos com base na comparação quantitativa dos resultados de impacto encontrados pelos estudos semelhantes de outros países.

Contudo, esta comparação de resultados não foi possível de ser realizada. Isso porque, mesmo que sejam equalizados os fluxos de referência e as fronteiras do sistema entre o presente conjunto de dados e os dos estudos, ainda assim

teríamos a influência dos dados *background* nos resultados encontrados após a AICV a partir do uso do mesmo método.

Ou seja, as bases de dados utilizadas pelos estudos e pelo presente trabalho deveriam ser exatamente iguais, tanto a base de dados quanto a sua versão utilizada. E, nenhuma das bases de dados utilizada pelos estudos analisados na literatura se equivale com a base de dados disponível para a realização do presente trabalho (ecoinvent versão 3.2). Isto torna a comparação quantitativa inadequada para os objetivos do trabalho.

Esta verificação foi feita por Chiumento e Ugaya (2015) que compararam os resultados de impacto gerados a partir de duas versões diferentes da base de dados ecoinvent, a versão 2 e a 3.01. A comparação feita pelas autoras mostrou resultados totalmente incoerentes para as duas versões, não sendo possível observar nenhuma proporção padrão no comportamento dos resultados.

Além disso, foi também observado que os trabalhos da literatura, em geral, não publicam seus conjuntos de dados detalhados, impossibilitando a comparação das atividades em diferentes regiões em nível de inventário.

3.5.3 Comparação da silvicultura em diferentes países

Já que a comparação quantitativa dos resultados de AICV e dos inventários da atividade de diferentes países não foi possível, restringiram-se aqui as comparações qualitativas dos manejos florestais realizados no Brasil e no mundo.

Esta comparação permitiu a identificação de possibilidades de variações para o manejo realizado no Brasil com relação principalmente aos pontos críticos encontrados na AICV, mas também para outros pontos quando pertinente. Quando possível o impacto esperado para tais variações foi avaliado, baseado na literatura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MANEJO FLORESTAL REPRESENTATIVO DA REGIÃO

A partir da coleta e consolidação das informações relativas à produção de madeira para energia no polo de Itapeva, foi caracterizado o sistema de manejo florestal mais comumente realizado na região.

O sistema se caracteriza pelo plantio da espécie *Eucalyptus saligna* que é cultivada por meio de mudas clonais. Tais mudas são plantadas em um espaçamento 3x2 m, o que resulta na densidade de 1667 plantas por hectare. O ciclo de produção é realizado em dois diferentes períodos, que são chamados de rotações. A primeira rotação se inicia com a implantação da floresta no primeiro ano. Do segundo ao sexto ano a plantação passa pela etapa de manutenção, quando ganha incremento e atinge a altura e diâmetro desejados depois de 7 anos. A primeira colheita é então realizada, apresentando a produtividade de 500 metros estéreis por hectare ou 352 m³/ha. Em seguida, os tocos rebrotam e algumas operações são feitas para conduzir o seu crescimento no ano 8. A floresta então se reestabelece, passa por nova etapa de crescimento e manutenção durante novos 7 anos e é novamente colhida aos 14 anos, quando apresenta uma queda de produtividade de cerca de 20%, resultando em 400 metros estéreis por hectare, ou 282 m³/ha. O funcionamento geral deste manejo está resumido na Figura 4.

De acordo com as informações coletadas nas visitas técnicas, o relevo local é significativamente acidentado, em geral com cerca de 47% de declividade e, por isso, as operações são realizadas quase que totalmente de forma manual.

As considerações específicas e operações realizadas em cada etapa do processo estão detalhadas nos itens a seguir.

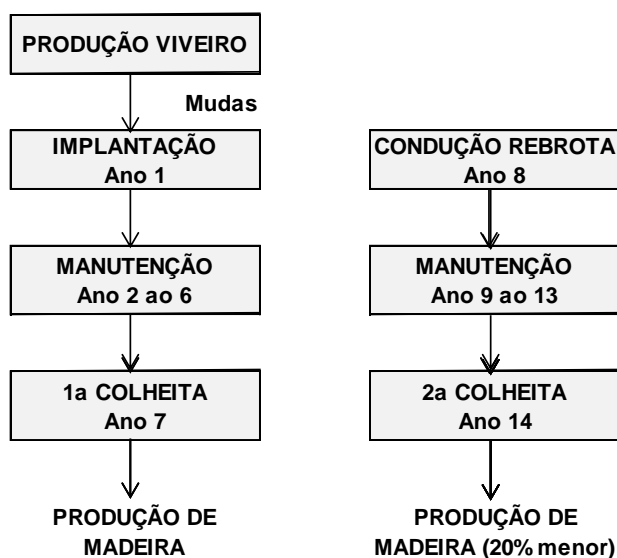


Figura 4 – Manejo florestal representativo do polo produtor de lenha localizado entre o sul do Estado de São Paulo e norte do Paraná.

Fonte: Baseado nos dados primários coletados a campo.

4.1.1 Produção das mudas

A produção das mudas ocorre paralelamente à etapa de produção florestal. É feita em viveiros da região, onde o material genético é clonado e as mudas se desenvolvem em tubetes de polipropileno preenchidos com substrato, sendo transportados até os talhões florestais a caminhões.

As informações coletadas junto a um grande produtor da região permitiram delinear inicialmente um sistema de produção de mudas praticado na região. O mesmo envolve: a manutenção do jardim clonal (em estufas); o período na casa de sombra (ambiente coberto para proteção das plântulas das intempéries climáticas); o período de enraizamento; e o banho de sol.

Este viveiro tem capacidade de produção de 30000 mudas por mês ou 3 milhões de mudas por ano. O material genético é clonado de *Eucalyptus Urograndis* e *Saligna*, desenvolvido para fins energéticos. O destino das mudas são os pequenos e médios produtores da região.

Contudo, não foi possível incluir produtores de mudas da região na etapa de validação dos dados, o que acarretou em muitas lacunas acerca do consumo de água, fertilizantes, agrotóxicos e energia.

Para a inclusão desta etapa no processo de análise, os trabalhos de Silva (2012) e Silva et al. (2013) foram utilizados. Nestas publicações, os autores inventariaram a produção de mudas de eucalipto em um viveiro também localizado no Estado de São Paulo com características semelhantes ao viveiro fornecedor de mudas às plantações do polo de Itapeva. O viveiro das publicações mencionadas também envolve a multiplicação clonal de espécies de eucalipto e a produção de mudas em tubetes dentro de estufas aquecidas. Diferencia-se pela maior capacidade de produção, com cerca de 1,3 milhões de mudas por mês.

As atividades praticadas envolvem a coleta de brotos nos jardins clonais, o preparo dos recipientes (tubetes), o plantio dos brotos nos tubetes, o crescimento na casa de vegetação, as praças de rustificação e a expedição do produto final para campo (SILVA, 2012).

Os principais materiais consumidos são: recipientes para acomodação das mudas, ou tubetes, água para irrigação, fertilizantes, herbicida para eliminação de ervas daninhas e eletricidade e resíduos de madeira para aquecimento das estufas e funcionamento de outras máquinas (SILVA, 2012a).

4.1.2 Produção florestal

a) *Implantação da floresta*

A primeira etapa do manejo florestal realizado na região é a implantação, já descrita anteriormente. Nesta região, esta etapa não envolve a atividade de desmatamento, já que a cultura do eucalipto está estabelecida no local em estudo há bastante tempo. Em função disso, a implantação inicia-se com as práticas de dessecação dos restos vegetais da colheita anterior.

Para tanto, o herbicida glifosato é aplicado manualmente com bomba costal em uma taxa de 4 kg por hectare diluído em 200 litros de água.

Em seguida, iniciam-se as atividades de combate à formiga, com uma aplicação manual pré-plantio de 3,5 kg por hectare de iscas granuladas de formicida a base de Sulfluramida. Esta é uma prática importante feita ao longo do manejo. De acordo com Boaretto e Forti (1997), em plantios de Pinus e de Eucalipto, as formigas

cortadeiras destacam-se como as principais pragas, sendo mais críticas durante as fases de pré-corte, em área de reforma ou condução, e a fase imediatamente após o plantio ou início da condução da rebrota.

Após, é realizada uma calagem com adição de cerca de 900 kg de calcário por hectare, para a correção do pH do solo, já que sabe-se que quanto menor o pH do solo, maior a atividade de íons H^+ e maior seu caráter ácido, o que interfere na disponibilidade de nutrientes para a planta e na atividade de elementos tóxicos no meio (BRUNETTO, 2015). Esta operação é comumente feita de forma mecanizada em atividades agrícolas e florestais, entretanto, como o relevo da região dificulta a operação de equipamento pesado, a aplicação do calcário é feita manualmente apenas na linha de plantio.

Dá-se então início ao preparo do solo que, em termos gerais, visa inverter e revolver uma camada profunda de terra, destruir e incorporar restos vegetais, destorroar e nivelar a superfície (STORINO et al., 2010). No local de estudo, o preparo no solo é feito apenas no local das covas que receberão as mudas de eucalipto. Assim, em uma mesma operação é realizado manualmente o alinhamento, o balizamento e o coroamento.

De acordo com NBL (2013), a preparação das áreas de plantio de mudas é uma tarefa trabalhosa, que deve ser realizada por equipe com experiência. O alinhamento é feito para alinhar as faixas de plantio no sentido leste-oeste, permitindo maior aproveitamento da luz solar no crescimento das mudas.

O balizamento consiste na marcação do alinhamento da faixa de plantio por meio da inserção de balizas e por fim realiza-se o coroamento. NBL (2013) afirmam que o coroamento corresponde à limpeza da área no entorno da muda com uso de enxada, em um raio de 50 cm a 1 metro a partir da posição final da muda. Seu principal objetivo é diminuir a competição da muda com a vegetação espontânea.

Após a confecção da coroa, é realizado o coveamento, ou seja, a abertura das covas, que é feito, na região de estudo, de forma semi-mecanizada com o uso de um motocoveador. Este equipamento abre covas no solo com a profundidade e largura adequadas para comportarem as mudas. Para tanto, o motocoveador consome gasolina e óleo lubrificante e a operação cobre um hectare em 5 dias.

Preparado o solo, realiza-se o plantio. As mudas de eucalipto, acomodadas em torrões de terra, produzidas dentro de tubetes nos viveiros da região, chegam a

caminhões até a floresta e são plantadas manualmente na área, nas covas abertas no solo.

É recomendado, logo após o plantio, que se faça uma adubação de base para fornecer nutrientes no estágio inicial de desenvolvimento da muda recém-plantada (NBL, 2013). Assim, a adubação de base é feita no local com a aplicação manual do fertilizante no entorno da muda em uma taxa de 183 kg de NPK 06-30-06 0,3% zinco e 0,3% boro por hectare.

É recomendado um acompanhamento do crescimento das mudas a fim de se buscar sinais de ataques de pragas, remover galhos caídos sobre as mudas e avaliar a ocorrência de mortalidade (NBL, 2013).

De acordo com Mafia (2005), é comum parte das mudas apresentar baixa qualidade do sistema radicular, em função da idade, o que resulta na dificuldade de absorção de água e nutrientes e conseqüentemente a sua morte (MAFIA, 2005). Outras causas da mortalidade de mudas observadas no local de estudo são as ocorrências de doenças ou pragas. Em função disso, é necessário que se faça o replantio. Na região de estudo este replantio é feito de 20 a 30 dias após o plantio em uma taxa de 5%, o que resulta em uma entrada total de 1750 mudas por hectare.

Após o replantio, é feita uma aplicação de herbicida pré-emergente a base de Hissoxaflutol, com 0,07 kg por hectare diluído em 80 litros de água a fim de evitar a emergência precoce das plantas competidoras no local. A aplicação é feita manualmente, com bomba costal, no entorno das covas tendo o cuidado para que o herbicida não alcance as mudas.

A fim de proteger a planta que está ainda em estágio inicial do ataque das formigas, um novo combate é feito, chamado de combate a formigas pós-plantio. É realizado manualmente apenas nos alvos de infestação, resultando em uma média de 2 kg do formicida granulado a base de Sulfluramida por hectare.

Ainda na implantação, duas dessecações de plantas invasoras são feitas, uma antes de completados 6 meses do plantio e outra após 6 meses de plantio, com a aplicação do herbicida Glifosato em solução, feita manualmente com bomba costal. Na primeira aplicação, quando as árvores estão menores e mais suscetíveis, a taxa de aplicação é maior, com 2,7 kg por hectare diluídos em 180 litros de água. Na segunda são aplicados 1,8 kg por hectare diluídos em 120 litros de água. Busca-se, assim, evitar a competição de outras plantas ao longo do desenvolvimento das mudas.

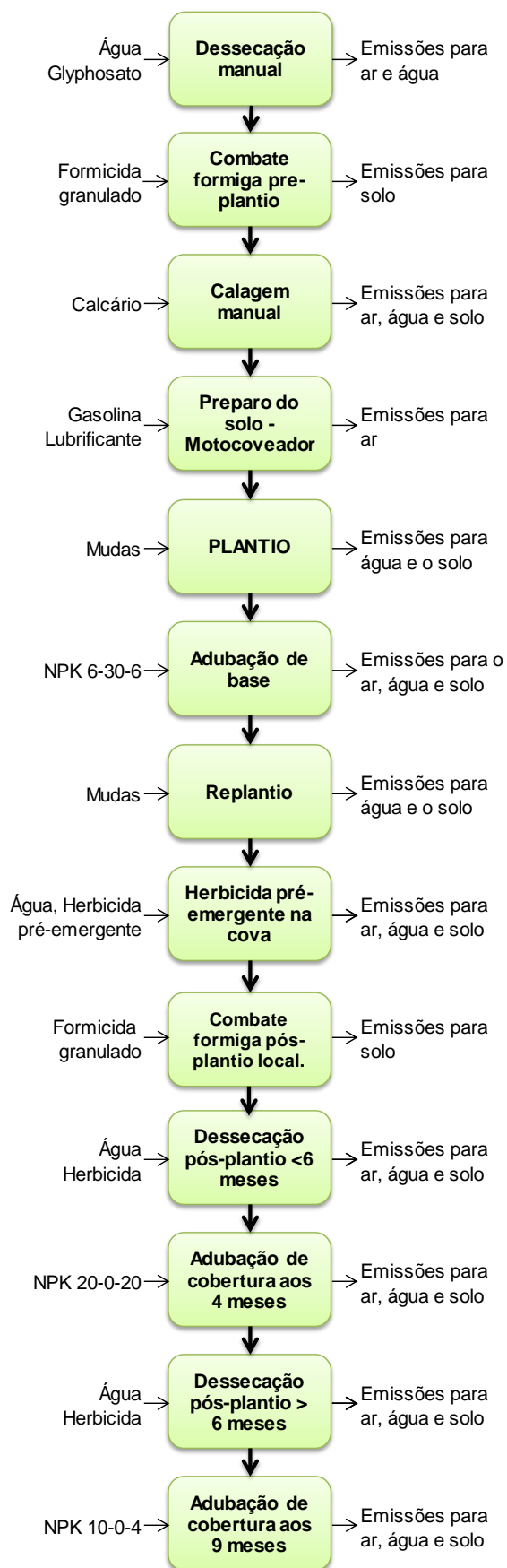


Figura 5 – Fluxograma da etapa de implantação da floresta.
Fonte: Baseado nos dados primários coletados a campo.

Duas adubações de cobertura são também realizadas na implantação da floresta, uma após 4 meses do plantio e outra após 9 meses. Na primeira são aplicados 250 kg por hectare do fertilizante NPK 20-00-20 com 0,3% de zinco e 0,3% de boro e, na segunda, 200 kg por hectare de NPK 10-00-30 com 4% de enxofre, 0,5% de boro e 1% de zinco. Ambos são aplicados manualmente no local da muda.

A Figura 5 ilustra o fluxograma da etapa de implantação do sistema modal de produção das florestas energéticas do polo de Itapeva.

b) *Primeira manutenção da floresta*

Implantada a floresta, iniciam-se as atividades de manutenção. Sabe-se que as operações envolvidas nesta etapa variam significativamente em função da finalidade do produto. Quando o foco da floresta é a geração de energia, o manejo, de maneira geral, é mais simples do que para outros fins. Isso porque não é necessária a obtenção de grandes diâmetros ou alta qualidade da tora. Logo, certas operações como o desbaste e a desrama são extintas da fase de manutenção.

O desbaste é uma atividade que consiste na remoção de algumas árvores de forma a favorecer o crescimento das árvores restantes. Isso porque a retirada de alguns indivíduos diminui a competição entre os remanescentes, que acessam maior quantidade de recursos como água e luz. Quanto maior o recebimento desses recursos, maior será a taxa de crescimento dos indivíduos, que produzirão toras com maiores diâmetros em um menor período de tempo (SIXEL, 2008).

A desrama é outra operação que visa à obtenção de toras de madeira com requerida qualidade, neste caso, toras livres da presença de nós. Ela é realizada em diferentes momentos ao longo do manejo florestal e é feita por meio da eliminação de galhos nas toras visando à produção de madeira para movelaria, pisos, chapas laminadas, etc. (SIXEL, 2008).

Contudo, para a produção de madeira energética, ambas as operações não são realizadas ao longo da manutenção, sendo praticada apenas na realização da atividade de combate às formigas. Assim, a aplicação localizada de 1 kg do formicida Sulfluramida por hectare é feita nos focos de ataque uma vez ao ano em anos alternados até a idade de corte, ou seja, nos anos segundo, quarto e sexto.

c) *Colheita*

O sétimo ano foi definido como a idade modal de corte da região analisada. Com essa idade, as árvores já apresentam altura e diâmetro satisfatórios para a produção da lenha ou carvão vegetal e, portanto, iniciam-se as atividades da colheita.

Martins et al. (2010) afirmam que o corte dos talhões de eucalipto geralmente ocorre nos anos sétimo, décimo quarto e vigésimo primeiro, compondo três ciclos para a mesma muda original. De acordo com os autores, essas idades e número de ciclos podem variar em função das condições climáticas e de solo e também em função do objetivo do plantio. Produtos finais que requerem grandes diâmetros podem acarretar em um tempo de ciclo maior.

No local estudado, a fase da colheita se inicia com uma roçada manual pré-corte, que visa limpar o terreno retirando com foice os vegetais que se juntam embaixo das árvores.

Em seguida é realizado o combate à formiga pré-corte, com a aplicação de cerca de 3 kg por hectare do mesmo formicida granulado utilizado anteriormente, e após, faz-se o tombamento das árvores, que consiste no corte dos indivíduos.

Como já detalhado anteriormente, no Brasil, os principais equipamentos de corte são: motosserras, *feller buncher* e *harvester*. A motosserra é operada manualmente, apresenta desvantagens ergonômicas e baixa produtividade individual. Já o *harvester* é um trator derrubador com cabeçote processador (MARTINS et al., 2010). Ele é considerado como um dos tratores florestais mais modernos por possuir um cabeçote que realiza várias funções e opera em condições adversas, o que aumenta a sua aceitação (BURLA, 2008).

Na região de Itapeva, o corte é feito com motosserra, que, de acordo com os dados coletados, consome gasolina e óleo lubrificante, apresentando o rendimento de 45 metros estéreis por dia, levando para tanto 6,5 horas.

Após o tombamento das árvores, é feita a extração das toras desde o local do corte até a beira da estrada, como já explicado anteriormente. Dentre as possíveis formas de realização desta operação, em Itapeva, o baldeio é feito com um trator 4x4 acoplado a uma carreta autocarregável. Este equipamento é menos pesado que o *forwarder* ou *skidder*, citados anteriormente. Extrai 250 metros estéreis por dia e percorrem uma distância modal de 1 quilômetro para realizar cada

baldeio. Realiza 20 viagens por dia com capacidade individual para carregar 10 a 15 metros estéreis por viagem. O baldeio deixa a madeira na beira do talhão onde, na região de estudo, permanece cerca de 60 dias secando. Dessa maneira, o produto final não é transportado com umidade, para reduzir o custo da operação. O eucalipto apresenta umidade de cerca de 25% depois de seco ao ar livre.

A Figura 6 a seguir mostra a lenha produzida no polo de Itapeva em seu período de secagem.



Figura 6 – Lenha produzida no polo de Itapeva estocada para secagem antes de ser transportada ao consumidor.

Fonte: Buschinelli (2014).

Para que a madeira seja transportada até o consumidor, o veículo de transporte é abastecido com a carga deixada na beira da estrada por meio da operação de carregamento.

