

Colheita mecanizada do eucalipto para produção de celulose na perspectiva da avaliação do ciclo de vida

Mechanized harvesting of eucalyptus pulp production in the perspective of life cycle assessment

Mecanizado de producción de celulosa de eucalipto en la perspectiva de ciclo de vida

Submetido em 14 outubro 2016 | Aceito em 23 junho 2017 | Disponível em 10 agosto 2017

Marilise Garbin¹

Rossana Coelho Chiamonte¹

Daiane Calheiro¹

Carlos Alberto Mendes Moraes¹

Regina Célia Espinosa Modolo¹

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho ambiental da etapa de colheita mecanizada de plantações de eucalipto na perspectiva da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida. Foram utilizados para produção deste artigo dados referentes à colheita mecanizada de 10 hectares de eucalipto, na cidade de Guaíba, localizada na região metropolitana de Porto Alegre, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O estudo baseia-se em dados primários obtidos através de entrevista, no ano de 2013, e dados secundários, colhidos a partir de bancos de dados científicos e da norma ISO 14040:2009. Com relação aos aspectos ambientais avaliados no estudo, 43% foram caracterizados como sendo de prioridade alta, ou seja, irreversíveis mesmo com ações mitigadoras e 57% moderada, classificados como impactos reversíveis desde que hajam ações mitigadoras. Cabe ressaltar que não foram identificados impactos classificados como sendo de prioridade baixa, e que os graus de prioridade estão diretamente relacionados à magnitude do impacto ambiental. No entanto, em relação aos aspectos ambientais, associados ao grau de risco, observou-se que, dos 52 aspectos apontados no estudo, 60% são aspectos ambientais passíveis de controles e 40% incontroláveis, estando associados à geração de ruído, aos riscos de explosões, às emissões atmosféricas e à geração de resíduo de poda. Conclui-se que a colheita mecanizada, sistema Full Tree, apesar dos impactos ambientais apontados, pode ser considerada vantajosa, por envolver poucos funcionários no processo e ser realizada em curto período de tempo.

Palavras-chave: Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida. Colheita mecanizada. Eucalipto. Impacto ambiental. Full Tree. Silvicultura.

¹ Universidade do vale do Rio dos Sinos – UNISINOS | Email: garbin.mmari@gmail.com

Abstract

The present work aims to evaluate the environmental performance of the step of mechanized harvesting of eucalyptus plantations in the perspective of life cycle assessment. Were used for the production of this article data on the mechanized harvesting of 10 hectares of eucalyptus, in the city of Guaíba, located in the metropolitan region of Porto Alegre, State of Rio Grande do Sul, Brazil. The study is based on primary data obtained through interview, in the year 2013, and secondary data, collected from scientific databases and ISO 14040:2009. With regard to environmental aspects evaluated in this study, 43% were characterized as being of high priority, i.e., irreversible even with mitigating actions and 57% moderate, classified as reversible impacts since there are mitigating actions. It is noteworthy that were not identified impacts classified as of low priority and that the degrees of priority are directly related to the magnitude of environmental impact. However, in relation to environmental aspects associated with the degree of risk, it was observed that, of the aspects referred to in 52 study, 60% are environmental aspects will be subject to controls and 40%, uncontrollable, being associated with the generation of noise, the risk of explosions, atmospheric emissions and pruning residue generation. It is concluded that mechanized harvesting, Full Tree system, despite the environmental impacts, can be considered advantageous, involving few employees in the process and be held in a short period of time.

Keywords: *Life cycle impact assessment, Mechanized harvesting, Eucalyptus, Environmental Impact, Full Tree, Forestry.*

Resumen

El presente trabajo pretende evaluar el desempeño ambiental de la etapa de cosecha mecanizada de las plantaciones de eucalipto en la perspectiva de ciclo de vida. Fueron utilizados para la producción de los datos de este artículo en la cosecha mecanizada de 10 hectáreas de eucaliptos, en la ciudad de Guaíba, situado en la región metropolitana de Porto Alegre, estado de Rio Grande do Sul, Brasil. El estudio se basa en datos primarios obtenidos a través de la entrevista, en el año 2013 y datos secundarios, obtenidos de bases de datos científicas y ISO 14040:2009. Con respecto a aspectos ambientales evaluados en este estudio, 43% fueron caracterizadas como de alta prioridad, es decir, irreversibles incluso con acciones de mitigación y el 57% moderado, clasificado como impacto reversible puesto que hay acciones de mitigación. Es de destacar que no fueron identificados impactos clasificados como de baja prioridad y los grados de prioridad están directamente relacionadas con la magnitud del impacto ambiental. Sin embargo, en relación con los aspectos ambientales asociados con el grado de riesgo, se observó

que, de los aspectos contemplados en el estudio 52, 60% son ambiental aspectos se estar sujetas a controles y 40%, incontrolable, siendo asociados con la generación de ruido, el riesgo de explosiones, emisiones atmosféricas y generación de residuos de poda. Se concluye que cosecha mecanizada, sistema de árbol completo, a pesar de los impactos ambientales, se puede considerar ventajosa, con pocos empleados en el proceso y llevará a cabo en un corto período de tiempo.

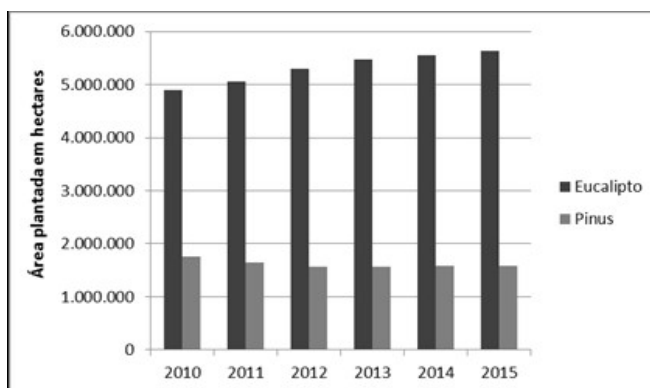
Palabras claves: Evaluación del ciclo de vida, Mecanizado de cosecha, Eucalipto, Impacto ambiental, Full Tree, Forestales.

1. Introdução

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores – Ibá (2016, p.38), a área total de árvores plantadas no Brasil no ano de 2015 totalizou 7,8 milhões de hectares, apresentando crescimento de 0,8% em relação ao ano de 2014.

