



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
MESTRADO ACADÊMICO EM RECURSOS NATURAIS

ANA LÚCIA FEITOZA FREIRE

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE PAINÉIS OBTIDOS A PARTIR DA CASCA
DE COCO VERDE**

FORTALEZA-CEARÁ

2015

ANA LÚCIA FEITOZA FREIRE

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE PAINÉIS OBTIDOS A PARTIR DA CASCA
DE COCO VERDE

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Recursos Naturais do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Recursos Naturais.

Linha de Pesquisa: Monitoramento de Recursos Naturais.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Cléa Brito de Figueirêdo.

FORTALEZA-CEARÁ

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Estadual do Ceará

Sistema de Bibliotecas

Freire, Ana Lúcia Feitoza.

Avaliação do Ciclo de Vida de Paineis Obtidos a Partir da Casca de Coco Verde [recurso eletrônico] / Ana Lúcia Feitoza Freire. 12% 2015.

1 CD-ROM: il.; 4 1/2 pol.

CD-ROM contendo o arquivo no formato PDF do trabalho acadêmico com 117 folhas, acondicionado em caixa de DVD Slim (19 x 14 cm x 7 mm).

Dissertação (mestrado acadêmico) 12% Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Mestrado Acadêmico em Recursos Naturais, Fortaleza, 2015.

Área de concentração: Monitoramento de Recursos Naturais.

Orientação: Prof.ª Ph.D. Maria Cláudia Brito de Figueiredo.

1. Impacto ambiental. 2. Casca de Coco verde. 3. Paineis. 4. Desempenho Ambiental. I. Título.



Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais
Universidade Estadual do Ceará
Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa
Centro de Ciências e Tecnologia

FOLHA DE APROVAÇÃO – DEFESA DE DISSERTAÇÃO

ALUNO: ANA LÚCIA FEITOZA FREIRE

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "Avaliação do ciclo de Vida de Painéis obtidos a partir da casca de coco verde."

PROFESSOR ORIENTADOR: Profa. Dra. Maria Célia Brito da Figueiredo

BANCA EXAMINADORA:	CONCEITO	ASSINATURA
Profa. Dra. Maria Célia Brito da Figueiredo - EMBRAPA (Presidente)	<u>8,5</u>	<u>M. Célia B. da Figueiredo</u>
Prof. Dr. José Adolfo de Almeida Neto, UESC (Examinador)	<u>8</u>	<u>José Adolfo</u>
Prof. Dr. Carlos Alberto Cáceres Coaquira, UNLAI (Examinador)	<u>8,5</u>	<u>Carlos Alberto</u>
Profa. Dra. Maryleide da Freitas Rosa, EMBRAPA (Examinadora)	<u>8,5</u>	<u>Maryleide Rosa</u>

DATA DA APROVAÇÃO: 27 de Fevereiro de 2015.

HORÁRIO: 10:00 h

LOCAL: Sala Cajá da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Dedico esta Dissertação ao meu esposo Vladwilson e meu filho Gustavo, por terem sido minha fonte de motivação para a conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por me ajudar a superar os desafios diários e permitir mais esta conquista.

Ao meu esposo Vladwilson Mendes Pereira e ao meu filho Gustavo Feitoza Mendes, por estarem sempre comigo, me ajudando em todos os momentos.

A minha Orientadora, Profa. Dra. Maria Cléa Brito de Figueirêdo, pelos seus ensinamentos, pela paciência, compreensão e amizade nesta trajetória. Um exemplo de profissional e ser humano.

Aos meus pais Lúcia de Fátima Feitoza Freire e Francisco Ilson Rodrigues Freire, por não medirem esforços para oferecer a mim todas as oportunidades para o meu crescimento pessoal e profissional.

As minhas irmãs, Rita de Cássia Feitoza Freire, Antonia de Maria Feitoza Freire, Luiza Helena Feitoza Freire e Ana Paula Feitoza Freire, e aos meus sobrinhos, Lívia, Lucas, Levi e Gabriel, por sempre me incentivarem e me apoiarem em todos os momentos da minha vida.

Aos amigos de turma do mestrado: Alexandre Barros, Allyson Queiroz, Ana Carolina Nobre, Ana Clarice Azevedo, Claita Carneiro, Lidiane de Aguiar, Nigéria Gonçalves, Pablito Augusto, Soraya Marques e Carlos Alberto Gomes, pela parceria e amizade nesses dois anos.

Ao colega Celso Pires de Araújo Júnior, pelo seu empenho, dedicação e colaboração com a conclusão deste trabalho.

A colega Tayane Lima, por toda ajuda e amizade ao longo destes dois anos.

A Rita Granjeiro e Adriano Lincoln Albuquerque Mattos pela disponibilidade e colaboração com a coleta de dados desta pesquisa.

Aos pesquisadores Morsyleide de Freitas Rosa e Fábio Rodrigues de Miranda, pelas valiosas contribuições com este trabalho.

Ao Coordenador do MARENA, Prof. Dr. Carlúcio Roberto Alves e aos professores, pelas experiências e atividades acadêmicas vivenciadas durante o mestrado.

À Empresa QGP Química, pelo fornecimento da resina utilizada na elaboração dos painéis.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), pela oportunidade de desenvolver este projeto de mestrado.

A Fundação Cearense de Apoio a Pesquisa (FUNCAP), pelo apoio financeiro.

Ao Instituto Federal do Ceará, por contribuir com a minha qualificação profissional, permitindo meu afastamento das atividades laborais para dedicação exclusiva ao desenvolvimento e conclusão do Mestrado Acadêmico em Recursos Naturais.

RESUMO

Esse trabalho avalia o impacto ambiental considerando o ciclo de vida dos painéis PCCV (HDF e MDF) e PCCVR (MDF UF). A unidade funcional do HDF é um painel com área de 0,011m² e massa de 71g, do MDF, 0,011 m² e massa de 46,22 g e do MDF UF, 0,011 m²e massa de 37,16 g. O sistema de produto compreende os processos: produção agrícola de coco verde, abertura do coco, beneficiamento da casca, transporte, produção de energia e produção do painel. A produção do painel é um macroprocesso composto pelos processos unitários: peneiramento do pó e secagem em estufa, moagem da fibra, secagem da fibra em estufa e prensagem do painel. Os impactos foram avaliados pelo método CML (2001) para as categorias depleção de recursos abióticos, acidificação, eutrofização, aquecimento global, depleção da camada de ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidade (água doce, marinha e terrestre) e formação fotoquímica de ozônio troposférico. A modelagem foi feita em duas situações. A situação (S1) considerando a casca como um resíduo e (S2) considerando a casca como um produto que tem valor comercial proveniente de um processo anterior que é a etapa agrícola. A situação (S2) foi modelada na análise de sensibilidade, no cenário 1 (C1). Outros dois cenários foram avaliados (C2 e C3). No cenário (C2), a avaliação foi feita pelo método EDIP 97, a fim de comparar estes resultados com os obtidos pelo método CML 2001, para as categorias aquecimento global, depleção da camada de ozônio, acidificação, eutrofização e formação fotoquímica de ozônio troposférico. E no cenário (C3) foi realizada avaliação comparativa entre os painéis MDF e MDF UF. Os resultados apontaram que os principais pontos críticos dos painéis PCCV e PCCVR para a situação (S1) ocorrem nas fases de prensagem do painel devido ao consumo de energia; no beneficiamento da casca de coco verde em função dos efluentes gerados no processamento da casca e na lavagem do pó e o transporte, devido aqueima de combustíveis fósseis na operação do caminhão. No caso do PCCVR (MDF UF), outro ponto crítico é o uso de resina uréia-formaldeído (UF). Na situação (S2), os principais pontos críticos ocorrem na fase agrícola devido ao uso de fertilizantes NPK, consumo de energia na irrigação e o uso de diesel na colheita dos frutos. O painel HDF apresentou desempenho ambiental inferior ao MDF devido ao maior consumo de insumos e matéria prima; e em relação ao painel MDF UF comparado ao MDF, a análise de incerteza mostrou que não é possível afirmar que o desempenho ambiental do MDF-UF é inferior ao MDF, pois a significância foi inferior a 95% para a maioria das categorias analisadas.

Palavras-chave: Impacto Ambiental. Casca de Coco Verde. Painéis. Desempenho Ambiental

ABSTRACT

This study evaluates the environmental impact considering the life cycle of PCCV panels (HDF and MDF) and PCCVR (MDF UF). The functional unit is a HDF panel of area 0,011m² and mass 71g, MDF, 0.011 m² and mass MDF UF 46.22 g, 0.011 m² e mass 37.16 g. The product system comprises the processes: agricultural production of green coconut, coconut opening, processing the husk, transportation, energy production and panel production. The production of the panel is composed of one macro process unit processes: sieving the powder and oven drying, grinding fiber, fiber oven drying and pressing of the panel. The impacts were evaluated by the CML method (2001) for the categories of abiotic resources depletion, acidification, eutrophication, global warming, depletion of the ozone layer, human toxicity, ecotoxicity (freshwater, marine and terrestrial) and photochemical formation of tropospheric ozone. The modeling was done in two situations. The situation (S1) considering the husk as waste and (S2) considering the husk as a product that has commercial value from a previous case that is the agricultural stage. The situation (S2) was modeled in the sensitivity analysis in scenario 1 (C1). Two other scenarios were evaluated (C2 and C3). In scenario (C2), the assessment was made by EDIP 97 method in order to compare these results with those obtained by the CML 2001 method, for the categories global warming, depletion of the ozone layer, acidification, eutrophication and photochemical formation of tropospheric ozone. And in the scenario (C3) was performed benchmarking between the MDF and MDF panels UF. The results showed that the main critical points of PCCV and PCCVR panels to the situation (S1) occur in the pressing stages of the panel due to energy consumption; the processing of coconut husk according to the effluents generated in processing the husk and washing powder and transport due aqueima of fossil fuels in truck operation. In the case of PCCVR (MDF UF), another critical issue is the use of urea-formaldehyde resin (UF). In the situation (S2), the main hot spots occur in the agricultural phase due to the use of NPK fertilizers, energy consumption in irrigation and the use of diesel in the fruit harvest. The HDF panel presented lower environmental performance MDF due to increased consumption of inputs and raw materials; and in relation to UF MDF panel compared to MDF, uncertainty analysis showed that it is not possible to state that the environmental performance of MDF-UF is lower than the MDF because significance was less than 95% for most categories analyzed.

Keywords: Environmental Impact. Green Coconut Shell. Panels. Environmental Performance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Fases de uma ACV.....	26
Figura 2 -	Resíduos de coco verde em vazadouro a céu aberto.....	35
Figura 3 -	Sistema de produto para o painel PCCV HDF (S1).....	60
Figura 4 -	Sistema de produto para o painel PCCV MDF (S1).....	61
Figura 5 -	Sistema de produto para o painel PCCVR MDF UF (S1).....	61
Figura 6 -	Sistema de produto considerando a S2 para o painel PCCV HDF.....	68
Figura 7 -	Sistema de produto considerando a S2 para o painel PCCV MDF.....	68
Figura 8 -	Sistema de produto considerando a S2 para o painel PCCV MDF UF.....	68
Figura 9 -	Contribuição relativa (percentual) dos processos unitários no ciclo de vida do painel PCCV-HDF.....	78
Figura 10 -	Contribuição relativa (percentual) dos processos unitários no ciclo de vida do PCCV-MDF.....	80
Figura 11 -	Contribuição relativa (percentual) dos processos unitários no ciclo de vida do PCCVR-MDFUF.....	82
Figura 12 -	Contribuição relativa (percentual) dos processos unitários no ciclo de vida dos painéis, em cada categoria de impacto.....	86
Figura 13 -	Contribuição relativa (percentual) das etapas do ciclo de vida do painel PCCV-HDF analisado pelos métodos EDIP 97 e CML 2001.....	87
Figura 14 -	Contribuição relativa (percentual) das etapas do ciclo de vida do painel PCCV -MDF analisado pelos métodos EDIP 97 e CML 2001.....	88
Figura 15 -	Contribuição relativa (percentual) das etapas do ciclo de vida do painel PCCVR -MDF UF analisado pelos métodos EDIP 97 e CML 2001.....	89
Figura 16 -	Área de vegetação nativa (caatinga).....	106
Figura 17 -	Viveiro de mudas.....	106
Figura 18 -	Muda de coqueiro.....	106
Figura 19 -	Fruto semente.....	106
Figura 20 -	Plantio de coqueiros no primeiro ano.....	106
Figura 21 -	Coqueiro em Produção.....	106
Figura 22 -	Restos culturais como cobertura morta.....	107
Figura 23 -	Colheita dos frutos.....	107
Figura 24 -	Trator utilizado na colheita.....	107
Figura 25 -	Caminhões descarregando os cocos.....	109

Figura 26 -	Processo de abertura do coco.....	109
Figura 27 -	Bacia de extração de água de coco.....	109
Figura 28 -	Cascas após a abertura dos frutos.....	109
Figura 29 -	Cascas descarregando no caminhão.....	109
Figura 30 -	Cascas sendo descarregadas.....	111
Figura 31 -	Cascas de coco sendo pesadas.....	111
Figura 32 -	Equipamento para processar a casca de coco.....	111
Figura 33 -	Fibra da casca de coco verde.....	111
Figura 34 -	Pó da casca de coco verde.....	111
Figura 35 -	Líquido da Casca de Coco (LCCV).....	111
Figura 36 -	Lavagem do Pó.....	112
Figura 37 -	Secagem do pó ao sol.....	112
Figura 38 -	Secagem da fibra ao sol.....	112
Figura 39 -	Peneiramento do Pó.....	113
Figura 40 -	Pó na estufa de circulação de ar.....	113
Figura 41 -	Verificação da umidade do pó em balança infra-vermelho.....	113
Figura 42 -	Moagem da fibra em moinho de facas.....	113
Figura 43 -	Fibra seca em estufa de circulação de ar.....	113
Figura 44 -	Preparação da mistura Pó/Fibra.....	113
Figura 45 -	Mistura Pó/Fibra.....	114
Figura 46 -	Preparação da mistura no molde.....	114
Figura 47 -	Prensa hidráulica.....	114
Figura 48 -	Painel de casca de coco verde (PCCV).....	114
Figura 49 -	Resina UF, Sulfato de amônia e Emulsão de parafina.....	114
Figura 50 -	Preparação da mistura pó/fibra, resina UF e aditivos.....	114
Figura 51 -	Mistura pó/fibra com resina UF e aditivos.....	115
Figura 52 -	Painel de Casca de Coco verde com resina (PCCVR).....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Produção de coco, área plantada e produtividade do coqueiro dos principais estados brasileiros.....	34
Tabela 2 -	Classificação de painéis de fibra quanto à densidade.....	42
Tabela 3 -	Estudos de ACV de painéis de madeira.....	47
Tabela 4 -	Especificações físicas e mecânicas dos painéis (PCCV e PCCVR).....	59
Tabela 5 -	Inventário do ciclo de vida da produção do PCCV (HDF).....	69
Tabela 6 -	Inventário do ciclo de vida da produção do painel PCCV MDF.....	71
Tabela 7 -	Inventário do ciclo de vida da produção do painel PCCVR MDF UF.....	72
Tabela 8 -	Análise comparativa de impacto dos painéis HDF e MDF (Monte Carlo).....	74
Tabela 9 -	Análise comparativa de impacto dos painéis HDF e MDF UF (Monte Carlo).....	75
Tabela 10 -	Análise comparativa de impacto dos painéis MDF e MDF UF (Monte Carlo).....	76
Tabela 11 -	Principais pontos críticos dos painéis (HDF, MDF sem resina UF e MDF com resina UF).....	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAE	Avaliação Ambiental Estratégica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASCV	Avaliação Social do Ciclo de Vida
CCV	Custeio do Ciclo de Vida
CED	Cumulative Energy Demand
CFC	Clorofluorcarbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTU	Unidade Comparativa de Tóxicos
DDT	Dicloro Difenil Tricloroetano
EF	Emissões de Formaldeído
EIA/RIMA	Estudos de Impacto Ambiental/Relatórios de Impacto do meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FF	Fenol-Formaldeído
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos
GEE	Gases de Efeito Estufa
HDF	Hard Density Fiberboard
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudança Climática
ISO	International Organization for Standardization
LCCV	Líquido da Casca de Coco Verde
LLP	Líquido da Lavagem do Pó
MDF	Médium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
MF	Melamina-Formaldeído
MUF	Melamina-Uréia-Formaldeído
OSB	Oriented Strand Board
PAF	Fração Potencialmente Afetada de Espécies
PCCV	Painel de Casca de Coco Verde
PCCVR	Painel de Casca de Coco Verde com Resina
PIB	Produto Interno Bruto
SDF	Super Density Fiberboard
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
UF	Uréia-Formaldeído
VOCs	Compostos Orgânicos Voláteis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	17
2.1.1	Importância da Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Sustentável.....	19
2.2	IMPACTO AMBIENTAL.....	19
2.3	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV).....	22
2.3.1	Origem da ACV.....	22
2.3.2	Principais aplicações da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	23
2.3.3	A ACV como ferramenta de Ecodesign.....	24
2.3.4	Limitações da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	24
2.3.5	Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	25
2.3.5.1	Definição do objetivo e escopo.....	26
2.3.5.2	Análise de inventário.....	27
2.3.5.3	Avaliação de impacto.....	27
2.3.5.4	Interpretação.....	28
2.5	DESCRIÇÃO DAS CATEGORIAS DE IMPACTO.....	29
2.5.1	Acidificação.....	29
2.5.2	Aquecimento global.....	29
2.5.3	Eutrofização.....	30
2.5.4	Ecotoxicidade.....	30
2.5.5	Formação fotoquímica de ozônio troposférico.....	30
2.5.6	Toxicidade Humana.....	31
2.5.7	Depleção de recursos abióticos.....	32
2.5.8	Depleção da camada de ozônio.....	32
2.5.9	Radiação ionizante.....	33
2.6	COCO VERDE: ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS.....	33
2.6.1	Importância econômica.....	34
2.6.2	Problemas ambientais provocados pela casca do coco.....	34
2.6.3	Potencial de aproveitamento da casca de coco.....	35
2.6.4	Principais aplicações da casca de coco.....	36
3	ARTIGO - IMPACTOS AMBIENTAIS DE PAINÉIS DE MADEIRA - UMA REVISÃO DE LITERATURA.....	39
4	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE PAINÉIS OBTIDOS A PARTIR DA CASCA DE COCO VERDE.....	57
4.1	INTRODUÇÃO.....	57
4.2	OS PAINÉIS DE CASCA DE COCO VERDE.....	58
4.3	METODOLOGIA.....	60
4.3.1	Unidade Funcional.....	60
4.3.2	Fronteiras do sistema.....	60
4.3.3	Critérios de alocação.....	61
4.3.4	Inventário de dados.....	62
4.3.5	Produção agrícola de coco verde.....	63
4.3.6	Processo de abertura do coco verde para processamento da água.....	65
4.3.7	Beneficiamento da Casca de Coco Verde.....	65
4.3.8	Produção dos painéis PCCV HDF, PCCV MDF e PCCVR MDF UF	66
4.4	CATEGORIAS E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS.....	67

4.5	ANÁLISE DE INCERTEZA.....	67
4.6	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	67
4.7	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	69
4.7.1	Inventário de entradas e saídas.....	69
4.7.2	Avaliação de impacto.....	74
4.7.2.1	Avaliação de impactos - HDF e MDF.....	74
4.7.2.2	Avaliação de impactos - HDF e MDF UF.....	75
4.7.2.3	Avaliação de impactos – MDF e MDF UF.....	76
4.7.2.4	Avaliação de impacto do painel HDF.....	76
4.7.2.5	Avaliação de impacto do painel MDF.....	78
4.7.2.6	Avaliação de impacto do painel MDF UF.....	80
4.8	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	86
4.8.1	Cenário1 (C1).....	86
4.8.2	Cenário2 (C2).....	87
4.8.2.1	Avaliação de impacto pelos métodos CML 2001 e EDIP 97 para o painel HDF.....	87
4.8.2.2	Avaliação de impacto pelos métodos CML 2001 e EDIP 97 para o painel MDF.....	88
4.8.2.3	Avaliação de impacto pelos métodos CML 2001 e EDIP 97 para o painel MDF UF.....	89
4.9	DISCUSSÃO.....	90
4.9.1	Pontos críticos ambientais relacionados aos painéis em diferentes cenários.....	90
4.9.2	Efeitos da escolha de métodos de avaliação de impacto nas avaliações de painéis.....	91
4.10	CONCLUSÕES.....	91
4.11	RECOMENDAÇÕES.....	93
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
	APÊNDICES.....	104
	APÊNDICE A – Fluxograma da Produção Agrícola de Coco Verde.....	105
	APÊNDICE B – Produção Agrícola de Coco Verde.....	106
	APÊNDICE C – Fluxograma do Processo de Abertura do Coco Verde.....	108
	APÊNDICE D – Processo de Abertura do Coco Verde.....	109
	APÊNDICE E – Fluxograma do Beneficiamento da Casca de Coco Verde.....	110
	APÊNDICE F – Beneficiamento da Casca de Coco Verde.....	111
	APÊNDICE G – Produção dos Painéis PCCV e PCCVR.....	113
	APÊNDICE H – Fluxograma da produção dos painéis (PCCV e PCCVR).....	116

1 INTRODUÇÃO

A produção de painéis de madeira reconstituída no Brasil é feita principalmente a partir de madeira reflorestada de *Pinus* e eucalipto. No entanto, nos últimos anos visando a gestão ambiental e inovação tecnológica, estão sendo desenvolvidos painéis a partir de resíduos agroindustriais entre eles a casca de coco verde.