No caso estudado, a forma de carregamento é mecanizada, com o uso de um carregador florestal de 110 cavalos de potência, com média de trabalho de 7 horas efetivas por dia, consumo médio de 4 a 5 litros por hora e rendimento operacional de 250 metros estéreis por hora efetiva de trabalho. Assim, o rendimento deste trator é alto, já que gasta apenas duas horas por hectare na primeira colheita e 1,8 horas por hectare na segunda colheita.

Carregado o veículo, dá-se início à etapa de transporte, que leva a carga desde a estrada próxima ao plantio até o consumidor. Os tipos de veículo utilizados

no transporte rodoviário variam significativamente em função da carga carregada e das distâncias percorridas. No caso estudado, a madeira é transportada em média por 30 quilômetros de distância, por meio de caminhão Romeu e Julieta com capacidade para carregar 60 metros estéreis. A Figura 7 a seguir ilustra o fluxograma relativo à etapa da colheita.

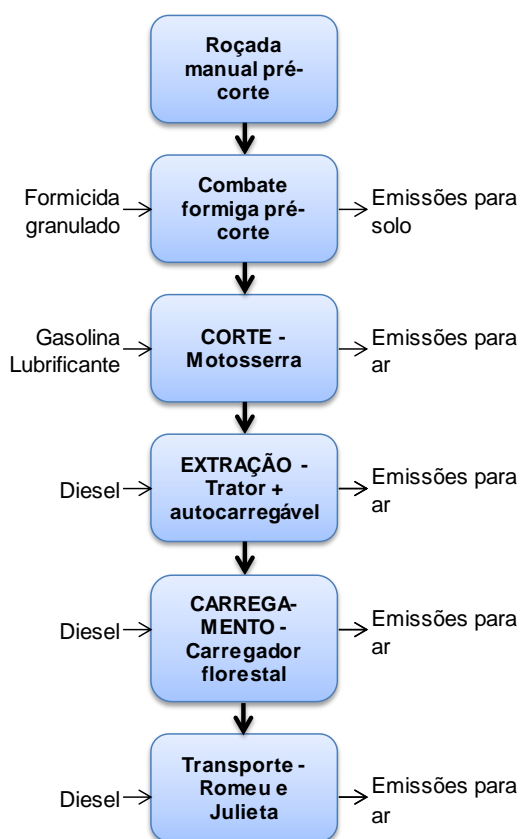


Figura 7 – Fluxograma referente à etapa de colheita florestal.
Fonte: Baseado nos dados primários coletados a campo.

d) *Condução da rebrota*

A condução da rebrota consiste em aproveitar a brotação das cepas de eucalipto após o corte, ao invés de reformar a área para um novo plantio. De acordo com Rodriguez (1997), os fatores que mais afetam a decisão entre conduzir a rebrota ou implantar uma nova floresta são a produtividade da próxima rotação e o custo do replantio da nova floresta. Assim, é necessário avaliar até que ponto a

redução da produtividade da próxima rotação, frequentemente encontrada nas plantações, compensa os custos da reforma e do novo plantio.

Na região em estudo, como já mencionado, são realizadas duas rotações, assim, a rebrota é conduzida após o primeiro corte aos sete anos, e após o décimo quarto ano faz-se o corte raso e a reforma da área para o novo plantio.

A primeira operação feita após a colheita para o início da condução da rebrota na região é a dessecação aos três meses após o corte. Para tanto, aplica-se 2,7 litros por hectare do herbicida Glifosato diluído em 180 litros de água a fim de evitar que as plantas concorrentes prejudiquem o desenvolvimento da rebrota. Para evitar também que as formigas atrapalhem o seu desenvolvimento, é feito o primeiro combate sistemático à formigas, resultando em cerca de 3 kg por hectare do formicida granulado a base de Sulfluramida colocado nos focos de infestação manualmente.

Em seguida é feita uma adubação de cobertura aos três meses após o corte, com a aplicação manual do fertilizante NPK 20-00-20 com 0,3% de zinco e 0,3% de boro em uma taxa de 250 kg por hectare. Esta atividade é importante, já que, de acordo com Riberio et al. (1987), o aumento da capacidade de suporte do solo é função da qualidade e quantidade de elementos minerais disponíveis para a planta, e como em cortes sucessivos ocorre elevada exportação destes nutrientes, sugere-se que a adubação de reposição contribua para o desenvolvimento dos brotos de eucalipto.

Um novo combate à formiga é feito seis meses após o corte e também uma nova dessecação pós-corte, com aplicação menor das mesmas substâncias (1 kg por hectare do formicida, 1,8 litros por hectare do herbicida).

Aos 10 meses após o primeiro corte, que corresponde ao ano 8, é realizada a operação de seleção dos brotos. Escolhe-se um ou dois brotos maiores e mais fortes e eliminam-se os restantes manualmente com uma foice. De acordo com Ribeiro et al. (1987), a determinação da quantidade de brotos varia de acordo com a finalidade da madeira. Dados experimentais deste trabalho mostraram que um maior número de brotos por cepa contribui para elevação do volume de madeira por hectare. A Figura 8 ilustra o fluxograma das etapas relativas à condução da rebrota.

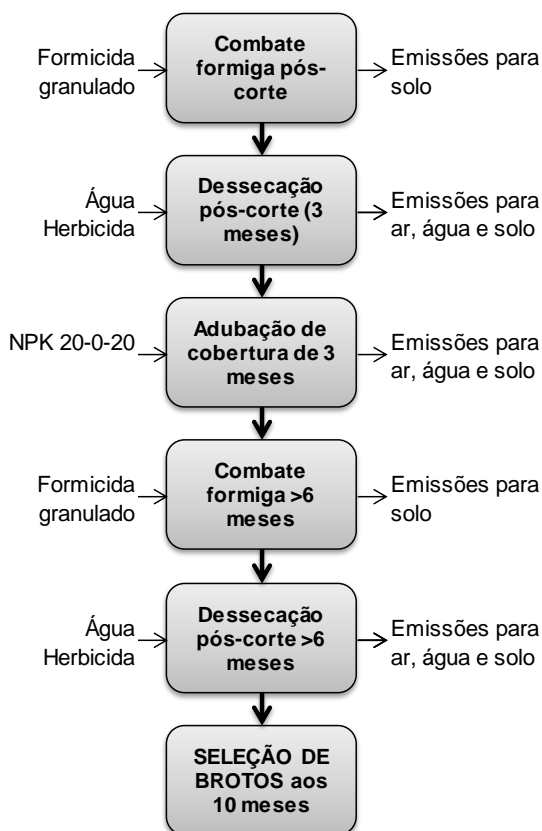


Figura 8 – Fluxograma referente à etapa de condução da rebrota.
Fonte: Baseado nos dados primários coletados a campo.

Após a rebrota do eucalipto, reinicia-se o processo de manutenção da floresta, com a mesma operação de combate a formigas, realizada manualmente seguindo a frequência de anos alternados, ou seja, nos anos 8, 10 e 12.

De acordo com os resultados encontrados por Dedecek e Gava (2005), as operações de colheita de um povoamento de eucalipto causam compactação do solo, que persiste na área da rebrota até a próxima colheita. Entretanto, nenhuma operação de descompactação é feita na região no segundo ciclo, provavelmente em função do tipo de equipamento de colheita, que não apresenta grande porte e nem grande área de contato com o solo.

e) Segunda colheita

As árvores crescem novamente durante os próximos sete anos e no ano décimo quarto sofrem as mesmas operações de colheita: roçada manual pré-corte, combate à formiga pré-corte e tombamento, chamado nesta ocasião de corte raso.

Após o corte raso, restam no local os tocos das árvores. No sistema de produção estudado, os tocos são deixados no campo após a primeira e a segunda colheita e se degradam com o tempo. Contudo, é comum a prática de rebaixamento ou retirada dos tocos para que o tráfego de pessoas e equipamento seja facilitado.

Além do corte, as mesmas operações de baldeio, carregamento e transporte, envolvidas na primeira colheita, são realizadas na segunda.

f) *Serviços de manutenção*

Serviços de manutenção da infraestrutura são também realizados na região e consistem nas operações realizadas para a manutenção de estradas florestais e de aceiros, as quais ocorrem paralelamente ao manejo florestal.

A presença de aceiros consiste em uma técnica preventiva contra incêndios florestais. Estes têm o objetivo de dificultar a propagação de fogo bem como facilitar o seu combate.

Os incêndios florestais causam severas consequências sociais, econômicas e ecológicas já muito conhecidas e discutidas por produtores florestais e no meio acadêmico. Existe ainda o impacto causado na água que ainda é pouco levado em consideração. Ele decorre da combustão dos compostos orgânicos da floresta, que libera substâncias tóxicas que alcançam os rios (SILVA et al., 2016).

Um teste realizado por tais autores mostrou que a toxicidade desses compostos liberados em incêndios florestais, geralmente hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e metais, inibiu o desenvolvimento de macrófitas (plantas aquáticas).

As condições climáticas do Brasil contribuem para incêndios florestais, o que explica atividades intensas relacionadas à sua prevenção.

A construção dos aceiros é feita nas divisas da propriedade florestal para evitar que incêndios vindos de fora causem danos à floresta ou, quando a propriedade é muito extensa, a construção de aceiros pode ser feita em locais estratégicos dentro da mesma (SOARES, 1971).

Segundo Daniel (2007), os talhões devem ter até 300 m de largura podendo alcançar 1000 m de comprimento, e os aceiros devem ter de 4 a 5 metros de largura e 10 metros de comprimento, a cada 45 a 120 hectares.

Em Itapeva, os aceiros separam a floresta em talhões de 20 a 25 hectares de extensão. Os aceiros pequenos possuem cerca de 4 metros de largura e os

grandes de 6 a 7 metros. Sua manutenção é feita com frequência anual já que a ocorrência de fogo pode causar graves riscos ao plantio. Esta atividade é realizada pelo equipamento motoniveladora patrol.

Já as estradas têm a finalidade de facilitar o escoamento da madeira bem como o transporte de trabalhadores. Assim, ocupam em geral 2,3% da área total do plantio e sua manutenção é realizada apenas nos anos de colheita. Para tanto, é feito o nivelamento do terreno das estradas a deposição de aproximadamente 7,6 toneladas de brita por hectare por meio de motoniveladora, caminhão e retroescavadeira.

Apenas a manutenção dos aceiros e das estradas foi considerada no conjunto de dados, já que, essas estruturas já estão bem estabelecidas nos povoamentos da região não havendo necessidade de novas construções.

As informações acerca dos equipamentos, consumos e rendimentos se encontram detalhadas a seguir e resumidas na Tabela 20.

- **Motocoveamento:** Consiste na abertura de covas durante o ano da implantação do povoamento. É feito com um motocoveador que consome 4,5 litros de gasolina por dia para abrir 1000 covas. Sabendo que cada hectare comporta 1667 mudas, tem-se que 1 hectare consome 7,5 litros de combustível;



Figura 9 – Ilustração de um motocoveador.
Fonte: ROYALMAQUINAS (2016).

- **Tombamento:** Consiste na realização do corte total dos indivíduos no sétimo e décimo quarto ano do ciclo. Os dados brutos informam que um motosserra corta 45 metros estéreis por dia e que para tanto, consome 8 litros de gasolina. Sabendo que 1 hectare produz um total de 900 metros estéreis de madeira, conclui-se que são consumidos 160 litros de gasolina

para cortar 1 hectare. Além da gasolina o motosserra consome óleo lubrificante mineral na proporção de 1 litro de lubrificante para 25 litros de gasolina;



Figura 10 – Ilustração de uma motosserra.
Fonte: SILMAQUINAS (2016).

- Extração: Compõe a etapa da colheita consistindo por meio da extração da madeira desde o local de corte até a beira do talhão. Segundo as informações coletadas a campo, o trator que realiza a extração consome 8 litros de diesel por dia. Cada baldeio percorre uma distância de 1 quilômetro e a capacidade de cada viagem é de 10 a 15 metros estéreis. Assim, considerando a capacidade média de 12,5 metros estéreis por viagem e sabendo que são realizados 20 baldeios por dia, tem-se um total de 250 metros estéreis de madeira extraídos por dia, do local de corte até a beira do talhão. Assim, para colher 900 metros estéreis, que é a quantidade produzida por hectare, tem-se o montante de 28,8 litros de diesel por hectare;



Figura 11 – Ilustração de um trator acoplado a uma carreta autocarregável.
Fonte: TMO (2016 a).

- Carregamento: Compõe a etapa da colheita realizando o carregamento do veículo de transporte final. No modal analisado, o carregamento da madeira é também feito mecanicamente, com um carregador florestal (Figura 19). Este equipamento consome 4,5 litros por hora e em uma hora ele carrega 250 metros estéreis de madeira da beira do talhão para o veículo de transporte. Assim, para carregar a produção de 1 hectare, a operação consome 16,2 litros por hectare.



**Figura 12 – Ilustração de um carregador florestal de 110 cv.
Fonte: TMO (2016 b).**

- Manutenção de estradas e aceiros: A manutenção de estradas e aceiros é realizada no local de estudo com o uso dos equipamentos retroescavadeira e motoniveladora, respectivamente. O consumo médio padrão admitido foi de 10 litros de gasolina por hectare, contudo vale lembrar que a manutenção de estradas é feita nos anos de colheita, resultando assim em um consumo total de 20 litros de diesel por hectare e a manutenção de aceiros é feita anualmente resultando em 140 litros de diesel por hectare.



**Figura 13 – Ilustração de uma motoniveladora patrol a esquerda e uma retroescavadeira a direita.
Fonte: VIARURAL (2016); DEERE (2016), respectivamente.**

Tabela 19 – Operações, equipamentos e consumo de combustível em cada operação.

Etapas do manejo	Operação	Equipamento	Combustível	Consumo (l/ha)
Implantação	Motocoveamento	Motocoveador	Gasolina	7,5
Manutenção	-	-	-	-
	Manutenção de estradas	Retroescavadeira	Diesel	20
Colheita	Tombamento	Motosserra	Gasolina	160
	Extração	Trator 4x4 145cv + carreta autocarregavel	Diesel	252
	Carregamento	Carregador florestal 115cv	Diesel	16,2
Condução da rebrota	-	-	-	-
Manutenção	-	-	-	-
	Manutenção de estradas	Retroescavadeira	Diesel	20
Colheita	Tombamento	Motosserra	Gasolina	160
	Extração	Trator 4x4 145cv + carreta autocarregavel	Diesel	252
	Carregamento	Carregador florestal 115cv	Diesel	16,2
Manutenção da infraestrutura	Manutenção de aceiros	Motoniveladora	Diesel	140

Fonte: Baseado nos dados primários coletados a campo.

4.2 CONJUNTO DE DADOS DO CICLO DE VIDA

As tabelas a seguir contêm o conjunto dos dados construídos para representar a produção de biomassa de eucalipto no polo brasileiro localizado na região de Itapeva (SP).

Tabela 20 – Conjunto de dados construído. Entradas da natureza e tecnosfera.

Saída	un	Unidade de referência		Origem	Comentário
		1 ha	1 m ³		
Madeira de eucalipto pra energia		1	1		
Entradas na natureza					
Occupation, forest, intensive	m ² *ano	140000,000	220,890	Calculado	Ocupação por 14 anos
Carbon dioxide, in air	kg	1148,101	1,811	Calculado	De acordo com padrão ecoinvent
Energy, gross calorific value, in biomass	MJ	6588619,659	10395,378	Secundário	Quirino et al. (2005)
Entradas da tecnosfera					
Tap water RoW	kg	0,880	0,001	Primária	Cadeia produtiva retirada de ecoinvent v. 3.2
Glyphosate GLO	kg	13,000	0,021	Primária	Cadeia produtiva retirada de ecoinvent v. 3.2
Pesticide, unspecified GLO	kg	20,500	0,032	Primária	Cadeia produtiva retirada de ecoinvent v. 3.2. Fluxo utilizado para representar o formicida
Lime GLO	kg	900,000	1,420	Primária	Cadeia produtiva retirada de ecoinvent v. 3.2
Mudas de eucalipto BR	un	1750,350	2,762	Primária	Silva (2012 a)
Pesticide, unspecified GLO	kg	0,067	0,0001	Primária	Cadeia produtiva retirada de ecoinvent v. 3.2. Fluxo utilizado para representar o herbicida pre emergente
Gravel, crushed GLO	kg	15203,634	23,988	Primária	Cadeia produtiva retirada de ecoinvent v. 3.2
Nitrogen fertiliser, as N GLO	kg	11,002	0,017	Primária	Cadeia produtiva retirada de ecoinvent v. 3.2. Fluxo utilizado para representar MAP, as N
Phosphate fertiliser, as P2O5 GLO	kg	55,011	0,087	Primária	Cadeia produtiva retirada de ecoinvent v. 3.2. Fluxo utilizado para representar MAP, as P2O5
Potassium chloride, as K2O GLO	kg	171,034	0,270	Primária	Cadeia produtiva retirada de ecoinvent v. 3.2
Ammonium nitrate, as N GLO	kg	100,020	0,158	Primária	Cadeia produtiva retirada de ecoinvent v. 3.2
Ammonium sulfate, as N GLO	kg	20,004	0,032	Primária	Cadeia produtiva retirada de ecoinvent v. 3.2

Tabela 21 – Conjunto de dados construído – Emissões resultantes da aplicação de fertilizantes.

Emissões resultantes da aplicação dos fertilizantes	un	Unidade de referência		Origem	Comentário
		1 ha	1 m ³		
Emissões para o ar					
Ammonia - NH ₃	kg	4,04E+00	6,38E-03	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Dinitrogen monoxide - N ₂ O	kg	1,44E+02	2,27E-01	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Nitrogen oxides - NO _x	kg	3,02E+01	4,76E-02	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Emissões para a água superficial					
Phosphorous - Per	kg	2,57E+00	4,06E-03	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Cadmium - Cd	kg	5,67E-10	8,94E-13	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Cooper - Cu	kg	4,28E-08	6,75E-11	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Zinc - Zn	kg	7,52E-08	1,19E-10	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Lead - Pb	kg	1,49E-08	2,36E-11	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Nickel - Ni	kg	3,66E-08	5,77E-11	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Chromium - Cr	kg	5,95E-08	9,40E-11	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Emissões para a água subterrânea					
Nitrate - NO ₃	kg	2,62E+01	4,13E-02	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Cadmium - Cd	kg	3,39E-05	5,34E-08	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Cooper - Cu	kg	3,11E-03	4,91E-06	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Zinc - Zn	kg	1,42E-02	2,24E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Lead - Pb	kg	1,35E-04	2,12E-07	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Nickel - Ni	kg	0,00E+00	0,00E+00	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Chromium - Cr	kg	1,94E-02	3,07E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Emissões para o solo					
Cadmium - Cd	kg	9,73E-04	1,53E-06	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Cooper - Cu	kg	1,04E-02	1,65E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Zinc - Zn	kg	2,34E-02	3,69E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Lead - Pb	kg	1,18E-03	1,86E-06	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Nickel - Ni	kg	5,10E-03	8,04E-06	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Chromium - Cr	kg	1,89E-02	2,99E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)

Tabela 22 – Conjunto de dados construído – Emissões resultantes da aplicação de pesticidas e de calcário.

Emissões resultantes da aplicação dos pesticidas	un	Unidade de referência		Origem	Comentário
		1 ha	1 m ³		
Emissão para o solo					
Pesticide, unspecified	kg	2,05E+01	3,23E-02	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012). Fluxo utilizado para representar o formicida
Pesticide, unspecified	kg	6,67E-02	1,05E-04	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012). Fluxo utilizado para representar o herbicida pré emergente
Glyphosate	kg	1,30E+01	2,05E-02	Calculado	Com base em Nemecek e Schnetzer (2012)
Emissão resultante da aplicação de calcário					
Emissão para o ar					
Carbon dioxide - CO2	kg	4,13E+02	6,51E-01	Calculado	Com base em IPCC (2006)

Tabela 23 – Conjunto de dados construído – Operação de motocoveamento.