Os plantios de eucalipto ocupam 5,6 milhões de hectares da área de árvores plantadas do país, enquanto os plantios de pinus ocupam 1,6 milhão de hectares. Segundo o Ibá (2016, p.41), a produtividade do eucalipto aumentou em uma taxa de 0,7% a.a. nos últimos 5 anos, enquanto a do pinus apresentou decréscimo de 1,1% a.a, em decorrência da conversão em áreas de eucalipto, especialmente no Estado do Paraná. Na figura 1 são apresentadas as produções, em hectares, de eucalipto e pinus no Brasil no período de 2010 – 2015.

Figura 1 - Histórico de área plantada de Eucalipto e Pinus / ha.ano.

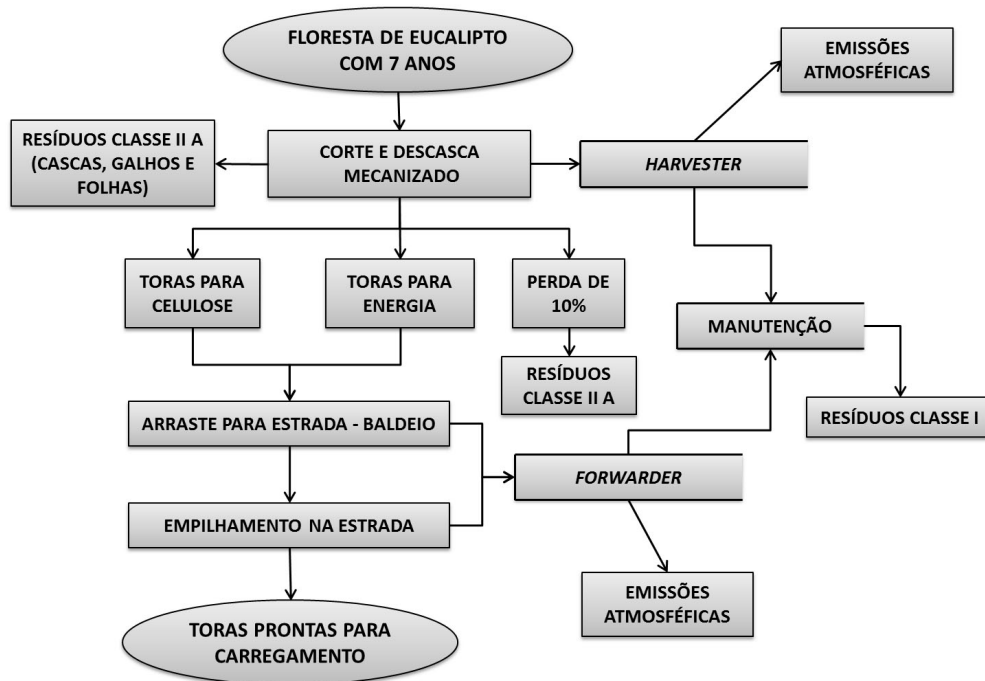


Fonte: Adaptado de IBÁ, 2016, p.72-73.

O objetivo do estudo foi avaliar o desempenho ambiental da etapa de colheita mecanizada de plantações de eucalipto por meio da metodologia definida por Sánchez (2008) e adaptada por Silva (2012) na perspectiva da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida. Escolheu-se a ferramenta ACV, e através dela foi possível identificar oportunidades para a melhoria do desempenho ambiental de produtos e/ou serviços em diversos pontos de seus ciclos de vida.

2. Revisão Bibliográfica

De acordo com Massetto (2014), o processo de colheita florestal consiste em corte e baldeio, que no sistema de colheita mecanizada são realizados pelas máquinas Harvester's e Forwarder's, método conhecido como sistema full tree. Segundo Leite et al. (2013), a Harvester é conhecida como trator de colheita florestal, “[...] constituído de uma máquina base automotriz com rodado de pneus BPAF (baixa pressão e alta flutuação), esteiras metálicas ou mistas (pneus com esteiras), lança hidráulica para alcance das árvores [...]”. Para Santos (2016), o processo de colheita realizado pelo trator florestal Harvester, pode ser interpretado por um conjunto de operações realizadas no interior do talhão, onde o operador não tem contato com as espécies vegetais; o processo consiste em cortar, descascar, desgalhar e seccionar as toras no tamanho estipulado. O Forwarder, segundo Santos (2016), é um trator florestal, utilizado para transportar a madeira cortada pela Harvester até a estrada, onde serão carregadas as toras nos caminhões até a indústria de celulose. De acordo com Bertin (2010), o baldeio florestal consiste em um método simples, no qual as toras cortadas no meio do talhão são transportadas até a estrada por meio de um Forwarder e deixadas em pilhas, para posteriormente serem acondicionadas em caminhões Rodotrem. Na figura 2 está descrito o fluxograma do processo de colheita.

Figura 2 - Fluxograma do processo de colheita do eucalipto.

Fonte: Os autores (2016).

2.1. Impactos ambientais do processo de colheita mecanizada

Silva et al. (2012) avaliaram os principais impactos ambientais oriundos do corte de madeira com a Harvester. Nesse estudo, foram identificados 14 impactos ambientais, sendo 11 impactos negativos e 3 positivos. Dentre os impactos considerados negativos estão compactação do solo, alteração na qualidade do ar, contaminação do solo e recursos hídricos, afugentamento de fauna e atropelamento de animais. O principal aspecto considerado positivo é o aumento da empregabilidade local. Na avaliação dos impactos quanto à magnitude, observaram que 57,14% são de moderada magnitude, 28,7% de alta magnitude e 14,29% de baixa magnitude. Silva et al. (2012), concluíram que ambientalmente o corte florestal com a Harvester é impactante para todos os meios considerados: físico, biótico e antrópico.

Para Andrade (2014), o tráfego intenso de máquinas de colheita e baldeio florestal é considerado a principal atividade que promove a degradação da estrutura do solo em áreas florestais, devido à compactação. Segundo Gonzalez-García et al. (2009), as emissões oriundas da combustão de combustíveis fósseis (diesel ou gasolina), dos equipamentos utilizados nas atividades de colheita e transporte contribuem para numerosas categorias de impacto, tais como mudança climática, acidificação e oxidação fotoquímica. No estudo realizado por Morales et al. (2015), as fases da colheita, fertilização do solo e transporte das toras são os principais responsáveis pelos impactos ambientais avaliados ao longo de todo o manejo florestal, com destaque para a utilização de fertilizantes e o alto consumo de diesel.