O coco verde é muito consumido nas praias e nas agroindústrias processadoras de água de coco, e em função desse consumo são geradas grandes quantidades de cascas. A casca de coco é um resíduo de difícil degradação, requer grandes áreas nos aterros sanitários e quando decomposto, devido as emissões de metano, contribui para o aquecimento global.

Além disso, a sua disposição incorreta em lixões a céu aberto contribui negativamente para a estética do meio e com a proliferação de vetores de doenças (ROCHA et al. 2010). Portanto, é importante encontrar alternativas que possibilitem o seu reaproveitamento na fabricação de novos produtos como os painéis de casca de coco verde.

Segundo Van Dam et al. (2004) a casca de coco é constituída por 30% de fibra e 70% de pó, ambos com alto teor de lignina. A fabricação de painéis de casca de coco é uma alternativa interessante do ponto de vista econômico e ambiental, pois a lignina presente na casca pode funcionar como um ligante natural, dispensando o uso de resinas sintéticas, que tem em sua composição componentes tóxicos como o formaldeído (VAN DAM et al. 2004).

No entanto, o desenvolvimento de novos produtos requer a avaliação do seu desempenho ambiental para que se possa atuar na redução de possíveis problemas ambientais desde a produção em escala laboratorial ou piloto. Assim, há uma necessidade de avaliar os impactos ambientais dos painéis obtidos a partir da casca de coco verde, para que possam ser identificados seus principais pontos críticos e sugeridas possibilidades de melhoria.

O método de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) vem sendo amplamente utilizado na avaliação do impacto de produtos, processos e serviços. Esse método permite identificar os impactos ambientais potenciais relacionados ao ciclo de vida do painel de casca de coco e compará-lo com painéis similares.

Portanto, este trabalho tem como objetivo geral:

Avaliar o impacto ambiental dos painéis PCCV (HDF e MDF) e PCCVR (MDF UF) elaborados a partir da casca de coco verde, considerando o seu ciclo de vida.

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Inventariar o ciclo de vida dos painéis PCCV(HDF e MDF) e PCCVR (MDF

UF);

- Identificar os principais pontos críticos dos painéis PCCV(HDF e MDF) e PCCVR (MDF UF), e propor alternativas de redução desses impactos;

- Avaliar o impacto ambiental do ciclo de vida dos painéis PCCV(HDF e MDF) e PCCVR (MDF UF), considerando a casca de coco como um resíduo (Situação de referência);

- Realizar análise de sensibilidade em três cenários: (C1) A casca de coco como um produto que tem valor econômico, vindo de um processo anterior, que é a etapa agrícola; (C2) modelagem no método EDIP 97, para as categorias que podem ser comparadas aos resultados obtidos pelo método CML 2001; e (C3) avaliação de impacto comparativa dos painéis PCCV(MDF) e PCCVR (MDF UF);

Os principais fatores que justificam os objetivos desta pesquisa são a importância do resíduo de coco, a possibilidade de utilização desse material na produção de painéis lignocelulósicos, assim como a inexistência de estudos que mostrem o impacto ambiental desse novo produto, ao longo do seu ciclo de vida.

Pesquisas recentes foram desenvolvidas sobre a aplicação da ACV para avaliar o desempenho ambiental de vários tipos de painéis e produtos obtidos a partir de painéis diversos. Alguns desses trabalhos foram realizados no Brasil e outros no exterior. No entanto, não existem estudos brasileiros sobre ACV de painéis obtidos a partir da casca de coco verde, que possam apontar os principais gargalos ambientais desse produto e seu processo de produção.

Este trabalho de dissertação está organizado em três capítulos: i) Fundamentação teórica sobre temas abordados neste estudo, como Desenvolvimento Sustentável, impacto ambiental, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e os aspectos econômicos e ambientais do coco verde; ii) Revisão da literatura de avaliações ambientais de painéis diversos e outro de aplicação da ACV no estudo de painéis obtidos a partir da casca de coco verde.

A pesquisa proposta é original e contribuirá para a melhoria do desempenho ambiental de um produto ainda em fase de desenvolvimento tecnológico, de modo a aperfeiçoar o seu processo produtivo antes do escalonamento da sua produção.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta uma revisão da literatura sobre desenvolvimento Sustentável, impacto ambiental, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e os aspectos econômicos e ambientais do coco verde, para fundamentar os temas abordados neste estudo.

O tema desenvolvimento sustentável aborda a evolução histórica da questão ambiental no Brasil e no mundo, o conceito de desenvolvimento sustentável e a importância da ciência e tecnologia na promoção da sustentabilidade ambiental. Sobre impacto ambiental são apresentadas as diversas definições e os tipos de avaliações de impacto ambiental. No tópico ACV, são apresentadas a origem, o conceito de ACV, aplicações e as principais etapas. E por fim, sobre o coco verde, é mostrada a sua importância econômica, os problemas ambientais em função da casca de coco e as diversas possibilidades de reaproveitamento.

2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A preocupação com a preservação do meio ambiente vem tornando-se cada vez mais presente na sociedade, em todos os países, desenvolvidos e subdesenvolvidos. A inserção das questões ambientais nos debates internacionais surgiu devido a uma série de problemas ambientais ocorridos ao longo dos anos, levando a população a refletir sobre o futuro do planeta e a sua qualidade de vida.

A partir da década de 60, foi mais evidente a preocupação com as emissões de poluentes, e com o esgotamento dos recursos naturais, devido ao crescimento populacional. Em 1962, o livro “*Primavera Silenciosa*” de Rachel Carson, teve grande impacto social, pois apresentava os riscos do uso do DDT (Dicloro Difenil Tricloroetano), um pesticida considerado inofensivo ao ser humano. No entanto, foi descoberto que o DDT causava efeitos adversos ao meio natural, em especial nas aves, por seu efeito bio-acumulativo através da cadeia trófica (SEIFFERT, 2007).

Em 1968, cientistas se mostraram preocupados com o futuro do planeta, em função do esgotamento de recursos naturais. Esse grupo criou o “*Clube de Roma*”, e suas idéias foram apresentadas no livro *Os limites do Crescimento*, publicado em 1972, sendo ainda hoje uma referência nos debates sobre o limite do crescimento populacional (ADISSI e ALMEIDA NETO, 2013).

Em 1972, aconteceu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente

Humano, em Estocolmo na Suécia. Nesta conferência, ocorreram nos debates conflitos de interesse, onde os países desenvolvidos defendiam um programa voltado para a conservação dos recursos naturais, através de medidas de prevenção imediatas, e os países em desenvolvimento afirmavam que precisavam desenvolver-se economicamente para depois buscarem a preservação ambiental (SEIFFERT, 2007). Esta foi a primeira vez que os países discutiram as conseqüências da economia sobre o meio ambiente (SEIFFERT, 2007).

O conceito de Desenvolvimento Sustentável substituiu o termo Ecodesenvolvimento, por ocasião dos debates que precederam a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. O relatório “Nosso Futuro Comum” de 1988, mais tarde chamado *Relatório Brundtland* (NASCIMENTO, 2014) apontava a necessidade de inserir junto ao desenvolvimento econômico, as dimensões sociais e ambientais (ADISSI e ALMEIDA NETO, 2013). Nesse relatório, o termo “Desenvolvimento Sustentável” foi definido como: “Aquele que atende as necessidades da geração presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem também as suas” (BRUNDTLAND, 1991, p.9.).

Na década de 80, surgiram em grande parte dos países, leis de regulamentação ambiental, especialmente em relação à poluição. Também, teve início a padronização e regulamentação para a realização de Estudos de Impacto Ambiental e Relatórios de Impacto do Meio Ambiente – EIA/RIMA (SEIFFERT, 2007) de novos empreendimentos.

Em 1992, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, no Rio de Janeiro, a ECO-92, 20 anos após a conferência de Estocolmo. Nesta conferência, foram aprovados documentos importantes, dentre eles, a Agenda 21, o Convênio sobre a Diversidade Biológica, Convênio sobre as Mudanças Climáticas e Princípios de Gestão Sustentável (SILVA; CRISPIM, 2011).

A partir daí inúmeras conferências ambientais sobre o clima e o meio ambiente, vem ocorrendo, além da aprovação de leis, decretos e resoluções no Brasil e no mundo, a fim de nortear e subsidiar as ações em prol do Desenvolvimento Sustentável. Como exemplo de marcos regulatórios importantes na legislação ambiental brasileira, tem-se a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei Nº 12.187 de 29/12/2009), Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305 de 02/08/2010), Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Nº 9.433 de 08/01/1997), Novo Código Florestal Brasileiro (Lei Nº 12.651 de 25/05/2012), e Lei do SNUC (Lei Nº 9.985 de 18/07/2000), dentre outras.

2.1.1 Importância da Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Sustentável

As atividades econômicas não poderão se desenvolver de forma sustentável se a natureza, fonte de recursos materiais e genéticos, estiver comprometida. No âmbito da Ciência e Tecnologia, o Desenvolvimento Sustentável, busca uma capacidade tecnológica, através de uma política de ciência e tecnologia, comprometida com as bases técnicas e científicas, requeridas pela sustentabilidade social, ecológica, econômica, política, espacial e cultural (AGENDA 21 BRASILEIRA, 2004).

Nesse sentido as descobertas científicas e tecnológicas devem ser encaradas como condutoras de renovação de processos produtivos, em benefício do desenvolvimento sustentável. Para tanto, as políticas públicas brasileiras, com foco na conservação e uso racional dos recursos, devem priorizar o desenvolvimento de tecnologias de fontes alternativas de energia, de proteção dos recursos hídricos, melhor aproveitamento científico da biodiversidade, bem como, de sistemas de proteção dos ecossistemas (AGENDA 21 BRASILEIRA, 2004).

Devem ser priorizadas também, pesquisas com foco em tecnologias limpas, que busquem tratamento de emissões, efluentes e resíduos, nos assentamentos urbanos e áreas industriais. Outro ponto importante é a formação de recursos humanos, a fim de proporcionar a integração do saber científico e tecnológico com a sociedade, buscando disseminar as informações a fim de ampliar a participação social e promover o desenvolvimento em âmbito nacional (AGENDA 21 BRASILEIRA, 2004).

No relatório final da Rio +20, “O Futuro que Queremos”, a Avaliação do Ciclo de Vida é reconhecida como uma importante ferramenta de avaliação de impacto ambiental de novas tecnologias, por ter sólido embasamento científico e apoiar o desenvolvimento de alternativas tecnológicas (processos e produtos) ambientalmente corretas (SUSTAINABLEDEVELOPMENT, 2012).

2.2 IMPACTO AMBIENTAL

Historicamente, o homem se apropriou da natureza para obter recursos para a sua sobrevivência. Com a sua evolução, a extração dos recursos naturais utilizados apenas para subsistência, passou a ser feita de forma indiscriminada, comprometendo a capacidade de renovação do meio ambiente, em função da necessidade cada vez maior de matérias primas

para atender as demandas da sociedade. Assim, ocorrem impactos ambientais de diversas magnitudes devido as ações humanas.

De acordo com a Resolução do CONAMA 01/86, Impacto Ambiental é definido como:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, que direta ou indiretamente, afetam: i) a saúde, a segurança e o bem-estar da população, ii) as atividades econômicas, iii) a biota, iv) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e v) a qualidade dos recursos ambientais.

Para SCHLITTER (2014), um impacto ambiental ocorre quando uma ação ou atividade gera uma alteração no meio ambiente ou em algum de seus componentes. Nos estudos de impactos ambientais, objetiva-se quantificar essas alterações. Estes estudos avaliam as consequências de uma ação, a fim de preservar a qualidade do meio ambiente, após executada uma ação.

A Avaliação de Impactos Ambientais é um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6.938/81), através do Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto do Meio Ambiente (EIA/RIMA). O EIA/RIMA de acordo com a Lei 6.938/81, visa gerar informações sobre os possíveis impactos ambientais de projetos, propondo alternativas para sua realização e medidas mitigadoras aos possíveis impactos previstos.

Na Lei 6.938/81, a degradação ambiental é entendida como a alteração adversa das características do meio ambiente. Já poluição é definida como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Apesar da Lei 6.938/81 focar na avaliação de impactos ambientais de projetos, a AIA é uma ferramenta de aplicação mais vasta, visando à tomada de decisão na área de gestão ambiental, bem como a avaliação de impactos relacionados a processos e produtos (FIGUEIRÊDO et al., 2014).

Almeida Neto *et. al.* (2014), diferencia a Avaliação de Impacto em:

- i) **Avaliação Ambiental Estratégica (AAE):** busca identificar as consequências

futuras de estratégias de desenvolvimento (políticas, planos ou programas - PPPs). Segundo Fischer (2007 *apud* Pellin, et al., 2011), a AAE, tem como objetivo garantir que o meio ambiente e outros aspectos relacionados à sustentabilidade sejam levados em conta na elaboração de PPPs.

ii) **Avaliação do dano ou passivo ambiental:** consiste na identificação das conseqüências ambientais negativas de uma determinada ação ou atividade no passado ou no presente (ALMEIDA NETO et al. 2013). Para Galdino et al. (2002), realizar uma avaliação do Passivo ambiental é mais fácil em empresas que tenham implantado um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) pois o gerenciamento ambiental permite: o controle e redução dos impactos ambientais, o cumprimento da legislação ambiental, o desenvolvimento e o uso de tecnologias que reduzem a geração de resíduos, bem como o consumo de energia e matéria prima, antecipação das questões ambientais, evitando danos ao meio ambiente e a saúde humana, e melhor comunicação entre a comunidade e o governo.

iii) **Avaliação do Ciclo de Vida:** avalia os impactos ambientais potenciais relacionados a produtos ou serviços. A ACV é um dos métodos mais utilizados para a avaliação de impacto de produtos, inclusive em sua etapa de desenvolvimento. A ACV de um produto em desenvolvimento possibilita identificar os principais pontos críticos, e com isso adotar medidas que visem melhorar o desempenho ambiental do mesmo, antes do escalonamento da sua produção.

Para Rivela et al. (2007), a ACV tem provado ser uma ferramenta importante para identificar e analisar os impactos ambientais de produtos e sistemas de serviços que precisam compor o processo de tomada de decisões, para a sustentabilidade. O uso da ACV no desenvolvimento de processos ou produtos pode gerar dados de carga ambiental, que podem ser usados para melhorar o processo de desenvolvimento, comparar processos existentes e identificar as vantagens do novo processo ou produto em relação a outro já em uso no mercado (HETHERINGTON et al. 2014).

iv) **Previsão dos Impactos Potenciais (EIA/RIMA):** está relacionada com a previsão dos impactos potenciais, que as atividades de determinado projeto ou

empreendimento possam causar com a sua implantação.

2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

O conceito do ciclo de vida segundo a ISO 14044:2009, consiste em estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria prima até o descarte final.

Existem diversos métodos com o objetivo de avaliar o impacto ambiental de produtos considerando seu ciclo de vida. Dentre eles, destacam-se: i) a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), ii) a Avaliação Social do Ciclo de Vida (ASCV) e iii) o Custeio do Ciclo de Vida (CCV) (FIGUEIRÊDO et al. 2014). A ACV enfoca os aspectos e impactos ambientais potenciais, ao longo do ciclo de vida do produto, desde a aquisição das matérias primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final (ISO, 2009).

A ASCV é uma metodologia que visa avaliar os impactos sociais e socioeconômicos, relacionados a produtos e serviços, levando em conta aspectos, como direitos humanos, condições de trabalho e herança cultural (ACV BRASIL, 2014). O CCV, segundo Sakurai (1997 *apud* Santos e Silva, 2014), é um método de levantamento do custo de um produto durante a sua vida útil, onde existem duas categorias de Custeio do Ciclo de Vida: a de produção e a do usuário. Na categoria produção são referidos os custos que o fabricante tem durante todo o ciclo de vida do produto e na categoria usuário, estão inclusos os custos que o usuário tem para possuir, usar e descartá-lo.

2.3.1 Origem da ACV

De acordo com Coltro (2007), os estudos de ACV começaram na década de 60, com a crise do petróleo. Nessa época, a sociedade passou a refletir sobre os limites de extração dos recursos naturais, principalmente os combustíveis fósseis e recursos minerais.

O primeiro estudo de ACV foi encomendado pela empresa Coca-Cola, no final da década de 60, realizado pela empresa de consultoria *Midwest Research Institute*. O objetivo deste estudo era analisar distintos tipos de vasilhame para escolher o que demandava menor quantidade de recursos e liberava menos poluentes (BARBIERI; CAJAZEIRA, 2009).

Após a crise do petróleo, houve um desinteresse pela ACV, que renovou-se na década de 80 em função das constantes discussões sobre o meio ambiente e ampliou-se a

partir da década de 90, quando os estudos de ACV ganharam força (COLTRO, 2007).

A fim de estabelecer conceitos, diretrizes e requisitos para tornar a ACV uma ferramenta com credibilidade, a *International Organization for Standardization* (ISO), através do Comitê 207 da ISO sobre Gestão Ambiental, criou o Subcomitê 05 (207/SC 05), para discutir exclusivamente a ACV como um instrumento de gestão ambiental, criando a série de normas 14040, válidas até 2005, quando foram revisadas em 2006 (BARBIERI e CAJAZEIRA, 2009).

No Brasil, a transcrição das normas internacionais foi feita pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio das normas: NBR ISO 14040:2006 (Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estruturas) e pela NBR ISO 14044:2006 (Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações) (SILVA, 2012).

2.3.2 Principais aplicações da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Segundo Silva (2012), as principais aplicações da ACV são:

- a) a identificação dos pontos críticos (hotspots), ou seja, a identificação das atividades do ciclo de vida que contribuem mais significativamente para o impacto potencial total associado ao produto;
- b) a melhoria do desempenho ambiental de produtos;
- c) marketing ambiental;
- d) desenvolvimento de novos produtos e comparação de produtos para redução de impacto ambiental (ecodesign);
- e) comparação de produtos com função semelhante para tomada de decisão.

A ACV como estratégia de marketing pode ocorrer através da rotulagem ambiental. Para Barboza (2001), a rotulagem ambiental é definida como uma certificação de produtos apropriados ao uso e que apresentam menor impacto ambiental em relação a outros produtos similares disponíveis no mercado.

É conveniente ressaltar a diferença entre rotulagem ambiental e certificação ambiental. Rotulagem é voltada para o consumidor e a certificação ambiental, para indústrias e empresas (BARBOZA, 2001).

A importância do estímulo à aplicação da ACV no Brasil, não está somente relacionada à possibilidade de obtenção de ganhos econômicos e ambientais. Está também

ligada à promoção das exportações, tendo em vista as possíveis barreiras impostas, especialmente pelos países europeus a produtos sem selo ambiental que mostre o desempenho do produto ao longo do seu ciclo de vida (STANO, 2009 *apud* RODRIGUES, 2009).