Motocoveamento	un	Unidade de referência		Origem	Comentário
		1 ha	1 m ³		
Gasolina	kg	5,626	0,009	Primária	Referente a uma única operação no ano da implantação
Lubricating oil	kg	0,265	0,0004	Primária	
Emissões para o ar resultantes da queima de combustíveis fósseis					
Hydrocarbons, unspecified - HC	kg	4,68E-01	7,38E-04	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Nitrogen oxides - NOx	kg	4,01E-01	6,32E-04	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Carbon monoxide - CO	kg	1,27E+01	2,00E-02	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Carbon dioxide - CO ₂	kg	1,69E+01	2,66E-02	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Sulfur dioxide - SO ₂	kg	4,05E-04	6,39E-07	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Lead - Pb	kg	8,21E-04	1,30E-06	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Methane - CH ₄	kg	1,64E-02	2,59E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Benzene - C ₆ H ₆	kg	5,33E-02	8,42E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Cadmium - Cd	kg	5,63E-08	8,88E-11	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Chromium - Cr	kg	2,81E-07	4,44E-10	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Copper - Cu	kg	9,56E-06	1,51E-08	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Dinitrogen monoxide - N ₂ O	kg	7,31E-04	1,15E-06	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Nickel - Ni	kg	3,94E-07	6,21E-10	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Zinc - Zn	kg	5,63E-06	8,88E-09	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Benzo(a)pyrene - C ₂₀ H ₁₂	kg	2,25E-07	3,55E-10	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Ammonia - NH ₃	kg	2,25E-04	3,55E-07	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Selenium - Se	kg	5,63E-08	8,88E-11	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	kg	1,08E-05	1,71E-08	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
MP 2,5	kg	5,64E-02	8,89E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)

Tabela 24 – Conjunto de dados construído – Operação de corte.

Corte	un	Unidade de referência		Origem	Comentário
		1 ha	1 m ³		
Gasolina	kg	120,00	0,19	Primária	Referente a 2 eventos de colheita aos 7 e 14 anos
Lubricating oil	kg	5,64	0,009	Primária	
Emissões para o ar resultantes da queima de combustíveis fósseis					
Hydrocarbons, unspecified - HC	kg	4,55E+00	7,18E-03	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Nitrogen oxides - NOx	kg	3,90E+00	6,15E-03	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Carbon monoxide - CO	kg	1,24E+02	1,95E-01	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Carbon dioxide - CO ₂	kg	3,60E+02	5,68E-01	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Sulfur dioxide - SO ₂	kg	8,64E-03	1,36E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Lead - Pb	kg	1,75E-02	2,76E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Methane - CH ₄	kg	3,50E-01	5,53E-04	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Benzene - C ₆ H ₆	kg	1,14E+00	1,79E-03	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Cadmium - Cd	kg	1,20E-06	1,89E-09	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Chromium - Cr	kg	6,00E-06	9,47E-09	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Copper - Cu	kg	2,04E-04	3,22E-07	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Dinitrogen monoxide - N ₂ O	kg	1,56E-02	2,46E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Nickel - Ni	kg	8,40E-06	1,33E-08	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Zinc - Zn	kg	1,20E-04	1,89E-07	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Benzo(a)pyrene - C ₂₀ H ₁₂	kg	4,80E-06	7,57E-09	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Ammonia - NH ₃	kg	4,80E-03	7,57E-06	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Selenium - Se	kg	1,20E-06	1,89E-09	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	kg	2,31E-04	3,64E-07	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
MP 2,5	kg	5,48E-01	8,65E-04	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)

Tabela 25 – Conjunto de dados construído – Operação de extração.

Extração	un	Unidade de referência		Origem	Comentário
		1 ha	1 m ³		
Diesel	kg	215,21	0,34	Primária	Referente a 2 eventos de colheita aos 7 e 14 anos
Emissões para o ar resultantes da queima de combustíveis fósseis					
Hydrocarbons, unspecified - HC	kg	4,0E-01	6,4E-04	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Nitrogen oxides - NOx	kg	6,9E+00	1,1E-02	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Carbon monoxide - CO	kg	1,0E+00	1,6E-03	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Carbon dioxide - CO2	kg	6,7E+02	1,1E+00	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Sulfur dioxide - SO2	kg	2,2E-01	3,4E-04	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Lead - Pb	kg	0,0E+00	0,0E+00	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Methane - CH4	kg	2,8E-02	4,4E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Benzene - C6H6	kg	1,6E-03	2,5E-06	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Cadmium - Cd	kg	2,2E-06	3,4E-09	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Chromium - Cr	kg	1,1E-05	1,7E-08	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Copper - Cu	kg	3,7E-04	5,8E-07	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Dinitrogen monoxide - N2O	kg	2,6E-02	4,1E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Nickel - Ni	kg	1,5E-05	2,4E-08	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Zinc - Zn	kg	2,2E-04	3,4E-07	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Benzo(a)pyrene - C20H12	kg	6,5E-06	1,0E-08	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Ammonia - NH3	kg	4,3E-03	6,8E-06	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Selenium - Se	kg	2,2E-06	3,4E-09	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	kg	7,1E-04	1,1E-06	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
MP 2,5	kg	8,7E-01	1,4E-03	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)

Tabela 26 – Conjunto de dados construído – Operação de carregamento.

Carregamento	un	Unidade de referência		Origem	Comentário
		1 ha	1 m ³		
Diesel	kg	13,83	0,02	Primária	Referente a 2 eventos de colheita aos 7 e 14 anos
Emissões para o ar resultantes da queima de combustíveis fósseis					
Hydrocarbons, unspecified - HC	kg	1,6E-02	2,6E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Nitrogen oxides - NOx	kg	1,8E-01	2,9E-04	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Carbon monoxide - CO	kg	3,5E-02	5,5E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Carbon dioxide - CO ₂	kg	4,3E+01	6,8E-02	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Sulfur dioxide - SO ₂	kg	1,4E-02	2,2E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Lead - Pb	kg	0,0E+00	0,0E+00	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Methane - CH ₄	kg	1,8E-03	2,8E-06	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Benzene - C ₆ H ₆	kg	1,0E-04	1,6E-07	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Cadmium - Cd	kg	1,4E-07	2,2E-10	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Chromium - Cr	kg	6,9E-07	1,1E-09	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Copper - Cu	kg	2,4E-05	3,7E-08	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Dinitrogen monoxide - N ₂ O	kg	1,7E-03	2,6E-06	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Nickel - Ni	kg	9,7E-07	1,5E-09	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Zinc - Zn	kg	1,4E-05	2,2E-08	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Benzo(a)pyrene - C ₂₀ H ₁₂	kg	4,2E-07	6,5E-10	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Ammonia - NH ₃	kg	2,8E-04	4,4E-07	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Selenium - Se	kg	1,4E-07	2,2E-10	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	kg	4,6E-05	7,2E-08	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
MP 2,5	kg	4,1E-01	6,5E-04	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)

Tabela 27 – Conjunto de dados construído – Operações de manutenção de estradas e aceiros.

Serviços de manutenção	un	Unidade de referência		Origem	Comentário
		1 ha	1 m ³		
Diesel	kg	136,64	0,22	Primária	Referente a 2 eventos de manutenção de estradas e 14 de aceiros
Emissões para o ar resultantes da queima de combustíveis fósseis					
Hydrocarbons, unspecified - HC	kg	1,3E-01	2,1E-04	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Nitrogen oxides - NOx	kg	1,5E+00	2,4E-03	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Carbon monoxide - CO	kg	2,8E-01	4,5E-04	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Carbon dioxide - CO ₂	kg	4,3E+02	6,7E-01	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Sulfur dioxide - SO ₂	kg	1,4E-01	2,2E-04	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Lead - Pb	kg	0,0E+00	0,0E+00	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Methane - CH ₄	kg	1,8E-02	2,8E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Benzene - C ₆ H ₆	kg	1,0E-03	1,6E-06	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Cadmium - Cd	kg	1,4E-06	2,2E-09	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Chromium - Cr	kg	6,8E-06	1,1E-08	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Copper - Cu	kg	2,3E-04	3,7E-07	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Dinitrogen monoxide - N ₂ O	kg	1,6E-02	2,6E-05	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Nickel - Ni	kg	9,6E-06	1,5E-08	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Zinc - Zn	kg	1,4E-04	2,2E-07	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Benzo(a)pyrene - C ₂₀ H ₁₂	kg	4,1E-06	6,5E-09	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Ammonia - NH ₃	kg	2,7E-03	4,3E-06	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
Selenium - Se	kg	1,4E-06	2,2E-09	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	kg	4,5E-04	7,1E-07	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)
MP 2,5	kg	3,4E+00	5,3E-03	Calculado	Com base em Nemecek e Kagi (2007)

4.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL

4.3.1 Avaliação do desempenho ambiental da atividade no Brasil

A avaliação do desempenho ambiental do ciclo de vida da madeira de eucalipto para energia produzida na região de Itapeva foi avaliada por meio da AICV utilizando o método CML 2, para a referência de 1 m³ de madeira com casca com cerca de 15% de umidade e este resultado pode ser observado no Gráfico 1.

As barras verticais no gráfico indicam o impacto ambiental potencial total causado pela atividade para cada uma das dez categorias de impacto que são avaliadas pelo método escolhido. As barras são divididas em cores para mostrar qual o percentual do impacto total que é de responsabilidade de cada uma das etapas do ciclo de vida abrangidas no sistema de produto analisado.

As etapas do ciclo de vida foram divididas em: manejo (correspondente às emissões causadas no campo, ou seja, as emissões resultantes da adição de insumos como fertilizante, pesticidas, água e calcário); consumo de água tratada; produção de brita, de nitrato de amônio, de sulfato de amônio, de cloreto de potássio, do fertilizante MAP (como N e como P), do herbicida Glifosato, do formicida, do herbicida pós emergente Fordor, de calcário e de mudas de eucalipto; operações de motocoveamento, colheita (composta pelo corte, extração e carregamento da madeira), transporte final da madeira até o consumidor; e os serviços de manutenção das estradas e aceiros.

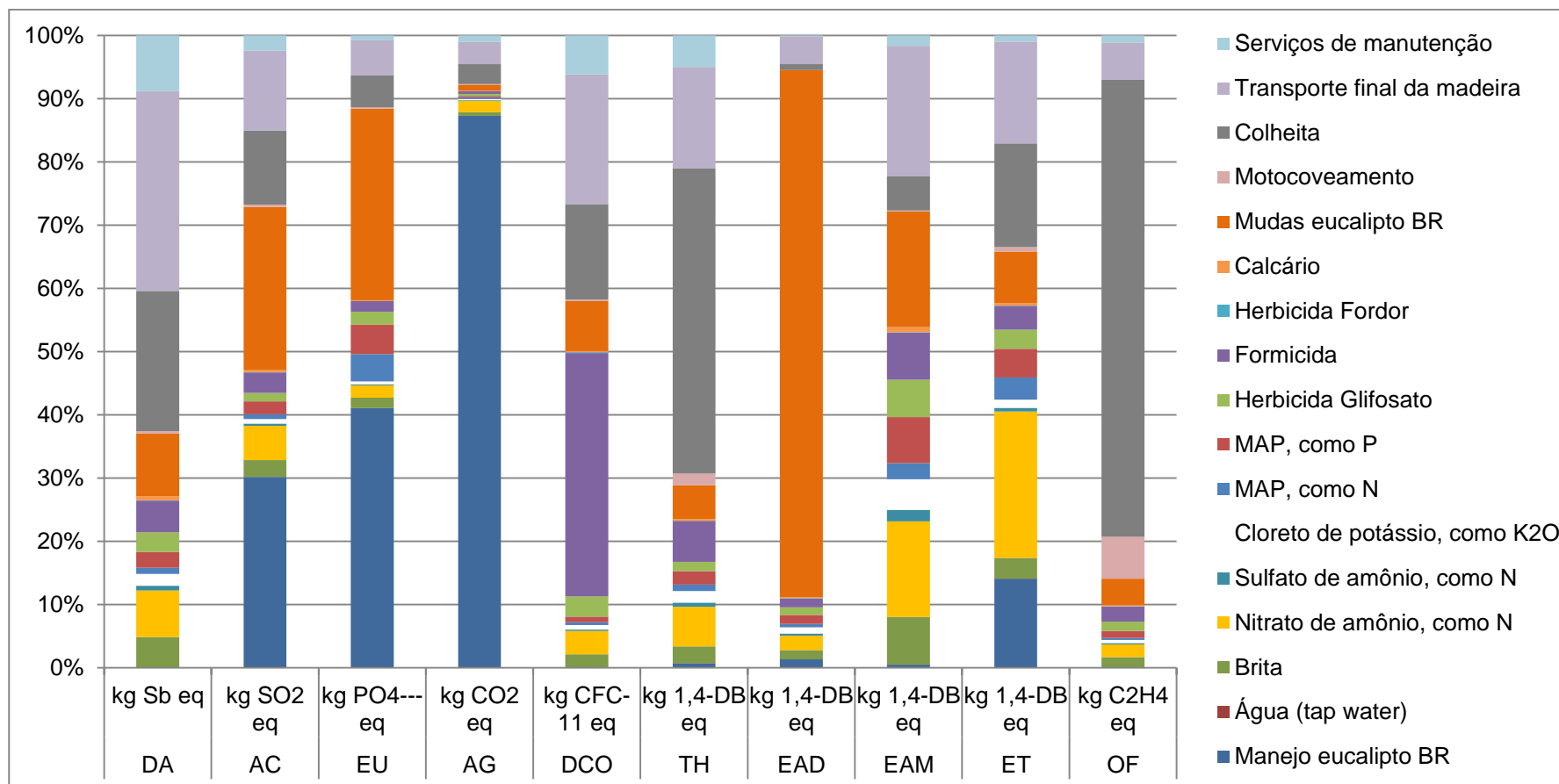


Gráfico 1 – AICV, método CML 2, UF = 1 m³ de madeira.

Fonte: Autor (2016).

Observando o resultado final da AICV, pelo método CML 2, é possível identificar que a etapa de transporte, produção de mudas e colheita se destacam no desempenho ambiental geral da atividade.

A etapa de transporte representa mais de 15% de seis em dez categorias de impacto, sendo elas: Depleção Abiótica (DA), Acidificação (AC), Depleção da Camada de Ozônio (DCO), Toxicidade Humana (TH), Ecotoxicidade de Água Marinha (EAM) e Ecotoxicidade Terrestre (ET).

Quanto à etapa de colheita, ela contribui com mais de 15% de cinco em dez categorias de impacto: DA, DCO, TH, ET e Oxidação Fotoquímica (OF). A categoria de AC também possui mais de 10% do seu potencial de impacto sendo causado pela etapa de colheita.

Já a produção de mudas contribui com mais de 15% do impacto de quatro em dez categorias: AC, EU, EAD e EAM, alcançando cerca de 83% da EAM.

Outro ponto crítico que pode ser destacado é a contribuição das emissões no campo causadas ao longo do manejo que contribuem com mais de 30% do potencial de AC, mais de 40% do potencial de EU e quase 90% do potencial de Aquecimento Global (AG).

Retornando a etapa de colheita, foi possível analisá-la separadamente, como pode ser visto no Gráfico 2.

A partir da separação das operações de colheita é possível averiguar quais são as mais críticas dentro do desempenho ambiental desta etapa, permitindo concluir que são as operações de corte, em azul, e a extração da madeira, em vermelho. O carregamento quase não apresenta contribuição para os impactos. Isso é explicado pelo alto rendimento do carregador florestal, que consome apenas 16 litros de diesel por hectare e demora apenas 3,6 horas para carregar o caminhão com a madeira equivalente a 1 hectare.

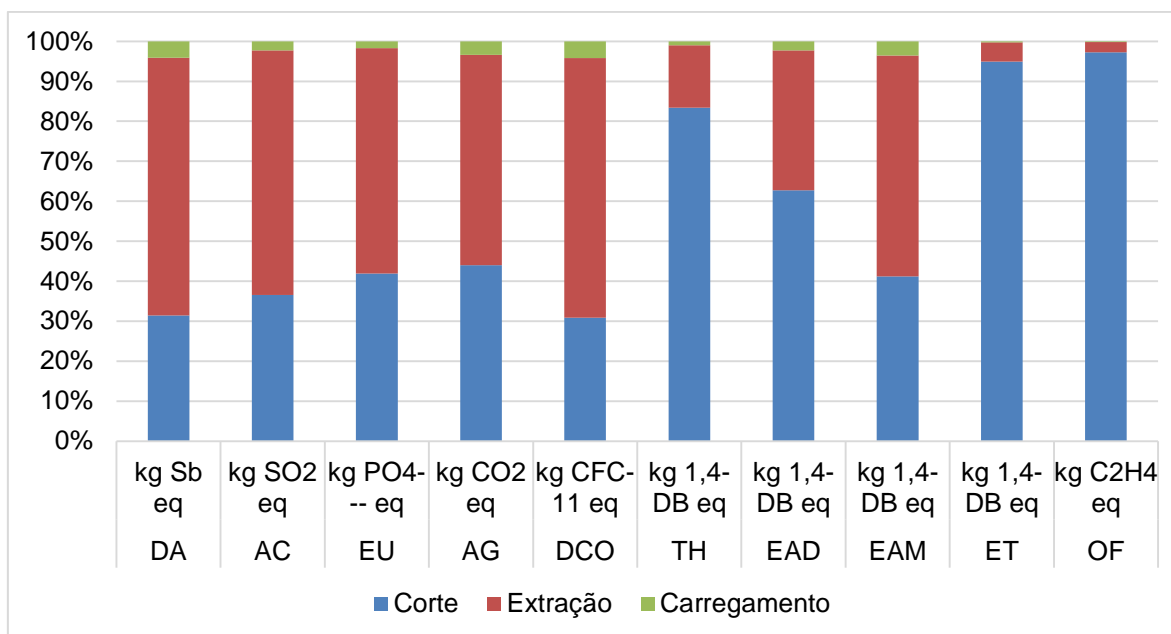


Gráfico 2 – Detalhamento da contribuição das operações de colheita para o desempenho ambiental do sistema utilizando o método CML 2, para 1 m³ de madeira.
 Fonte: Autor (2016).

Dias e Arroja (2012) e González-García et al. (2012b) também encontraram, de maneira geral, como uma das etapas mais crítica do manejo em Portugal e na Suécia, respectivamente, a etapa de colheita. A etapa de transporte se também se destacou no manejo da Austrália, analisado por England et al. (2013).

Por outro lado, o resultado geral da AICV das florestas energéticas no Brasil se mostra contrário à AICV das florestas analisadas na Alemanha (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2013). Isto está dentro do esperado já que o manejo é totalmente diferente do Brasil e, além disso, a divisão das etapas do manejo também é feita de outra forma. González-García et al. (2013) abrange na etapa de manutenção as operações de desbastes que são feitas com *harvester*, enquanto a colheita abrange apenas um corte final, aos 90 anos, com motosserra.

São analisadas a seguir cada uma das categorias de impacto separadamente, para identificar e entender seus pontos críticos, os quais merecem atenção.

a) *Depleção Abiótica (DA)*

É possível observar que o potencial para a DA é causado principalmente pelas etapas que abrangem as operações mecanizadas: serviços de manutenção de estradas e aceiros, transporte final da madeira e colheita. Essas três etapas representam mais de 60% do potencial de DA do sistema.

Isso se deve principalmente ao consumo de petróleo para a produção de diesel que entra em tais processos. O restante da contribuição se distribui pelas outras etapas do ciclo de vida já que essas também consomem diversos tipos de recursos abióticos. González-García et al. (2012a), também encontraram como ponto crítico deste impacto no manejo analisado da Itália o consumo de diesel pelo equipamento agrícola.

Vale lembrar que a infraestrutura relacionada aos equipamentos florestais não foi levada em consideração no presente estudo, assim, a contribuição para a DA não está contabilizando os materiais envolvidos como aço e alumínio, que interfeririam o resultado.

b) *Acidificação (AC)*

No resultado da AICV, é também possível observar que mais da metade do potencial de AC (56%) é causada por apenas duas etapas consideradas no ciclo de vida: silvicultura e produção de mudas. Em menor proporção tem-se a colheita (devido a operação de extração) e o transporte final da madeira, com cerca de 12% de contribuição cada. Isso se deve:

- Às emissões de óxido de nitrogênio causadas em maior proporção da etapa da silvicultura, mas também na colheita (extração) e no transporte final;
- Às emissões de amônia produzidas no campo em função das adições nitrogenadas;
- Às emissões de dióxido de enxofre que ocorrem no transporte final, seguido pela produção de mudas e pela colheita (extração).