2.2. Sustentabilidade na silvicultura

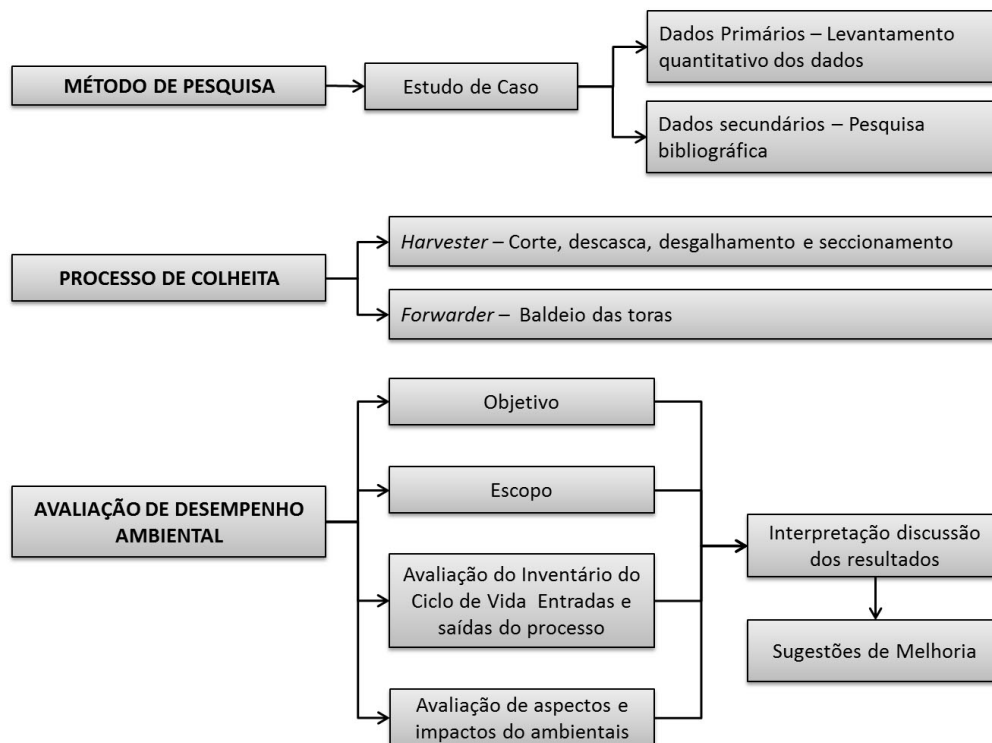
Segundo a FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2010, p.8-14), é importante seguir os princípios para a gestão responsável de florestas plantadas que consiste em bom gerenciamento na tomada de decisões junto a uma equipe multidisciplinar, na organização eficaz, na valorização dos bens e serviços, no ambiente favorável para o cultivo, na valorização do mercado, no reconhecimento dos valores culturais e sociais, na manutenção sustentável do ambiente e na conservação da biodiversidade local e paisagística.

De acordo com a Embrapa (2016), a sustentabilidade na silvicultura deve envolver um sistema de baixo impacto no solo, na água, na biodiversidade, no carbono e no uso de agrotóxicos. Para a Embrapa (2016), a prática florestal geralmente utiliza duas certificações que comprovam os aspectos socioeconômicos e ambientais, em que é possível rastrear a matéria-prima florestal desde a colheita até a comercialização no consumidor final, sendo essas a FSC – Forest Stewardship Council (Conselho de Manejo Florestal) e o Programa Brasileiro de Certificação Florestal (Cerflor).

3. Metodologia

O presente trabalho é um estudo de caso acerca do desempenho ambiental da etapa de colheita envolvida no manejo de 10 hectares de plantações de eucalipto localizadas no município de Guaíba, no Estado do Rio Grande do Sul. O estudo baseia-se em dados primários obtidos através de entrevista, no ano de 2013, e dados secundários, colhidos a partir de bancos de dados científicos e na norma ISO 14040:2009, que está detalhada no fluxograma da figura 3.

Figura 3 – Fluxograma da metodologia



Fonte: Os autores (2016).

A produtividade da madeira é calculada com base no sortimento florestal. Cada floresta apresenta uma característica distinta com relação aos sortimentos, que consiste em uma avaliação realizada in loco no diâmetro e no comprimento das árvores. Os sortimentos utilizados para definição dos percentuais no balanço de massas, 72% de toras para celulose, 18% para energia e 10% de perda, na avaliação do inventário, estão baseados nas características da produção dos 10ha avaliados, tais como idade, desenvolvimento, incremento médio anual - IMA (crescimento médio da floresta até a idade do corte), tratos culturais e necessidade de comercialização.

Para cálculo das emissões atmosféricas gerados na queima do óleo diesel, utilizou-se como base a metodologia descrita no manual do IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006) para combustões móveis, categoria transportes off-road, veículos e máquinas utilizados na silvicultura.

3.1. Objetivo e escopo

O objetivo do estudo é avaliar o desempenho ambiental da etapa de colheita mecanizada de plantações de eucalipto, no sistema full tree, para a fabricação de celulose.

Para realização do estudo foi realizada a metodologia definida por Sánchez (2008) e adaptada por Silva (2012) na perspectiva da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida. Teve como escopo o corte e baldeio mecanizado de eucalipto para fabricação de celulose, na cidade de Guaíba, localizada na região metropolitana de Porto Alegre, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, dentro de 10 hectares de floresta plantada com idade de 7 anos.

Para validação da qualidade da fonte dos dados utilizou-se a Matriz Pedigree, quadro 1, de Weidema (1998).

Quadro 1 – Requisitos de qualidade de dados.