2.3.3 A ACV como ferramenta de Ecodesign

Atualmente as empresas estão buscando reduzir os impactos sobre o meio ambiente, e isto está sendo feito inclusive na concepção dos seus produtos, por meio de ferramentas de ecodesign que auxiliam a tomada de decisão quanto a seleção das matérias primas e aos processos tecnológicos adotados, a fim de desenvolver produtos ecologicamente mais competitivos (MEDINA, 2005).

O conceito de ecodesign originou-se do conceito de projeto para o meio ambiente (DfE-Design for Environment) e tem como objetivo o desenvolvimento de produtos ecoeficientes sem comprometer seus custos e qualidade (VENZKE, 2002). Ainda segundo Venzke (2002), o conceito de ecoeficiência está relacionado ao uso eficiente dos recursos e responsabilidade ambiental.

Segundo Ometto e Filho (2012), no ecodesign os impactos ambientais observados ao longo do ciclo de vida do produto devem ser considerados durante a fase de concepção inicial do Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP), visando ganhos econômicos e ambientais.

Existem diversas ferramentas de ecodesign e a escolha adequada destas ferramentas deve ser norteadas pela estratégia da empresa, quanto à redução de impactos ambientais de seus produtos, e dentre estas ferramentas está a Avaliação do Ciclo de Vida (OMETTO; FILHO, 2012).

A ACV é uma importante ferramenta no ecodesign por fornecer informações detalhadas aos tomadores de decisão na indústria e instituições de pesquisa em geral, apoiando o planejamento estratégico, definição de metas e melhoria de processo com definição de prioridades.

2.3.4 Limitações da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Embora seja clara a importância da ACV, esta metodologia possui algumas limitações. Destacam-se os seguintes aspectos: a metodologia é muito abrangente, podendo

tornar-se um fator limitante, se não forem simplificados alguns aspectos; alguns erros podem ser assumidos caso a unidade funcional não seja bem definida, etapas importantes sejam excluídas, ou ainda, dados incorretos sejam utilizados (CARVALHO, 2010).

Silva (2012) resume as limitações da ACV em custos, complexidade e incertezas dos resultados. Os custos podem ser explicados por a ACV requerer muitos recursos, podendo demorar muito tempo para sua execução. A complexidade se dá pela quantidade de informações, que precisam ser limitadas, pois podem tornar a pesquisa inacabável. As incertezas podem ocorrer pela indisponibilidade de dados, uso de dados desatualizados ou relacionados a processos similares, mas não idênticos ao em estudo.

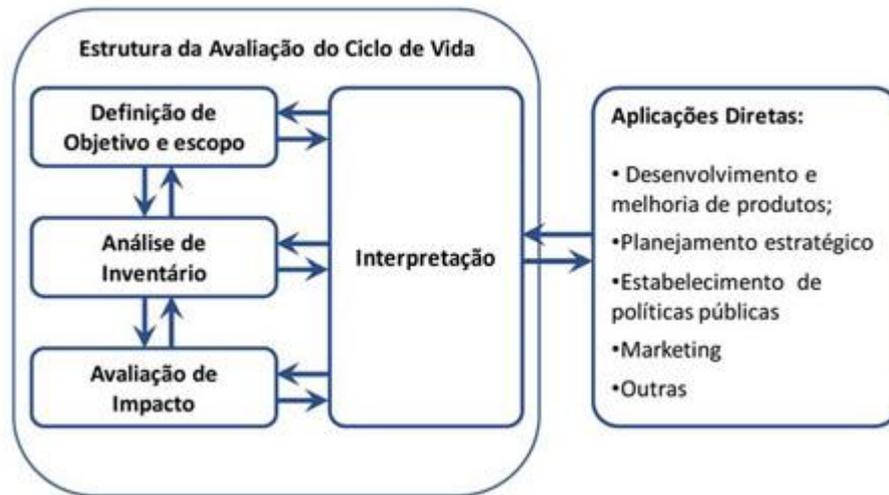
Os métodos de avaliação existentes para ACV são outra limitação, visto que tais métodos consideram impactos ambientais que ocorrem em regiões temperadas, como Canadá, Estados Unidos e Europa. Para reduzir os problemas em relação ao uso de métodos de avaliação estrangeiros, o ideal é a adoção de métodos adaptados as condições ambientais de cada país. Até meados de 2015, nenhum método de AICV adaptado as condições brasileiras foi publicado.

2.3.5 Etapas da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

De acordo com a NBR ISO 14040 (2009), um estudo de ACV consiste das seguintes etapas de: definição de objetivo e escopo, análise de inventário do Ciclo de Vida (ICV), avaliação do impacto do Ciclo de Vida (AICV) e Interpretação (Figura 1). Entretanto, estudos de ACV podem não seguir um único fluxo, pois em cada uma das etapas do estudo, o que foi definido pode ser repensado. Trata-se de uma metodologia dinâmica, pois à medida que se conhece o produto em questão, mais informações sobre o mesmo vão surgindo, podendo haver necessidade de ajustes no escopo do mesmo (SILVA, 2012).

A metodologia de ACV, não é necessariamente realizada para toda a cadeia produtiva de um produto, chamada “berço ao túmulo”. Ela pode ser realizada em algumas etapas do ciclo de vida, como “berço ao portão”, “portão ao portão” e “portão ao túmulo” (CAMPOS, 2012). Do “berço ao túmulo”, considera todas as fases do ciclo de vida; do “berço ao portão”, considera desde a extração da matéria prima até a fabricação do produto; do “portão ao portão”, considera as etapas de fabricação do produto, e do “portão ao túmulo”, considera as etapas de distribuição do produto, uso e descarte final (SILVA, 2012).

Figura 1 - Fases de uma ACV (ISO 2009).



Fonte: ISO, 2009.

2.3.5.1 Definição do objetivo e escopo

Os objetivos de um estudo de ACV precisam ser definidos claramente. O objetivo descreve a aplicação desejada, as motivações para o estudo, como e para quem os resultados serão comunicados (ARAÚJO, 2012). Além disso, as razões para conduzir o estudo e o público-alvo também devem estar destacadas.

O escopo indica quais processos relacionados à cadeia de produção, consumo e pós-consumo serão analisados, delimitando a fronteira do sistema de produtos (ELCOCK, 2007). Durante a definição do escopo do estudo de ACV é que são especificadas claramente as diversas funções possíveis do produto estudado. A partir daí, uma função é selecionada e quantificada na unidade funcional, permitindo a análise comparativa de produtos que possuem funções iguais ou semelhantes. Exemplificando, no estudo de embalagens, a função pode ser descrita como embalar compras do supermercado até a residência; e a unidade funcional como embalar 21 kg de compras por semana durante 1 (um) ano (UGAYA, 2013).

Devido muitos processos levarem a produção de mais de um produto, torna-se necessário a alocação das cargas ambientais e impactos relacionados a determinado processo entre os vários produtos e co-produtos. A alocação pode ser realizada seguindo diferentes critérios, como o mássico (ex: kg de cada produto) e o econômico (ex: receita obtida com cada produto).

Segundo a ISO 14044 (2009) os procedimentos para lidar com alocação devem

ser feitos da seguinte maneira:

- a) a alocação deve ser evitada sempre que possível, pois aumenta o nível de detalhes da ACV e expande o sistema;
- b) quando não for possível evitar a alocação, as cargas ambientais devem ser divididas entre os sistemas, diferentes produtos ou funções, de modo que reflita a relação física entre eles. Elas devem refletir a maneira como as entradas e saídas são alteradas por mudanças quantitativas nos produtos (alocação física);
- c) quando não for possível estabelecer a relação física, as entradas devem ser imputadas de modo a refletir outras relações entre elas. Os dados de entrada e saída podem ser divididos entre os co-produtos na proporção do valor econômico (alocação econômica).

2.3.5.2 Análise de inventário

O inventário consiste no levantamento das entradas (consumos de recursos naturais e energia) e saídas (produtos e emissões para o ar, água e solo) em todas as etapas incluídas no escopo do estudo. As entradas e saídas são relacionadas à unidade funcional (BAUMANN e TILMANN, 2004). Exemplos de entradas são energia, matéria-prima e água. Exemplos de saídas são produtos e co-produtos, resíduos sólidos, emissões atmosféricas e líquidas.

Existem também bases de dados de inventários dos mais diferentes processos como transporte e produção de energia. A exemplo dessas bases de dados tem-se o Ecoinvent, que dispõe de inventários do ciclo de vida de diversos processos em vários países, para subsidiar os estudos de ACV. O Brasil ainda não dispõe de uma base de dados consolidada com inventários de processos produtivos brasileiros.

2.3.5.3 Avaliação de impacto

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) relaciona os resultados do inventário do ciclo de vida (consumo e emissões) a categorias de impacto ambiental, avaliando o potencial de ocorrência desses impactos (BAUMANN e TILMANN, 2004).

Os elementos obrigatórios da AICV são a seleção de categorias de impacto, classificação e caracterização. Na etapa de classificação, correlacionam-se os resultados

obtidos no inventário (consumos de recursos naturais e emissões) com cada uma das categorias de impacto selecionadas ao estudo, de acordo com a capacidade de cada substância contribuir para as diferentes categorias de impactos ambientais (ABNT, ISO 14044: 2009).

Realizada a classificação, parte-se para a etapa de caracterização, onde define-se o modelo de caracterização a ser adotado no estudo. Diferentes modelos de caracterização estão disponíveis, cada um adotando indicador de impacto e um modelo de causa e efeito ambiental específico. Os modelos de caracterização geram fatores para cada substância relacionada a uma determinada categoria de impacto ambiental, mostrando a importância da substância na ocorrência do impacto. Os fatores de caracterização são multiplicados aos consumos e emissões inventariados levando a quantificação do impacto (HAUSCHILD et al., 2012).

Muitos modelos de caracterização estão disponíveis para cada categoria de impacto. Cada modelo possui características específicas e leva a resultados diferentes. Os modelos de caracterização podem ser classificados em dois tipos: ponto médio e ponto final (COLTRO, 2007). Modelos de ponto médio consideram parte da cadeia de causa e efeito ambiental, enquanto os modelos de ponto final consideram toda a cadeia de causa e efeito ambiental, permitindo a avaliação dos efeitos do consumo de insumos e das cargas de poluentes na saúde humana, qualidade dos ecossistemas e depleção de recursos naturais (CAVALLET et al., 2012).

As principais categorias de ponto médio são: aquecimento global, esgotamento de recursos naturais, uso da terra (qualidade do solo e biodiversidade), escassez hídrica, efeitos tóxicos em humanos, efeitos ecotoxicológicos, formação fotoquímica de ozônio, eutrofização e acidificação (BAUMANN; TILLMAN, 2004). As categorias de ponto final são: saúde humana, esgotamento de recursos e qualidade do ecossistema (UNIÃO EUROPÉIA, 2010).

Os resultados de uma categoria de impacto de nível médio são usualmente expressos em termos de uma substância de referência ou equivalente (eq), escolhida dentre as substâncias com potencial de causar impacto ambiental na categoria em estudo. Exemplificando, a categoria mudanças climáticas é expressa em quilogramas de CO₂-eq. e a eutrofização em águas doces, em termos de P-eq. (HAUSCHILD et al., 2012).

2.3.5.4 Interpretação

Os dados de inventário e os resultados da avaliação de impactos são interpretados de modo a identificar os gargalos, possibilitando a tomada de decisão por meio da adoção de

estratégias que melhorem o desempenho ambiental de um produto, a fim de proporcionar a preservação do meio ambiente (VALT, 2004).

Nesta fase de interpretação dos resultados de um estudo de ACV, indica-se a realização das análises de completeza, sensibilidade e incerteza. A análise de completeza tem como objetivo verificar se todas as informações e dados relevantes para o estudo foram coletados. A análise de sensibilidade tem como foco, avaliar a confiabilidade final dos resultados e conclusões, para informar o quanto eles são afetados pelas incertezas dos dados, métodos de alocação e mudanças de pressupostos (SILVA, 2012).

2.4 DESCRIÇÃO DAS CATEGORIAS DE IMPACTO

2.4.1 Acidificação

Refere-se aos impactos da acidificação gerados pela emissão de produtos químicos transportados pelo ar. Ela se refere a processos que aumentam a acidez da água e do solo pela concentração de íons de hidrogênio. É causada pela deposição de substâncias ácidas geradas em sua maioria pelas emissões de dióxido de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO_2) e amônia (NH_3) (UNIÃO EUROPÉIA, 2010). A unidade de medida dessa categoria é comumente expressa em dióxido de enxofre equivalente ($\text{kg SO}_2\text{-eq}$) (BAUMANN; TILMANN, 2004).

2.4.2 Aquecimento global

As mudanças climáticas podem conduzir a uma gama de impactos nos ecossistemas e na sociedade, dentre eles tem-se o efeito estufa. A unidade de medida dessa categoria é expressa em quilograma de $\text{CO}_2\text{-eq./kg}$ de emissão (BAUMANN; TILMANN, 2004).

Os GEE são substâncias capazes de absorver a radiação infravermelha da Terra (forçamento radiativo). É possível determinar a mudança na concentração e forçamento radiativo de cada GEE, levando em conta o tempo de permanência da substância na atmosfera. O Painel Intergovernamental de Mudança Climática (IPCC) calculou o forçamento radiativo de todos os GEE e marca os seus potenciais de aquecimento global. Estes potenciais de aquecimento global são usados diretamente como fatores de caracterização (UNIÃO

EUROPEIA, 2010).

2.4.3 Eutrofização

Esta categoria aparece com outros nomes além de eutrofização, como nutrificação ou enriquecimento de nutrientes. Ela aborda os impactos dos nutrientes fósforo e nitrogênio sobre os ecossistemas aquáticos e terrestres (UNIÃO EUROPÉIA, 2010).

A eutrofização terrestre é causada pela deposição de emissões atmosféricas de compostos nitrogenados, como óxidos de nitrogênio (NO e NO₂) dos processos de combustão e amônia (NH₃) provenientes, por exemplo, da agricultura (UNIÃO EUROPÉIA, 2010).

Nos sistemas aquáticos, a adição de nutrientes gera inúmeras conseqüências para o ecossistema, tais como:

- a) mudança na composição de espécies da comunidade vegetal para espécies mais exigentes em nutrientes;
- b) proliferação de algas provocando sombreamento, redução da luz e da fotossíntese e dificultando a visão dos peixes predadores para pegar suas presas;
- c) depleção de oxigênio na parte inferior do corpo d'água, pela deposição de algas mortas e sua decomposição;

Em sistemas aquáticos, a adição do nutriente limitante provoca o aumento da produção primária, enquanto a adição do nutriente que não é limitante não acarreta efeito sobre a produção primária. De modo geral, o P é o nutriente limitante para ambientes de água doce e o N é o nutriente limitante para ambientes marinhos (UNIÃO EUROPÉIA, 2010). A unidade de medida da categoria de impacto eutrofização em águas doces é P-eq e da eutrofização em águas salobras, N-eq.

2.4.4 Ecotoxicidade

Esta categoria avalia o potencial toxicológico das substâncias nos seres vivos. Este potencial é levantado em testes toxicológicos (UNIÃO EUROPÉIA, 2010).

De acordo com a União Européia (2010), os modelos e fatores para efeito de toxicidade devem ser baseados no risco relativo e associado às conseqüências de produtos químicos que são liberados no ambiente. Devem representar o destino de um produto químico

no ambiente, a exposição de espécies e as diferenças na resposta toxicológica (probabilidade de efeitos e gravidade).

A unidade de medida dessa categoria pode ser diferente em função do método de avaliação de impacto. Comumente a substância de referencia é 1,4-diclorobenzeno, um conhecido pesticida e é expressa em diclorobenzeno (DCB) equivalente (kg DCB-eq/kg de emissão) (BAUMANN; TILMANN, 2004).

2.4.5 Formação fotoquímica de ozônio troposférico

A formação fotoquímica de ozônio consiste em poluentes secundários formados na baixa atmosfera a partir de NO_x e hidrocarbonetos na presença da luz solar. Estas substâncias são características do smog fotoquímico (BAUMANN; TILMANN, 2004).

Ocorrem impactos sobre os seres humanos, quando o ozônio e outros compostos reativos de oxigênio são inalados e entram em contato com o trato respiratório, danificando o tecido e causando doenças respiratórias. Já os impactos sobre a vegetação ocorrem quando os compostos reativos atacam as superfícies das plantas ou penetram nos estômatos da planta, causando danos oxidativos em organelas fotossintéticas (UNIÃO EUROPÉIA, 2010).

A unidade de medida adotada para essa categoria, em geral, é etileno (C_2H_4) equivalente (BAUMANN; TILMANN, 2004).

2.4.6 Toxicidade humana

É provocada por substâncias tóxicas que afetam a saúde humana, ao serem ingeridas ou inaladas. Os efeitos considerados são toxicológicos crônicos, carcinogênicos e não carcinogênicos (UNIÃO EUROPÉIA, 2010).

Segundo a União Européia (2010), os modelos e fatores para efeitos toxicológicos devem basear-se no risco relativo e conseqüências relacionadas aos produtos químicos que são liberados no ambiente. Devem representar o destino de um produto químico no ambiente, a exposição humana e as diferenças na resposta toxicológica (probabilidade de efeitos e gravidade).

A unidade de medida pode variar em função do método de avaliação. A substância de referencia é 1,4-diclorobenzeno, um conhecido pesticida e é comumente expressa em diclorobenzeno equivalente (kg de DCB-eq./kg de emissão) (BAUMANN e

TILMANN, 2004).

2.4.7 Depleção de recursos abióticos

Segundo Van Oers et al. (2002 *apud* União Européia, 2010), a depleção de recursos é a redução da disponibilidade da reserva total de potenciais funções de recursos, devido ao uso além de sua taxa de substituição.

Esta categoria considera o efeito de ambos os recursos, renováveis e não-renováveis. Para a abordagem dessa categoria recomenda-se que os impactos sejam concentrados na exploração direta dos recursos (renováveis e não-renováveis), já que os danos indiretos aos recursos, principalmente o dano as culturas (ex: em função do clima, ozônio) são considerados em outras categorias de impacto (UNIÃO EUROPÉIA, 2010).

A unidade desta categoria é expressa em antimônio equivalente Sb-eq (BAUMANN; TILMANN, 2004).

2.4.8 Depleção da camada de ozônio

O ozônio estratosférico é essencial para a vida, pois ele impede que a radiação solar prejudicial UV-B penetre nos níveis mais baixos da atmosfera. Se essa radiação não é absorvida pela camada de ozônio, ela pode aumentar os riscos de câncer de pele humana e de catarata. Pode também causar envelhecimento precoce e inibição do sistema imunológico. Além disso, pode trazer danos aos ecossistemas terrestres e aquáticos (UNIÃO EUROPÉIA, 2010).

A depleção da camada de ozônio refere-se a diminuição da camada de ozônio estratosférico, como resultado de várias substâncias cloradas e bromadas, tais como CFCs e halons (HARRISON, 1990 *apud* BAUMANN e TILMANN, 2004). Estas substâncias têm tempo de vida longa na atmosfera, e podem chegar à estratosfera (UNIÃO EUROPÉIA, 2010).

O potencial de destruição do ozônio está relacionado à medida da potência para formar equivalentes de cloro estratosférico. O potencial de destruição de ozônio são fatores de equivalência que integram o tempo de residência na atmosfera de substâncias capazes de destruir o ozônio, a formação de equivalentes de cloro estratosférico e o resultado da destruição do ozônio estratosférico (UNIÃO EUROPÉIA, 2010). A unidade dessa categoria é

expressa em kg de clorofluorcarbonos (kg de CFC-eq.) (BAUMANN e TILMANN, 2004).

2.4.9 Radiação ionizante

Está relacionada à radiação que possui energia para ionizar átomos e moléculas. A radiação pode causar dano às células e ao material genético, provocando sérios problemas de saúde. Os raios-x e raios gama são exemplos de radiação ionizante (SALLES, 2009).

A modelagem começa com lançamentos no ponto de emissão, expressa em Becquerel (Bq) e calcula o destino radiativo e de exposição. E a unidade de medida dessa categoria é expressa em Becquerel equivalente (UNIÃO EUROPÉIA, 2010).

2.5 COCO VERDE: ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

O coqueiro é originário do sudeste da Ásia, provavelmente da Índia ou Sri Lanka. Foi introduzido no Brasil em 1553, vindo da ilha de Cabo Verde, entrando pelo estado da Bahia, daí originou-se a expressão “coco-da-baía” (EMBRAPA, 2010).