Da maneira semelhante, o impacto de AC causado na atividade de Portugal (DIAS; ARROJA, 2012) é principalmente ocasionado pelas emissões de dióxido de

enxofre e óxidos de nitrogênio liberadas durante as operações de colheita nos dois cenários com motosserra e trator (sendo um com adubação e o outro sem) e no cenário com *harvester* e *forwarder*, pela emissão de amônia, liberada na etapa de adubação. A emissão de amônia pela adubação é a principal causa em González-García et al. (2012a), na Suécia.

c) *Eutrofização (EU)*

Quanto ao potencial de EU, é possível observar que o manejo em si se destaca com mais de 40% do potencial, seguido da produção de mudas com mais de 30%. As maiores contribuições pelas etapas de manejo e de produção de mudas são atribuídas:

- Às emissões de fósforo para a água, óxidos de nitrogênio para o ar e nitrato para a água na floresta resultante das adições dos fertilizantes;
- Às emissões de fosfato para a água e de amônia para o ar na produção de mudas.

Como já mencionado, vários tipos de fertilizantes são utilizados na atividade analisada. O MAP, que é um deles, apresentou uma contribuição para este impacto a partir dos conjuntos de dados sem fonte específica para nitrogênio e potássio utilizados para representar o MAP. Ainda que esta contribuição tenha sido pequena, vale destacar que um conjunto de dados específico para os devidos fertilizantes poderia apresentar um comportamento diferente para o potencial deste impacto, assim como de outros.

Assim como mostrado em Dias e Arroja (2012) este impacto está totalmente ligado as adubações. Quanto maior a adição de fertilizantes maior será o impacto de EU. Este comportamento também está de acordo com González-García et al. (2012a) que encontraram a emissão de amônia resultante da aplicação de nitrogênio como a principal causa deste impacto na Itália.

d) *Aquecimento Global (AG)*

Quanto ao potencial de AG, é possível observar no gráfico que o ponto crítico é claramente a etapa do manejo florestal já que esta contribui com cerca de

87% da contribuição total. Isto se deve principalmente às emissões de óxido nitroso no campo, resultantes das adições nitrogenadas e da decomposição da serapilheira. A queima do diesel consumido nas operações mecanizadas emite gás carbônico e outros GEE que também contribuem para o impacto, contudo, em menor proporção. O destaque para as emissões de óxido nitroso no manejo pode ser atribuído ao fator de caracterização ser menor para o gás carbônico e outros GEE do que para o óxido nitroso no potencial de AG.

González-García et al. (2012b) encontraram no manejo da Suécia, as maiores emissões de contribuição ao AG pela queima de combustíveis fósseis durante a etapa de colheita para o cenário sem adubação e para o cenário com adubação, as emissões de óxido nitroso resultantes dos fertilizantes foram as maiores responsáveis, estando assim de acordo com o resultado encontrado no presente estudo. Ressalta-se, contudo, que a adubação é realizada mais vezes nos regimes de rotação curta (Suécia) e em maior quantidade de aplicação do que no Brasil, como é possível observar na Tabela 28.

Tabela 28 – Eventos de adubação adotados no regime do Brasil e da Suécia (SRC no cenário com adubação).

Eventos de adubação	Brasil	Suécia
Ciclo total (anos)	14	21
Eventos (vezes)	4	10
Quantidade média (kg N/ha)	33	107

Fonte: Com base em dados primários e secundários de González-García et al. (2012b).

Os resultados encontrados por England et al. (2013), indicaram para o seu regime na Austrália, maior emissão de CO₂ pela etapa de transporte seguida pelas operações de colheita. Isso se explica pelos regimes de manejo bastante diversos praticados na Austrália e no Brasil. O equipamento de colheita e de transporte, não foi detalhado por England et al. (2013), logo, não é possível entender com detalhes esta diferença de comportamento entre os dois países. Já em González-García et al. (2012a) as emissões de gases de efeito estufa foram também as principais causas para este impacto, contudo, aquelas emitidas nas operações de controle de plantas concorrentes, isso porque, no regime analisado por esses autores na Itália, são feitos dois controles mecânicos da vegetação competitiva por meio de

gradeamento, durante a manutenção e também um após a colheita. Práticas essas não realizadas nos outros países analisados.

Assim, é possível observar que a determinação do potencial para AG varia significativamente em função do manejo e das práticas realizadas na silvicultura. Por isso, os resultados encontrados para esta categoria nos estudos dos diferentes países não seguem um padrão já que o manejo florestal é muito variável.

e) *Depleção da Camada de Ozônio (DCO)*

Quanto à DCO, é possível observar que a entrada de pesticida inespecífico contribui para quase 39% deste impacto e as operações de colheita e transporte se destacam na porção restante.

Este comportamento se explica principalmente pelo consumo de triclorometano na produção do pesticida inespecífico que foi utilizado para representar o formicida aplicado na floresta em análise. Este composto acarreta as emissões de tetraclorometano, bromotrifluorometano e diclorodifluorometano, que são gases clorofluorcarbonos os quais contribuem para a destruição da camada de ozônio quando liberados na atmosfera. Vale ressaltar que o bromotrifluorometano e diclorodifluorometano estão inclusive na listagem de restrições para o Brasil do Protocolo de Montreal (PROTOCOLOMONTREAL, 2016). Isso quer dizer que o Brasil deve parar de emitir tais substâncias a fim de proteger a camada de ozônio dentro de prazos estabelecidos.

Novamente vale aqui ressaltar que o conjunto de dados relativo ao formicida foi adicionado como pesticida inespecífico em função da falta de dados reais do processo de produção deste insumo. Isto indica que o impacto encontrado poderia ser diferente com a entrada dos dados específicos.

Ainda quanto ao impacto de DCO, a contribuição pelas operações mecanizadas (motocoveamento, colheita, transporte final e serviços de manutenção) é significativa, contribuindo com mais de 40% do impacto total, em especial algumas daquelas que consomem diesel: transporte final (21%) e extração (10%). Isso se deve principalmente às cargas ambientais envolvidas ao longo do processo de produção do diesel (consumo de petróleo) que também emite gases clorofluorcarbonos.

Da mesma forma, González-García et al. (2012a) encontraram grande influência da produção dos combustíveis fósseis para a contribuição ao potencial de DCO causado pelo manejo da Itália.

f) *Toxicidade Humana (TH)*

Quanto ao impacto de TH, também é possível observar que as operações mecanizadas respondem pela maior parte do potencial total, com mais de 70%. É possível observar que os dois principais responsáveis são: a etapa de corte (40%), de transporte final (16%) e de extração (8%).

A principal causa é a emissão de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos. Assim como mostrado por Silva et al. (2016), esses compostos são resultantes da queima de combustíveis orgânicos e apresentam potencial de toxicidade humana e aquática.

Eles são emitidos no sistema principalmente pela operação de corte já que o corte consome a gasolina tipo C. Esta gasolina é composta por 25% de etanol, que é proveniente da cana-de-açúcar. Por ser uma biomassa, a cana-de-açúcar é composta por hidrocarbonetos orgânicos e por isso a sua combustão acarreta nas emissões de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. Em proporção menor, os mesmos gases são emitidos devido ao motocoveamento, que também consome gasolina tipo C, contudo em menor quantidade em função da frequência menor desta operação no manejo.

As etapas de transporte e extração consomem grande quantidade de diesel, que é um combustível derivado do petróleo. Sabe-se que a principal composição do petróleo são também os hidrocarbonetos orgânicos, o que explica tais emissões no sistema.

De maneira consonante com o presente resultado, González-García et al. (2012a), os processos mecanizados que consomem diesel foram os principais responsáveis pelo potencial de TH e Ecotoxicidade, em especial os relacionados à etapa de colheita.

g) *Ecotoxicidade de Água Doce (EAD)*

O impacto de EAD encontrado neste trabalho apresenta um grande ponto crítico que é a produção de mudas. Esta etapa do processo contribui com cerca de 83% de todo o potencial deste impacto, sendo as outras etapas insignificantes na contribuição. O principal fluxo elementar que explica este ponto crítico é a emissão de glifosato para água superficial resultante da aplicação de glifosato. Este resultado merece atenção já que sua contribuição para o impacto de EAD é extremamente alta, contudo ele está em concordância com o resultado encontrado por Silva (2012a) e Silva et al. (2013), que geraram os dados de inventário da produção de mudas e também encontraram como ponto crítico da produção de MDP a partir de eucalipto no Brasil a emissão de glifosato no manejo florestal.

Sabe-se que esta emissão foi modelada pelo PestLCI que não apresenta parametrização para condições de clima e solo brasileiras, além disso, ele sofre críticas acerca da sua abordagem que pode confundir as barreiras do entre o inventário e o impacto dentro do estudo de ACV, assim como já citado anteriormente.

Logo, para melhor entender este ponto crítico, a AICV para a categoria de EAD foi novamente realizada a partir da remodelagem da dinâmica do pesticida, de forma que ela seja semelhante para a produção de mudas e para a produção de biomassa. Ou seja, a modelagem foi simulada usando a abordagem doecoinvent que considera que 100% deste insumo fica no solo. O Gráfico 3 a seguir mostra este novo resultado comparado ao resultado inicial.

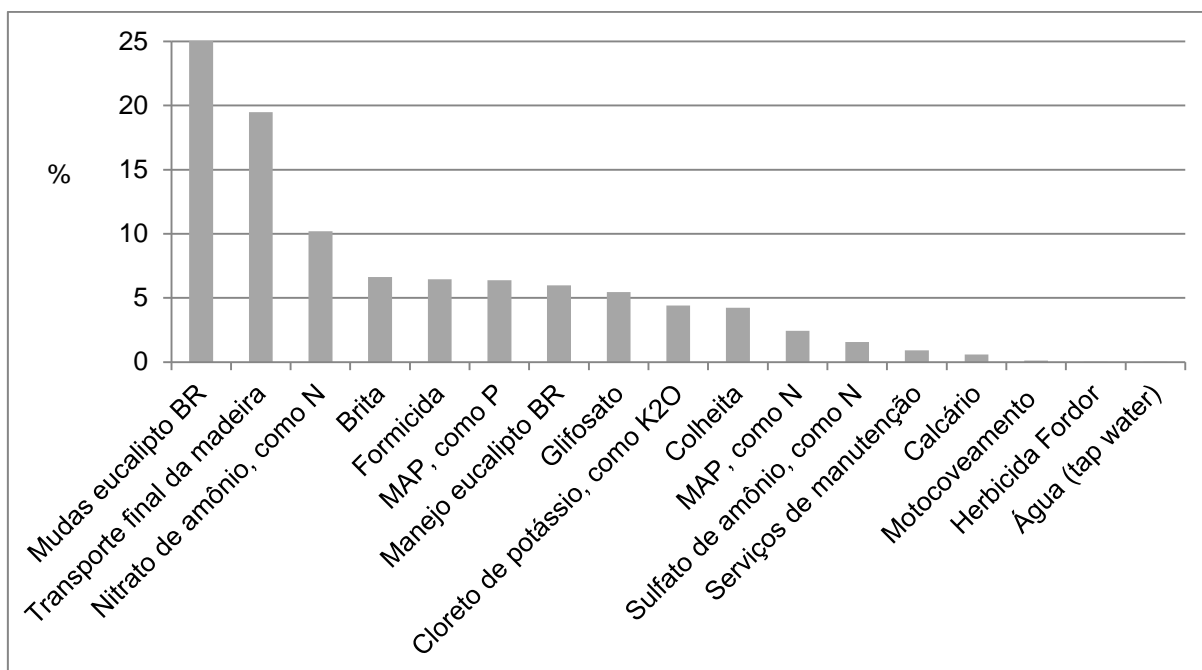


Gráfico 3 – Potencial para EAD após simulação das emissões de glifosato na muda pela abordagem doecoinvent.

Fonte: Autor (2016).

Como pode ser observado no gráfico, a contribuição para o potencial de EAD varia significativamente quando a emissão do glifosato na produção de mudas é remodelada a partir de outra abordagem. As responsabilidades das etapas do ciclo de vida se tornam mais balanceadas havendo uma diminuição de 83% para 25% pela produção de mudas. Isso se deve, provavelmente, ao fator de caracterização do glifosato para a água ser maior do que para o solo. Pela mesma razão, o Gráfico 4 mostra que contribuição total para os impactos também varia com o uso das diferentes abordagens para três categorias de impacto:

- TH: apresenta redução menor que 1%;
- EAD: apresenta redução de quase 78%;
- ET: apresenta aumento de quase 10%.

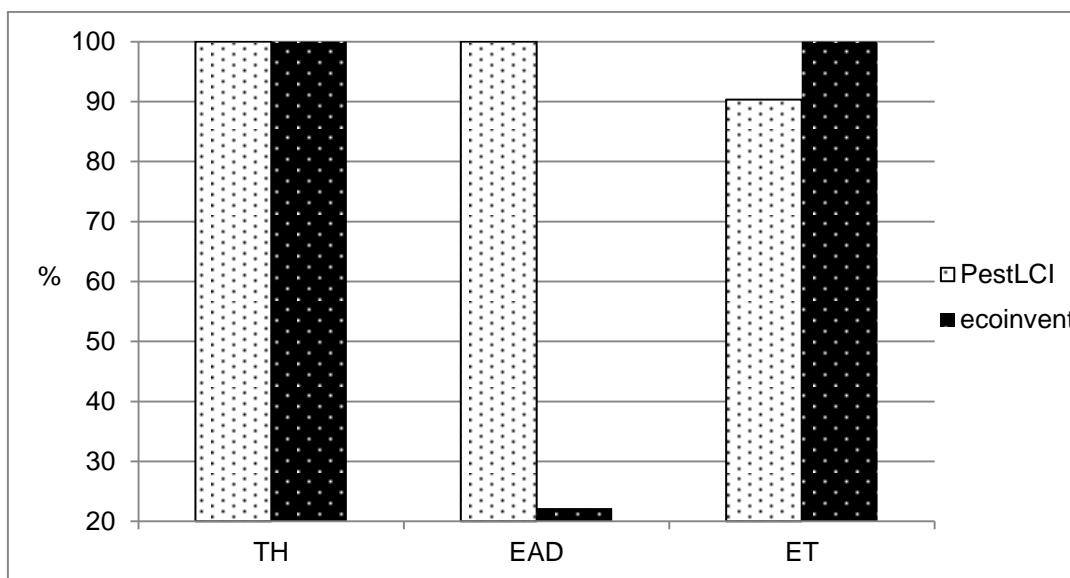


Gráfico 4 – Desempenho nas categorias de TH, EAD e ET a partir da abordagem do PestLCI e do ecoinvent para as saídas de glifosato.

Fonte: Autor (2016).

h) *Ecotoxicidade de Água Marinha (EAM)*

Analisando o potencial de EAM, observa-se uma contribuição mais distribuída pelas etapas, sendo a maior contribuinte a etapa de transporte final com 20,5%, seguida pela produção de mudas com cerca de 18% e pela produção de nitrato de amônio com 15%.

Tabela 29 – Descrição dos pontos críticos do impacto de EAM.

Etapas mais contribuintes	Contribuição (%)	Razões
Transporte final	20,5	Emissões no transporte
Produção de mudas	18	Geração do efluente composto por rejeitos sulfídicos na produção de sulfato de amônio
Produção de nitrato de amônio	15	Construção da fábrica química de produção

Fonte: Autor (2016).

As principais emissões contribuintes para o impacto são: berílio para a água, seguida por níquel para a água e vanádio para o ar. Apenas a emissão de níquel é citada por González-García et al. (2012a) no manejo que analisaram na Itália que mostrou contribuição desta emissão para os impactos de ecotoxicidade. As emissões de berílio e vanádio serão mais bem analisadas em estudos futuros.

i) *Ecotoxicidade Terrestre (ET)*

O potencial de impacto de ET, de maneira semelhante ao de EAM, mostra responsabilidades bem distribuídas. O etapa que mais se destaca é a produção de nitrato de amônio com cerca de 23%. Esta contribuição se deve ao consumo de ácido nítrico e amônia no processo.

As operações mecanizadas respondem por 35% da contribuição para o potencial de impacto. As emissões relacionadas a essas operações bem como a esses processos que se destacam são: vanádio e mercúrio para o ar; arsênio para o solo e ar; e níquel para o solo.

Este resultado também só esta consonante quanto a emissão de níquel, encontrada por González-García et al. (2012a), citada no impacto anterior.

j) *Oxidação Fotoquímica (OF)*

Por fim, o potencial de OF é causado em maior parte pela etapa de colheita (72%). Por ser uma contribuição bastante relevante as etapas da colheita foram separadas, como pode ser visto no Gráfico 5.

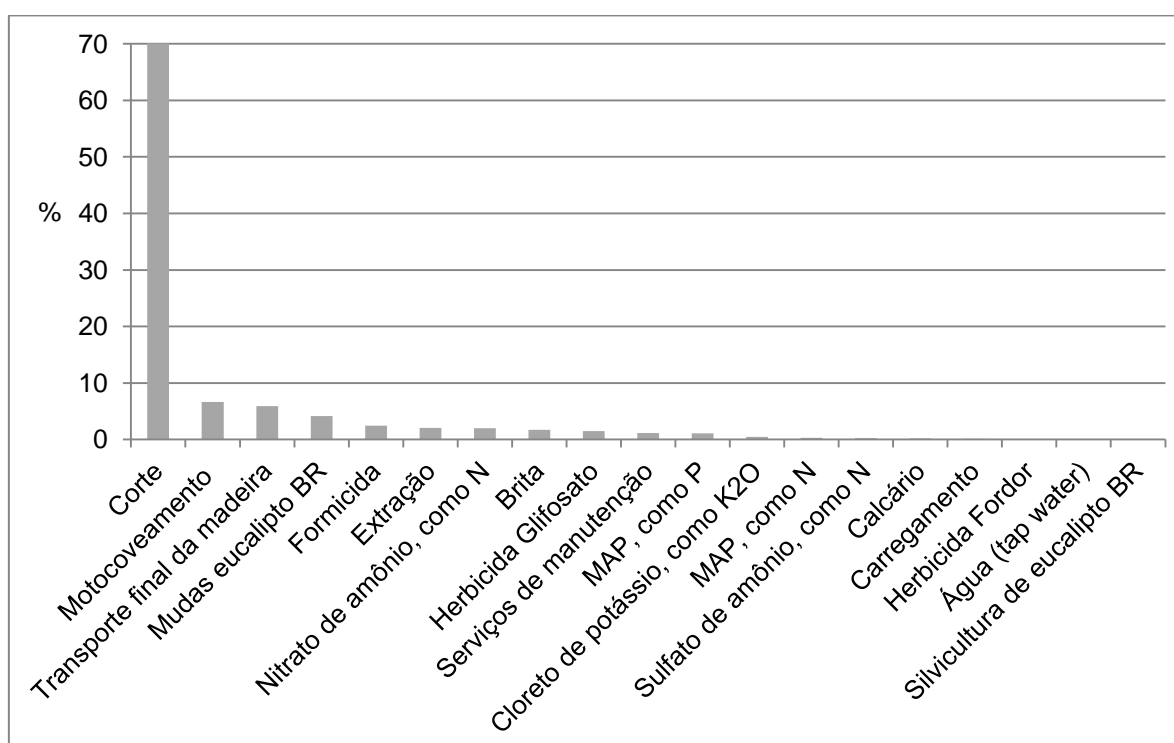


Gráfico 5 – Detalhamento das etapas contribuintes para o potencial de OF. Fonte: Autor (2016).

As principais emissões contribuintes para este impacto no processo são as emissões de dióxido de enxofre, monóxido de carbono e benzeno para o ar. Este resultado está de acordo com Dias e Arroja (2012), que também tiveram como maiores responsáveis as emissões de dióxido de enxofre e monóxido de carbono. Segundo os autores, equipamentos maiores apresentam combustão mais eficiente, o que reduz o potencial de impacto de Oxidação Fotoquímica. Isto explica o resultado do comportamento desta categoria de impacto já que a motosserra e o motocoveador utilizados nas duas etapas críticas são equipamentos semimecanizados. Com isso, é entendido que a combustão ocorre de forma incompleta, gerando emissões que contribuem para a Oxidação Fotoquímica.

k) Análises complementares

Foi possível observar que os metais pesados são significativos para a ocorrência de alguns impactos, especialmente os relacionados à ecotoxicidade. Na etapa de análise de inventário já foi relatado que a falta de dados relativos à concentração de metais pesados na madeira após o seu cultivo nos levou a assumir a abordagem mais conservadora, ou seja, que nenhuma porção dos metais adicionados ao sistema vão para a madeira, resultando na emissão total para os compartimentos ambientais.