IQD	NOTA				
	1	2	3	4	5
Confiabilidade	Dados checados baseados em medições	Dados checados baseados parcialmente em suposições, ou dados não checados baseados em medições	Dados não checados baseados parcialmente em suposições	Estimativa qualificada	Estimativa não qualificada
Correlação temporal	< 3 anos de diferença	< 5 anos de diferença	< 10 anos de diferença	< 15 anos de diferença	Desconhecido ou > 15 anos
Correlação geográfica	Dados de uma área adequados	Dados médios de uma área maior	Dados de uma área com uma estrutura de produção similar	Dados de uma área com uma estrutura de produção levemente similar	Desconhecida ou de área diferente
Correlação tecnológica	Dados dos processos em estudo e de uma empresa específica	Dados dos processos em estudo, de diferentes empresas	Dados dos processos em estudo, de diferentes tecnologias	Dados de materiais e processos relacionados com a mesma tecnologia	Dados de materiais e processos relacionados com diferentes tecnologias

Fonte: Adaptado de Weidema, 1998.

3.2. Inventário

O inventário do ciclo de vida tem como objetivo quantificar as necessidades de energia, matéria-prima, resíduos sólidos, líquidos e gasosos entre outras perdas quantificáveis. Os dados apresentados nesta etapa foram obtidos através de entrevista, no ano de 2013, com um Técnico em Florestal, que na época atuava como diretor comercial e de operações em uma empresa do ramo florestal, especializada no sistema Full Tree de colheita de eucalipto, atuando diretamente no campo.

Com base nos requisitos de qualidade de dados apresentados por Weidema (1998), justifica-se como Índice de Qualidade Ambiental para este estudo os dados que são apresentados no quadro 2.

Quadro 2 - Índice de Qualidade Ambiental aplicado ao estudo baseado na metodologia de Weidema (1998).

IQD	PONTOS	JUSTIFICATIVA
Confiabilidade	3	Dados utilizados não foram coletados in loco e sim fornecidos através de entrevista.
Correlação Temporal	2	Dados fornecidos no ano de 2013.
Correlação Geográfica	1	Dados de uma área específica, com 10 hectares no município de Guaíba/Rio Grande do Sul.
Correlação Tecnológica	1	Dados dos processos estudados de uma empresa específica.

Fonte: Adaptado de Weidema, 1998.

Com base nas características florestais da área estudada no município de Guaíba, foram destinadas 72% das toras para celulose, 18% para energia e 10% de perda. Os critérios utilizados na definição desses percentuais são:

- **Indústria de celulose:** as árvores devem possuir diâmetros que variam de 15 cm a 40 cm, com comprimentos produzidos em três diferentes tamanhos: 2,4m, 3,5m e 5,6m. A definição do comprimento varia conforme a necessidade do cliente, devendo a tora ser obrigatoriamente descascada;

- **Produção energética:** toras com sortimentos variados, oscilando entre 4,0 cm e 14 cm de diâmetro, com comprimentos entre 1,0 m, 2,2 m e 3,5 m. Não é necessário o descasque das toras;

- **Perdas:** são os resíduos florestais, árvores com diâmetros inferiores a 4,0 cm, sobras de galhos e cascas gerados no processo.

De acordo com o IPCC (2006), existem três métodos para estimar as emissões de combustão, CO₂, CH₄ e N₂O, em fontes móveis off-road. Para este estudo utilizou-se a metodologia mais aplicada para estimar as emissões de gases com efeito de estufa de fontes de energia, descrita na equação 1.

$$Emissões = \sum_j (combustível_j * FE_j)$$

Equação 1

Onde:

Emissões = Emissões (Kg) / Combustível_j = combustível consumido (TJ) /

EF_j = Fator de emissão (Kg/TJ) / J = Tipo de combustível

Os cálculos foram realizados para emissões atmosféricas provenientes da queima do óleo diesel e os dados referentes ao consumo do óleo diesel foram obtidos em litros. Para utilização da metodologia definida pelo IPCC (2006), foram realizadas as conversões necessárias para aplicação na equação 1, descrita anteriormente, litros para Kg e quantidade total de combustível consumido (kg) para terajoule (TJ). A portaria nº 285/2015 do Instituto Nacional de Metrologia (Inmetro) estabelece os valores para densidade e poder calorífico do óleo diesel utilizado no Brasil, conforme quadro 3. A densidade do óleo diesel, de acordo com essa portaria, é de 0,83 Kg/L e seu poder calorífico, 42,93 MJ/Kg.

Quadro 3 – Propriedades dos combustíveis

	Unidade	E00	E22	E100 (AEHC)	Diesel		Unidade	GNV
Poder calorífico	MJ/kg	43,06	38,92	24,80	42,93		MJ/kg	48,74
Densidade	Kg/l	0,735	0,745	0,810	0,830		Kg/Nm ³	0,723
Densidade energética	MJ/l	31,65	28,99	20,09	35,65		MJ/Nm ³	35,24

Fonte: Inmetro, 2015.

O IPCC (2006) fornece os dados referentes aos fatores de emissões que devem ser aplicados na fórmula 1. Na quadro 4 estão descritos os valores aplicados ao óleo diesel. Os fatores de emissões, considerados neste estudo, foram os dados padrões relativos à floresta.

Quadro 4 – Fatores de emissões para fontes móveis Off-road aplicados pelo IPCC (2006)

DEFAULT EMISSIONS FACTORS FOR OFF-ROAD MOBILE SOURCES AND MACHINERY									
CO ₂				CH ₄			N ₂ O		
Off-Road Source	Default (kg/TJ)	Lower	Upper	Default (kg/TJ)	Lower	Upper	Default (kg/TJ)	Lower	Upper
Diesel									
Agriculture	74 100	72 600	74 800	4.15	1.67	10.4	28.6	14.3	85.8
Forestry	74 100	72 600	74 800	4.15	1.67	10.4	28.6	14.3	85.8
Industry	74 100	72 600	74 800	4.15	1.67	10.4	28.6	14.3	85.8
Household	74 100	72 600	74 800	4.15	1.67	10.4	28.6	14.3	85.8

Fonte: IPCC, 2006.

Neste estudo não se calcularam as emissões atmosféricas emitidas na queima do óleo lubrificante, calculou-se apenas a quantidade utilizada em kg. A empresa utiliza o óleo lubrificante CI-4 SAE 15W40 para motores diesel, com densidade de 0,88 a 20°C, valor descrito na FISPQ do produto.

3.3. Avaliação dos impactos ambientais

Apesar de a estrutura do trabalho seguir as quatro fases da Avaliação do Ciclo de Vida descritas na norma ISO 14040:2014, a etapa de Avaliação de Impactos Ambientais foi realizada por meio da metodologia definida por Sánchez (2008, p.287-311) e adaptada por Silva et al. (2012).