Após a entrada no estado da Bahia, a cultura do coqueiro se espalhou por todo o litoral do nordeste, onde encontrou ótimas condições para seu cultivo. O coqueiro é uma frutífera típica de clima tropical que conseguiu se adaptar também em outras regiões do Brasil (EMBRAPA, 2010).

A produção de coco no Brasil é de aproximadamente 3 milhões de toneladas por ano, numa área de 290 mil hectares, com as variedades gigante, anão e híbrido. Sua produção está baseada em dois segmentos diferentes: a produção destinada ao consumo de coco seco para o uso agroindustrial e a produção de coco verde para comercialização da água de coco (MARTINS, 2011).

Embora o coqueiro tenha se adaptado a outras regiões do país, as maiores plantações e produções estão na faixa litorânea do nordeste e parte da região norte, que possuem condições favoráveis de clima tropical. As duas regiões são detentoras de 70% da produção nacional (MARTINS, 2011).

Dentre os dez estados com maior produção de coco, sete são da região nordeste. O estado da Bahia é o líder, seguido por Sergipe e Ceará. Estes três estados respondem por 50% da produção nacional, como pode ser visto na tabela 1 (MARTINS, 2011).

Tabela 1 Produção de coco, área plantada e produtividade do coqueiro dos principais estados brasileiros.

Estado	Produção (mil frutos)	Área plantada (ha)	Produtividade (mil frutos/ha)
Bahia	467.080	79.596	5,81
Sergipe	279.203	42.000	6,64
Ceará	259.368	43.448	5,97
Pará	248.188	24.663	10,10
Espírito Santo	157.590	10.625	14,83
Pernambuco	129.822	14.237	9,11
Rio de Janeiro	78.419	4.843	16,19
Paraíba	63.765	11.556	5,52
Rio Grande do Norte	61.004	21.923	2,78
Alagoas	53.083	12.524	4,24

Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal (2009 *apud* MARTINS, 2011).

2.5.1 Importância Econômica

A cultura do coco é de grande importância para o agronegócio, tanto para geração de emprego e renda como para a alimentação (MATTOS et al., 2012). Permite o consórcio com outras culturas de subsistência e com a criação de animais (FONTENELE, 2005).

A relevância sócio-econômica e ambiental do coqueiro é evidente no Brasil, Essa cultura se faz presente em ecossistemas fragilizados, em função da especulação imobiliária litorânea, e que é explorada também por agricultores familiares (MARTINS, 2011).

Além da comercialização da água de coco, a sua utilização industrial se dá pelo processamento do endosperma sólido ou albúmen seco ou fresco, destinado a fabricação de leite de coco, coco ralado, também empregado na indústria de alimentos de doces, bolos, bombons, chocolates, dentre outros, e também bastante usado na culinária caseira (FONTENELE, 2005).

2.5.2 Problemas ambientais provocados pela casca do coco

O consumo de água de coco, bem como a sua industrialização, cresce a cada dia. Este crescimento tem sido em torno de 20% ao ano. Porém, em função do aumento deste consumo, surge o problema da geração de resíduos sólidos, no caso, a casca de coco. Este aumento tem produzido anualmente 6,7 milhões de toneladas de casca, e isso tem se tornado um grave problema para o meio ambiente, especialmente para os grandes centros urbanos (SENHORAS, 2003).

Figura 2 - Resíduos de coco verde em vazadouro a céu aberto.



Fonte: <http://www.cocoverderj.com.br/coco20.jpg>

As cascas de coco geradas pelo consumo e industrialização compõem 80 a 85% do fruto, sendo a maior parcela dos resíduos sólidos gerados nas praias do Brasil, chegando a 70% de todo o lixo produzido nessas regiões litorâneas. Boa parte desse material é disposto a céu aberto em lixões, ocorrendo a proliferação de vetores de doenças, e a promoção de uma estética negativa do ambiente. Quando destinado em aterros, as cascas diminuem a sua vida útil, por ser um resíduo muito volumoso, e contribuem para as emissões de gases de efeito estufa, pela decomposição anaeróbia da matéria orgânica (ROSA et al., 2001).

2.5.3 Potencial de aproveitamento da casca de coco

Tendo em vista a grande produção de água de coco em agroindústrias, faz-se necessário buscar alternativas para resolver ou minimizar os problemas relacionados com a geração de resíduos desta atividade (SILVA; JERÔNIMO, 2012). Desenvolver alternativas de utilização da casca de coco propicia a redução da disposição incorreta de resíduos, possibilita uma nova fonte de lucro em seus locais de produção (MATTOS et al., 2012), e diminui custos das indústrias de beneficiamento de água com transporte das cascas para aterros sanitários (FONTENELE, 2005).

O processamento da casca de coco resulta em dois produtos: as fibras longas, que

correspondem a 30% da casca e as fibras curtas ou pó da casca de coco (que correspondem a 70% da casca). Esses produtos podem ser utilizados na composição de diversos materiais, como mantas e substrato agrícola, utensílios domésticos, artesanato, artigos para a construção civil, dentre outros (FONTENELE, 2005).

De acordo com Senhoras (2003), as principais características técnicas da fibra da casca de coco, que lhe confere vantagens para ser utilizada na indústria são as seguintes: ser inodora, resistente a umidade, não ser atrativa para os roedores, possuir decomposição lenta, não gerar fungos e ser um bom isolante térmico.

Corradine et al. (2009), cita que as fibras da casca de coco são de excelente qualidade pela flexibilidade e alto teor de lignina, e tem potencial de aplicação como reforço em compósitos. As fibras de coco apresentam em sua composição química 35% de lignina (VAN DAM et al. 2006)

Segundo Araújo Júnior et al, (2013), a casca de coco pode ser reaproveitada na manufatura de painéis como alternativa aos painéis fabricados com madeira, pois o seu elevado teor de lignina pode funcionar como um ligante natural dispensando o uso de resinas sintéticas para aglutinar as fibras.

2.5.4 Principais aplicações da casca de coco

a) Substrato agrícola

O cultivo de plantas utilizando substrato apresenta diversas vantagens, dentre elas, o manejo correto da água, onde o mesmo evita a umidade excessiva em torno das raízes, além de favorecer a atividade fisiológica das raízes (MATTOS et al., 2012). Para Rosa (2001), o substrato de coco tem se mostrado como um dos melhores meios de cultivo de vegetais, devido a sua porosidade e alto potencial de retenção de umidade.

b) Isolante térmico e acústico

A fibra de coco tem como principais componentes a celulose e o lenho, fazendo com que ela seja bastante rígida e dura, o que lhe torna resistente e durável. Isso faz com que ela seja um material ideal para isolamento térmico e

acústico (SILVA; JERÔNIMO, 2012). A fibra de coco contribui para uma redução considerável dos níveis sonoros, superando os resultados obtidos com outros materiais (ROCHA et al., 2010).

c) Mantas e telas de proteção para o solo

As mantas servem para proteger o solo, também na recuperação de áreas degradadas, visto que devido a sua decomposição lenta, aumentam a retenção de umidade e atividade microbiana, possibilitando boas condições ao desenvolvimento vegetal (ROCHA et al., 2010). Para Mattos et al. (2012), a manta é um material excelente para ser colocado em superfícies sujeitas a erosão causada pela chuva ou vento, em taludes nas margens de rodovias e ferrovias, em áreas reflorestadas, parques urbanos, dentre outros.

d) Briquetes

São produtos com elevado poder calorífico, obtidos pela compactação de resíduos de madeira e serragem, e cascas vegetais como a casca de coco. São utilizados para gerar energia, conhecidos como lenha ou carvão ecológico (ROCHA et al., 2010), substituindo a queima de óleo combustível e madeira em fornalhas, processos de gaseificação, lareiras, etc. (MATTOS et al., 2012).

e) Utilização na indústria automotiva

No setor automotivo, as fibras de coco são utilizadas na fabricação de assentos e no revestimento interno de veículos (FONTENELE, 2005). A fibra de coco é considerada melhor que a espuma, que é um derivado do petróleo, por ser uma matéria-prima barata, além de ser resistente e durável, é ecologicamente correta (ROCHA et al., 2010).

f) Nanotecnologia – Extração de nanocristais de celulose

A fibra da casca de coco é uma excelente fonte de celulose para a

extração de nanocristais, por ser abundante, de baixo custo e é um subproduto subutilizado nas regiões tropicais (Rosa et al., 2010 *apud* Nascimento et al., 2014).

Segundo Nascimento et al. (2014), os nanocristais de celulose são estruturas em escala nanométrica com amplas possibilidades de aplicação em diversas áreas. Os nanocristais de celulose podem substituir nanotubos de carbono como agentes de enchimento devido ao seu fácil processo de obtenção e custo relativamente baixo.

Nanocristais de celulose podem ser aplicados em áreas como indústrias automobilísticas e na química de polímeros e compósitos. Estes nanocristais podem ser usados como agente de reforço em compósitos, em plásticos sintéticos e em biopolímeros, melhorando a biodegradabilidade de plásticos, assim, como melhorando as propriedades mecânicas de novos materiais (SILVA et al., 2009).

g) Elaboração de Painéis de Fibras

As cascas de coco verde possuem um alto potencial de aproveitamento, podendo ser utilizadas como fonte de matéria prima na elaboração e desenvolvimento de novos produtos (BITENCOURT, 2008). Dentre esses produtos, destacam-se os painéis obtidos a partir de fibras e pó extraídos da casca de coco verde (CARASHI et al., 2009).

A produção de painéis com aproveitamento da fibra e pó da casca de coco verde, pode contribuir para suprir a demanda de painéis e incentivar a produção destes para uso arquitetônico (CARASHI et al., 2009). A utilização de resíduos para produzir painéis promove uma redução na demanda pelo cultivo de árvores para extração da madeira, que conseqüentemente, provoca alterações quanto aos impactos ambientais, se comparados ao uso de madeira virgem (SILVA, 2012).

Para Van Dam et al. (2004), o uso de materiais renováveis como a casca de coco na produção de painéis tem papel fundamental para o desenvolvimento sustentável, pois evita o esgotamento de recursos fósseis e emissões de produtos tóxicos como o formaldeído presente em resinas sintéticas.

3 ARTIGO - IMPACTOS AMBIENTAIS DE PAINÉIS DE MADEIRA - UMA REVISÃO DE LITERATURA

Impactos Ambientais de Painéis de Madeira - Uma Revisão de Literatura

Artigo Submetido ao Periódico Spacios (QUALIS B2) em 29.01.2015 (publicação multidisciplinar na área de política e gestão de ciência, inovação, gestão de tecnologia e áreas afins)

Resumo: Os painéis de fibras ou partículas de madeira surgiram em função da escassez de matéria prima e da necessidade de redução do corte de árvores nativas. O consumo destes painéis tem crescido consideravelmente nos últimos anos, dado o crescimento da economia e do mercado imobiliário. No entanto, faz-se necessário avaliar os impactos ambientais desse produto, de modo a permitir a melhoria do seu desempenho ambiental. Este trabalho tem como objetivo apresentar o estado da arte sobre estudos de avaliação de impactos ambientais de painéis de madeira e derivados, para subsidiar o desenvolvimento de novos painéis, fabricados com resíduos de agroindústrias, como a casca de coco verde. Para tanto, analisou-se o processo de produção de painéis no Brasil e os principais impactos ambientais associados a esse produto, considerando publicações no período de 2007 a 2014. Observou-se que a etapa, em geral, que mais contribuiu para os potenciais impactos ambientais foi a manufatura do painel em função do consumo de energia, emissões de formaldeído livre devido ao uso da resina uréia-formaldeído (UF) e o óleo pesado usado para aquecer a prensa contínua. Concluiu-se que para redução dos impactos ambientais dos painéis, faz-se necessário a utilização de fontes de energia renováveis e limpas, utilização de resíduos lignocelulósicos em substituição a madeira maciça e redução no uso ou substituição da resina UF por outras resinas.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida. Categorias de Impacto. Aspectos ambientais.

Abstract: The fibreboard or wood particles arose from the shortage of raw materials and the need to reduce the logging of native trees. The consumption of these panels has grown considerably in recent years, given the growth of the economy and the housing market. However, it is necessary to assess the environmental impacts of the product, in order to allow the improvement of its environmental performance. This work aims to present the state of the

art of studies evaluating environmental impacts of wood panels, to support the development of new panels, made from agro-industrial waste such as coconut husk. Therefore, we analyzed the panel production process in Brazil and the main environmental impacts associated with this product, considering publications from 2007 to 2014. It was observed that step, in general, that contributed most to the potential impacts was environmental manufacturing the panel according to the energy consumption of free formaldehyde emissions due to the use of urea-formaldehyde resin (UF) and heavy oil used to heat the continuous press. It follows that for reducing the environmental impacts of the panels, it is necessary the use of renewable energy sources and clean, use of lignocellulosic wastes to replace solid wood and reduction in the use or replacement of UF resin for other resins.

Keywords: Life Cycle Assessment. Impact Categories. Environmental Aspects.

1. INTRODUÇÃO

Os painéis de madeira surgiram devido à escassez de matéria prima e da necessidade de redução do consumo de madeira de floresta nativa. Os principais painéis de madeira atualmente são os aglomerados/MDP (Medium Density Particleboard), o Oriented Strand Board (OSB), o Médium Density Fiberboard (MDF), o Hard Density Fiberboard (HDF), o Super Density Fiberboard (SDF) e chapas isolantes. Dentre esses, destacam-se economicamente no mercado nacional e internacional o MDP e MDF, pois são os mais utilizados pela indústria de móveis e pela construção civil.

Segundo Biazus et al. (2010), o consumo de painéis de madeira tem evoluído consideravelmente, e este crescimento está bem relacionado ao crescimento do PIB. Para cada 1% de aumento do PIB entre 1997 e 2008, o MDP cresceu 2,4% em média e o MDF, 11,8%.

As empresas buscam sempre melhorar seus produtos, especialmente em relação à sustentabilidade ambiental. E neste cenário, as rotulagens e certificações ambientais tornam-se cada vez mais necessárias para garantir aos seus clientes o consumo de produtos menos impactantes ao meio ambiente.

Nesse sentido, esse trabalho apresenta o estado da arte sobre impactos ambientais relacionados a painéis de madeira. Para tanto, realizou-se uma análise detalhada de artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, anais de congressos científicos, dissertações de mestrado e doutorado e relatórios internacionais, publicados no período de 2007 a 2014. Nessas publicações, analisa-se o sistema de produção e principais impactos

ambientais relacionados a painéis de madeira. Esse estudo fornece subsídios para inovação tecnológica sustentável na produção de painéis, em especial os produzidos no Brasil, visando um melhor desempenho ambiental desse produto e maior competitividade no mercado internacional.

O trabalho está organizado em três seções que analisam: i) os tipos de painéis comercializados no mercado brasileiro; ii) as características do sistema de produção de painéis, iii) os estudos ambientais de painéis, considerando os métodos empregados e os pontos críticos identificados.

2 PAINÉIS DE MADEIRA NO BRASIL

Ao longo do desenvolvimento das civilizações, a madeira é um componente essencial na promoção do bem estar humano, a qual era utilizada como lenha, na fabricação de utensílios diversos, habitações, dentre outros. Com a sua utilização na forma serrada foram ampliadas as possibilidades de uso e com a inserção dos adesivos, novos produtos compostos de madeira puderam ser fabricados. Inicialmente, eram usados adesivos naturais feitos à base de proteínas animais, vegetais e amido. Na década de 30, vieram os primeiros adesivos sintéticos a base de uréia-formaldeído e fenol-formaldeído (REMADE, 2003).

O uso de madeira natural possui algumas limitações como as suas dimensões (largura e comprimento), que variam de acordo com o tipo de árvore, as propriedades mecânicas e alguns defeitos como nós e inclinação. Devido a estas limitações os adesivos tornaram-se importantes, por permitirem o uso de madeira em diferentes tamanhos e configurações na fabricação de diversos tipos de painéis. Com isso, os painéis de madeira trouxeram três benefícios relevantes para a sociedade: i) aumento da oferta de produtos de madeira, com sua utilização racional e integral; ii) melhoria das propriedades dos produtos de madeira, permitindo uma grande gama de utilização; iii) oferta de produtos alternativos à madeira maciça, recursos metálicos e poliméricos na fabricação de bens de consumo (REMADE, 2003).

Os painéis de madeira podem ser utilizados na construção de casas, mobiliário de escritórios, cozinhas, armários de banheiros, componentes de lojas e componentes de portas (WILSON, 2010).

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PAINÉIS

De forma geral, os painéis de madeira se classificam em dois tipos: os painéis de madeira mecanicamente processada, feitos com lâminas de madeira maciça, e os produzidos de madeira reconstituída. A diferença entre os dois está em seus processos de manufatura (MATTOS et al. 2008).

Nos painéis de madeira reconstituída, a madeira passa por processamento químico para sua desagregação até se transformar em fibras ou partículas. Já os painéis de madeira mecanicamente processada são formados por camadas de lâminas de madeira maciça (MATTOS et al. 2008).

Dentre os painéis de madeira, os painéis reconstituídos se destacam pela maior procura e valor agregado (SILVA, 2012). De acordo com Mattos et al. (2008), os painéis de madeira reconstituída tiveram um grande crescimento na procura por parte do mercado consumidor e isso se deve ao fato da necessidade crescente de utilizar materiais substitutos à madeira maciça.

Os principais painéis reconstituídos são os aglomerados/MDP, o Oriented Strand Board (OSB), o Medium Density Fiberboard (MDF), o Hard Density Fiberboard (HDF), o Super Density Fiberboard (SDF) e chapas isolantes. Fazem parte ainda desta categoria, outros tipos de compósitos como madeira plástica e cimento-madeira. Os painéis podem ser classificados de acordo com sua densidade (Tabela 1).

Tabela 2 - Classificação de painéis de fibra quanto à densidade

<i>Tipo</i>	<i>Densidade (g/cm³)</i>
Não prensados	
Painéis isolantes (semi-rígido)	0,02 a 0,15
Painéis isolantes (rígido)	0,15 a 0,40
Prensados	
Painéis de Média Densidade (MDF)	0,5 a 0,80
Painéis de Fibras Duras	0,80 a 1,20
Painéis de Alta Densidade	1,20 a 1,45

Fonte: IWAKIRI (2005 *apud* TORQUATO, 2008).

Os painéis aglomerados são normalmente produzidos com densidade na faixa de 0,60 a 0,70 g/cm³ (IWAKIRI, 2005). A norma ABNT NBR 15316-1: 2009 define o painel de média densidade como uma chapa de fibras de madeira com umidade menor que 20% na

linha de formação e densidade maior que 450 kg/m^3 . Entretanto, ainda segundo a norma ABNT NBR 15316-1: 2009, para fins de mercado, os painéis podem ser classificados em:

- a) HDF: chapa com densidade $\geq 800 \text{ kg/m}^3$;
- b) standard: chapa com densidade $> 650 \text{ kg/m}^3$ e $< 800 \text{ kg/m}^3$;
- c) light: chapa com densidade $> 550 \text{ kg/m}^3$ e $\leq 650 \text{ kg/m}^3$;
- d) ultra light: chapa com densidade $\geq 450 \text{ kg/m}^3$ e $\leq 550 \text{ kg/m}^3$.

Os painéis reconstituídos são comumente produzidos utilizando fibras ou partículas de madeira que são unidas utilizando adesivos ou resinas sintéticas. Essas fibras ou partículas são prensadas sob altas temperaturas com o auxílio desses aglutinantes (CARASHI et al., 2009).

3 RESINAS SINTÉTICAS

As resinas sintéticas utilizadas na fabricação de painéis de madeira são provenientes de fontes não renováveis como o petróleo, e várias consequências estão atreladas a elas, como variação da disponibilidade, custos e emissões de formaldeído, que tem potencial carcinogênico (GONZÁLES-GARCIA, 2009).

Na indústria de painéis, a resina uréia-formaldeído é a mais empregada atualmente. O principal fator que justifica o seu uso é o seu custo baixo em relação às outras resinas. No entanto, outras resinas como fenol-formaldeído (FF), isocianato, melamina-uréia-formaldeído (MUF) e melamina-formaldeído (MF) são empregadas na manufatura de painéis (IWAKIRI, 2005). Para melhorar a relação custo/benefício, visto que a resina é o componente de maior custo, é essencial definir o tipo e a quantidade a ser usada (MENDES et al. 2012).