A fim de avaliar a sensibilidade deste dado, uma abordagem diferente foi testada. Sabendo que durante a combustão da madeira ocorre a queima completa dos voláteis (FOELKEL, 2016 p. 38) assumiu-se aqui que todo o conteúdo de metal pesado na madeira fica presente nas cinzas após a sua queima, não sendo emitido para o ar.

Para calcular então o conteúdo de metal na biomassa, foram utilizados os resultados do experimento de Silva et al. (2009) que revelaram a concentração de metais pesados nas cinzas de cavacos e cascas queimadas (Tabela 30).

Tabela 30 – Quantidade de metais pesados em cinzas de combustão da madeira.

Quantidade de metais pesados nas cinzas (mg/kg)					
Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
39	100	0,3	40	22	4

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2009).

Apesar de a espécie queimada ser diferente da espécie analisada no presente estudo e apesar de saber-se que o conteúdo de cinzas no cavaco se difere do conteúdo na casca (BRITO; BARRICHELO, 1979) e conseqüentemente também na madeira, este foi o dado mais próximo da realidade disponível.

De acordo com Brito e Barrichelo (1979), 0,41% da madeira de *Eucalyptus saligna* representa o teor de cinzas geradas na sua combustão. Este valor foi utilizado para converter o conteúdo de metais pesados nas cinzas para o conteúdo de metais pesados na madeira produzida em 1 hectare das florestas em análise.

Simulando novamente o desempenho do sistema sob as duas abordagens (Gráfico 6), tem-se variação do impacto total em quatro de dez categorias. Assumindo a absorção de metal pesado na madeira tem-se redução da emissão para os compartimentos ambientais, logo, o resultado mostrado na figura está coerente, já que nas quatro categorias relacionadas à toxicidade e ecotoxicidade obteve-se redução do potencial total. A maior delas é no potencial para ET que alcança uma diminuição de quase 27%. Averigua-se assim que os dados de absorção de metais na madeira influenciam nos resultados de potencial para ecotoxicidade, principalmente a terrestre.

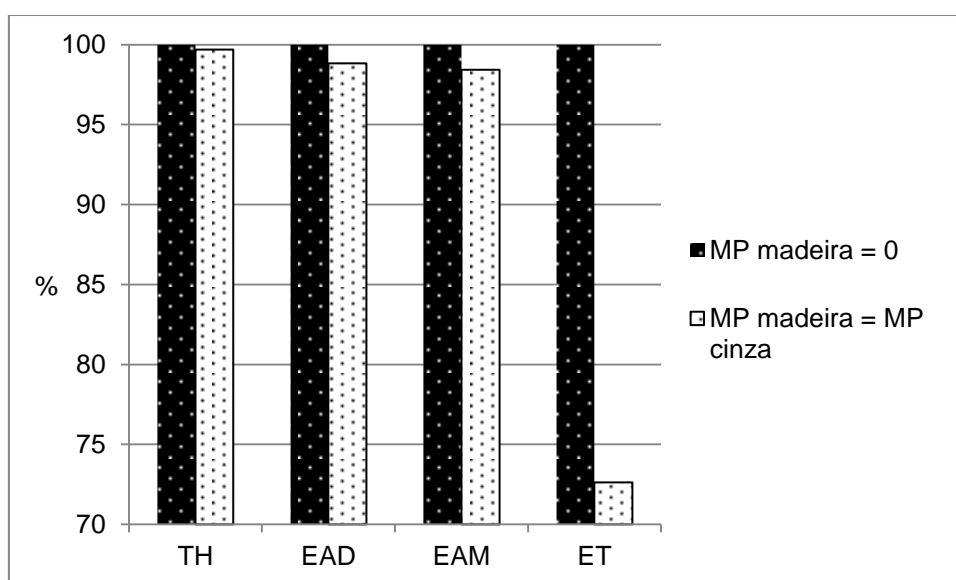


Gráfico 6 – Comparação do desempenho ambiental do sistema considerando absorção de MP na madeira igual a zero e concentração de MP na madeira igual a concentração de MP na cinza da combustão da madeira.

Fonte: Autor (2016).

Outra possibilidade para esta simulação seria a utilização dos dados de Mila i Canals (2003), já que o autor estimou as saídas de MP para o solo por meio da taxa de MP que deixa o sistema com a colheita. Contudo, o estudo refere-se a produção agrícola de maçãs e, neste caso, apenas o fruto é colhido ficando a árvore no campo, enquanto que na silvicultura de eucalipto a tora inteira de madeira deixa o sistema. Por esta razão, esta referência não foi utilizado para a construção do conjunto de dados e nem para a simulação.

4.4 VARIAÇÕES DOS MANEJOS FLORESTAIS NO MUNDO

a) *Brasil versus Portugal*

Pela descrição já feita sobre o manejo dos três cenários analisados para Portugal por Dias e Arroja (2012), é possível, na comparação com o manejo realizado no Brasil, afirmar que a silvicultura de eucalipto em Portugal é mais mecanizada. Lembrando que os três cenários mostram diferentes intensidades quanto a mecanização do equipamento de colheita e a quantidade de operações realizadas na etapa de manutenção.

Os três cenários abrangem a etapa de preparo do solo que é composto por quatro operações realizadas mecanicamente: remoção dos tocos, limpeza no terreno, escarificação e adubação. Com exceção da adubação, nenhuma dessas operações é realizada na região de Itapeva e, além disso, a adubação é feita de forma manual na região.

Durante a manutenção, outra limpeza mecanizada é feita nos cenários 1 e 2 de Portugal, bem como a seleção dos brotos que é feita com motosserra nesses cenários.

Além disso, a implantação da infraestrutura é abrangida, diferente do Brasil, onde as plantações já estão estabelecidas há muito tempo.

Quanto à colheita, o cenário 2 e 3 se assemelha ao Brasil já que o corte é feito com motosserra e a extração com tratores e o cenário 1 se difere já que é feito com a combinação de *harvester* mais *forwarder*. Vale lembrar que o carregamento é abrangido tanto em Portugal como no Brasil, ambos mecanicamente com

equipamento semelhante. Contudo, em Portugal, a colheita ainda abrange a retirada de galhos, a picagem das toras em pedaços menores e o descascamento. Essas atividades são realizadas antes da extração. São necessárias já que o produto possui múltiplo uso, ou seja, a maior proporção da tora é destinada para usos mais nobres e os resíduos e a casca são destinados para a geração de energia.

Outra diferença, não relacionada à mecanização é que os autores não mencionam a adição de pesticidas. Talvez as limpezas mecânicas realizadas no terreno dispensem a necessidade do uso de defensivos.

Quanto ao período de rotação, em Portugal o eucalipto é cortado a cada 12 anos, havendo três rotações em cada ciclo, enquanto no Brasil ele é cortado a cada 7 anos com apenas duas rotações.

Os autores observaram em seus resultados que todos os impactos reduzem com a diminuição da intensidade dos cenários, com exceção da oxidação fotoquímica. Isso mostra que o uso da combinação motosserra e trator para a colheita (assim como a região de Itapeva), em comparação a combinação *harvester* e *forwarder*, pode apresentar ganhos ambientais.

b) *Brasil versus Alemanha*

O estudo realizado por González-García et al. (2013) mostrou que o manejo realizado para a silvicultura de Abeto de Douglas na Alemanha abrange um ciclo muito mais longo do que a silvicultura de eucalipto no Brasil, já que na Alemanha o período total abrangido é de 90 anos. Além disso, as operações também se diferenciam significativamente.

Como já relatado, na atividade da Alemanha é feito o preparo do solo mecanizado, a operação de poda e dois desbastes antes do corte final. Todas essas operações não são feitas no Brasil, já que apenas o corte raso é realizado a cada 7 anos, totalizando dois cortes rasos em cada ciclo, não há necessidade de operações de preparo do solo e a poda não é requerida já que o produto final vai totalmente para a energia, o que não requer qualidade da madeira.

A colheita é semelhante em ambas as regiões já que abrange as operações de desbaste ou corte, extração e carregamento. Contudo, os desbastes não são feitos no Brasil.

A produtividade da Alemanha é maior quando levado em consideração o ciclo total, sendo 2200 m³/há em um ciclo de 90 anos contra 633,8 m³/ha em um ciclo de 14 anos no Brasil. Contudo, quando levamos em conta o período da ocupação tem-se quase o dobro de produtividade no Brasil, sendo 24,4 m³/ha*ano na Alemanha *versus* 45 m³/ha*ano no Brasil.

As diferenças no tempo da atividade podem ser atribuídas ao clima da Alemanha e às características da espécie Douglas-fir e as diferenças de manejo podem ser atribuídas adicionalmente ao uso final da madeira.

c) *Brasil versus Austrália*

Os regimes de manejo relacionados à exploração florestal na Austrália se mostram bastantes diversos da exploração no Brasil. De acordo com England et al. (2013), dois cenários são praticados para produção de toras de madeira sem fins energéticos e de cavacos para energia, a plantação de madeira *softwood* e o manejo controlado de madeira *hardwood*.

No Brasil, como já mencionado, existem plantações exclusivamente para a geração de energia por meio dos produtos principais lenha e carvão vegetal e em menor proporção através da produção de celulose, o que consiste na principal diferença entre a produção de biomassa energética no Brasil e a Austrália.

Levando em conta as plantações *softwood* da Austrália para a comparação qualitativa do manejo com o Brasil, pode-se distinguir os regimes principalmente pelo tempo de duração e as operações de corte realizadas. Enquanto no Brasil o ciclo total dura 14 anos com 2 cortes totais do povoamento, na Austrália o ciclo cobre 25 a 35 anos com quatro desbastes e um corte final.

Além disso, a mecanização também é mais elevada já que o preparo do solo mecânico é necessário. Além disso, uma emissão adicional de GEE ocorre no manejo da Austrália já que é realizada a prática de queima dos resíduos da colheita.

A implantação é feita de maneira semelhante, contudo, a colheita realiza uma operação adicional de picagem da madeira com finalidade energética, enquanto no Brasil, a madeira produzida na floresta é transportada em toras inteiras.

Uma semelhança que pode ser destacada entre os países são as atividades contra incêndios levadas em conta para ambos, isso se explica pelo fato do clima ser relativamente semelhantes nesses dois países, já que ambos possuem climas

quentes, o que contribui para a grande frequência de incidentes de fogo com grandes perdas nos povoamentos florestais. Lembrando que o impacto dos incêndios não é levado em conta tanto no estudo da Austrália como no do Brasil, apenas as atividades de prevenção realizadas com grande frequência.

d) *Brasil versus Suécia versus Itália*

Comparando a silvicultura de eucalipto no Brasil com a silvicultura de Pinheiro silvestre, Abeto Vermelho e Bétula em três regiões da Suécia, relatadas por Berg e Lindholm (2005), é possível perceber diferenças significativas, começando pela produção das mudas que é feita por sementes na Suécia e por clones no Brasil. Além disso, o nível de mecanização também é maior na Suécia do que no Brasil já que na Suécia, são feitas operações de preparo do solo e limpeza do terreno mecanizadas. Além disso, desbastes são realizados e a colheita é feita com *forwarder* mais *harvester*.

A produtividade encontrada na Suécia se mostra muito menor do que no Brasil. Enquanto no Brasil gira em torno de 45 m³/ha*ano, na Suécia gira em torno de 6 m³/ha*ano. Tais diferenças podem ser atribuídas ao clima da região e às espécies, que apresentam diferentes características de crescimento e produtividade.

Outros cenários de silvicultura na Suécia foram analisados por González-García et al. (2012b). Neste caso, o foco principal do produto é de fato a geração de energia, assim como no Brasil, enquanto que nas plantações da Suécia descritas anteriormente, o foco é o múltiplo uso.

No caso do estudo de González-García et al. (2012b), a espécie cultivada é o Salgueiro (*willow*) e o regime SRC ainda não está estabelecido na Suécia ou em outros locais.

Como este regime tem o objetivo de produzir mais biomassa energética em menos tempo, as operações envolvidas são bastante intensivas, mecanizadas, abrangendo mais interferências no meio do que o regime do Brasil, ou seja, mais eventos de adubação e controle de pragas e daninhas.

Isso porque, enquanto as intervenções na silvicultura brasileira são realizadas apenas nos anos da implantação e da condução da rebrota, no SRC, elas estão presentes em todos os anos do ciclo. Além disso, a densidade de plantas por

hectare é muita alta neste regime, girando em torno de 10.000 a 13.000 por hectare, enquanto no Brasil gira em torno de 1667.

O ciclo total com adubação realizado na Suécia dura 21 anos com cinco cortes rasos a cada 4 anos, com exceção da primeira rotação que é no ano 5. No cenário sem adubação, o primeiro corte é feito aos 6 anos, seguido de mais 4 cortes a cada 4 anos, resultando em 22 anos de ciclo total. A produtividade apresentou queda de 40% para o cenário sem adubação.

Outro ponto importante é que, diferente do regime do Brasil, no SRC a madeira é convertida em cavacos ainda no campo. Esta redução do volume do produto final (de toras para cavacos) facilita o seu transporte.

Tal prática não ocorre no Brasil, contudo, deveria ser levada em consideração, já que o preço do transporte final da madeira influencia fortemente o preço do produto final, podendo inviabilizar a sua comercialização quando as distâncias até o consumidor são longas (VALVERDE et al., 2004). Além disso, a etapa de transporte também se mostra problemática do ponto de vista ambiental em alguns casos, como por exemplo, em Berg e Lindholm (2005) e nos resultados encontrados neste estudo para o Brasil, mostrados no item anterior deste capítulo.

Ressalta-se aqui que o sistema de rotação curta já é adotado para eucalipto no Brasil. Contudo, cautela é tomada, já que a colheita precoce com grande produtividade pode comprometer as características físicas da madeira, tais como a densidade e o poder calorífico (GARCÍA, 2013).

Além disso, ressalta-se também que a adubação e o espaçamento escolhidos podem influenciar na dinâmica do crescimento dos indivíduos, ou seja, as árvores com menor área útil (menor espaçamento de plantio) competem mais pelos recursos naturais o que acarreta maior incremento em altura do que diâmetro. Contudo, maior adensamento indica maior produção por área (GARCÍA, 2013).

Recomenda-se que estudos que avaliem todas essas questões sejam feitos para analisar a viabilidade da adoção desse sistema de manejo em detrimento ao tradicional descrito no presente trabalho.

O mesmo regime de SRC é também praticado na Itália e foi analisado por González-García et al. (2012a), juntamente com o manejo de rotação muito curta (*Very Short Rotation Coppice* – VSRC), que abrange maior quantidade de cortes a cada 2 anos durante 10 anos, enquanto que o SRC, realizado na Itália abrange 10 anos com cortes a cada 5 anos.

Nesses regimes, ocorre grande quantidade de eventos de controle da vegetação competidora e a adição de água, requerida pela espécie cultivada. A densidade de plantas no VSRC é quase cinco vezes maior do que a densidade do SRC. Ambos os regimes envolvem o uso do *harvester* para o corte. E, por fim, ambos os regimes recebem adubação orgânica além da mineral, o que contribui de maneira diferente para os impactos.

e) *Brasil (energia) versus Brasil (MDP)*

A silvicultura de eucalipto no Brasil para MDP envolve operações adicionais da silvicultura de eucalipto para energia as quais se relacionam à qualidade da madeira, ou seja, o desbaste e a poda.

Além disso, a colheita é muito mais mecanizada do que a região de Itapeva abrangendo o uso de *feller buncher*, traçador mecânico, *forwarder* e escavadeira.

O corte aos 6,5 se assemelha ao de 7 anos do manejo para energia. O espaçamento é semelhante com 1850 árvores por hectare.

4.4.1 Possibilidades de variação no manejo do Brasil que podem ser benéficas

Com base na comparação entre os diferentes manejos realizados nos países analisados nos estudos da literatura, foram identificadas possíveis variações que podem ou não trazer melhorias para a atividade no Brasil:

- Variação do maquinário de colheita;
- Variação do tipo de fertilizante;
- Variação do fator de carga no transporte final;
- Variação do número de rotações.

a) *Variação do maquinário de colheita*

Como um dos principais pontos críticos do sistema analisado são as operações que compõe a colheita e como alguns dos regimes analisados (DIAS e ARROJA, 2012; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2012a,b) adotam para a colheita outras

combinações de equipamentos para tais operações, como o *harvester* para o corte e *forwarder* para extração, foi definido esta a primeira possibilidade de melhoria para o sistema: *harvester* em substituição a motosserra e *forwarder* em substituição ao trator.

Tem-se que um *forwarder* apresenta o rendimento de 40 metros estéreis por hora e o *harvester*, 30 metros estéreis por hora (UFV, 2016). Assim, a comparação dos rendimentos dos equipamentos pode ser vista na Tabela 31.

Tabela 31 – Comparação do rendimento operacional e do consumo de combustível nos diferentes cenários de corte e extração.

	Rendimento operacional	Consumo (kg/h)	
	mst/h	Gasolina	Diesel
Motosserra	6,92	0,92	
Harvester	30,00		10,74
	4,33	11,64	
Trator agrícola	31,25		7,47
Forwarder	40,00		9,21
	1,28		1,23

Fonte: Autor (2016).

Pode-se observar na tabela acima que o rendimento da operação com *harvester* é 4,3 vezes maior do que com motosserra e, além disso, o consumo de combustível proporcional é quase 12 vezes maior pelo *harvester*. Enquanto isso, a substituição do maquinário de extração apresenta menor variação do rendimento e consumo de combustível. Logo, a substituição do maquinário de corte pode indicar maiores reduções para os impactos do que a substituição do maquinário de extração.

Isso porque, os impactos de: AC, DCO, TH, EAM, ET e OF foram influenciados pelas emissões das operações mecanizadas, que estão diretamente ligadas ao seu rendimento e conseqüentemente ao consumo de combustíveis.

Contudo, o tipo de combustível consumido pelos equipamentos de corte são diferentes: gasolina composta de etanol de cana-de-açúcar e diesel. Em função disso, os impactos encontrados não são diretamente proporcionais já que tais combustíveis apresentam influências diferentes para a geração dos impactos.

Com relação ao potencial de Aquecimento global, foi mostrado que ele é principalmente causado pelas emissões no campo, assim, a mudança do maquinário de colheita não apresentaria influência significativa.

O potencial de Oxidação Fotoquímica provavelmente apresentaria redução com o uso do *harvester*, já que como apresentado por Dias e Arroja (2012), este impacto reduz com a utilização de maquinário pesado o qual apresenta combustão mais completa. Assim, na substituição da motosserra, um equipamento leve semi mecanizado, por um *harvester*, que consistem em um maquinário pesado de alta mecanização, é de fato esperado que as emissões contribuintes para Oxidação Fotoquímicas sejam reduzidas.

Ainda dentro da variação do maquinário de corte, mais um possibilidade de variação foi identificada, a adição da etapa de picagem da madeira no campo antes do transporte. Esta é uma prática que poderia trazer benefícios para o sistema já que ela facilita o transporte do produto final, o que pode ocasionar redução do consumo de combustíveis fósseis pelos caminhões e conseqüente redução das emissões de GEE.

Além disso, benefícios econômicos podem ser atingidos em função de a madeira poder ser comercializada por maiores distâncias já que o custo da operação por quilômetro rodado provavelmente será reduzido. Contudo, vale lembrar que esta operação só é aplicável para o uso industrial da madeira energética, ou seja, para aquele consumidor que até então consumia este produto em forma de lenha. Para a produção de carvão vegetal, matéria-prima da produção de aço, o produto deve ser mantido com um volume maior, já que maiores dimensões são exigidas pelo processo de produção do carvão vegetal. Além disso, vale ressaltar aqui que o poder calorífico do cavaco é diferente do poder calorífico da lenha, logo uma análise do balanço energético do produto é também indicada.

b) *Varição do tipo de fertilizante*

Como a fertilização mostrou-se significativa em algumas categorias de impacto, achou-se pertinente que esta operação receba atenção.

Muitos estudos estão presentes na literatura acerca da fertilização orgânica nos regimes de rápida brotação (SRC e VSRC). Existe um interesse significativo nesta prática através do uso de lodo de esgoto, já que é uma forma benéfica de se

dar uma destinação ao resíduo que é rico em nutrientes (LABRECQUE et al., 1997; MOFFAT, 2001). O regime VRC da Itália analisado por (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2012a) também adota a prática da adição de fertilizante orgânico, mas, neste caso, o utilizado são dejetos bovinos com cerca de 80% de umidade e uma composição de nitrogênio de 4,5 kg/tonelada e densidade de 400 kg/m³.