A atribuição de pontos foi adaptada da metodologia proposta por Sánchez (2008, p.299), na qual ordena-se a pontuação conforme maior importância dos critérios estabelecidos para a magnitude do impacto. Os critérios utilizados na

avaliação dos impactos ambientais, na composição do somatório da magnitude e os valores atribuídos a pontuação, encontram-se descritos no quadro 6. O valor atribuído à magnitude (MN) é resultado do somatório descrito na equação 2 (adaptado de Siva, 2012).

$$MN = Ab + Rl + Op + Fq + Rv$$

Equação 2

Onde: MN: Magnitude/ Ab: Abrangência / Rl: Relevância / Op: Operacional / Fq: Frequência / Rv: Reversibilidade

Na elaboração da planilha de aspectos e impactos ambientais utilizou-se também a categoria de impacto denominada Grau de Risco, que está diretamente associada aos aspectos ambientais, descrita no quadro 5.

Quadro 5 – Grau de Risco

Categoria do impacto	Classificação	Significado
Grau de Risco	Controlável	Aspecto que, com medidas mitigadoras é passível de controle.
	Incontrolável	Aspecto que, mesmo com medidas mitigadoras, não é possível controlar.

Fonte: Adaptado de Sánchez (2008).

Quadro 6 - Critérios adotados na valoração da magnitude dos impactos ambientais avaliados.

Categoria de impacto	Classificação	Valor (peso)	Significado
Abrangência	Pontual	1	A alteração ocorre apenas na área diretamente afetada pela atividade
	Local (até 100 Km)	3	A alteração ocorre inclusive na área de influência direta pela atividade
	Regional (acima de 100km)	5	A alteração ocorre inclusive na área de influência direta pela atividade.

(Continua)

Quadro 6 (Conclusão)

Relevância (RI)	Moderadamente relevante	3	A alteração é verificável e/ou passível de ser medida sem caracterizar ganhos e/ou perdas expressivas na qualidade ambiental da região, se comparados à situação original.
	Relevante	5	A alteração é verificável e/ou passível de ser medida sem caracterizar ganhos e/ou perdas expressivas na qualidade ambiental da região, se comparados à situação original.
Operacional (Op)	Normal	1	Impactos relacionados a situações rotineiras. Ex.: geração de resíduos
	Anormal	5	Impactos relacionados a situações não rotineiras, mas que quando ocorrem merecem cuidado. Ex. vazamentos de óleo e combustível das máquinas.
	Emergência	10	Impactos relacionados a situações de emergência. Ex.: incêndios e explosões
Frequência	Semestral ou >	1	Impacto avaliado ocorre raramente
	Mensal ou >	2	Impacto avaliado ocorre mensalmente ou em um prazo de até 6 meses
	Semanal	3	Impacto avaliado ocorre pelo menos uma vez por semana
	Diária	4	Impacto avaliado ocorre diariamente rotineiramente
Reversibilidade (RV)	Reversível	1	Situação na qual o meio impactado retorna a uma dada situação de equilíbrio semelhante àquela que estaria estabelecida caso o impacto não tivesse ocorrido
	Irreversível	3	O meio se mantém impactado apesar da adoção de ações de controle dos aspectos ambientais e/ou de mitigação dos impactos negativos, caracterizando, impactos não passíveis de reversão na sua totalidade ou em parte
Magnitude (M N)	Baixa	< ou = a 9	Somatória dos valores atribuídos aos critérios de valoração de baixa magnitude, totalmente reversível com ações imediatas
	Moderada	10 a 15	Somatória dos valores atribuídos aos critérios de valoração de moderada magnitude, reversível com ações mitigadoras
	Alta	> ou = a 16	Somatória dos valores atribuídos aos critérios de valoração de alta magnitude, irreversíveis, mesmo com ações mitigadoras

Fonte: Adaptado de Sánchez (2008) e Silva et al.(2012).

4. Resultados e discussão

4.1. Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida

Os dados obtidos nessa etapa estão apresentados na tabela 1. É necessário, para realização da colheita, uma máquina Harvester e uma máquina Forwarder, cada uma operando com três funcionários, divididos em três turnos de 8.8h; conta-se ainda com um mecânico (plantonista) e um supervisor. O processo todo ocorre em um período de 8 dias de trabalhos ininterruptos, totalizando 192h de trabalho. As máquinas utilizadas operam 24h, parando 1h para manutenção a cada 12h de trabalho. Logo, nesse período tem-se 180h trabalhadas, com máquinas operando, e 13h paradas para manutenção.

Tabela 1 – Entradas e saídas do processo de colheita mecanizada do eucalipto

ENTRADA				PROCESSO PRODUTIVO	SAÍDA		
Produtividade		QTD		COLHEITA MECANIZADA	Produto	QTD	Un.
Árvores inteiras		11.000un.			Toras para celulose - 72%	7,92	un.
					Toras para energia - 18%	1,98	un.
					Considerando 10% de perda	1,11	un.
Insumos		QTD	Un.		Emissões ATM (óleo diesel)	QTD (kg)	
Operação	Óleo diesel (consumo de 17L/h)	5079,6	kg		CO2	16,30	
	Óleo lubrificante (2,4 L/h, 180h)	760,32	kg		CH4	0,91	
	Graxa				15	kg	N2O
	Gerador	Óleo diesel	44,82 kg		kg	Resíduos Sólidos	QTD unidades
					Emb. metálicas contaminadas (lubrificante) tambores	4 un.	60
				Emb. plásticas contaminadas (baldes)	3 un.	1,2	
				Cascas, galhos e folhas	não quantificado		

Fonte: Os autores (2016).

Com base nos dados apresentados na tabela 1, observou-se que a produtividade de eucaliptos na área é de aproximadamente 11 mil unidades de árvores; destas, 72% (7.920 unidades) são encaminhados para indústria de celulose, 18% (1.980 unidades) são utilizados para produção de energia e 10% (1.100 unidades) são consideradas perdas, ficando no local.