A principal desvantagem da resina UF é a falta de resistência a condições de umidade elevadas. Já a resina MUF melhora as condições de resistência a umidade de painéis de madeira, e é bastante utilizada para painéis de madeira de uso exterior (MENDES et al. 2012).

4 O MERCADO DE PAINÉIS NO BRASIL

No Brasil, o desenvolvimento das indústrias de painéis se deu na década de 50, com a instalação de fábricas de chapas de fibras duras e isolantes em São Paulo. Na década de 60, começou a funcionar a primeira indústria de painéis aglomerados, iniciando um dos

segmentos mais importantes no fornecimento de matéria-prima para o mercado moveleiro do país. Nesta mesma época, foi implementada a política de incentivos fiscais para o reflorestamento de grandes áreas com espécies de pinus e eucalipto no sul do país, impulsionando o mercado de papel e celulose, painéis de madeira e serrarias (IWAKIRI, 2012).

Na década de 90, o Brasil entra na “era do MDF”, com vistas a atender a demanda da indústria de móveis. Em 1997, foi instalada em São Paulo a primeira fábrica, e chega também a tecnologia da prensa contínua, que possibilitou a fabricação de produtos com melhor qualidade e maior produtividade, tornando-o muito competitivo no mercado. Com isso, a indústria de painéis aglomerados precisou melhorar a qualidade dos seus produtos, com a adoção de inovações tecnológicas que possibilitaram a mudança da nomenclatura “*aglomerado*”, visto como de baixa qualidade, para MDP – Medium Density Particleboard, um produto capaz de competir em condições semelhantes com o MDF (IWAKIRI, 2012). No Brasil, a principal matéria-prima para a produção destes painéis são as florestas de pinus e eucalipto (BRINO et al. 2012).

Segundo Mattos et al. (2008), o mercado de painéis ainda não está totalmente consolidado. Embora os painéis compensados e o aglomerado/MDP, já serem fabricados há um bom tempo, o MDF começou a ser fabricado no Brasil somente em 1997 e o OSB, em 2001.

O Brasil produziu em 2005, 7,7 milhões de m³ de painéis. O Consumo de painéis aumentou em função da qualidade do produto, devido à escassez de madeira maciça (especialmente madeira de lei) e a melhora na economia, com a redução dos juros, aquecendo o mercado interno de móveis e da construção civil (MATTOS et al. 2008).

As fábricas de painéis de madeira reconstituída estão localizadas estrategicamente próximas aos pólos moveleiros ou em locais que possam facilitar o escoamento da produção. As fábricas estão localizadas principalmente nas regiões sul e sudeste do país. Esta proximidade garante preço e mercado (MATTOS et al. 2008).

Em 2008, o Brasil foi o 6º produtor de painéis de madeira no ranking mundial, produzindo 2.627.070 m³ de MDP (33%), 2.073.800 m³ de MDF (26%), 510.660 m³ de chapa dura (7%) e 2.631.000 m³(34%) de compensado. A capacidade instalada foi de 6,5 milhões de m³/ano, dividida entre as empresas Arauco do Brasil, Duratex, Berneck, Eucatex, Fibraplac, Masisa do Brasil e Bonet (MATTOS et al. 2008).

De acordo com o Biazus et al. (2010), o consumo de painéis de madeira

reconstituída em 2008 foi de 5,9 milhões de m³, onde o MDP e o MDF foram responsáveis por 4,9 milhões de m³ (83% do total). A evolução do consumo dos painéis de madeira reconstituída está bastante relacionada ao crescimento do PIB. Para cada 1% de incremento do PIB entre os anos de 1997 e 2008, o MDP cresceu em média 2,4% e o MDF, 11,8%. Isto indica um potencial de crescimento permanente, especialmente do MDF.

5 ETAPAS DE FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA MDF E MDP

As principais matérias-primas para a produção de MDF e MDP são cavacos de madeira, oriundos de serrarias, fábricas de compensados, fábricas de móveis e serragem de árvores inteiras. Toras de madeira, provenientes de florestas plantadas de pinus e eucalipto também são utilizadas na produção de painéis (RIVELA et al., 2007; PIEKARSKI et al., 2013).

Atualmente, as indústrias de painéis em todo o mundo adotam a mesma sequência de etapas e processos de fabricação (PIEKARSKI et al. 2012). De forma geral, as etapas de produção do MDF incluem a preparação mecânica dos cavacos ou toras de madeira em fibras, secagem, mistura das fibras com a resina e aditivos, formação do painel em esteira e prensagem a quente (RIVELA et al., 2007; SILVA et al., 2012).

De acordo com Silva et al. (2012) e Piekarski et al. (2013), inicialmente a matéria-prima (cavacos) é entregue por caminhão e armazenada em pátio de madeira, sem cobertura. Em uma peneira, é feita a triagem do material, na qual pequenas partículas (finas) e grandes partículas (cascas) são retiradas. As partículas finas retornam para o processo e as maiores são vendidas como biomassa para outras indústrias. Somente os cavacos apropriados são levados ao processo. Os cavacos são lavados e centrifugados para remoção da sujeira, com os resíduos e extrativos tratados como efluentes.

Os cavacos limpos são amolecidos num digestor de vapor pressurizado e, em seguida transportados para um desfibrador. O processo é feito com o uso de disco refinador pressurizado. Na etapa de blowline ou injeção de químicos, a resina a base de UF e outros aditivos são misturados às fibras. A secagem ocorre no secador de tubo de ar quente, onde o ar quente é responsável pela secagem das fibras. O ar quente evapora a umidade e conduz as fibras para o filtro a vento. O ar quente é gerado na fábrica pela queima do resíduo de pó de madeira da própria fábrica e eventual uso de gás natural.

Após a secagem, as fibras com 7 a 9% de umidade, seguem por um filtro de

vento, que ajuda a remover aglomerados de fibras e outros materiais que podem danificar o processo ou o produto final. As fibras secas selecionadas seguem para um silo alimentador que promove a distribuição uniforme das fibras em uma manta, com o auxílio de um pêndulo dosador de fibras, formando um tapete de fibras.

Para o MDP, as partículas secas são classificadas em peneiras vibratórias de acordo com a sua dimensão, em quatro grupos: oversize, material de camada interna (CI), material de camada externa (CE) e pó. As partículas de camada interna e externa são misturadas a resina a base de UF. Essa mistura segue para estações formadoras onde o material de CI e CE são distribuídos formando o colchão. As partículas de CI ficam no centro ou miolo do painel e as de CE são dispostas na parte externa do painel, formando três camadas (SILVA, 2012).

O tapete de fibras passa por um desaerador, para remover o ar entre as fibras e, posteriormente, é pré-comprimido pelo compressor. Este tapete é umedecido com água numa proporção de 2,5 l/m³ de MDF produzido.

A prensagem é feita em prensa contínua, que opera em função da temperatura e da pressão. A prensa opera com temperatura entre 170 e 230 °C e 5,2 Mpa, num tempo suficiente para curar a resina e a uma pressão de consolidação da esteira para uma densidade almejada. A prensa é usualmente aquecida por óleo quente gerado em usina térmica. Posteriormente, os painéis são serrados e refrigerados por 40 minutos. Depois, repousam por 48 horas para estabilizar as suas propriedades físicas e mecânicas.

Após o período de repouso, são lixados até espessura e suavidade desejados. O pó é reciclado como combustível para a usina termelétrica. Os painéis largos são serrados no comprimento e largura para serem comercializados e os resíduos gerados são levados de volta para o processo.

6 ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE PAINÉIS DE MADEIRA

Foram considerados 17 estudos que analisam os impactos ambientais de painéis de madeira e derivados feitos no Brasil, Chile, Espanha, EUA, Canadá e Áustria. A lista dos referidos estudos é apresentada na tabela 3.

Tabela 3 - Estudos de ACV de painéis de madeira.

Referência	Tipo de painel e densidade	Categorias de impacto avaliadas	Processos mais impactantes	Principais aspectos ambientais	Método de Avaliação de impacto
1. RIVELA <i>et al.</i> (2007).	MDF/ 615 kg/m ³	Saúde humana, qualidade dos ecossistemas e Recursos	Subsistema de preparação da madeira	O consumo de energia elétrica e resina uréia-formaldeído (UF)	Ecoindicator-99
2. GONZÁLES-GARCIA <i>et al.</i> (2009)	HDF (hardboard) 900 kg/m ³	Aquecimento global Formação fotoquímica de ozônio Acidificação Eutrofização Demanda de energia acumulada (CED)	O subsistema de preparação das fibras	Produção de energia elétrica Produção de laccase	CML 2baseline 2000 V2.1
3. GONZÁLES-GARCIA <i>et al.</i> (2011)	HDF (hardboard) 987 kg/m ³	Depleção abiótica Aquecimento global Depleção da camada de ozônio Toxicidade humana Ecotoxicidade Acidificação Eutrofização.	Subsistema de preparação da madeira	Produção de eletricidade Produção da resina FF Produção de energia térmica Preparação das fibras.	CML 2baseline 2000 V2.1
4. PUETMANN <i>et al.</i> (2010).	Madeira macia, madeira dura e piso de tira de madeira sólida.	Não realizou avaliação de impacto, somente análise de inventário.	A etapa de fabricação consumiu a maior quantidade de energia do total de energia do berço ao portão independente da região.	O consumo de energia	Não realizou avaliação de impacto. Fez análise de inventário.
5. WILSON (2010)	MDF 741 kg/m ³	Fez análise de inventário.	Fabricação do painel	Queima de resíduos de madeira Consumo de energia Resina UF	Não realizou avaliação de impacto. Fez análise de inventário.
6. PIEKARSKI <i>et al.</i> (2012).	MDF 681 kg/m ³	Não realizou avaliação de impacto. Realizou análise energética.	A etapa de secagem das fibras.	Consumo de energia	Realizou análise do consumo de energia.
7. BRINO <i>et al.</i> (2012)	MDF	Realizou mapeamento inicial para futuros estudos de ACV para o MDF.	-	-	Não realizou avaliação de impacto.

	Referência	Tipo de painel e densidade	Categorias de impacto avaliadas	Processos mais impactantes	Principais aspectos ambientais	Método de Avaliação de impacto
8.	SILVA <i>et al</i> (2013) a	MDP 630 kg/m ³	Depleção abiótica Acidificação Eutrofização Aquecimento global Formação fotoquímica de ozônio Ecotoxicidade e Toxicidade humana	O subsistema de produção industrial.	O uso do óleo pesado e a resina UF na produção do painel.	CML 2001 e USEtox.
9.	SILVA <i>et al.</i> (2013) b	MDP 630 kg/m ³	Não realizou avaliação de impacto. Realizou análise energética.	Subsistema de produção industrial	Consumo de energia elétrica proveniente de hidrelétricas.	Cumulative Energy Demand (CED)
10.	PIEKARSKI, (2013).	MDF 683 kg/m ³	Acidificação, Aquecimento global Depleção da camada de ozônio Depleção de recursos abióticos Formação fotoquímica de ozônio troposférico Ecotoxicidade Eutrofização Toxicidade humana	Subsistema de produção industrial	Uso do gás natural e resíduos de madeira na planta térmica de energia; Energia elétrica; Resina UF; Transporte da madeira (cavacos); Produção dos cavacos de madeira.	CML 2001 EDIP 97 USEtox 2008
11.	ATHENA, (2013)	MDF 496-801 kg/m ³	Aquecimento global Acidificação Eutrofização Smog fotoquímico Depleção de ozônio Energia Primária total	A etapa de manufatura do painel (sub-etapas de formação do painel e secagem)	Consumo de energia	TRACI 2
12.	ATHENA (2013)	MDP 590 a 800 kg/m ³	Aquecimento global Acidificação Eutrofização Smog fotoquímico Depleção de ozônio Energia Primária total	A etapa de manufatura do painel (sub-etapas de formação do painel e secagem)	Consumo de energia	TRACI 2
13.	SARAVIA-CORTEZ <i>et al.</i> , (2013)	MDP 630 kg/m ³	Pegada ecológica	O uso de recursos naturais e consumo de energia	Recursos materiais Recursos energéticos e Resíduos gerados.	EcologicalFootprintMethodology

Referência	Tipo de painel e densidade	Categorias de impacto avaliadas	Processos mais impactantes	Principais aspectos ambientais	Método de Avaliação de impacto
14. SANTOS <i>et al.</i> (2014)	Painéis de partículas de aparas de pinus e bagaço de cana (MDP)	Consumo de recursos renováveis, não renováveis e recursos energéticos Aquecimento global Formação fotoquímica de ozônio Acidificação Eutrofização Ecotoxicidade e toxicidade humana	As fases 1 e 2 (aquisição de matéria prima e produção do painel)	Energia elétrica; Uso de combustíveis fósseis; Resina UF.	EDIP 97 e Ometto, 2005.
15. PIEKARSKI <i>et al.</i> (2014).	MDF 683,2 kg/m ³	Não realizou avaliação de impacto. Realizou análise energética.	A etapa de secagem das fibras.	Consumo de energia	Cumulative Energy Demand (CED)
16. IRITANI <i>et al.</i> (2014)	Roupeiro composto por MDF	Aquecimento global Depleção de ozônio Acidificação Formação de oxidantes fotoquímicos Ecotoxicidade Eutrofização Toxicidade Humana	Obtenção de matérias primas Distribuição	Resina UF Energia elétrica Consumo de diesel Consumo de fertilizante NPK	EDIP 97.
17. SILVA <i>et al.</i> (2014)	Painel de partícula de bagaço de cana (MDP) 630 kg/m ³	Depleção de recursos abióticos Acidificação Eutrofização Aquecimento global Depleção da camada de ozônio Oxidação fotoquímica de ozônio Ecotoxicidade e toxicidade humana	O subsistema de produção do painel.	Óleo pesado Eletricidade Cadeia de fornecimento da resina UF	CML 2001 e USEtox.

Fonte: Elaborada pelo autor.

As avaliações ambientais são principalmente voltadas para o estudo de painéis tipo MDF e MDP. Isto pode ser justificado pela relevância econômica destes dois painéis tanto em nível nacional quanto internacional, pois são os mais utilizados na indústria de móveis e construção civil.

Predomina nos trabalhos o uso do método de avaliação do ciclo de vida (ACV) que permite avaliar os impactos ambientais relacionados não só a produção dos painéis, mas também a extração das matérias-primas necessárias à produção, uso do painel e seu descarte final (ISO, 2009). Entretanto, o escopo dos estudos analisados abrange, em sua maioria, as etapas de aquisição de matéria-prima e de fabricação do produto (“berço ao portão”), devido as diversas aplicações possíveis dos painéis. Excessões são o estudo de Rivela et al. (2007) que considerou a etapa de distribuição do produto, o de Saravia-Cortez et al. (2013), que analisa somente as etapas dentro da fábrica (“portão-a-portão”), e o de Santos et al. (2014), que abrange desde a aquisição da matéria-prima até o descarte final do produto (“berço ao túmulo”).

Observou-se que apenas os dois trabalhos de Santos et al. (2014) e Silva et al. (2014) utilizam resíduos agroindustriais (bagaço de cana e resíduos de madeira de pinus) como matéria prima para fabricação dos painéis. A principal matéria-prima dos painéis brasileiros são florestas plantadas de pinus e/ou eucalipto, e dos painéis produzidos no Chile, Espanha, EUA e Canadá, resíduos de madeira de outros processos industriais. Assim, os painéis produzidos no exterior tem uma vantagem em relação aos produzidos no Brasil, visto que estão utilizando resíduos para fabricar novos produtos, não considerando impactos relacionados à produção agrícola. No entanto, é importante frisar que o Brasil vem desenvolvendo processos em escala laboratorial e piloto para aplicação de resíduos como o bagaço de cana e a casca de coco verde na produção de painéis reconstituídos, como os trabalhos de Araújo Júnior, realizados em 2011 e 2013.

Os processos de produção de painéis foram em sua maioria analisados em escala industrial. Apenas nos estudos de Santos et al. (2014) e de Gonzáles-Garcia et al. (2009), o processo de produção de painel foi analisado em escala laboratorial ou piloto.

A maioria dos processos de produção utilizou a uréia-formaldeído como resina aglutinante das partículas de madeira. Apenas o processo analisado por Gonzáles-Garcia et al. (2009) utiliza uma resina alternativa a base de lignina e enzima lacase, em substituição a resina fenol-formaldeído na fabricação de painel chamado hardboard verde. Este produto foi comparado com o painel convencional que utiliza a resina fenol-formaldeído (FF) e o novo painel apresentou melhores propriedades mecânicas e de resistência a água em relação ao painel com FF, além de evitar emissões derivadas da resina FF.

Saravia-Cortez et al. (2013) realizou avaliação da sustentabilidade ambiental utilizando o método de pegada ecológica (Ecological Footprint Methodology), que é expressa

em hectares globais (gha). Os resultados mostraram que a pegada ecológica do painel é influenciada principalmente pelo tipo de matéria-prima utilizada, neste estudo, em torno de 90% é madeira em toras. De acordo com esse estudo, para reduzir a pegada seria necessário utilizar resíduos de madeira.

Observou-se nos demais estudos que houve similaridade em relação aos principais pontos críticos ambientais relacionados ao ciclo de vida de painéis. A etapa em geral que mais contribuiu para os potenciais impactos ambientais foi a manufatura do painel em função do consumo de energia, emissões de formaldeído livre devido ao uso da resina UF, e o óleo pesado usado para aquecer a prensa contínua.

Alguns estudos, como os de Gonzáles-Garcia et al. (2011), Piekarski, et al. (2014), ATHENA (2013) para o MDP e o MDF, consideraram as emissões de CO₂ biogênico como neutras. As emissões de CO₂ devido à queima dos resíduos de biomassa utilizados na produção de energia térmica foram consideradas iguais a absorção de CO₂ no crescimento das árvores e não foram citadas como contribuidoras para o potencial de aquecimento global.

Os principais impactos analisados foram aquecimento global, eutrofização, acidificação, formação fotoquímica de ozônio, depleção da camada de ozônio, ecotoxicidade e toxicidade humana, e, em alguns trabalhos, foi realizada análise energética pelo método Cumulative Energy Demand (CED). Apenas um estudo avalia danos à saúde humana, qualidade dos ecossistemas e depleção de recursos (Rivela et al. 2007).

Os métodos de avaliação de impacto de ciclo de vida utilizados foram CML 2001, EDIP 97, USEtox, TRACI 2, Ecoindicator 99 e Cumulative Energy Demand (CED). Os métodos CML e EDIP foram os mais adotados para analisar as categorias de impacto depleção de recursos abióticos, acidificação, eutrofização, aquecimento global, depleção da camada de ozônio e oxidação fotoquímica de ozônio troposférico. O método USEtox foi o mais utilizado para analisar as categorias que envolvem impactos de toxicidade. O método Ecoindicator 99 foi utilizado nas avaliações de dano ambiental, o Cumulative Energy Demand (CED), para análise energética, e o Ecological Footprint Methodology (Método da pegada ecológica), para avaliar os impactos em termos de uso de recursos materiais, energéticos e resíduos gerados.

7 DISCUSSÃO

Considerando os estudos analisados, podem ser sugeridas algumas alternativas de

melhoria do desempenho ambiental de painéis: i) uso de resíduos lignocelulósicos como matéria-prima; ii) uso de fontes renováveis de energia; e iii) uso de resinas alternativas.

A redução do uso de madeira de florestas plantadas pode ocorrer com o uso de resíduos de outros processos agroindustriais, a exemplo da casca de coco verde e o bagaço de cana. Observou-se que a literatura atual dispõe de poucas informações sobre estudos ambientais de painéis obtidos a partir de fibras vegetais alternativas, como resíduos lignocelulósicos. Devido à importância do agronegócio no Brasil e a grande quantidade e diversidade de resíduos lignocelulósicos gerados tanto na agricultura como na agroindústria, ressalta-se a necessidade de ampliação das pesquisas voltados ao desenvolvimento de painéis oriundos de materiais alternativos. Tomando como exemplo a grande quantidade de casca de coco verde gerada nas indústrias beneficiadoras de água de coco, onde em média são processados dez mil cocos por dia, e considerando que um coco verde pesa 1,5 kg, 1,1 kg é casca e 0,4 kg é água, o volume de fibra vegetal gerado é abundante. Soma-se a essa disponibilidade o fato das indústrias terem muita dificuldade em dar uma destinação correta a esses resíduos, que muitas vezes são dispostos em lixões a céu aberto, trazendo diversas consequências negativas aos seres humanos e ao meio ambiente.