Assim, a oportunidade de melhoria aqui identificada por meio da substituição das adições de fertilizantes nitrogenados industriais (mineraiis) fertilizantes orgânicos semelhantes aos adotados por González-García et al. (2012a).

De acordo com Korndorfer e Pereira (2016), a composição do dejetos bovino é de 3,2 kg de N/tonelada, 2 kg de P₂O₅/tonelada e 1,47 kg de K₂O/tonelada. Além disso, a umidade relatada é de 66% e a densidade não é descrita.

A produção do dejetos é excluída do ciclo de vida, já que se trata de um resíduo proveniente de fazendas de pecuária, estando de acordo González-García et al. (2012a). Seguindo a mesma publicação, uma produtividade 6% maior para o cenário com adubação orgânica é alcançada, com relação ao cenário com adubação industrial.

Tabela 32 – Quantidade de nutrientes minerais aplicados no regime atual.

Etapa	Implantação			Condução da rebrota	
	Adubação de base (no plantio)	Adubação de cobertura (4 meses)	Adubação de cobertura (9 meses)	Adubação de cobertura (3 meses)	Total (kg de nutriente/ha)
N	11,00	50,00	20,00	50,00	131
P₂O₅	55,01	0,00	0,00	0,00	55
K₂O	11,00	50,00	8,00	50,00	119

Fonte: Autor (2016).

Para calcular a quantidade de entrada de dejetos bovino necessária para suprir a mesma quantidade dos fertilizantes aplicados através da adubação mineral (Tabela 32), divide-se a quantidade total de N, P₂O e K₂O aplicada no manejo atual pela composição dos mesmos nutrientes no dejetos bovino. Assim, tem-se que a maior quantidade de dejetos necessária para suprir o montante de nutrientes aplicados é de 81 toneladas, como pode ser visto na Tabela 33.

Tabela 33 – Cálculo da quantidade equivalente de adubo orgânico para suprir o montante aplicado de nutrientes no manejo atual.

	Total aplicado (kg/ha) - A	Composição dejetos (kg/t) - B	A / B
N	131	3,20	41
P₂O₅	55	2,07	27
K₂O	119	1,47	81

Fonte: Autor (2016).

Assim, suprimindo a quantidade de K₂O, teria-se também a quantidade mínima necessária dos outros nutrientes. As emissões de amônia para o ar decorrentes da aplicação do adubo orgânico seriam estimadas de maneira diferente, de acordo com Brentrup et al. (2000), as quais substituíram as emissões de amônia da aplicação do fertilizante mineral. Já as demais emissões decorrentes da aplicação do fertilizante seriam mantidas iguais já que Brentrup et al. (2000) não diferenciam a forma de calcular tais emissões em função de diferentes origens dos fertilizantes (mineral ou orgânica). Os autores propõem o cálculo com base apenas no conteúdo de nitrogênio do adubo.

Durante uma simulação semelhante a esta sugerida González-García et al. (2012a) observaram ganhos significativos em todas as categorias de impacto. Os autores atribuíram os ganhos principalmente em função da cadeia produtiva dos fertilizantes minerais que não são mais considerados no sistema.

Vale lembrar que estudos já avaliaram a variabilidade da madeira proveniente de plantios de eucalipto em função de diferentes doses de aplicação de fertilizante orgânico e mineral e não constataram influência do poder calorífico da madeira (BARREIROS et al., 2007; GUERRA et al., 2014; VALE et al., 2000).

c) *Variação do fator de carga do transporte final*

A influência da etapa de transporte final da madeira também é observada de forma significativa em diversas categorias de impacto. Como o fator de carga está inversamente proporcional a demanda de tkm desta operação, tem um resultado de impacto proporcional a esta demanda.

Logo, sugere-se aqui que o fator de carga seja aumentado para a atividade de transporte, isto significa o aumento dos esforços dos produtores e fornecedores

em manter os caminhões o mais carregados possível durante os trajetos de chegada ou partida da floresta. Uma possibilidade é a combinação dos fretes de entrega de insumos à floresta e saída do produto para os consumidores.

Berg e Lindholm (2005) simularam diferentes fatores de cargas e observaram que o aumento do mesmo apresenta influência positiva no balanço energético do sistema.

d) *Variação do número de rotações*

Como mostrado nos estudos da literatura, a idade do ciclo total de manejo bem como o número de cortes realizados variam significativamente chegando até 5 cortes no regime avaliado por González-García et al. (2012a,b) e a 90 anos no regime avaliado por England et al. (2013).

Assim, o aumento das rotações aumentando o tempo do ciclo total é uma variação que poderia trazer benefícios para o sistema analisado já que o aumento do número de cortes a partir do mesmo plantio acarreta na não realização das intervenções necessárias na etapa de implantação (que concentra a maior parte das intervenções totais).

Contudo, assim como relatado por Barros et al. (1997), em muitas regiões brasileiras é constatado uma queda da produtividade de florestas conduzidas por brotação. De acordo com os autores, esta queda não está necessariamente ligada à redução da população, mas sim ao crescimento menor dos indivíduos e, por isso, as empresas florestais optam muitas vezes por reformar o povoamento investindo em novo plantio.

Em função, é importante avaliar qual o cenário mais interessante do ponto de vista ambiental: o de mais rotações mesmo com perda de produtividade ao longo das rotações ou o de menos rotações com novo plantio antes da queda da produtividade da rotação.

A produtividade é um índice muito variável, logo dados reais seriam ideais para que esta variação fosse testada.

O teste da adoção de uma operação adicional de fertilizante ou quantidades maiores de fertilizante na terceira rotação também é recomendado já que a perda de produtividade está ligada a deficiência de nutrientes (FARIA et al., 2002).

É importante destacar que análises acerca de possíveis variações para manejos florestais são frequentemente realizadas, mas do ponto de vista econômico, como por exemplo, os estudos de Rodriguez et al. (1997) e Resende et al. (2004). Já estudos que avaliam este comportamento do ponto de vista ambiental são escassos na literatura.

4.5 ANÁLISE DA QUALIDADE DOS DADOS

A qualidade dos dados foi verificada por meio da Matriz Pedigree seguindo os moldes do ecoinvent a qual permite verificar a incerteza dos dados. Desta forma, foram analisados os seguintes requisitos: correlação temporal, correlação geográfica, correlação tecnológica, completude e confiança.

Este detalhamento pode ser observado nas tabelas a seguir onde as entradas da tecnosfera e as saídas para o meio ambiente foram agrupadas, já que possuem a mesma natureza de incertezas, e já as saídas para a natureza foram detalhadas, sendo elas: absorção de dióxido de carbono, ocupação da terra e energia na biomassa.

Tabela 34 – Análise da qualidade dos dados – Correlação temporal.

Correlação temporal	Situação ideal:	Menos de 3 anos de diferença da cobertura temporal do <i>dataset</i> (2014-2016)	
Tipo dos dados	Situação real	Pontuação	Detalhamento
Dados de entrada da natureza:			
- Absorção de CO ₂	Idade do dado desconhecida	5	Dado comumente adotado na literatura
- Ocupação da terra	Menos de 3 anos de diferença da cobertura temporal do <i>dataset</i>	1	Dados relativos a 2014/2015
- Energia na biomassa	Menos de 10 anos de diferença da cobertura temporal do <i>dataset</i>	3	Dado de 2008
Dados de entrada da tecnosfera	Menos de 3 anos de diferença da cobertura temporal do <i>dataset</i>	1	Dados relativos a 2014/2015
Dados de saída para a natureza	Menos de 3 anos de diferença da cobertura temporal do <i>dataset</i>	1	A referencia para estimar tais dados e de 2012

Fonte: Autor (2016).

Tabela 35 – Análise da qualidade dos dados – Correlação geográfica.

Correlação geográfica	Situação ideal:	Dado da área de estudo: Itapeva (SP)	
Tipo dos dados	Situação real	Pontuação	Detalhamento
Dados de entrada da natureza:			
- Absorção de CO ₂	Dado de um local desconhecido	5	Dado considerado para todo o mundo
- Ocupação da terra	Dado da área de estudo	1	Dado primário
- Energia na biomassa	Dado médio para grandes áreas na qual a região de estudo se encontra	2	Dado considerado para o Brasil
Dados de entrada da tecnosfera	Dado da área de estudo	1	
Dados de saída para a natureza	Dado de um local diferente do local de estudo	5	Modelo para estimar tais dados foi desenvolvido para Europa e adequado para Itapeva

Fonte: Autor (2016).

Tabela 36 – Análise da qualidade dos dados – Correlação tecnológica.

Correlação tecnológica	Situação ideal:	Dados de empresas, processos e materiais sob estudo	
Tipo dos dados	Situação real	Pontuação	Detalhamento
Dados de entrada da natureza:			
- Absorção de CO ₂	Dados de processos e materiais relacionados	4	Baseado com dado secundário relacionado a madeiras em geral
- Ocupação da terra	Dados de empresas, processos e materiais sob estudo	1	Dado primário
- Energia na biomassa	Dados de processos e materiais relacionados	4	Baseado em dado secundário do poder calorífico do eucalipto
Dados de entrada da tecnosfera	Dados de empresas, processos e materiais sob estudo	1	Dado primário
Dados de saída para a natureza	Dados de processos e materiais relacionados	4	Dado primário

Fonte: Autor (2016).

Tabela 37 – Análise da qualidade dos dados – Completude.

Completude	Situação ideal:	Dado de todos os locais relevantes para a geografia considerada	
Tipo dos dados	Situação real	Pontuação	Detalhamento
Dados de entrada da natureza:			
- Absorção de CO ₂	Representatividade desconhecida	5	
- Ocupação da terra	Dados representativos de mais de 50% dos locais relevantes para a geografia considerada	4	Dados primários validados equivalentes a 61% da área total de eucalipto na região
- Energia na biomassa	Representatividade desconhecida	5	
Dados de entrada da tecnosfera	Dados representativos de mais de 50% dos locais relevantes para a geografia considerada	4	Dados primários validados equivalentes a 61% da área total de eucalipto na região
Dados de saída para a natureza	Representatividade desconhecida	5	

Fonte: Autor (2016).

Tabela 38 – Análise da qualidade dos dados – Confiança.

Confiança	Situação ideal	Dado validado baseado em medições	
Tipo dos dados	Situação real	Pontuação	Detalhamento
Dados de entrada da natureza:			
- Absorção de CO ₂	Estimativa qualificada	4	Baseada em estequiometria
- Ocupação da terra	Dados validados baseado em medições	1	Dado primário
- Energia na biomassa	Estimativa qualificada	4	Baseado no poder calorífico da madeira
Dados de entrada da tecnosfera	Dados validados baseado em medições	1	Dados primários
Dados de saída para a natureza	Estimativa qualificada	4	Baseada em referências científicas

Fonte: Autor (2016).

E possível observar na análise da qualidade dos dados que os dados de entrada da tecnosfera recebem pontuação 1 em quase todas os requisitos, com exceção da completude, isso porque se referem a dados primários.

4.6 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A primeira limitação do estudo é que a etapa de uso do produto (geração de energia) não foi considerada por falta de dados.

Outra limitação bastante importante é que o teste de sensibilidade para algumas variáveis envolvidas nos cálculos não foi realizado. Em função disso, não foi possível saber qual a influência de tais variáveis no resultado final de impacto, são elas:

- Fator de empilhamento: pode variar de 1,19 a 1,62 com variação de 36%;
- Comprimento da raiz de eucalipto de 2,5 metros;
- Conjunto de dados inespecífico utilizado para formicida granulado a base de sulfluramida;
- Conjunto de dados inespecífico utilizado para nitrogênio da fonte MAP;
- Conjunto de dados inespecífico utilizado para e fosfato da fonte MAP;
- Densidade da madeira que é um parâmetro bastante variável e foi baseado em dados de madeiras com teor de umidade diferentes da madeira do presente estudo.

Por fim, quanto à sugestão de melhorias, foi realizada de maneira limitada com base nas comparações qualitativas entre as variações dos manejos florestais realizados nos diferentes países. Foi possível apenas identificar possibilidades de variações no manejo realizado no Brasil, que podem ou não trazer benefícios no desempenho ambiental do sistema.

5 CONCLUSÃO

A análise detalhada dos estudos de ACV de produtos florestais no mundo realizada nesta pesquisa permitiu a criação do primeiro conjunto de dados regionalizado de madeira para energia no Brasil.

A adequação deste conjunto de dados aos padrões da base de dadosecoinvent permitiu inferir qualidade, completude e transparência ao mesmo, além de poder nortear a criação de conjuntos de dados futuros.

Com a conclusão das atividades de submissão do conjunto de dados construído no presente trabalho, o mesmo estará acessível de uma maneira padronizada, o que facilita o seu aproveitamento por outros usuários. Isso é de extrema importância para os estudos de ACV no Brasil já que o produto analisado faz parte de diversas cadeias produtivas nacionais. Lembrando que a etapa de análise de inventário é a maior requerente em tempo e recursos, logo, quanto mais acessíveis os dados construídos estiverem, mais bem aproveitados estarão sendo esses recursos.

Quanto à avaliação do desempenho ambiental aqui desenvolvida, foi possível notar que de maneira geral ao analisar as dez categorias de impacto avaliadas pelo método escolhido, têm-se que as etapas de colheita, transporte final e produção de mudas se mostram mais problemáticas no sistema. Outros pontos críticos são também identificados em categorias específicas como o Aquecimento Global que apresenta mais de 80% do seu potencial causado pelas emissões liberadas durante o manejo, principalmente as de óxido nítrico resultantes da aplicação de fertilizantes nitrogenados e da decomposição dos resíduos culturais.

A pesquisa também permitiu concluir que a aplicabilidade dos estudos de ACV de floresta no mundo se mostra reduzida com relação a sua possibilidade de comparação, o que consiste em um dos principais objetivos da técnica da ACV. Isso porque os dados de inventário não são publicados de maneira detalhada e, além disso, a comparação em nível de impacto é impossibilitada por ser muito dependente da carga envolvida nos dados *background* os quais possuem diferentes referências as quais nem sempre estão disponíveis por serem atualizadas constantemente nos *softwares*.

A partir da comparação entre os regimes florestais que abrangem produtos energéticos no mundo, foi possível concluir que de fato este é um setor muito variável. A principal diferença é que enquanto nos outros países florestas são plantadas para o múltiplo uso da madeira, sendo a parte nobre destinada para produtos como os da movelaria e a parte menos nobre (cascas e galhos) para energia, no Brasil florestas são plantadas exclusivamente com a finalidade energética.

Outra diferença substancial é que por ter foco no produto energético, o qual não necessita de padrões de qualidade, algumas operações são dispensadas do manejo florestal como o desbaste e a poda que são realizadas em muitos dos países pesquisados. Vale ressaltar que tais operações adicionais inferem cargas ambientais adicionais para o produto.

Diversas outras diferenças são encontradas como sistemas mais mecanizados e equipamentos de maior porte para outros países quando comparados ao Brasil.

Esta pesquisa permitiu ainda identificar alguns pontos de possíveis melhorias para o setor no Brasil como com relação ao maquinário de colheita, a adoção de fertilizantes nitrogenados, ao aumento do fator de carga do transporte final e ao aumento do número de cortes dentro do mesmo ciclo produtivo. Ressaltando que tais variações podem ou não ter impactos benéficos já que eles não foram avaliados neste momento.

A comparação também indicou que a atividade no Brasil apresenta ciclos de produção mais curtos e produtividades anuais maiores do que os países analisados, isto indica que estudos que busquem a sua melhoria do ponto de vista econômico, ambiental ou social são de extrema importância.

Por fim, foi possível concluir que o desenvolvimento da ACV no presente estudo permitiu o aprendizado acerca do setor florestal no Brasil e no mundo, o que adicionou mais uma especialidade ao autor, além da ACV. É comum e recomendável que os estudos de ACV sejam interdisciplinares e unam diferentes especialistas o que contribui para a troca de conhecimentos e a rede de contatos profissionais, ampliando a visão dos profissionais envolvidos.

REFERÊNCIAS

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica no Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>> Acesso em 26 abr 2014.

ALTHAUS, H. J. et al. **Life cycle inventories of renewable materials**. Final report ecoinvent data v 2.0. Dubendorf: EMPA, n. 21, 2007.

ACLCA – AMERICAN CENTER FOR LIFE CYCLE ASSESSMENT **Mexican Life Cycle Inventory Database**. Boston, 2009. Disponível em <<http://www.lcacenter.org/LCA9/presentations/1007.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2015.

ARCE, J. E. **Manejo Florestal**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: Faculdade de Ciências Florestais, 2002.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: **Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de Vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009 a.

_____. NBR ISO 14044: **Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, 2009 b.

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2013**: Ano base 2012. Brasília, 2010. Disponível em <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>> Acesso em: 23 abr. 2014.

ATHANASSIADIS, Dimitrios. **Resource consumption and emissions induced by logging machinery in a life cycle perspective**. Tese (Doutorado em Silvicultura) – Swedish University of Agricultural Sciences, 2000.

AUDSLEY, E.; ALBER, S.; CLIFT, R.; COEWLL, S.; CRETZAZ, P.; GAILLARD, G.; HAUSHEER, J.; JOLLIETT, O.; KLEIJN, R.; MORTENSEN, B.; PEARCE, D.; ROGER, E.; TEULON, H.; WEIDEMA, B.; VANS ZEIJTS, H. **Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture**. Final report. Concerted Action AIR-CT94-2028. European Commission, 1997.

BARRANTES, Leticia De Santi; UGAYA, Cássia Maria Lie. Quality analysis of agricultural datasets for forest biomass. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EM LATINOAMÉRICA, 6, 2015, Lima, Peru. **Proceedings...** Lima, Peru: Pontifical Catholic University of Peru, 2015.

BARREIROS, Ricardo Marques; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SANSÍGOLO, Cláudio Angeli; POGGIANI, Fábio. Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 103-111, 2007.

BARRETO, Patrícia Anjos Bittencourt; GAMA-RODRIGUES, Emanuela Forestieri da; GAMA-RODRIGUES, Antonio Carlos da; BARROS, Nairam Félix de; FONSECA, Sebastião. Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em sequência de idades. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 611-619, 2008.

BARROS, Nairam Félix de; TEIXEIRA, Paulo César; TEIXEIRA, José Luiz. **Nutrição e produtividade de povoamentos de eucalipto manejados por talhadia**. Universidade Federal de Viçosa, 1997.

BATISTA, Joao L. F.; COUTO, Hilton Thadeu Z do. **O “Estéreo”**. METRVM, Sao Paulo-SP, 2002. Disponível em <<http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:metrvm:metrvm-2002-n02.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2016.

BAUER, Christian. **Summary: Wood energy**. Final reportecoinvent data v2.0. Dubendorf: EMPA, n. 6-IX, 2007.

BERG, Staffan; LINDHOLM, Eva-Lotta. Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, n. 1, p. 33-42, 2005.

BERTHOUD, Amandine; MAUPU, Pauline; HUET, Camille; POUPART, Antoine. Assessing freshwater ecotoxicity of agricultural products in life cycle assessment (LCA): a case study of wheat using French agricultural practices databases and USEtox model. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 16, n. 8, p. 841-847, 2011.

BIRKVED, Morten; HAUSCHILD, Michael Z. PestLCI—a model for estimating field emissions of pesticides in agricultural LCA. **Ecological Modelling**, v. 198, n. 3, p. 433-451, 2006.

BOARETTO, M. A. C.; FORTI, L. C. Perspectivas no controle de formigas cortadeiras. **Série técnica IPEF**, v. 11, n. 30, p. 31-46, 1997.

BRASIL. **Balanco Energético Nacional: Matrizes Consolidadas 1970 – 2009**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2011. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompletas.aspx>>. Acesso em: 05 nov 2013.

BRENTROP, F.; KUSTERS, J.; LAMMEL, J.; KUHLMANN, H.; Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. **The international journal of life cycle assessment**, v. 5, n. 6, p. 349-357, 2000.

BRITO, José Otávio. Carvão vegetal no Brasil: gestões econômicas e ambientais. **Estudos Avançados**, v. 4, n. 9, p. 221-227, 1990.

BRITO, José Otávio.; BARRICHELO, Luiz Ernesto G. Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. **Circular técnica IPEF**, n. 52, 1979.

BRUNETTO, Gustavo. **Acidez do solo e calagem**. Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em <<http://w3.ufsm.br/solos/antigo/PDF/manejo%20e%20fertilidade%20zootecnia/Aula%202-Acidez%20e%20calagem%20do%20solo.pdf>>. Acesso: em 08 mai. 2015.