O consumo total de óleo diesel durante a colheita é de 6.174 L, esse valor foi convertido para kg para realização do cálculo de emissões atmosféricas, totalizando 5.124,42 kg. O abastecimento é realizado in situ, a empresa responsável pela colheita disponibiliza um caminhão comboio padrão abastecido, com capacidade de 5 mil litros. Para atender à demanda são utilizados dois caminhões, e o diesel abastece também o gerador que é utilizado na área de vivência dos funcionários. O material restante no tanque, 3.826 L (3.175,58 kg), é encaminhado para outro ponto de colheita.

A quantidade de combustível consumido, em Terajoule (TJ), utilizado no cálculo das emissões atmosféricas foi de 0,22 TJ. Na aplicação da metodologia do IPCC (2006), verificou-se que foram emitidas na queima do óleo diesel 16,30 kg de CO₂, 0,91 kg de CH₄ (19,11 kg de CO₂ eq) e 6,29 kg de N₂O (1.949,9 kg de CO₂ eq). Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2017), o dióxido de carbono (CO₂) é utilizado como referência para classificar o poder de aquecimento global dos demais gases de efeito estufa. O gás metano (CH₄) possui poder de aquecimento global 21 vezes maior que o CO₂ e o óxido nitroso (N₂O) poder de aquecimento global 310 vezes maior que o CO₂.

Durante o processo foram consumidos 864 L (760,32 kg) de óleo lubrificante, 432 L por equipamento. O óleo é disponibilizado em tambores de 200 L, utilizaram-se cinco tambores. O produto restante, 136 L, foi encaminhado para outro ponto de colheita. Restaram quatro tambores (60 kg) para descarte como resíduo classe I - perigoso. A graxa é utilizada durante a manutenção dos equipamentos. Seu consumo total é de 15 kg (7,5 kg por máquina). Esse material é fornecido em baldes de 5 kg cada, sendo utilizados três baldes. Os baldes (1,2 kg) para serem descartados como resíduo classe I - perigoso.

Os galhos, cascas e folhas gerados no processo não são quantificados pela empresa responsável pela colheita, permanecendo no local. No entanto, de acordo com dados do relatório anual da Indústria Brasileira de Árvores (2016, p.70), foram gerados no Brasil em 2015, 32,9 milhões de toneladas de cascas, galhos e folhas.

Os resíduos gerados no processo de colheita foram classificados de acordo com a norma NBR 10.004:2004. A destinação final desses materiais obedece à legislação do Estado do Rio Grande do Sul.

4.2. Avaliação dos impactos ambientais

Identificaram-se, nesta etapa, os pontos de maior preocupação ambiental e os impactos causados durante a colheita mecanizada do eucalipto. As informações obtidas são apresentadas nas planilhas de aspectos e impactos ambientais, tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2 – Aspectos e impactos ambientais do processo de corte e descasca, abastecimento e supervisão

ATIVIDADE	ASPECTO	IMPACTO	Abrangência	Relevância	Operacional	Frequência	Reversibilidade	Magnitude	Prioridade	Grau de Risco
CORTE E DESCASCA / HARVESTER	Consumo de combustível (diesel)	Uso de recursos naturais não renováveis	5	5	1	4	3	18	Alta	Controlável
	Consumo de insumos (óleo lubrificante)	Uso de recursos naturais não renováveis	5	5	1	3	3	17	Moderado	Controlável
	Consumo de insumos (graxa)	Uso de recursos naturais não renováveis	5	5	1	3	3	17	Moderado	Controlável

(Continua)

Tabela 2 (Continuação)

CORTE E DESCASCA / HARVESTER	Consumo de insumos (EPI)	Uso de recursos naturais não renováveis	5	5	1	1	3	15	Moderado	Controlável
	Geração de enxofre	Alteração da qualidade do ar	3	3	1	4	3	14	Moderado	Incontrolável
	Geração de CO2	Alteração da qualidade do ar	3	3	1	4	3	14	Moderado	Incontrolável
	Geração de CH4	Alteração da qualidade do ar	3	3	1	4	3	14	Moderado	Incontrolável
	Geração de N2O	Alteração da qualidade do ar	3	3	1	4	3	14	Moderado	Incontrolável
	Geração de resíduo de poda	Alteração na qualidade do solo	1	3	1	4	3	12	Moderado	Incontrolável
	Geração de Resíduos Contaminados (vazamento)	Contaminação do solo - armazenamento temporário	3	3	1	2	1	10	Moderado	Controlável
		Contaminação da água - armazenamento temporário	3	5	1	2	3	14	Moderado	Controlável
		Coprocessamento	5	3	1	2	3	14	Moderado	Controlável
	Geração de ruído	Afugentamento de animais	1	3	5	4	1	14	Moderado	Incontrolável
		Poluição sonora	1	3	1	4	1	10	Moderado	Incontrolável
	Vazamento de óleo diesel	Contaminação do solo	1	3	5	2	1	12	Moderado	Controlável
		Contaminação da água	3	5	5	2	3	18	Alta	Controlável
	Vazamento lubrificante	Contaminação do solo	1	3	5	2	1	12	Moderado	Controlável
		Contaminação da água	3	5	5	2	3	18	Alta	Controlável
	Vazamento de graxa	Contaminação do solo	1	3	5	2	1	12	Moderado	Controlável
		Contaminação da água	3	5	5	2	3	18	Alta	Controlável
	Explosão do tanque da máquina	Alteração da qualidade do ar	3	3	10	1	3	20	Alta	Incontrolável
		Alteração da qualidade do solo	1	3	10	1	1	16	Alta	Incontrolável

(Continua)

Tabela 2 (Conclusão)

		Alteração da qualidade da água	5	5	10	1	3	24	Alta	Incontrolável
	Circulação no campo da máquina	Compactação do solo	1	3	1	4	1	10	Moderado	Controlável
ABASTECIMENTO	Consumo de óleo diesel	Uso de recursos naturais não renováveis	5	5	1	4	3	18	Alta	Controlável
	Vazamento de óleo diesel	Alteração da qualidade do solo	1	3	5	3	1	13	Moderado	Controlável
		Alteração da qualidade água	3	5	5	3	3	19	Alta	Controlável
	Explosão do caminhão tanque	Alteração da qualidade do ar	3	5	10	1	3	22	Alta	Incontrolável
		Alteração da qualidade do solo	1	3	10	1	1	16	Alta	Incontrolável
		Alteração da qualidade da água	5	5	10	1	3	24	Alta	Incontrolável
SUPERVISÃO	Consumo de gasolina - carro	Uso de recursos naturais não renováveis	5	5	1	4	3	18	Alta	Controlável
	Consumo de energia	Uso de recursos naturais renováveis	5	5	1	4	1	16	Alta	Controlável
	Consumo de material de expediente	Altera a disponibilidade dos recursos naturais	5	5	1	4	3	18	Alta	Controlável
	Geração de resíduos	Contaminação do solo	3	3	1	4	1	12	Moderado	Controlável
		Contaminação da água	3	5	1	4	3	16	Alta	Controlável
		Ocupação de aterros domésticos	3	3	1	4	3	14	Moderado	Controlável
	Geração de enxofre	Alteração da qualidade do ar	3	3	1	4	3	14	Moderado	Incontrolável
	Geração de CO2	Alteração da qualidade do ar	3	3	1	4	3	14	Moderado	Incontrolável

Fonte: Os autores (2016).