A produção de painéis sem adição de resinas sintéticas, utilizando resinas naturais, é outra possibilidade a ser investigada. Os principais problemas ambientais das resinas a base de formaldeído são as emissões para o ar, pois as emissões de formaldeído livre tem potencial carcinogênico. O formaldeído livre é emitido de três maneiras: i) a partir do formaldeído residual na resina; ii) durante a fabricação da resina; e iii) quando o formaldeído é liberado por degradação da resina curada durante a manufatura dos painéis de madeira (TOHMURA et al., 2001 *apud* SILVA et al., 2014). Estudos sobre o uso de resinas naturais na produção de painéis, como a lignina, são necessários para melhoria do desempenho ambiental de painéis de madeira (SILVA et al., 2014).

Diversas fibras vegetais possuem altos teores de lignina. A casca de coco, por exemplo, possui valores de 38 a 44% (CORRADINE et al., 2009). A lignina pode ser usada como agente aglutinante natural e a sua vantagem é ser abundante na natureza. Ela pode funcionar como um ligante natural na fabricação de painéis que, sob alta temperatura e pressão, dispensa o uso de resinas sintéticas para aglutinar as fibras (VAN DAM et al., 2004).

A utilização de fontes de energias renováveis para geração de eletricidade, como eólica e solar pode contribuir com a redução dos impactos pelo uso de energia na prensagem dos painéis. Silva et al. (2013), sugerem a redução do consumo de energia com adoção de

sistemas de cogeração onde há aproveitamento dos resíduos de madeira gerados no local durante o processamento da madeira. A redução no uso de resinas sintéticas, a base de formaldeído, pode ocorrer com o uso da lignina já presente em inúmeras fibras vegetais como agente ligante (CORRADINE et al. 2009).

8 CONCLUSÃO

O foco deste trabalho foi analisar os principais aspectos e impactos ambientais potenciais em estudos de ACV para painéis de madeira e derivados. Observou-se que a literatura dispõe de poucas informações sobre ACV de painéis fabricados com resíduos agroindustriais.

De forma geral a etapa que mais contribuiu para os potenciais impactos ambientais foi a manufatura dos painéis devido ao consumo de energia, o uso da resina uréia-formaldeído (UF) e de combustíveis fósseis.

Desta forma, para redução dos impactos ambientais dos painéis, faz-se necessário investigar a utilização de outras fontes de energia como a eólica e solar, ou utilizar os resíduos dos processos industriais em sistemas de cogeração; quanto aos problemas ambientais devido ao uso da resina UF, uma alternativa seria a diminuição do uso desta resina, ou a sua substituição por outras resinas alternativas. A utilização de resíduos lignocelulósicos como a casca de coco pode ser uma solução viável, em substituição a madeira maciça visto que estes resíduos, contém lignina, podendo funcionar como um ligante natural.

9 REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15316-1: 2009. **Chapas de fibra de média densidade**. Parte 1 – Terminologia. ABNT, 2009.

ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE. **A Cradle-to-gate Life Cycle Assessment of Canadian Medium Density Fiberboard (MDF) – 2013 Update**. Ottawa, ON. Setembro, 2013.

ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE. **A Cradle-to-gate Life Cycle Assessment of Canadian Particleboard – 2013 Update**. Ottawa, ON. Setembro, 2013.

BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. Panorama de mercado: painéis de madeira. **BNDES Setorial**, n. 32, set. 2010, p. 49-89, 2010.

BRINO, H. R. H; FRANCISCO, A. C.; PIEKARSKI, C. LUZ, L. M. **Estudo preliminar para viabilidade de aplicação da ACV: Mapeamento de Processo Produtivo do painel**

MDF. In:XVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 17., 2012, Curitiba. **Anais...** 2012.

CARASCHI, J.C.; LEÃO, A. L.; CHAMMA, P. V. C. Avaliação de Painéis Produzidos a partir de Resíduos Sólidos para Aplicação na Arquitetura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 1, p. 47-53, 2009

CORRADINE, E; ROSA, M. F.; MACEDO, B. P.; PALADIN, P. D.; MATTOSO, L.H. C. Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos cultivares de coco verde. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 837-846, 2009

GARCIA-GONZÁLES, S.; FEIJOO, G.; HEATHCOTE, C.; KANDELBAUER, A. Environmental Assessment of Green hardboard production coupled with a laccase activated system. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 5, p. 445-453, 2011.

GARCIA-GONZÁLES, S.; FEIJOO, G.; WIDSTEN, P.; KANDELBAUER, A.; ZIKULNIG-RUSCH, E.; MOREIRA, M. T. Environmental performance assessment of hardboard manufacture. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 14, n. 5, p. 456-466, 2009.

IRITANI, D. R.; SILVA, D. A. L.; SAAVEDRA, Y. M. B.; GRAEL, P. F. F.; OMETTO, A. R. Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry. **Journal of Cleaner Production**, p. 1-11, 2014.

IWAKIRI, S.; CAPRARA, A. C.; SAKS, D. C. O.; GUI SANTES, F. P.; FRANZONI, J. A. KRAMBECK, L. B. P.; RIGATTO, P. A. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Scientia Forestalis**, v. 68, p. 39-43, 2005.

IWAKIRI, S. **História, evolução, tecnologia e perspectivas.** Revista Opiniões- set/nov, 2012. Disponível em: <http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=859>. Acesso em: 19 nov. 2014.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas. **BNDES Setorial**, n. 27, p. 121-156, 2008.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; SANTOS, R. C.; CÉSAR, A. A. S. Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 161-170, 2012.

PIEKARSKI, C. M. **Proposta de Melhoria do Desempenho Ambiental Associado ao Ciclo de Vida da Produção do PAINEL DE MADEIRA MDF.** 2013. 147f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2013.

PIEKARSKI, C. M.; FRANCISCO, A. C.; LUZ, L. M. Energy consumption in MDF production: Overview of use renewable and non-fossil energy sources in a Brazilian mill. In: **International Conference on Industrial Engineering and Operations Management.** 2012.

PIEKARSKI, C. M.; CARLOS DE FRANCISCO, A.; LUZ, L. M.; ALVARENGA, T. H. P.; BITTENCOURT, J. V. M. Environmental profile analysis of MDF panels production: study

in a Brazilian technological condition. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 409-418, 2014.

PUETTMANN, M. E.; BERGMAN, R.; HUBBARD, S. JOHNSON, L.; LIPPKE, B. ONEIL, E. WAGNER, F.G. Cradle-to-gate life-cycle inventory of US wood products production: CORRIM phase I and phase II products. **Wood and Fiber Science**, v. 42, p. 15-28, 2010.

REMADE. **História. Características tecnológicas e aplicações.** Revista da Madeira, n. 71, maio 2003. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=328&subject=Hist%F3ria&title=Caracter%EDsticas%20tecnol%F3gicas%20e%20aplica%E7%F5es. Acesso em: 20 nov. 2014.

RIVELA, B.; MOREIRA, M.T.; FEIJOO, G. Life cycle inventory of medium density fibreboard. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 12, n. 3, p. 143-150, 2007.

SARAIVA-CORTEZ, A. M.; HERVA, M.; GARCIA-DIÉGUEZ, C.; ROCA, E. Assessing environmental sustainability of particleboard production process by ecological footprint. **Journal of Cleaner Production**, v. 52, p. 301-308, 2013.

SILVA, D. L. A. **Avaliação do Ciclo de Vida da Produção do Pannel de Madeira MDP no Brasil.** 2012. 207 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SILVA, D. L. S.; LAHR, F. A. R.; GARCIA, R. P.; FREIRE, F. M. C. S.; OMETTO, A. R. 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, D. A. L.; VARANDA, L. D.; LAHR, F. A. R. **Análise Energética do Ciclo de Vida Produtivo do Pannel MDP no Brasil.** In: International Workshop Advances in Cleaner Production, São Paulo, 2013.

SILVA, D. A. L.; LARH, F. A. R.; PAVAN, A. L. R.; SAAVEDRA, Y. M. B.; MENDES, N. C.; SOUSA, S. R.; SANCHES, R.; OMETTO, A. R. Do wood-based panels made with agro-industrial residues provide environmentally benign alternatives? An LCA case study of sugarcane bagasse addition to particle board manufacturing. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, n. 10, p. 1767-1778, 2014.

SILVA, D. A. L.; LARH, F. A. R.; VARANDA, L. D.; CHRISTOFORO, A. L.; OMETTO, A. R. Environmental performance assessment of the melamine-urea-formaldehyde (MUF) resin manufacture: a case study in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, p. 1-9, 2014.

SANTOS, M. F. N.; BATTISTELLE, R. A. G.; BEZERRA, B. S.; VARUM, H. S. A. Comparative Study of life cycle assessment of particleboards made of residues from sugarcane bagasse (*Saccharum spp.*) and pine wood shavings (*pinus elliottii*). **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 345-355, 2014.

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos Painéis MDF Comerciais Produzidos no Brasil.** 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). – Pós-Graduação em Engenharia

Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

VAN DAM, J. E.G.; OEVER, M. J. A. V. D.; TEUNISSEN, W. KEIJSERS, E.R.P.; PERALTA, A. Process production for high density/high performance binderless boards from whole coconut husk. Part 1: Lignin as intrinsec thermossetting binder resin. **Industrial Crops and Products**, v. 19, n. 3, p. 207-216, 2004.

WILSON, J. B. Life-cycle inventory of medium density fiberboard in terms of resources, emissions and carbon. **Wood and Fiber Science**, v. 42, p. 107-124, 2010.

4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE PAINÉIS OBTIDOS A PARTIR DA CASCA DE COCO VERDE

4.1 INTRODUÇÃO

Os painéis de madeira em geral, surgiram para suprir a demanda gerada pela escassez de madeira maciça e para reduzir as perdas que ocorriam nas indústrias madeireiras e nas atividades florestais (Carashi et al., 2009). Os painéis de fibras são produtos fabricados utilizando fibras lignocelulósicas combinados com resina sintética, prensados sob alta temperatura e pressão (Rivela et al., 2007).

Os painéis podem ser fabricados de duas maneiras: com madeira reconstituída e com madeira processada mecanicamente. Os painéis de madeira reconstituída são fabricados com fibras ou partículas de madeira, tendo como exemplo destes painéis o aglomerado/MDP (Medium Density Particleboard), o MDF (Medium Density Fiberboard), o OSB (Oriented Strand Board) e Chapas de fibras (MATTOS et al., 2008). Os painéis de madeira processada mecanicamente são formados por lâminas ou sarrafos de madeira maciça, tendo como exemplo compensados e laminados (MATTOS et al., 2008).

Segundo Mattos et al. (2008), o mercado de painéis no Brasil tem crescido consideravelmente, pois tem sido uma alternativa para substituição da madeira maciça. As indústrias brasileiras de painéis aglomerados/MDP, MDF e seus correlatos HDF e SDF utilizam, preferencialmente, cavacos de madeira de florestas plantadas de pinus e eucalipto. Essa matéria-prima confere uma maior qualidade ao produto, como cor e uniformidade (MATTOS et al., 2008), sendo aglomerada em condições estabelecidas de temperatura e pressão.

Nos últimos anos, painéis reconstituídos estão sendo desenvolvidos utilizando fibras vegetais provenientes de resíduos da agroindústria, como a casca de coco verde, podendo ser mais uma opção sustentável de redução do uso de madeira e resinas sintéticas. A produção de painéis obtidos a partir da casca de coco verde possibilita a destinação correta dessa biomassa, ainda disposta como resíduo por muitas indústrias de água de coco. Dessa forma, as cascas de coco verde, deixariam de ser um problema na área de resíduos sólidos urbanos, podendo tornar-se uma solução inteligente, sustentável e economicamente viável.

Este trabalho avalia o impacto ambiental de painéis elaborados a partir da casca de coco verde, considerando o seu ciclo de vida, numa abordagem “berço ao portão”. Os painéis foram avaliados considerando duas situações: i) a casca de coco como um resíduo agroindustrial (situação atual) e ii) a casca de coco como uma matéria-prima comercializada pelas indústrias processadoras de água de coco, no qual considera-se o processo agrícola (possível situação futura).

A relevância da produção deste painel se deve ao potencial de reaproveitar a casca de coco verde que é renovável e abundante (ARAÚJO JÚNIOR, 2014), além de poder ser uma opção sustentável para redução do uso de madeira e resinas sintéticas. A produção dos painéis possibilita dar uma melhor destinação à casca de coco verde, um resíduo volumoso e que disposto de forma inadequada, como em vazadouros a céu aberto, contribui com as emissões de gases de efeito estufa, contaminação do solo e do lençol freático, além de aparência estética negativa.

A avaliação ambiental desse produto possibilita identificar os possíveis impactos para que ações de redução dos mesmos possam ser definidas e adotadas antes do escalonamento de sua produção e difusão da tecnologia para o setor agroindustrial. Essa avaliação aponta qual etapa do ciclo de vida do produto é a maior responsável pelos impactos e quais consumos e emissões devem ser reduzidos.

4.2 OS PAINÉIS DE CASCA DE COCO VERDE

O potencial da casca de coco verde na fabricação de painéis lignocelulósicos foi investigado por Van Dam et al. (2004), por ser um resíduo abundante gerado pelo beneficiamento do coco verde. Segundo Van Dam et al. (2004), a casca do coco tem cerca de 70% de pó e 30% de fibra, ambos com alto percentual de lignina e que submetida a temperaturas superiores a 140° C apresenta propriedades termoendurecíveis, podendo ser utilizada na fabricação de painéis sem adição de ligantes químicos.

Os painéis em estudo foram desenvolvidos na Embrapa Agroindústria Tropical em escala laboratorial (ARAÚJO JÚNIOR, 2014). Foram produzidos três tipos de painéis a partir da fibra de coco verde: i) média densidade (*Medium Density Fiberboard* - MDF), sem adição de resina, denominado PCCV - MDF; alta densidade (*High Density Fiberboard* - HDF), sem adição de resina, denominado PCCV - HDF; e média densidade, com adição de

resina, denominado PCCVR. A classificação HDF e MDF foi dada em função da densidade, de acordo com a norma da ABNT 15316-1:2006.

A lignina presente na casca do coco funciona como um ligante natural, que sob ação de elevada temperatura e pressão, dispensa o uso de adesivos sintéticos. Entretanto, a adição de resinas, como uréia formaldeído (UF), permite produzir painéis a uma menor temperatura (Santos et al., 2014).

Estes painéis apresentam superfícies lisas e coloração que varia de marrom claro a marrom escuro. As especificações físicas e mecânicas desses painéis estão apresentadas na Tabela 4. Os testes realizados até o momento (absorção de água, espessura de inchamento, módulo de elasticidade e módulo de ruptura), indicam que o painel PCCV-HDF é mais resistente que os demais podendo ser utilizado em partes de móveis que suportam maior peso, como fundo de gavetas. Já os painéis PCCV-MDF e PCCVR-MDF UF são mais leves, podendo ser utilizados em laterais de móveis ou como isolante térmico ou acústico. Entretanto, esses três painéis tem função similar quando são utilizados de forma decorativa em artefatos diversos.

Tabela 4 Especificações físicas e mecânicas dos painéis (PCCV e PCCVR)

Painel	Composição	Temperatura de prensagem (°C)	Espessura (mm)	Densidade Kg/m ³	Absorção de água (%) 24 hs	Espessura de inchamento (%) 24 hs	Módulo de Elasticidade (MOE) N/mm ²	Módulo de Ruptura (MOR) Mpa N/mm ²
HDF	70% pó 30% fibra	220°	5	1297	27	20	2323	16,6
MDF	70% pó 30% fibra	210°	5	793	86	40	236,9	3,44
MDF UF	82,54% (pó e fibra 70:30) 15% resina UF 1,5% Emulsão de parafina 0,2% sulfato de amônia 0,76% água	160°	4	792	47	6	411,2	4,14

Fonte: elaborado pelo autor

4.3 METODOLOGIA

A ACV dos painéis de casca de coco verde foi realizada seguindo os passos identificados pela norma NBR ISO 14044 (2009).

4.3.1 Unidade Funcional

A unidade funcional utilizada é um painel de casca de coco verde com 0,011m². Devido as diferentes densidades, cada painel apresenta massa própria: HDF com 71g; MDF com 46g e MDF UF com 37g.

4.3.2 Fronteiras do sistema

Atualmente no Brasil, devido às cascas de coco ainda serem consideradas resíduos, elas são usualmente enviadas para disposição em lixões ou aterros sanitários. Assim, esse trabalho considera que a casca de coco verde é um recurso vindo da natureza (resíduo) e utilizado em unidades de beneficiamento para produção de pó e fibra de coco que são utilizados na produção de painéis. A fronteira do sistema compreende os seguintes processos unitários: beneficiamento da casca de coco verde, transporte da matéria prima e o macroprocesso de produção dos painéis de casca de coco verde. O macroprocesso de produção de painéis compreende os seguintes processos unitários: peneiramento do pó e secagem em estufa, moagem da fibra, secagem da fibra em estufa e prensagem do painel (Figura 3 e 4).

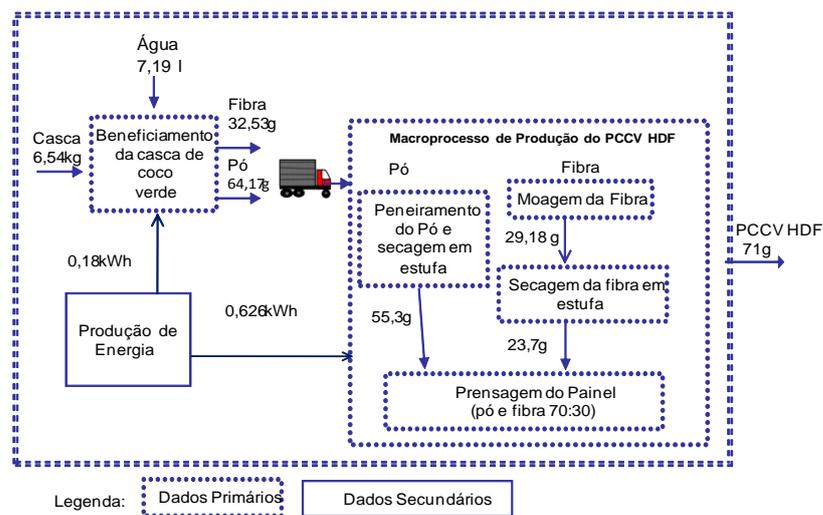


Figura 3 Sistema de produto para o painel PCCV - HDF.

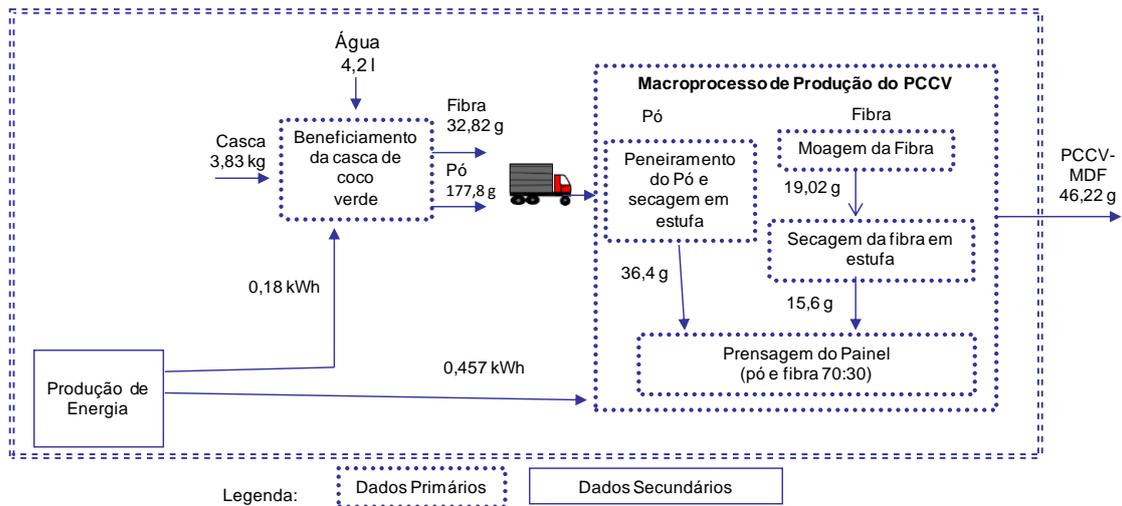


Figura 4 Sistema de produto para o painel PCCV - MDF.