BURLA, Everson Ramos. **Avaliação técnica e econômica do "harvester" na colheita do eucalipto**. 2008. Tese (Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

BUSCHINELLI, Claudio. **Projeto analisa desempenho socioambiental da produção de eucalipto**. Embrapa, 2014. <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2301345/projeto-analisa-desempenho-socioambiental-da-producao-de-eucalipto>> Acesso em: 12 mar. 2016.

CPM – CENTER FOR ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF PRODUCT AND MATERIAL SYSTEMS. **Conteúdo da base de dados sueca Spine**. Disponível em <<http://cpmdatabase.cpm.chalmers.se/Scripts/AdvGeneral.asp>>. Acesso em: 04 mai. 2015.

CHIUMENTO, Giovanna; UGAYA, Cássia Maria Lie. Environmental performance analysis of products using different versions of ecoinvent: case study for relevant products to Brazil. In: In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE ANÁLISIS DE

CICLO DE VIDA EM LATINOAMÉRICA, 6, 2015, Lima, Peru. **Proceedings...** Lima, Peru: Pontifical Catholic University of Peru, 2015.

CHOMA, Ernani Francisco; UGAYA, Cássia Maria Lie. Environmental impact assessment of increasing electric vehicles in the Brazilian fleet. **Journal of Cleaner Production**, 2015.

Clear Energy Regulator. **A guide to the native forest from managed regrowth method.** Australian Government, 2013. Disponível em <<http://www.cleanenergyregulator.gov.au/DocumentAssets/Pages/A-Guide-to-the-Native-Forest-from-Managed-Regrowth-method.aspx>> Acesso em: 22 fev. 2016.

CLIMATE-DATA. **Dados climáticos para cidades mundiais.** Disponível em <<http://pt.climate-data.org/location/34909/>>. Acesso em: 25 abr. 2015.

CBH-ALPA – COMITE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO DO PARANAPANEMA. **Relatório de situação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas do Estado de São Paulo.** Piraju, SP, 2014.

COSTA, E. D.L SILVA, M. A., COLOMBO, A., ABREUS, A. R. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.2, p 131-134, 1999.

COUTO, Hilton Thadeu Zarato do. Manejo de florestas e sua utilização em serraria. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA. **Anais....** 1995.

DANIEL, Omar. **Silvicultura.** Universidade Federal de Grande Dourados. Dourados, 2007. Disponível em <<http://pt.scribd.com/doc/6201503/Silvicultura-Apostila-Completa-2007#scribd>> Acesso em: 08 mai. 2015.

DCC. **National Greenhouse and Energy Reporting System Measurement.** Technical guidelines for the estimation of greenhouse gas emissions by facilities in Australia. Department of Climate Change: Canberra, 2009. Disponível em <<https://www.environment.gov.au/system/files/resources/da7bde5c-1be2-43f7-97d7-d7d85bb9ad6c/files/nger-technical-guidelines-2014.pdf>> Acesso em 13 jun. 2016.

DEDECEK, Renato Antonio; GAVA, José Luiz. Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 383-390, 2005.

DEERE. Disponível em
<[https://www.deere.com.br/pt_BR/products/equipment/backhoe_loaders/310k/310k.p
age](https://www.deere.com.br/pt_BR/products/equipment/backhoe_loaders/310k/310k.page)> Acesso em 13 jun. 2016.

DIAS, Ana Cláudia; ARROJA, Luís. Environmental impacts of eucalypt and maritime pine wood production in Portugal. **Journal of Cleaner Production**, v. 37, p. 368-376, 2012.

DIJKMAN, T. J.; BIRKVED, M.; HAUSCHILD, M. Z. **Modelling of pesticide emissions for Life Cycle Inventory analysis**: Model development, applications and implications. Department of Management Engineering, Technical University of Denmark, 2013. Disponível em
<http://orbit.dtu.dk/ws/files/96859233/Modelling_of_pesticide_emissions.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2016.

EMEP/CORINAIR **Atmospheric Emission Inventory Guidebook**. A Joint Production. Technical report. Copenhagen: EEA, n. 11, 2006. Disponível
<<http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR4>> Acesso em 13 jun. 2016.

ENGLAND, Jacqueline R.; MAY, Barrie; RAISON, R. John; PAUL, Keryn I. Cradle-to-gate inventory of wood production from Australian softwood plantations and native hardwood forests: Carbon sequestration and greenhouse gas emissions. **Forest Ecology and Management**, v. 302, p. 295-307, 2013.

EC-JRC-IES – European Commission-Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD)**. Handbook- Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. European Union, 2011.

EEA – EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Air pollutant emission inventory guidebook 2009**. EEA Technical Report. Copenhagen: n. 9, 2009.

FARIA, Geraldo Erli de; BARROS, Nairam Félix de; NOVAIS, Roberto Ferreira de; LIMA, Júlio César; TEIXEIRA, José Luiz. Produção e estado nutricional de povoamentos de Eucalyptus grandis, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. **Revista Árvore**, v. 26, n. 5, p. 577-584, 2002.

FERREIRA, Carlos Alberto; FREITAS, Manoel de; FERREIRA, Mario. Densidade básica da madeira de plantações comerciais de eucaliptos, na região de Mogi-Guaçu. IPEF: n. 18, p. 106-117, 1979. Disponível em
<<http://ipef.br/publicacoes/scientia/nr18/cap05.pdf>> Acesso em: 13 jun. 2016.

FIALA, M. et al. **Short rotation coppice in northern Italy**: comprehensive sustainability. In: 18th EUROPEAN BIOMASS CONFERENCE, Lyon, France. 2010.

FIGUEIRÊDO, Maria Cléa Brito de; POTTING, José; SERRANO, Luiz Augusto Lopes; BEZERRA, Marlos Alves; BARROS, Viviane da Silva; GONDIM, Rubens Sonsol; NEMECEK, Thomas. Environmental assessment of tropical perennial crops: the case of the Brazilian cashew. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 131-140, 2015.

FOELKEL, Celso. Comprimento da raiz de eucalipto. Eucalyptus Online Book & Newsletter. Disponível em <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:fReOs7R1Zg8J:www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%2520333.doc+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br> Acesso em 02 mai 2016.

FOELKEL, Celso. Utilização da biomassa do eucalipto para produção de calor, vapor e eletricidade. **Eucalyptus Online Book**, 2016.

FRISCHKNECHT, Rolf; JUNGBLUTH, Niels.; ALTHAUS, Hans-Jörg; DOKA, Gabor; DONES, Roberto; HECK Thomas; HELLWEG, Stefanie, HISCHE, Roland; NEMECEK, Thomas; REBITZER, Gerald; SPIELGAMM, Michael; WERNET, Gregor. **Overview and methodology**. Ecoinvent report data v2.0. Dubendorf: Ecoinvent Centre, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, n. 1, 2007.

FRISCHKNECHT, Rolf; JUNGBLUTH, Niels; ALTHAUS, Hans-Jorg; BAUER, Christian; DOKA, Gabor; DONES, Roberto; HISCHE, Rolar; HELLWEG, Stefanie; HUMBERT, Sébastien; KOLLNER, Thomas; LOERINCIK, Yves; MARGNI, Manuele, NEMECEK, Thomas. **Implementation of life cycle impact assessment methods**. Ecoinvent report data v. 2.0. Dubendorf: EMPA, n. 3, 2007.

GABRIELLE, Benoit; NGUYEN, Nicolas; MAUPU, Pauline; VIAL, Estelle. Life Cycle Assesment of eucalyptus short rotation coppices for bioenergy production in southern France. **GCB Bioenergy**, v. 5, p. 30-42, 2013.

GARCÍA, Éder Aparecido. **Qualidade energética da madeira de eucalipto em função do espaçamento, da adubação e da idade conduzida no sistema florestal de rotação curta**. 85 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013.

GATTO, Alcides; BARROS, Nairam Félix de; NOVAIS, Roberto Ferreira; SILVA, Ivo Ribeiro da; LEITE, Hélio Garcia; LEITE, Fernando Palha; VILLANI, Ecila Maria de Albuquerque. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, p. 1069-1079, 2010.

GIFFORD, R. **Carbon contents of above-ground tissues of forest and woodland trees**. Technical report n. 22. Canberra: Australian Greenhouse Office, 2004.

GONZÁLEZ-GARCÍA, Sara; BACENETTI, Jacopo; MURPHY, Richard J.; FIALA, Marco. Present and future environmental impact of poplar cultivation in the Po Valley (Italy) under different crop management systems. **Journal of cleaner production**, v. 26, p. 56-66, 2012a.

GONZÁLEZ-GARCÍA, Sara; BERG, Staffan; MOREIRA, María Teresa; FEIJOO, Gumersindo Feijoo. Evaluation of forest operations in Spanish eucalypt plantations under a life cycle assessment perspective. **Scandinavian Journal of forest research**, v. 24, p. 160-172, 2009.

GONZÁLEZ-GARCÍA, Sara; KROWAS, Inga; BECKER, Gero; FEIJOO, Gumersindo; MOREIRA, María Teresa. Cradle-to-gate life cycle inventory and environmental performance of Douglas-fir roundwood production in Germany. **Journal of Cleaner Production**, v. 54, p. 244-252, 2013.

GONZÁLEZ-GARCÍA, Sara; MOLA-YUDEGO, Blas; DIMITRIOU, Ioannis ; ARONSSON, Pär; MURPHY, Richard. Environmental assessment of energy production based on long term commercial willow plantations in Sweden. **Science of the Total Environment**, v. 421, p. 210-219, 2012b.

GUINÉE, J. B.; GORRÉE, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; KLEIJN, R.; KONING, A. de.; OERS, L. V.; SLEESWIJK, A. N.; SUH, S.; UDO DE HAES, H. A.; BRUIJN, H. de.; DUIN, R. V.; HUIJBREGTS, M. A. J. (2002). Handbook on Life Cycle Assessment – Operational Guide to the ISO Standards. **The international journal of life cycle assessment**, v. 7, n. 5, p. 311-313, 2002.

HAUSCHILD, Michael Z.; Estimating pesticide emissions for LCA of agricultural products. In: **Agricultural data for life cycle assessments**, v. 2, p. 70, 2000.

HELLER, Martin C.; KEOLEIAN, Gregory A.; VOLK, Timothy A. Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. **Biomass and Bioenergy**, v. 25, n. 2, p. 147-165, 2003.

HELLER, Martin C; KEOLEIAN, Gregory A; MANN, Margaret K; VOLK, Timothy A. Life cycle energy and environmental benefits of generating electricity from willow biomass. **Renewable Energy**, v. 29, n. 7, p. 1023-1042, 2004.

HERRMANN, Ivan T.; MOLTESEN, Andreas. Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? A comparative assessment of SimaPro and GaBi. **Journal of Cleaner Production**, v. 86, p. 163-169, 2015.

CANALS, Lorenç Milá i. **Contributions to LCA methodology for agricultural systems**. Tese (Doutorado em Química) – Universitat Autònoma de Barcelona, 2003.

IBA – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2014**. Disponível em <http://www.iba.org/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso: em 19 mai. 2015.

_____. **Relatório 2015**. Disponível em <http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso: em 11 jun. 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo, 2005. Disponível em <http://www.florestalterverde.com.br/artigos_baixar/ifVegnaturalsp_parte2.pdf>. Acesso em: 25 abr 2015.

_____. Censo Agropecuário de 2006. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/silvi/default.asp>>. Acesso em: 12 mai 2015.

_____. Censo demográfico 2010. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>.

_____. Mapas de solo, 2001. Disponível em <<http://www.geoservicos.ibge.gov.br/geoserver/web/>>. Acesso em: 02 out. 2015.

_____. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVS), 2014). Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2014/>> Acesso em 13 jun. 2016.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL FOR CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Agriculture, forestry and other land use. Kanagawa, Japan, 2006.

JUVENAL, Thais Linhares; MATTOS, René Luiz Grion. **O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento**. Rio de Janeiro: BNDES, n. 16, 2002 a.

_____. **O setor de celulose e papel**. BNDES, v. 50, 2002 b. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro_setorial/setorial04.pdf> Acesso em: 11 jun. 2016.

KORNDORFER, Gaspar Henrique; PEREIRA, Hamilton Seron. Disponível em <<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/>>. Acesso em 07 jul. 2016.

LABRECQUE, Michel; TEODORESCU, Traian Ion; DAIGLE, Stéphane. Biomass productivity and wood energy of Salix species after 2 years growth in SRIC fertilized with wastewater sludge. **Biomass and Bioenergy**, v. 12, n. 6, p. 409-417, 1997.

LEVOVÁ, Tereza; PFISTER, Stephan. **Good practice for life cycle inventories – modelling of water use**. Ecoinvent report data, v. 3.0, 2014.

MACHADO, Carlos Cardoso **Colheita florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2008.

MAFIA, Reginaldo Gonçalves; ALFENAS, Acelino Couto; SIQUEIRA, Leandro de, FERREIRA, Eraclides Maria, LEITE, Hélio Garcia; CAVALLAZZI, José Renato P. Critério técnico para determinação da idade ótima de mudas de eucalipto para plantio. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 947-953, 2005.

MARTINS, Rubem Nunes Martins; OLIVEIRA, Guilherme Almeida Gonçalves de; ARAÚJO, Jorge Antônio Pereira Lopes de; TOMASELLI, Joésio Siqueira Ivan; DELESPINASSE, Bernard; RODRIGUES, Rodrigo; GORNISKI, Dartagnan. **Plano de ação para o desenvolvimento integrado do Vale do Paraná (PLANAP)**, Curitiba, 2010.

MATTHEUS, R. W. Modelling of energy and carbon budgets of wood fuel coppice systems. **Biomass and Bioenergy**, v. 21, n. 1, p. 1-19, 2001.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biomassa**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa>> Acesso em: 22 abr. 2014.

MILCA – MULTIPLE INTERFACE LIFE CYCLE ASSESSMENT. Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI). Disponível em <<http://www.milca-milca.net/english/index.php>>. Acesso em: 29 jul. 2016.

MOFFAT, A. J.; ARMSTRONG, A. T.; OCKLESTON, J. The optimization of sewage sludge and effluent disposal on energy crops of short rotation hybrid poplar. **Biomass and Bioenergy**, v. 20, n. 3, p. 161-169, 2001.

MOREIRA, José Mauro Moreira Ávila Paz. Fator de empilhamento para lenha de eucalipto. Colombo, Embrapa Florestas, 2015 (comunicação oral).

MOREIRA, José Mauro Moreira Ávila Paz; MATSUURA, Marília Ieda da Silveira Folegatti; BARRANTES, Leticia De Santi; SIMIONI, Flávio José; BUSCHINELLI, Cláudio C. de A. (2015) **Análise de viabilidade econômica de um sistema de produção modal de eucalipto para lenha na região de Itapeva, SP**. Embrapa Florestas: Colombo, 8p (Comunicado Técnico nº 365).

MOURAD, Anna Lúcia; SILVA, Henrique Luvison Gomes da; NOGUEIRA, Júlio César Batista. Life cycle assessment of cellulose packaging materials production: folding box board and kraftliner paper. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, n. 4, p. 968-976, 2014.

NREL – NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. Disponível em <<https://www.lcacommons.gov/nrel/>>. Acesso em: 04 mai. 2015.

NRCS – Natural Resources Conservation Service. Natural and Artificial Regeneration as it relates to the establishment and Maintenance of riparian forest buffers in the northeast US: A literature review, 2003. Disponível em <http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_010873.pdf> Acesso em 22 fev. 2016.

NBL Engenharia Ambiental Ltda e The Nature Conservancy (TNC). 2013. Manual de Restauração Florestal: Um Instrumento de Apoio à Adequação Ambiental de Propriedades Rurais do Pará. The Nature Conservancy, Belém, PA. 128 páginas. Disponível em <<http://www.nature.org/media/brasil/manual-de-restauracao-florestal.pdf>> Acesso em 12 mar. 2016.

NEMECEK, Thomas; KAGI, Thomas. **Life cycle inventories of agricultural production systems**. Final report ecoinvent v 2.0. Zurich and Dubendorf: v. 15, 2007.

NEMECEK, Thomas; SCHNETZER, Julian. **Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems**. Ecoinvent report v. 3.0. Zurich: 2012.

NOVAIS, R. F; SMYTH, T. Fósforo na planta. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, p. 255-270, 1999.

OSB/WSTB – OCEAN STUDIES BOARD AND WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY BOARD. Clean coastal waters: understanding and reducing the effects of nutrient pollution. Commission on Geosciences, Environment, and Resources, National Research Council, Washington, 2000.

FAOSTAT – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO (FAO) Statistics Division: **Forestry Production and Trade**. Disponível em <<http://faostat3.fao.org/browse/F/FO/E>>. Acesso em: 25 jun. 2015.

FAO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **Forest products 2009 – 2013**. Roma: FAO Forestry Series, n. 48, 2013.

_____. **Global ecological zoning for the global forest resources assessment**. Forestry Department, Italy, 2001.

PE-international. 2012. Disponível em <<http://www.gabi-software.com>> Acesso em 13 jun. 2016.

PICHELLI, Katia Regina. Pesquisa pode reverter ameaça de extinção de Araucária. **Portal EMBRAPA**, Brasília, 2014. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1656125/pesquisa-pode-reverter-ameaca-de-extincao-da-araucaria> Acesso em: 19 mai. 2015.

PRé-consultants. ELCD European reference life cycle database. Disponível em <<http://www.pre-sustainability.com/elcd-european-reference-life-cycle-database>>. Acesso em: 04 mai. 2015.

Pre-sustainability. Disponível em <<http://www.pre-sustainability.com/simapro-lca-software>>. Acesso em 13 jun. 2016.

PROBIO I – PROJETO DE CONSERVAÇÃO E UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DA DIVERSIDADE BIOLÓGICA BRASILEIRA. Dados georreferenciados de

reflorestamento de 2002. Disponível em <[HTTP://WWW.MMA.GOV.BR/BIODIVERSIDADE/PROJETOS-SOBRE-A-BIODIVERIDADE/PROJETO-DE-CONSERVA%C3%A7%C3%A3O-E-UTILIZA%C3%A7%C3%A3O-SUSTENT%C3%A1VEL-DA-DIVERSIDADE-BIOL%C3%B3GICA-BRASILEIRA-PROBIO-L](http://www.mma.gov.br/biodiversidade/projetos-sobre-a-biodiversidade/projeto-de-conserva%C3%A7%C3%A3o-e-utiliza%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel-da-diversidade-biol%C3%B3gica-brasileira-probio-l)>. Acesso em: 19 abr. 2015.

PROBIO II – PROJETO NACIONAL DE AÇÕES INTEGRADAS PÚBLICO-PRIVADA PARA DIVERSIDADE. Dados georreferenciados de reflorestamento de 2002. Disponível em <[HTTP://WWW.MMA.GOV.BR/BIODIVERSIDADE/PROJETOS-SOBRE-A-BIODIVERIDADE/PROJETO-NACIONAL-DE-A%C3%A7%C3%B5ES-INTEGRADAS-P%C3%BABLICO-PRIVADAS-PARA-BIODIVERSIDADE-PROBIO-II](http://www.mma.gov.br/biodiversidade/projetos-sobre-a-biodiversidade/projeto-nacional-de-a%C3%A7%C3%B5es-integradas-p%C3%BAblico-privadas-para-biodiversidade-probio-ii)>. Acesso em: 19 abr. 2015.

PROTOCOLOMONTREAL. Manual de ajuda para o controle das substâncias que destroem a camada de ozônio – SDOs. Disponível em <<http://protocolodemontreal.org.br/eficiente/repositorio/publicacoes/573.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2016.

QUIRINO, Waldir F.; VALE, Ailton Teixeira do; ANDRADE, Ana Paula Abreu de; ABREU, Vera Lúcia Silva; AZEVEDO, Ana Cristina dos Santos. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, n. 89, p. 100-106, 2005.

REIS, M. G. F. et al. Sequestro e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂, 1, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, p. 155-195, 1994.

REIS, Everson Andrade dos; SANTOS, Plácida Leopoldina Ventura Amorim da Costa. In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2013.

RESENDE, Robson Rodrigues; VALE, Antonio Bartolomeu do; SOARES, Thelma Shirlen; SILVA, Márcio Lopes da; COUTO, Laércio; VALE, Rodrigo Silva do. Emprego de um modelo de crescimento e produção para determinação da rotação em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 219-225, 2004.