Tabela 3 - Aspectos e impactos ambientais gerador

ATIVIDADE	ASPECTO	IMPACTO	Abrangência	Relevância	Operacional	Frequência	Reversibilidade	Magnitude	Prioridade	Grau de Risco
GERADOR	Consumo de Combustível (diesel)	Uso de recursos naturais não renováveis	5	5	1	4	3	18	Alta	Controlável
	Vazamento de óleo diesel	Contaminação do solo	1	3	5	2	1	12	Moderado	Controlável
		Contaminação da água	3	5	5	2	3	18	Alta	Controlável
	Geração de enxofre	Alteração da qualidade do ar	3	3	1	4	3	14	Moderado	Incontrolável
	Geração de CO ₂	Alteração da qualidade do ar	3	3	1	4	3	14	Moderado	Incontrolável
	Geração de CH ₄	Alteração da qualidade do ar	3	3	1	4	3	14	Moderado	Incontrolável
	Geração de N ₂ O	Alteração da qualidade do ar	3	3	1	4	3	14	Moderado	Incontrolável
	Explosão do tanque da máquina	Alteração da qualidade do ar	3	5	10	1	3	22	Alta	Incontrolável
		Alteração da qualidade do solo	1	3	10	1	1	16	Alta	Incontrolável
		Alteração da qualidade da água	5	5	10	1	3	24	Alta	Incontrolável
Geração de ruído	Poluição sonora	1	3	1	4	1	10	Moderado	Incontrolável	
	Afugentamento de animais	1	3	5	4	1	14	Moderado	Incontrolável	

Fonte: Os autores (2016).

Tabela 4 – Aspectos e impactos ambientais do processo de baldeio e manutenção

ATIVIDADE	ASPECTO	IMPACTO	Abrangência	Relevância	Operacional	Frequência	Reversibilidade	Magnitude	Prioridade	Grau de Risco
BALDEIO / FORWARDER	Consumo de combustível (diesel)	Uso de recursos naturais não renováveis	5	5	1	4	3	18	Alta	Controlável
	Consumo de insumos (lubrificante)	Uso de recursos naturais não renováveis	5	5	1	3	3	17	Moderado	Controlável
	Consumo de insumos (graxa)	Uso de recursos naturais não renováveis	5	5	1	3	3	17	Moderado	Controlável
	Consumo de insumos (EPI)	Uso de recursos naturais não renováveis	5	5	1	1	3	15	Moderado	Controlável
	Geração de Enxofre	Alteração da qualidade do ar	3	3	1	4	3	14	Moderado	Incontrolável
	Geração de CO2	Alteração da qualidade do ar	3	3	1	4	3	14	Moderado	Incontrolável
	Geração de CH4	Alteração da qualidade do ar	3	3	1	4	3	14	Moderado	Incontrolável
	Geração de N2O	Alteração da qualidade do ar	3	3	1	4	3	14	Moderado	Incontrolável
	Geração de Resíduos Contaminados	Contaminação do solo - armazenamento temporário	3	3	1	2	1	10	Moderado	Controlável
		Contaminação da água - armazenamento temporário	3	5	1	2	3	14	Moderado	Controlável
		Coprocessamento	5	3	1	2	3	14	Moderado	Controlável
	Geração de ruído	Poluição sonora	1	3	1	4	1	10	Moderado	Incontrolável
		Afugentamento de animais	1	3	5	4	1	14	Moderado	Incontrolável

(Continua)

Tabela 4 (Continuação)

BALDEIO / FORWARDER	Vazamento de óleo diesel	Contaminação do solo	1	5	5	3	1	15	Moderado	Controlável
		Contaminação da água	3	5	5	2	3	18	Alta	Controlável
	Vazamento de lubrificante	Contaminação do solo	1	3	5	2	1	12	Moderado	Controlável
		Contaminação da água	3	5	5	2	3	18	Alta	Controlável
	Vazamento de graxa	Contaminação do solo	1	3	5	2	1	12	Moderado	Controlável
		Contaminação da água	3	5	5	2	3	18	Alta	Controlável
	Explosão do tanque da máquina	Alteração da qualidade do ar	3	5	10	1	3	22	Alta	Incontrolável
		Alteração da qualidade do solo	1	3	10	1	1	16	Alta	Incontrolável
		Alteração da qualidade da água	5	5	10	1	3	24	Alta	Incontrolável
	Circulação no campo das máquinas	Compactação do solo	1	3	1	4	1	10	Moderado	Controlável
MANUTENÇÃO DE MÁQUINAS	Consumo de energia Gerador	Uso de recursos naturais não renováveis	5	5	1	4	1	16	Alta	Controlável
	Consumo de água	Uso de recursos naturais renováveis	5	5	1	4	1	16	Alta	Controlável
	Consumo de insumos (peças)	Uso de recursos naturais não renováveis	5	5	1	4	3	18	Alta	Controlável
	Armazenamento temporário	Contaminação do solo - armazenamento temporário	3	3	1	2	1	10	Moderado	Controlável
		Contaminação da água - armazenamento temporário	3	5	1	2	3	14	Moderado	Controlável

(Continua)

Tabela 4 (Conclusão)

MANUTENÇÃO DE MÁQUINAS	Geração de Resíduos Contaminados	Contaminação do solo - armazenamento temporário	3	3	1	2	1	10	Moderado	Controlável
		Contaminação da água - armazenamento temporário	3	5	1	2	3	14	Moderado	Controlável
		Coprocessamento	5	3	1	2	3	14	Moderado	Controlável
	Risco de Explosão	Alteração da qualidade do ar	3	3	10	1	3	20	Alta	Incontrolável
		Alteração da qualidade do solo	1	3	10	1	1	16	Alta	Incontrolável
		Alteração da qualidade da água	5	5	10	1	3	24	Alta	Incontrolável
	Risco de incêndio	Alteração da qualidade do ar	3	5	10	1	3	22	Alta	Controlável
		Alteração da qualidade do solo	1	5	10	1	3	20	Alta	Controlável
		Alteração da qualidade da água	5	5	10	1	3	24	Alta	Controlável

Fonte: Os autores (2016).