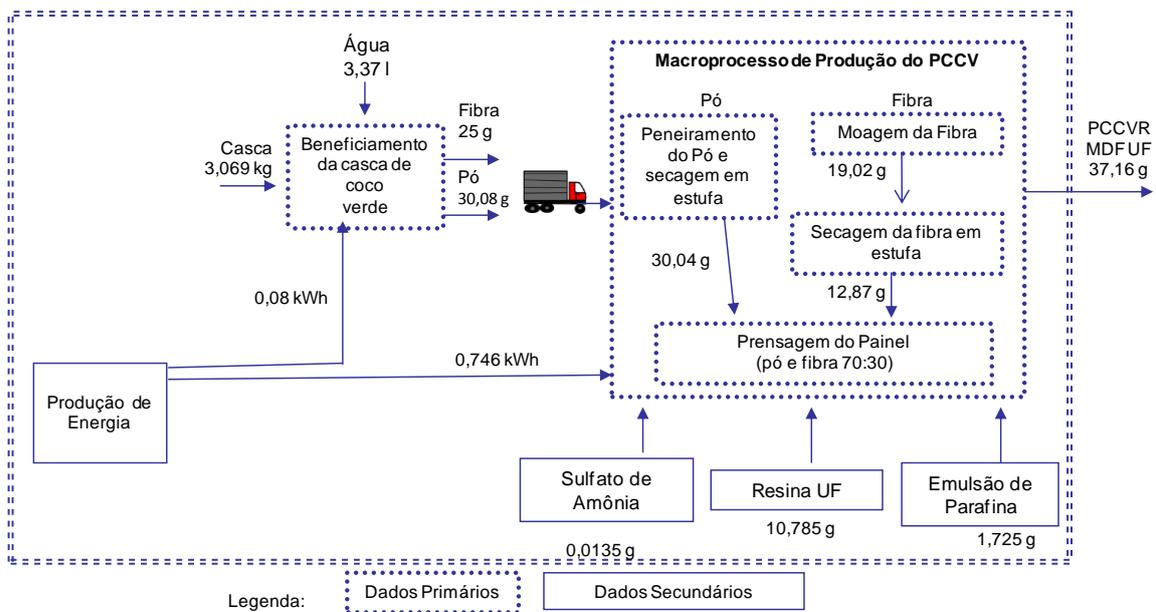


Figura 5 Sistema de produto para o painel PCCVR – MDF UF.

4.3.3 Critérios de alocação

Adotou-se o critério de alocação mássica nos processos de beneficiamento da água de coco verde, que gera água e casca e no processo de beneficiamento da casca de coco que gera pó e fibra. A alocação de massa foi utilizada no beneficiamento da casca porque o pó e a fibra não são utilizados integralmente na fabricação do painel. As massas e percentuais de

alocação de água e casca de coco, assim como de pó e fibra extraídos da casca estão apresentados nas tabelas 5, 6 e 7.

4.3.4 Inventário de dados

Foi realizada coleta de dados primários para os processos de produção agrícola, processamento da água de coco, beneficiamento da casca e produção de painéis. O levantamento das informações sobre a produção agrícola de coco verde foi realizado no período de novembro de 2013 a maio de 2014, em fazenda localizada no município de Paraipaba-CE, que tem área total de 210 hectares. Os dados que envolvem a etapa de abertura do coco verde no processo de extração de água de coco, assim como os dados relativos ao processo de beneficiamento da casca de coco verde foram coletados em visita e entrevista realizada a uma unidade produtiva no estado do Ceará, realizada em 2013. Já os dados referentes à produção do painel, foram coletados no laboratório de Tecnologia da Biomassa (LTB) da Embrapa Agroindústria Tropical, onde os painéis estão sendo desenvolvidos.

O consumo de energia elétrica na produção dos painéis foi estimado com base em medições *in situ* dos equipamentos em operação. Para realizar as medições, foi utilizado o alicate amperímetro digital True-rms Fluke 324, para medir a tensão e a corrente elétrica a fim de obter a potência dos equipamentos e mensurar o consumo em kWh (unidade padrão de consumo elétrico). O consumo de energia dos equipamentos foi calculado utilizando a Equação 1.

$$P=U.I \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde, P=Potência (watt), U=Tensão (Volt) e I=Corrente (ampére).

O resultado da potência dado em watt foi convertido em kW multiplicando o resultado por 1.000, e ao final em kWh, multiplicando o valor em kW pelo tempo de funcionamento dos equipamentos.

As emissões de CO₂ (pela mudança no uso da terra, mudança de carbono no solo, pelo uso de fertilizantes e pela queima de diesel), N₂O e CH₄ pela queima da biomassa, foram calculadas de acordo com o IPCC (2006). As seguintes emissões foram estimadas de acordo com os métodos descritos por Nemecek e Schnetzer (2012): amônia (NH₃) e óxidos de nitrogênio (NO_x) para o ar; nitrato (NO₃) e compostos de fósforo como o fosfato (PO₄) e fósforo (P) para a água; e metais pesados cádmio (Cd), cobre (Cu), zinco (Zn) e chumbo (Pb) para o solo.

Os dados relativos a consumos e emissões dos processos de produção de insumos (energia elétrica, produtos químicos e diesel) foram obtidos na base de dados Ecoinvent 2.2. (Frischknecht, Jungbluth, 2007). Os dados de carga poluente dos efluentes gerados no processo de beneficiamento da casca de coco verde (líquido da casca de coco verde e líquido da lavagem do pó) foram obtidos de Figueirêdo et al. (2008). E as emissões de formaldeído (EF) foram estimadas de acordo com Wilson (2010).

A seguir, estão descritos os processos unitários onde os dados primários foram coletados.

4.3.5 Produção agrícola de coco verde

Em 2014, 60 ha de coqueiro anão estavam em produção na fazenda visitada. Considerou-se que cada hectare possui 148 plantas e cada planta produz em média 220 frutos/planta.ano. O inventário ambiental desse processo considerou todas as etapas de produção para um pomar com vida útil de 17 anos: produção de mudas, implantação do pomar, crescimento e produção.

O tipo de solo da fazenda visitada, característico de áreas produtoras de coco no nordeste, é o neossolo quartzarênico ou areia quartzosa. O fluxograma da produção agrícola de coco verde contendo os insumos e emissões, por etapa da produção está apresentado no Apêndice A e as figuras que ilustram o processo de produção agrícola, no Apêndice B.

Na produção agrícola de coco verde, inicialmente é feita a limpeza do terreno, por meio da supressão da vegetação nativa e queima controlada, autorizada por órgão estadual responsável, para realizar o plantio das mudas de coqueiro.

Na produção das mudas, são selecionadas as plantas para a escolha dos frutos sementes. Os frutos são colhidos com doze meses, quando estão maduros. Após a colheita, os frutos descansam por um período de 15 (quinze) dias para finalizar o processo de maturação. As sementes são colocadas no viveiro em posição vertical, em linhas paralelas com distância entre as linhas de 60 (sessenta) cm. A irrigação das mudas é feita por aspersão, 1 (uma) hora por dia, utilizando 6 (seis) litros de água/m²/dia. O ciclo de produção das mudas é de 3 (três) meses.

Após a germinação, as mudas são levadas para o plantio direto em covas. O plantio dos coqueiros é feito utilizando os espaçamentos 7,5 x 9,0, em sistema retangular após adubação de fundação com o fertilizante granulado micro FTE, que tem em sua composição

(Boro (B): 2,5%, Cobre (Cu): 7,5%, Manganês (Mn): 12,0%, Zinco (Zn): 5,0%, Ferro(Fe) 6,0%), composto orgânico e superfosfato simples. A irrigação é feita por microaspersão, uma hora por dia, utilizando 55 (cinquenta e cinco) litros de água/planta.dia, durante o primeiro ano, em 240 (duzentos e quarenta) dias do ano. Durante o primeiro ano de vida da planta a adubação é feita com 30 (trinta) gramas de uréia/planta.semana e 30 (trinta) kg de esterco de gado fresco/planta.ano.

No segundo ano, a irrigação é feita utilizando 110 (cento e dez) litros de água/planta.dia, duas horas por dia, em 240 (duzentos e quarenta) dias do ano. Na adubação, utiliza-se uréia, potássio, e superfosfato simples.

A partir do terceiro ano, a irrigação é feita utilizando 200 (duzentos) litros de água/planta.dia, por 4 hs/dia nos meses de junho, julho, agosto e setembro, e 4,5 hs/dia nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro, totalizando 240 (duzentos e quarenta) dias do ano. No período chuvoso o coqueiro não é irrigado, a menos que não ocorram chuvas por um período superior a dez dias. A adubação é feita com uréia, potássio, superfosfato simples e esterco bovino. A planta começa a produzir frutos a partir do terceiro ano.

Considera-se que o material de irrigação tem vida útil de 20 (vinte) anos. Embora a planta ainda esteja produtiva, o tempo de vida limite para a colheita dos frutos é de 17 anos, pois o coqueiro anão fica muito alto, dificultando a colheita e os tratamentos culturais.

Quanto aos tratamentos culturais, quando as plantas estão novas é feita gradagem no primeiro ano e roçagem mecânica a partir do segundo ano em diante, com roçadeira. Os restos culturais, como cachos e folhas são usados como cobertura morta do solo e os frutos danificados, são triturados e também utilizados como cobertura morta. O manejo de plantas infestantes é feito com capina manual.

As doenças mais comuns são lixa grande, lixa pequena, rezinose e queima das folhas. A rezinose é tratada localmente, com a retirada da parte doente e colocando sob a parte que foi retirada o cicatrizante chamado de calda bordalesa, que é um antifúngico composto de sulfato de cobre e cal. Para as demais doenças, devido ao pequeno número de plantas doentes, a fazenda não utiliza nenhuma medida de controle, as plantas permanecem no pomar sem serem retiradas e não utilizam nenhum produto químico para tratar as doenças.

As pragas mais comuns são as lagartas que são controladas com a cata manual. Os ácaros são controlados com óleo vegetal de algodão e detergente neutro. Para o controle do *metamasius* são feitas armadilhas com ferormônio e para o controle do *Rhyncophorus* (broca do olho do coqueiro) são utilizadas armadilhas com rincoforol.

A colheita do coco verde é feita semanalmente, sendo que em cada coqueiro a colheita é feita uma vez por mês. Em cada semana, são colhidos em média 20.000 frutos. A colheita dos frutos é realizada com o apoio de cinco funcionários que utilizam foice e ganchos. O período ideal para a colheita dos frutos para consumo in natura da água de coco é entre o sexto e o sétimo mês após a abertura da inflorescência.

O transporte dos frutos para a indústria beneficiadora de água de coco é feito por um caminhão trucado modelo 23220, Volkswagen, movido a diesel, com capacidade para 10.000 frutos.

4.3.6 Abertura do coco verde no processo de extração da água

Inicialmente, ocorre a recepção dos caminhões que chegam à fábrica, carregados de coco verde. A abertura dos frutos é feita de forma manual, com o auxílio de um equipamento semi-artesanal, chamado “bacia de extração de água de coco”. Este equipamento possui um dispositivo pontiagudo de aço inoxidável que permite a abertura do coco.

Após a abertura, as cascas em bandas são separadas, levadas para a retirada da polpa, também manual, e enviadas para a usina beneficiadora de casca de coco verde. O fluxograma da etapa de abertura do coco verde está apresentado no Apêndice C. As figuras que ilustram a etapa de abertura do coco verde constam no Apêndice D.

4.3.7 Beneficiamento da Casca de Coco Verde

A unidade de beneficiamento de cascas de coco verde fica vizinha a unidade de processamento de água de coco, a uma distância de 300 m. As cascas são transportadas em caminhão trucado 23220, Volkswagen, com capacidade para dez toneladas.

As cascas em bandas são descarregadas do caminhão e pesadas antes do início do seu processamento. Os equipamentos utilizados são da empresa metalúrgica Fortalmag. A alimentação do triturador de casca é feita com o auxílio de um elevador. As cascas em bandas são processadas pela máquina, que possui um rolo de facas fixas. Após o triturador, as cascas passam por uma prensa de rolos horizontais. Esta prensagem reduz a umidade, sendo eliminado o Líquido da Casca de Coco Verde (LCCV), rico em nutrientes e matéria orgânica, que segue para tratamento em reator anaeróbio.

Após a prensagem para eliminação do LCCV, há uma seleção do pó e fibra na máquina classificadora, que possui um rolo de facas fixas e uma chapa perfurada. O material é separado por meio do turbilhamento ao longo do eixo do equipamento, fazendo com que o pó caia pela chapa perfurada e a fibra saia separada.

Ao final do processo, obtêm-se pó e fibra. O pó é lavado para remoção de sais. Com o processo de lavagem há produção de efluentes.

Considerou-se que o pó e a fibra são transportados da usina de beneficiamento até o pólo moveleiro do Marco-CE, onde assumiu-se que os painéis serão produzidos. Admitiu-se como transporte um caminhão trucidado modelo 23220 Volkswagen, com capacidade de dez toneladas.

O fluxograma do beneficiamento da casca de coco verde é apresentado no Apêndice E, e as figuras que exemplificam este processo, no Apêndice F.

4.3.8 Produção dos painéis PCCV-HDF, PCCV-MDF e PCCVR-MDF UF

Realiza-se o preparo da matéria-prima (pó e fibra), vinda da usina de beneficiamento da casca, de forma distinta para pó e fibra. O pó é peneirado para retirar materiais estranhos e resíduos de fibras, e levado para estufa com circulação de ar, por um período de uma hora a 100° C, para redução da umidade. Após a estufa, é feita verificação da umidade do pó que deve ser em torno de 8 %.

A fibra é moída em moinho de facas (Fritsch Pulverisett 25) ficando com uma granulometria de aproximadamente 4 mm. Em seguida, a fibra moída é levada à estufa de circulação de ar por um período de uma hora a 100° C, para uma redução da umidade em torno de 8%.

Os painéis sem adição de resina (PCCV) são fabricados a partir da mistura do pó com a fibra, sendo 70% de pó e 30% de fibra que representa a proporção natural existente na casca do coco (Van Dam et al., 2004). As quantidades são pesadas, misturadas, homogeneizadas e armazenadas em sacos plásticos e vedadas com ligas para evitar a absorção de umidade do ambiente externo. As misturas prontas ficam descansando por 48 hs, sendo o tempo mínimo necessário de 24 hs.

A mistura pó/fibra é distribuída de maneira uniforme sobre um molde de aço inoxidável (dimensões 11 cm x 11 cm x 5cm) e prensada em prensa hidráulica MARCONI, modelo MA 09850A1 sob as seguintes condições: painel PCCV-HDF: (temperatura de 220°C,

pressão de 320 kgf/cm² e tempo de 4 minutos; painel PCCV-MDF: (temperatura de 210 °C, pressão de 320 kgf/cm² e tempo de 4 minutos); painel PCCVR-MDF UF: (temperatura de 160 °C, pressão de 100 kgf/cm² e tempo de 10 minutos). Nos painéis com adição de resina, são utilizados o pó e a fibra na mesma proporção (70:30), e acrescidos a resina uréa-formaldeído (UF), sulfato de amônio, emulsão de parafina e água.

As figuras que representam este processo constam no Apêndice G e o fluxograma da produção dos painéis PCCV e PCCVR é apresentado no Apêndice H.

4.4 CATEGORIAS E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS

Os impactos ambientais dos painéis foram analisados pelo método CML (2001), v2.05. (Guinée et al., 2001). Foram avaliadas as seguintes categorias de impacto de ponto médio: depleção de recursos abióticos, acidificação, eutrofização, aquecimento global, depleção da camada de ozônio, toxicidade humana, ecotoxicidade (água doce, marinha e terrestre) e formação fotoquímica de ozônio troposférico.

4.5. ANÁLISE DE INCERTEZA

A avaliação da incerteza dos dados na comparação dos painéis PCCV e PCCVR foi realizada utilizando o método de Monte Carlo. A análise de Monte Carlo consiste numa forma numérica de processar dados de incerteza das variáveis de um modelo e estabelecer uma faixa de incerteza nos resultados (GOEDKOOP et al., 2008).

4.6. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade foi realizada considerando dois cenários:

- Cenário 1: a casca de coco tem valor comercial, não sendo um resíduo, mas um co-produto do processo de extração de água de coco verde. Como consequência a fronteira do sistema em estudo passa a abranger os seguintes processos: produção agrícola de coco verde, transporte do coco verde, abertura do coco verde, beneficiamento da casca de coco, transporte da matéria prima e o macroprocesso de produção dos painéis (Figuras 5 e 6).

- Cenário 2: os impactos são avaliados pelo método EDIP 97, para as categorias que podem ser comparadas aos resultados obtidos pelo método CML 2001, sendo elas

aquecimento global, depleção da camada de ozônio, acidificação, eutrofização e formação fotoquímica de ozônio troposférico.

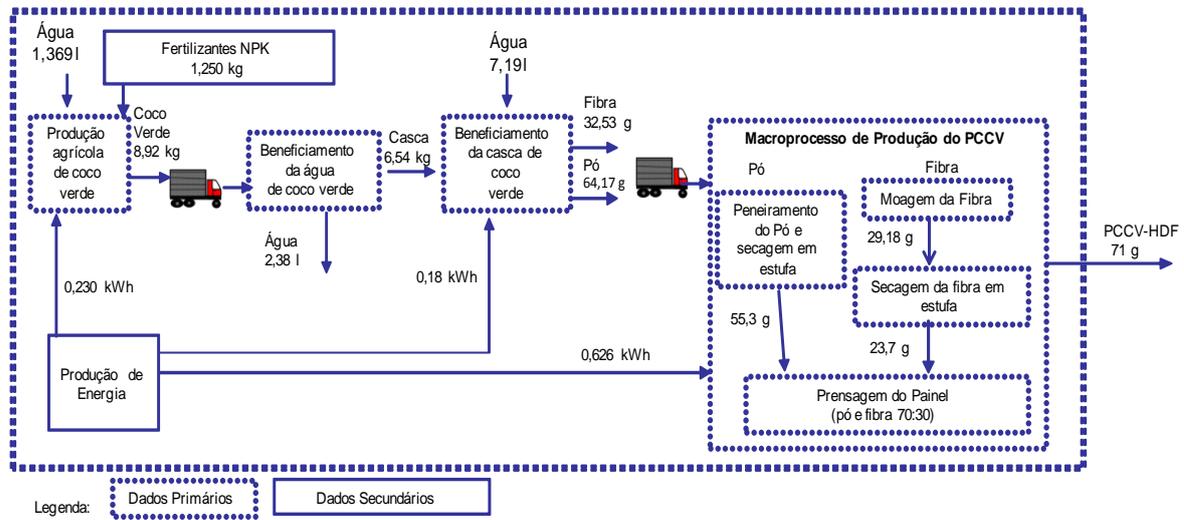


Figura 6 Sistema de produto considerando a S2 para o painel PCCV-HDF.

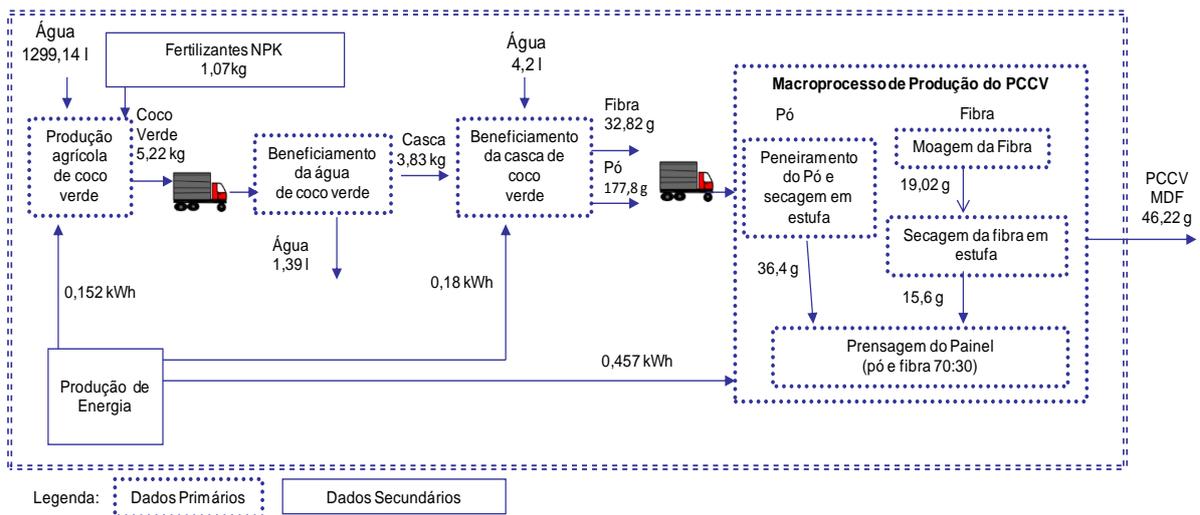


Figura 7 Sistema de produto considerando a S2 para os painéis PCCV-MDF.