RIBEIRO, Francisco Assis de; MACEDO, Paulo Renato de O.; MENDES, Carlos José; FILHO Walter Suiter. Projeto: Segunda rotação de eucaliptos. **Série técnica IPEF**, v. 4, n. 1, p. 23-29, 1987.

RODRIGUES, Carla Regina Blanski; ZOLDAN, Marcos Aurelio; LEITE, Magda Lauri Gomes; OLIVEIRA, Ivanir Luiz de. Sistemas Computacionais de apoio a ferramenta Análise de Ciclo de Vida do Produto (ACV). In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Rio de Janeiro, 2008.

RODRIGUEZ, Luiz Carlos Estraviz. Um critério de decisão para reforma ou condução de eucaliptais que considera a distância de transporte. **Série Técnica IPEF**, v. 11, n. 30, p. 47-50, 1997.

RODRIGUEZ, Luiz Carlos Estraviz; BUENO, Ana Raquel Santos; RODRIGUES, Fabiano. Rotações de eucaliptos mais longas: análise volumétrica e econômica. *Scientia Forestalis*, n. 51, p. 15-28, 1997.

ROSENBAUM, Ralph K.; ANTON, Assumpció; BENGUA, Xavier; BJORN, Anders; BRAIN, Richard; BULLE, Cécille; CORME, Nuno; DIJKMAN, Teunis J.; FANTKE, Peter; FELIX, Mwema; GEOGHEGAN, Trudyanne S.; GOTTESBUREN, Bernhard; HAMMER, Carolyn; HUMBERT, Sebastien; et al. The Glasgow consensus on the delineation between pesticide emission inventory and impact assessment for LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 6, p. 765-776, 2015.

ROYALMAQUINAS. Disponível em <<https://www.royalmaquinas.com.br/perfurador-de-solo-a-gasolina-bt-121-stihl.html>> Acesso em 13 jun. 2016.

SANTOS, P. E. T. **Tratamento de mudas**. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/eucalipto/arvore/CONTAG01_37_2572006132315.html> acesso em 28 abr 2016.

SSRH/CRHi – SECRETARIA DE SANEAMENTO E RECURSOS HÍDRICOS/COORDENADORIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo**, 2011. 208 p. ISBN 978-85-65214-01-8.

SHIGAKI, Francirose. **Transporte de fósforo na enxurrada superficial em função do tipo de fonte de P e intensidade das chuvas**: Relevância à gerência ambiental em sistemas de produção brasileiros. 2006. 113 f. Tese (Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SHIMBO, Júlia Zanin. **Zoneamento geoambiental como subsídio aos projetos de reforma agrária. Estudo de caso: assentamento rural Pirituba II (SP)**. 138. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

SILMAQUINAS. Disponível em <<http://silmaquinas.com.br//motosserra-a-gasolina-gs-268-tipo-husqvarna-belo-horizonte>> Acesso em 05 mai 2016.

SILVA, Diogo Aparecido Lopes. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012 a.

SILVA, Diogo Aparecido Lopes; LAHR, Francisco Antonio Rocco; GARCIA, Rita Pinheiro; FREIRE, Fausto Miguel Cereja Seixas; OMETTO, Aldo Roberto. Life cycle assessment of medium density particleboard (MDP) produced in Brazil. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 7, p. 1404-1411, 2013.

SILVA, Franciani Rodrigues; ALBUQUERQUE, J. A.; GATIBONI, L. C.; MARANGONI, J. M. Cinza de biomassa florestal: Alterações nos atributos de solos ácidos do Planalto Catarinense e em plantas de eucalipto. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 6, p. 475-482, 2009.

SILVA, Orlando Cristiano da. **Uma avaliação da produção de bioetanol no contexto da agricultura familiar a partir da experiência da Cooperbio**. 2012. 155 f. Tese (Doutorado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012b.

SILVA, Vera; PEREIRA, Joana Luísa; GONÇALVES, Fernando; KEIZER, Ian Jacob; ABRANTES, Nelson. Efeitos dos fogos florestais nos sistemas aquáticos. In: **Revista Captar: Ciência e Ambiente para Todos**, v. 6, n. 2, 2016.

SIMIONI, Flávio José; SPANIOL, Julia Schlemmer; MOREIRA, José Mauro Magalhães Ávila Paz; FACHINELLO, Arlei Luiz; BUSCHINELLI, Claudio Cesar de Almeida; MATSUURA, Marília Ieda da Silveira Folegatti. **Evolução e concentração da produção de lenha e carvão vegetal de silvicultura no Brasil**. In: Seminário de Iniciação Científica, 23., 2013, Chapecó. Disponível em <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/982559/1/2013RA051.pdf>>. Acesso em: 19 mai. 2015.

SIXEL, Ricardo Michael de Melo. Silvicultura e Manejo. Instituto de Pesquisas Florestais, 2008. Disponível em <<http://www.ipef.br/silvicultura/manejo.asp>> Acesso em: 12 jun. 2016.

SOARES, Ronaldo Viana. Prevenção de incêndios florestais II. Técnicas preventivas. **Revista Floresta**, v. 3, n. 1, 1971. Disponível em <<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/viewArticle/5698>> Acesso em: 13 jun. 2016.

SBS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. Fatos e números do Brasil Florestal, 2008. Disponível em <<http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>> Acesso em: 13 jun. 2016.

SONNEMAN, G.; VIGON. **Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases**. A basis for greener processes and products: “Shonan Guidance Principles”. United Nations Environment Programme, 2011.

STORINO M.; FILHO A. P.; KURACHI S. A. **Cana-de-açúcar**: Aspectos operacionais do preparo do solo. 1 ed. Campinas: Dinardo-Miranda, 2010.

TMO. Disponível em <<http://www.tmo.com.br/produtos/carregadores-em-trator/43-c560/>> Acesso em 05 mai 2016 a.

TMO. Disponível em <<http://www.tmo.com.br/produtos/carregadores-em-trator/43-c560/>> Acesso em 05 mai 2016 b.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME INDUSTRY AND ENVIRONMENT. **Life Cycle Assessment: What it is**. ISBN: 92-807-1546-. 1996.

UFV – UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Conteúdos básicos de geologia e pedologia, 2005. Disponível em <http://www.cefetbambui.edu.br/grupos_de_estudo/gesa/download/livros/geologia_e_%20pedologia_do_solo.pdf>. Acesso em 15 jul. 2016.

_____. **Colheita florestal**. Disponível em <ftp://www.ufv.br/Dea/Disciplinas/Haroldo/ENG337/Apostila_Colheita_Florestal.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2016.

VALDIVIA, Sonia; SONNEMAM, Guido; LEEUW, Bas de. **Life Cycle Assessment**. A business guide to sustainability. UNEP/DTIE, 2007. Disponível em <<http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx0889xPA-LifeCycleManagement.pdf>> Acesso em: 16 jul. 2015.

VALVERDE, Sebastião Renato; SOARES, Naisy Silva; SILVA, Márcio, Lopes; JACOVINE, Laércio Antônio Gonçalves; NEIVA, Sigrid Aquino. O comportamento do mercado da madeira de eucalipto no Brasil. **Revista Biomassa & Energia**, v. 1, n. 4, p. 393-403, 2004.

WANG, Hongtao; WANG, Zhihui; FAN, Cidong; HOU, Ping; HUANG, Na; ZHANG, Hao; HE, Qin; ZHU, Yongguang. Development of Chinese reference Life Cycle Database (CLCD) – Guidelines, Documentation and Tools. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIFE CYCLE MANAGEMENT, 5, 2011, Berlin.

WEIDEMA, B. P.; MEEUSEN, M. J. G. **Agricultural data for life cycle assessment.** Agricultural Economics Research Institute (LEI), 2000. Disponível em < https://www.researchgate.net/profile/Bo_Weidema/publication/268044707_Agricultural_data_for_Life_Cycle_Assessments/links/54e5e3f90cf2bff5a4f1ccdf.pdf > . Acesso em: 11 jun. 2016.

WEIDEMA, Bo P.; BAUER, C.; HISCHIER, Roland, Mutel C, Nemecek Thomas, Reinhard J, Vadenbo C O, Wernet Gregor. **Overview and methodology.** Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent report data v. 3. St. Gallen: The ecoinvent Centre, n. 1, 2013.

WERNER, Frank; ALTHAUS, Hans-Jorg; KUNNIGER, Tina; RICHTER, Klaus; JUNGBLUTH, Niels. **Life cycle inventories of wood as fuel and construction material.** Ecoinvent report. Dubendorf: EMPA, v. 9, 2007.

ZEN, S. de; PERES, F. C. Painel agrícola como instrumento de comunicação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL. Brasília: **Anais...** SOBER, 2002.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Exigências adicionais exigidas para aceitação do conjunto de dados no ecoinvent

- 1) Os nomes do produto, atividade, fluxo de referência devem seguir o padrão dos processos semelhantes já existentes na base de dados

O primeiro passo para a adequação do conjunto de dados no ecoEditor é a análise dos conjuntos de dados semelhantes já existentes na base de dados.

Com base nesta análise, é possível a definição dos nomes dados ao produto de referência (correspondente ao fluxo de referência) e a atividade (correspondente ao nome do processo ou do conjunto de dados). Deve-se buscar estar mais próximo possível dos padrões já utilizados pelos conjuntos de dados semelhantes da base de dados.

Assim, para que esteja em consonância com os demais conjuntos de dados do ecoinvent, o produto de referência teve de ser renomeado como “*cleft timber*”, já que a porção energética da madeira recebe essa denominação dentro do ecoinvent. Além disso, a unidade do produto de referência precisou ser transformada para 1 kg para manter o padrão dos produtos energéticos da madeira da base de dados.

Como no ecoinvent os datasets relacionados a manejo florestal cabiam todos na atividade “*sustainable forest management*”, criou-se uma nova terminologia para a atividade: “*hardwood forestry*”.

- 2) Processos já existentes na base de dados devem ser aproveitados

Uma das principais alterações exigidas no conjunto de dados original está relacionada às operações mecanizadas que devem ser incluídas por meio do uso de processos já existentes na base de dados. Ou seja, ao invés de serem adicionados os fluxos elementares relativos às emissões da combustão nos equipamentos florestais, deve-se utilizar os conjuntos de dados que representam as operações realizadas em campo.

De acordo com os especialistas da base de dados ecoinvent, este procedimento é o mais vantajoso já que abrange, além das emissões e do consumo de combustíveis, o consumo e uso da infraestrutura (equipamento). Acredita-se que este procedimento torna a base de dados mais consistente já que permite que os processos sejam mais interligados.

Para a realização da equivalência das operações realizadas em campo com as operações disponíveis na base de dados, deve-se basear na descrição da atividade e no porte dos equipamentos. Sabe-se que a composição básica dos equipamentos é a mesma, aço, e que a combustão de combustíveis fósseis emite os mesmos gases. Assim, para a realização das equivalências, foi orientado pelos especialistas que o porte do equipamento (peso do equipamento) fosse o mais semelhante possível, além da descrição da atividade. O que resultou nas operações listadas a seguir.

Operação em Itapeva (SP)	Processo da base de dados
Motocoveamento	<i>Power sawing with catalytic converter</i>
Manutenção de estradas	<i>Diesel, burned in building machine</i>
Tombamento	<i>Power sawing with catalytic converter</i>
Extração	<i>Transport, tractor and trailer, agricultural</i>
Carregamento	<i>Diesel, burned in building machine</i>
Manutenção de aceiros	<i>Diesel, burned in building machine</i>

Tais operações possuem unidades de análise padrão. Assim, seus fluxos estão todos em função dessas unidades, que para o processo “*power sawing with catalytic converter*” é de 1 hora, para “*transport, tractor and trailer, agricultural*” é de 1 tkm, ou seja, tonelada vezes quilômetro, e para “*diesel, burned in building machine*” é de 1 MJ.

Para saber qual a proporção necessária da operação disponível na base de dados que representasse a operação real no local de estudo, foi orientada a utilização do consumo de combustível. Por exemplo, sabendo o consumo do mesmo combustível no *dataset* da base de dados, faz-se a equivalência. Por exemplo, sabe-se que a operação “*power sawing, with catalytic converter*” consome 1,25 kg de gasolina para cada 1 hora de operação. Sabendo que para cortar 1 m³ de madeira em Itapeva são consumidos 0,3787 kg de gasolina, tem-se que 0,303 horas da operação são necessárias.

Com base nos rendimentos e consumos das operações já ao longo do trabalho obteve-se as equivalências apresentadas a seguir.

	Operações equivalentes (vermelho = Itapeva (SP); verde = ecoinvent)	Consumo de combustível por unidade de análise do conjunto dedados de Itapeva (kg/m ³)	Consumo de combustível por unidade de referência do <i>dataset</i> do ecoinvent	Quantidade equivalente da operação da base de dados
1	Motocoveamento	0,0089		0,007 hora
	Power sawing with catalytic converter		1,25 kg/hora	
2	Manutenção de estradas	0,0269		1,152 MJ
	Diesel, burned in building machine		0,0234 kg/MJ	
3	Tombamento	0,1893		0,151 hora
	Power sawing with catalytic converter		1,25 kg/hora	
4	Extração	0,3396		7,788 tkm
	Transport, tractor and trailer, agricultural		0,0436 l/tkm	
5	Carregamento	0,0218		0,933 MJ
	Diesel, burned in building machine		0,0234 kg/MJ	
6	Manutenção de aceiros	0,1886		8,062 MJ
	Diesel, burned in building machine		0,0234 kg/MJ	

O mesmo procedimento precisou ser adotado para a equivalência das operações envolvidas no conjunto de dados de produção de mudas.

Os fluxos relacionados ao transporte interno de insumos tiveram de ser incluídos por meio da utilização de um processo já existente na base de dados que aborda uma operação semelhante, chamado “*transport, tractor and trailer, agricultural*”. Sugeriu-se a sua utilização já que, além de abranger o uso do equipamento, ele se mostra mais completo com relação às emissões.

Para a inserção da proporção correta do processo no conjunto de dados, foi preciso adotar procedimento semelhante aos descritos anteriormente, partindo do consumo de combustível por muda para fazer a proporção de quantos tkm de “*transport, tractor and trailer, agricultural*” são necessários por muda, ou seja, 1 tkm de “*transport, tractor and trailer, agricultural*” consome 0,0436 kg de diesel, logo, para 0,0000903 kg de diesel, que é a quantidade consumida por muda produzida, 0,0020713 tkm são utilizados.

Quanto ao transporte final, este não precisou ser adicionado já que quando o presente *dataset* for incluído na versão 3.3 da base de dados, a própria base de dados criará a versão “*market*” da produção de mudas, a qual representa o transporte final do produto.

3) Balanço de materiais

A fim de que se mantenha o balanço de materiais, foi requerido que para os materiais que entram no sistema e não reagem nem são consumidos pelo processo, saídas proporcionais deveriam ser adicionadas, sendo eles: polietileno utilizado na construção da estufa, polipropileno contido nos tubetes das mudas que são reutilizados e a brita utilizada na manutenção das estradas florestais.

4) Volume de produção anual

Para que um conjunto de dados possa ser inserido na base de dados ecoinvent é necessário o conhecimento do volume de produção anual do produto em questão, o qual é utilizado para a modelagem de transporte atribuída aos produtos, na versão “*market*”.

Como já citado anteriormente, o processo relatado por Silva (2012a) abrange a atividade de aquecimento das estufas onde as mudas são produzidas, e para tanto, o viveiro entrevistado consome resíduos e cascas de madeira.

Esta atividade não foi adicionada no conjunto de dados do presente estudo por não ser uma realidade representativa no Brasil. Contudo, na submissão ela foi adicionada por meio da criação de um segundo conjunto de dados. Isso porque o volume de produção anual de um determinado produto é calculado com base nas tecnologias existentes para a produção deste produto.

Como o processo inventariado por Silva (2012a) e Silva et al. (2013) representa 2% da produção nacional, assumiu-se que apenas 5% da produção nacional de mudas é feita em estufas aquecidas. Essa decisão foi tomada com base na opinião dos produtores de mudas consultados no presente trabalho e também na opinião dos especialistas do ecoinvent.

A proporção de 5 e 95% atribuída à produção em estufas aquecidas e em estufas não aquecidas, respectivamente, foi também atribuída ao volume de produção anual no Brasil de mudas de eucalipto. Este volume foi obtido na Pesquisa de Extração Vegetal e Silvicultura (PEVS) que disponibiliza a produção dos diversos produtos do eucalipto no Brasil em 2014.

Para transformação das diferentes unidades atribuídas aos diferentes produtos, a densidade de 474 kg/m³ foi utilizada e para a conversão de kg de

eucalipto para unidades de mudas (unidade do conjunto de dados), utilizou-se o parâmetro de 74,3 kg de madeira por muda foi utilizada. Ambas as informações foram mantidas da publicação que contém o conjunto original das mudas (SILVA, 2012a; SILVA et al., 2013).

Para o conjunto de dados relativo a 5% da produção nacional (de produção de mudas de eucalipto em estufas aquecidas) seguiu-se o mesmo procedimento adotado para o conjunto de dados da madeira de eucalipto, ou seja, as emissões para o ar e o consumo de resíduos de madeira durante o aquecimento das estufas foram substituídas por processos já existentes na base de dados. Sendo eles: “*heat, central or small-scale, other than natural gas*” com o link da atividade “*heat production, hardwood chips from forest, at furnace 50 kW, GLO, 2000-2014*”.

Dessa forma, a produção de calor pela queima de resíduos de madeira abrangeu também a infraestrutura e permitiu a conexão com outros processos da base de dados.

Para o cálculo do volume anual do conjunto de dados da biomassa da região de Itapeva (SP), também foram utilizados os dados da Pesquisa de Extração Vegetal e Silvicultura de 2014, que afirmam que em 2014, em São Paulo (cobertura geográfica determinada para este conjunto de dados), 5.455.859 metros cúbicos de lenha de eucalipto foram produzidos.

Atrelada à produção anual, tem-se também a informação da representatividade, desejável nos conjuntos de dados submetidos.

5) Incertezas

Outra exigência para a aceitação de conjuntos de dados na base de dados ecoinvent é a determinação das incertezas dos fluxos envolvidos por meio da utilização da Matriz Pedigree. Este procedimento foi realizado com base nas informações disponíveis para a produção de mudas em Silva (2012a) e para as características dos fluxos envolvidos na produção florestal na região de Itapeva (SP).

Vale lembrar que a fronteira geográfica considerada para o conjunto de dados submetido e o Estado de São Paulo enquanto a do conjunto de dados do presente trabalho e a região de Itapeva, assim, as incertezas variam, bem como a representatividade dos dados.

6) Propriedades do produto

Outras informações adicionais são ainda requeridas acerca das propriedades do produto final: conteúdo de carbono fóssil, conteúdo de carbono não fóssil, massa úmida e massa seca. Elas são importantes para a realização do balanço de carbono, água e massa seca. Tais balanços devem ser coerentes para que o conjunto de dados seja aceito.

O quadro a seguir resume as principais diferenças adotadas entre o conjunto de dados inicial, o conjunto de dados criado para as análises regionalizadas do presente trabalho e o conjunto de dados final padronizado de acordo com a ferramenta administradora do ecoinvent para representar o Brasil.

	ICV original (SILVA, 2012)	ICV final criado no presente estudo	ICV submetido ao ecoinvent
Transporte interno	Inclui por meio da adição dos fluxos elementares e consumo de combustíveis	Inclui por meio da adição dos fluxos elementares e consumo de combustíveis	Inclui por meio da adição do processo " <i>transport, tractor and trailer, agricultural</i> "
Transporte final do produto	Inclui por meio da adição dos fluxos elementares e consumo de combustíveis	Inclui por meio da adição do processo " <i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3, GLO, market</i> "	Será incluído após a inclusão na versão 3.3 do ecoinvent pela versão " <i>market</i> " do dataset
Aquecimento das estufas	Inclui	Desconsiderado	Criada uma versão com aquecimento (5% da produção nacional) e uma versão sem (95%)
Entrada e saída de tubetes	Não inclui	Incluída por meio de dados secundários	Incluída através de dados secundários
Entrada e saída da infraestrutura	Não inclui	Incluída por meio da extrapolação dos dados do dataset " <i>tree seedling production, GLO</i> "	Incluída por meio da extrapolação dos dados do dataset " <i>tree seedling production, GLO</i> "
Saídas de água	Não inclui	Incluída por meio de dados secundários	Incluída por meio de dados secundários