Com base no levantamento de aspectos e impactos, identificaram-se 84 impactos ambientais. Destes, 43% foram caracterizados como de prioridade alta, ou seja, irreversíveis mesmo com ações mitigadoras, e 57% moderada, classificados como impactos reversíveis, desde que haja ações mitigadoras. Cabe ressaltar que não foram identificados impactos classificados como de prioridade baixa, e que os graus de prioridade estão diretamente relacionados à magnitude do impacto ambiental.

No entanto, em relação aos aspectos ambientais, associados ao grau de risco, observou-se que, dos 52 aspectos apontados no estudo, 60% são aspectos ambientais passíveis de controles, e 40%, incontroláveis, estando associados à

geração de ruído, aos riscos de explosões, às emissões atmosféricas e à geração de resíduo de poda.

5. Considerações finais

Com base nos dados obtidos através deste estudo, observou-se que a matéria orgânica deixada no local (cascas, galhos e folhas) poderia ser mais bem utilizada. Sugere-se aqui, um sistema de compostagem controlada com enriquecimento da massa. O composto gerado retornaria ao campo, podendo ser utilizado para melhorar o balanço energético, a reposição de carbono e os nutrientes no solo. Outra importante proposta de melhoria se faz em relação à perda de 10% da produção, que consideramos ser um valor muito alto e sugerindo um estudo de Produção mais Limpa (P+L), visando diminuir esta perda no campo.

Observou-se, no estudo, que existe grande risco de explosões e vazamentos de combustíveis na área da colheita. Ressalta-se a importância de treinamentos dos funcionários para agir em situações de risco. Durante o estudo, não foi informada a existência de áreas de contenções para vazamentos. Sugere-se que este item seja avaliado pelas empresas que atuam na silvicultura, visando diminuir a possibilidade de contaminação do solo e do lençol freático. Com relação à análise das emissões atmosféricas, sugerimos que sejam quantificadas as emissões de enxofre.

Conclui-se que a colheita florestal mecanizada, realizada com as máquinas Harvester e Forwarder, apesar dos impactos ambientais apontados, pode ser considerada vantajosa, pois o processo ocorre em um curto período de tempo e envolve poucos funcionários.

Referências

ACV BRASIL: UMA VISÃO SISTEMICA DA SUSTENTABILIDADE. Avaliação do ciclo de vida. Disponível em: <<http://www.acvbrasil.com.br/avaliacao-do-ciclo-de-vida/>> Acesso em: 28 jul. 2016.

ANDRADE, M. L. de C. Efeito do maquinário de colheita florestal na compactação do solo. 2014. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. 21 páginas. Rio de Janeiro, 2009. Edição revisada 2014.

_____. NBR 10.004:2004 Resíduos Sólidos – Classificação. 71 páginas. Rio de Janeiro, 2004. Segunda edição 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Efeito Estufa e Aquecimento Global. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global>>. Acesso em: 21 de jun. 2017.

BERTIN, Victos Augusto Soares. Análise de dois modais de sistemas de colheita Mecanizados de eucalipto em 1ª rotação. Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agronômicas Campus de Botucatu. Botucatu, São Paulo, 2010.

EMBRAPA FLORESTAL. Plantações Florestais: Geração e benefícios com baixo impacto ambiental, maio de 2016. Colombo, Paraná. Disponível em: <<http://pt.calameo.com/read/004742642b9650bf48980>> Acesso em: 25 set. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA EMBRAPA. TT Florestal: Transferência de Tecnologia Florestal. Perguntas e respostas. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto/perguntas-e-respostas>> Acesso em: 05 ago. 2016.

FAO Forestry. Planted forests in sustainable forest management. A statement of principles. Publicado em 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/012/al248e/al248e00.pdf>>. Acesso em: 05 de out. 2016.

GONZALEZ-GARCÍA, et al. Environmental impacts of forest production and supply of pulpwood: Spanish and Swedish case studies. The International Journal of Life Cycle Assessment. June 2009. Volume 14, pp 340 - 353.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – Iba. Relatório Anual de 2016. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016.

INMETRO. Instituto nacional de metrologia, qualidade e tecnologia. Portaria n.º 285, de 19 de junho de 2015. Brasília. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002264.pdf>>. Acesso em: 06 de jun. 2017.

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 3: Mobile Combustion. Volume 2 Energy, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>> . Acesso em: 05 de jun. 2017.

LEITE et al. Scientia Forestalis: Modelagem técnica e de custos do Harvester no corte de madeira de eucalipto no sistema de toras curtas. Piracicaba, São Paulo, 2013.

MASSETTO, Giovana. Colheita da madeira: mídia especializada em operações florestais. Máquinas de colheita: corte e extração no sistema Full Tree, 2014. Disponível em: <<http://colheitademadeira.com.br/noticias/maquinas-de-colheita-corte-e-extracao-no-sistema-full-tree/>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

MORALES, et al. Credle-to-gate life cycle assessment of Eucalyptus globulus short rotation plantation in Chile. Journal of Cleaner Production 99, 2015. p 239 - 249.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. São Paulo. Oficina de textos, 2008. 495 p.

SANTOS, Diego Weslly Ferreira do Nascimento. Avaliação técnica e econômica de um sistema alternativo de colheita florestal de toras curtas. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2016.

SILVA et al. Avaliação de impactos ambientais do corte florestal com Harvester. Enciclopédia Biosfera, Vol.8, N° 14. Centro Científico Conhecer, Goiânia, Goiás, 2012.

WEIDEMA, BO. P. Multi-User Test of the Data Quality Matrix for Product Life Cycle Inventory Data. Int. J. LCA 3 (5) 25-265 (1998). Landsberg., Germany.