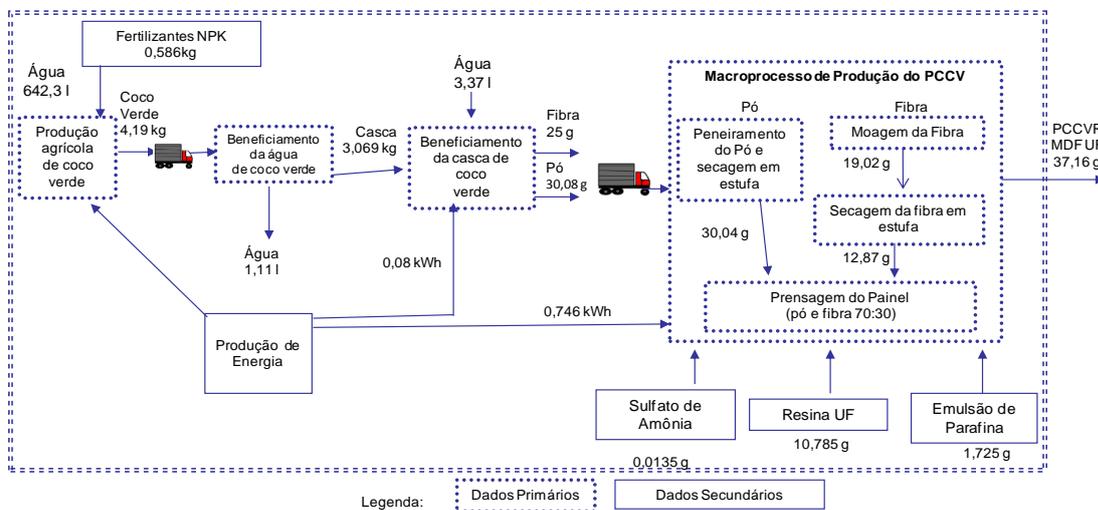


Figura 8 Sistema de produto considerando a S2 para o painel PCCVR MDF-UF.

4.7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.7.1 Inventário de entradas e saídas

Observa-se que a produção agrícola de coco verde gera emissões para o ar, água e solo, em função da mudança no uso da terra e uso de fertilizantes minerais e orgânicos (Tabela 5). O processo de beneficiamento da casca gera emissões para a água em função dos efluentes: Líquido da Casca de Coco Verde (LCCV) e Líquido da Lavagem do Pó (LLP). Comparando as etapas do ciclo de vida do painel HDF em estudo, observa-se que ocorre maior consumo de energia elétrica na prensagem do painel.

A massa de fibra não explicada entre a entrada e a saída de material na moagem da fibra foi de 2,08%. Estando dentro do aceitável pelo protocolo do Consórcio de Pesquisa em Materiais industriais Renováveis (CORRIM), onde o máximo permitido é de 5% (Wilson, 2010).

Tabela 5 Inventário do ciclo de vida da produção do PCCV- HDF

Etapa 1. Produção agrícola de coco verde					
Entradas			Saídas		
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Área	0,00676	ha	Coco verde	8,92	kg
Fertilizante (NPK)	1,250	kg	Embalagens plásticas	0,0055	g
Água	1,369	l	Emissões de CO ₂ (ar)	0,081	kg
Energia	0,140	kWh	Emissões de N ₂ O (ar)	0,00013	kg
			Emissões de CH ₄ (ar)	0,00013	kg
			Emissões de NH ₃ (ar)	0,000069	kg
			Emissões de NO _x (ar)	0,00005	kg
			Emissões de NO ₃ ²⁻	21,58	kg
			(água)		
			Emissões de P (água)	0,0014	kg
			Emissões de metais pesados Cd (solo)	6.033.971,024	mg
			Emissões de metais pesados Cu (solo)	1.996.160,493	mg
			Emissões de metais pesados Zn (solo)	3.243.052,775	mg
			Emissões de metais pesados Pb (solo)	1.154.145,464	mg
Etapa 2. Abertura do coco verde					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Coco verde	8,92	kg	Água de coco	2,38	L
			Casca de coco	6,54	kg
Etapa 3. Beneficiamento da casca de coco verde					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Casca de coco verde	6,54	g	Líquido da casca de coco verde (LCCV)	0,70	kg
Energia	0,18	kWh	Pó de casca de coco verde (CCV)	3,30	kg
			Fibra de casca de coco verde (CCV)	0,056	g
			Resíduo da prensa	2,48	kg
			OG (mg/L)	0,39	mg

			SST (mg/L)	5,11	mg
			NTK (mg/L)	0,10	mg
			DQO (mg/L)	45,71	mg
			DBO (mg/L)	26,07	mg
			Fósforo total (mg/L)	0,03	mg
Lavagem do pó					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Água	7,19	l	Efluente (Líquido da Lavagem do pó da CCV)	6,01	l
Pó da Casca de Coco Verde	3,30	kg	Pó da casca de coco verde lavado	4,48	kg
			OG (mg/L)	0,029	mg
			SST (mg/L)	3,97	mg
			NTK (mg/L)	0,05	mg
			DQO (mg/L)	37,26	mg
			DBO (mg/L)	30,71	mg
			Fósforo total(mg/L)	0,20	mg
Etapa 4: Produção do Painel PCCV-HDF					
Preparação do Pó (secagem ao sol e peneiramento do pó)					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Pó da Casca de Coco Verde	303,89	kg	Pó da Casca de Coco Verde peneirado	64,17	g
			Resíduos de pó/fibra	239,72	g
Preparação do Pó (Peneiramento do Pó e secagem em estufa)					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Pó da Casca de Coco Verde peneirado	64,17	g	Pó da Casca de Coco Verde (CCV) peneirado e seco	55,3	g
Energia	0,08	kWh			
Preparação da fibra (Secagem da fibra ao sol)					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Fibra da Casca de Coco Verde	56,11	g	Fibra da Casca de Coco seca ao sol	32,53	g
Preparação da fibra (Moagem da Fibra)					
Entradas			Saídas		
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Fibra da Casca de Coco Verde seca	32,53	g	Fibra da Casca de Coco Verde Moída (CCV)	29,18	g
Energia	0,04	kWh	Resíduos de fibra	2,68	g
Preparação da fibra (Secagem da fibra em estufa de circulação de ar)					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Fibra da Casca de Coco Verde moída	29,18	g	Fibra da Casca de Coco Verde moída e seca	23,7	g
Energia	0,036	kWh			
Prensagem do Painel					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Pó da casca de coco verde	55,3	g	Painel de Casca de coco verde (PCCV)	71	g
Fibra da casca de coco verde	23,7	g			
Energia	0,55	kWh			

Fonte: elaborado pelo autor.

Comparando as etapas do ciclo de vida dos painéis PCCV-MDF e PCCVR-MDF UF (Tabelas 6 e 7), observa-se que ocorre maior consumo de energia elétrica na prensagem do painel com resina UF.

A produção agrícola gera emissões para o ar, água e solo, em função da mudança no uso da terra e uso de fertilizantes minerais e orgânicos. E o processo de beneficiamento da casca gera emissões para a água em função dos efluentes Líquido da Casca de Coco Verde (LCCV) e Líquido da Lavagem do Pó (LLP).

Tabela 6 Inventário do ciclo de vida da produção do painel PCCV-MDF

Etapa 1. Produção agrícola de coco verde					
Entradas			Saídas		
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Área	0,00676	ha	Coco verde	5,22	kg
Fertilizante (NPK)	0,731	kg	Embalagens plásticas	0,032	g
Água	801,1	l	Emissões de CO ₂ (ar)	0,047	kg
Energia	0,140	kWh	Emissões de N ₂ O (ar)	0,000077	kg
			Emissões de NH ₃ (ar)	0,00004	kg
			Emissões de CH ₄ (ar)	0,000077	kg
			Emissões de NO _x (ar)	0,000029	kg
			Emissões de NO ₃ ²⁻ (água)	12,634	kg
			Emissões de P (água)	0,0008	kg
			Emissões de metais pesados Cd (solo)	3.531.090,667	mg
			Emissões de metais pesados Cu (solo)	1.168.156,701	mg
			Emissões de metais pesados Zn (solo)	189,784	mg
			Emissões de metais pesados Pb (solo)	675,408	mg
Etapa 2: Abertura do coco verde					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Coco verde	5,22	kg	Água de coco	1,39	l
			Casca de coco	3,83	kg
Etapa 3. Beneficiamento da casca de coco verde					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Casca de coco verde	3,83	kg	Líquido da casca de coco verde (LCCV)	0,40	kg
Energia	0,10	kWh	Pó de casca de coco verde (CCV)	1,93	kg
			Fibra de casca de coco verde (CCV)	32,82	g
			Resíduo da prensa	1,45	kg
			OG (mg/L)	0,23	mg
			SST (mg/L)	2,99	mg
			NTK (mg/L)	0,06	mg
			DQO (mg/L)	26,72	mg
			DBO (mg/L)	15,24	mg
			Fósforo total (mg/L)	0,02	mg
Lavagem do pó					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Água	4,21	l	Efluente (Líquido da Lavagem do pó da CCV)	3,52	l
Pó da Casca de Coco Verde	1,93	kg	Pó da casca de coco verde lavado	2,62	kg
			OG (mg/L)	0,017	mg
			SST (mg/L)	2,32	mg
			NTK (mg/L)	0,03	mg
			DQO (mg/L)	21,18	mg
			DBO (mg/L)	17,96	mg
			Fósforo total(mg/L)	0,12	mg

Etapa 4: Produção do painel – PCCV MDF					
Preparação do Pó (secagem ao sol e peneiramento do pó)					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Pó da Casca de Coco Verde	177,7	g	Pó da Casca de Coco Verde peneirado	37,52	g
			Resíduos de pó/fibra	140,18	g
Preparação do Pó (Secagem do Pó em estufa de circulação de ar)					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Pó da Casca de Coco Verde peneirado	37,52	g	Pó da Casca de Coco Verde (CCV) peneirado e seco	36,4	g
Energia	0,05	kWh			
Preparação da fibra (Secagem da fibra ao sol)					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Fibra da Casca de Coco Verde	32,82	g	Fibra da Casca de Coco seca ao sol	19,02	g
Preparação da fibra (Moagem da Fibra)					
Entradas			Saídas		
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Fibra da Casca de Coco Verde seca	19,02	g	Fibra da Casca de Coco Verde Moída (CCV)	17,07	g
Energia	0,026	kWh	Resíduos de fibra	1,57	g
Preparação da fibra (Secagem da fibra em estufa de circulação de ar)					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Fibra da Casca de coco Verde moída	17,07	g	Fibra da Casca de Coco Verde moída e seca	15,6	g
Energia	0,021	kWh			
Continuação da tabela					
Prensagem do Painel					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Pó da casca de coco verde	36,4	g	Painel de Casca de coco verde (PCCV)	46,22	g
Fibra da casca de coco verde	15,6	g			
Energia	0,36	kWh			

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 7 Inventário do ciclo de vida da produção do PCCVR (MDF UF)

Etapa 1. Produção agrícola de coco verde					
Entradas			Saídas		
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Área	0,00676	ha	Coco verde	4,19	kg
Fertilizante (NPK)	0,586	kg	Embalagens plásticas	0,00258	g
Água	642,3	l	Emissões de CO ₂ (ar)	0,038	kg
Energia	0,112	kWh	Emissões de N ₂ O (ar)	0,000062	kg
			Emissões de NH ₃ (ar)	0,000032	kg
			Emissões de CH ₄ (ar)	0,000062	kg
			Emissões de NO _x (ar)	0,000023	kg
			Emissões de NO ₃ ²⁻ (água)	10,41	kg
			Emissões de P (água)	0,000678	kg
			Emissões de metais pesados Cd (solo)	2.834.342,891	mg
			Emissões de metais pesados Cu (solo)	9.376.583,48	mg
			Emissões de metais pesados Zn (solo)	1.523,36	mg
			Emissões de metais	5.421,38	mg

pesados Pb (solo)

Etapa 2. Abertura do coco verde					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Coco verde	4,19	kg	Água de coco	1,11	l
			Casca de coco	3,069	kg
Etapa 3. Beneficiamento da casca de coco verde					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Casca de coco verde	3,069	g	Líquido da casca de coco verde (LCCV)	0,32	kg
			Energia	0,08	kWh
			Fibra de casca de coco verde (CCV)	25	g
			Resíduo da prensa	1,17	kg
			OG (mg/L)	0,18	mg
			SST (mg/L)	2,34	mg
			NTK (mg/L)	0,05	mg
			DQO (mg/L)	20,91	mg
			DBO (mg/L)	11,93	mg
			Fósforo total (mg/L)	0,01	mg
Lavagem do pó					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Água	3,37	l	Efluente (Líquido da Lavagem do pó da CCV)	2,82	l
			Pó da Casca de Coco Verde	1,54	kg
			Pó da casca de coco verde lavado	2,099	kg
			OG (mg/L)	0,01	mg
			SST (mg/L)	1,86	mg
			NTK (mg/L)	0,02	mg
			DQO (mg/L)	17,46	mg
			DBO (mg/L)	14,39	mg
			Fósforo total(mg/L)	0,09	mg
Etapa 4: Produção do Painel PCCVR (MDF UF)					
Preparação do Pó (secagem ao sol e peneiramento do pó)					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Pó da Casca de Coco Verde	2,09	kg	Pó da Casca de Coco Verde peneirado	30,08	g
			Resíduos de pó/fibra	111,9	g
Preparação do Pó (Secagem do Pó em estufa de circulação de ar)					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Pó da Casca de Coco Verde peneirado	30,08	g	Pó da Casca de Coco Verde (CCV) peneirado e seco	30,044	g
			Energia	0,04	kWh
Preparação da fibra (Secagem da fibra ao sol)					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Fibra da Casca de Coco Verde	25	g	Fibra da Casca de Coco seca ao sol	14,48	g
Preparação da fibra (Moagem da Fibra)					
Entradas			Saídas		
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Fibra da Casca de Coco Verde seca	14,48	g	Fibra da Casca de Coco Verde Moída (CCV)	13	g
			Energia	0,02	kWh
Preparação da fibra (Secagem da fibra em estufa de circulação de ar)					
Materiais/Energia	Quantidade	Unidade	Produtos/Resíduos	Quantidade	Unidade
Fibra da Casca de Coco Verde moída	13	g	Fibra da Casca de Coco Verde moída e seca	12,876	g
			Energia	0,016	kWh
Prensagem do Painel (PCCVR - MDF UF)					
Pó da casca de coco verde	30,044	g	Painel de Casca de coco verde com resina	37,16	g

Fibra da casca de coco verde	12,876	g	(PCCVR) Emissões de Formaldeído	0,02	g
Energia	0,67	kWh			
Resina UF	10,785	g			
Emulsão de parafina	1,725	g			
Sulfato de amônia	0,0135	g			
Água	10,485	g			

Fonte: elaborado pelo autor.

Analisando as etapas do ciclo de vida do painel PCCVR MDF-UF, observa-se que ocorre maior consumo de energia na prensagem do painel.

A produção agrícola gera emissões para o ar, água e solo, em função da mudança no uso da terra e uso de fertilizantes minerais e orgânicos. O processo de beneficiamento da casca gera emissões para a água em função dos efluentes Líquido da Casca de Coco Verde (LCCV) e Líquido da Lavagem do Pó (LLP).

E este processo também gera emissões de formaldeído (EF) pela degradação da resina curada durante a manufatura.

4.7.2. Avaliação de impacto

4.7.2.1 Avaliação de impactos - PCCV-HDF e PCCV-MDF

A avaliação comparativa dos painéis em estudo mostra que o PCCV-HDF tem desempenho ambiental inferior ao PCCV-MDF. Os valores médios dos impactos relacionados ao MDF são menores que os valores médios do HDF, portanto a análise de incerteza apresenta uma significância aceitável, maior que 95%, para todas as categorias, como pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 8 Análise comparativa de impacto dos painéis PCCV-HDF e PCCV-MDF (Monte Carlo).

Categorias de impacto	PCCV-HDF (A)	PCCV-MDF (B)	Análise comparativa (Monte Carlo) $A \geq B$
Depleção de recursos abióticos (kg Sb eq)	1,04E-03	6,59E-04	99,90%
Acidificação (kg SO ₂ eq)	5,82E-04	3,65E-04	99,90%

Eutrofização (kg PO4- eq)	1,96E-03	1,16E-03	97,50%
Ecotoxicidade/água doce (kg 1,4-DB eq)	3,96E-02	2,44E-02	98,30%
Aquecimento global (kg CO2 eq)	2,96E-01	1,89E-01	99,20%
Toxicidade humana (kg 1,4-DB eq)	1,37E-01	8,96E-02	98,20%
Ecotoxicidade/marinha (kg 1,4-DB eq)	9,65E+01	5,90E+01	98,40%
Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq)	1,71E-08	1,10E-08	99,90%
Formação fotoquímica de ozônio (kg C2H4 eq)	6,40E-05	4,30E-05	98,90%
Ecotoxicidade/terrestre (kg 1,4-DB eq)	7,73E-03	5,00E-03	96,20%

4.7.2.2 Avaliação de impactos - PCCV-HDF e PCCVR-MDF UF

Comparando o PCCV-HDF com o PCCVR-MDF UF, observa-se que não é possível afirmar que o painel HDF tem desempenho ambiental inferior ao painel MDF UF nas categorias analisadas, com exceção da categoria eutrofização, como pode ser visto na Tabela 8. A análise de incerteza não apresenta uma significância aceitável, onde $A \geq B$ foi inferior a 95% para todas as categorias, com exceção da eutrofização onde $A \geq B$ foi 99,5%.

Tabela 9 Análise comparativa de impacto dos painéis HDF e MDF-UF) - (Monte Carlo).

Categorias de impacto	HDF (A)	MDF(UF) (B)	Análise comparativa (Monte Carlo) $A \geq B$
Depleção de recursos abióticos (kg Sb eq)	1,04E-03	1,15E+00	35,90%
Acidificação (kg SO2 eq)	5,82E-04	5,38E-01	64,30%
Eutrofização (kg PO4- eq)	1,96E-03	1,03E+00	99,50%
Ecotoxicidade/água doce (kg 1,4-DB eq)	3,96E-02	3,79E+01	48,50%
Aquecimento global (kg CO2 eq)	2,96E-01	2,73E+02	62,60%
Toxicidade humana (kg 1,4-DB eq)	1,37E-01	1,36E+02	49,50%
Ecotoxicidade/marinha (kg 1,4-DB eq)	9,65E+01	9,25E+04	47,20%
Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq)	1,71E-08	1,65E-05	59,50%
Formação fotoquímica de ozônio (kg C2H4 eq)	6,40E-05	7,55E-02	30,50%
Ecotoxicidade/terrestre (kg 1,4-DB eq)	7,73E-03	6,89E+00	58,90%

4.7.2.3 Avaliação de impactos –PCCV-MDF e PCCVR-MDF UF

A avaliação comparativa mostra que não é possível afirmar que o PCCVR-MDF UF tem desempenho ambiental inferior ao PCCV-MDF (Tabela 9). A maioria das categorias de impacto não apresentou uma significância aceitável, onde $A \geq B$ foi inferior a 95%, com exceção das categorias depleção de recursos abióticos, acidificação, depleção da camada de ozônio e formação fotoquímica de ozônio troposférico, onde $A \geq B$ foi superior a 95%.

Tabela 10 Análise comparativa de impacto dos painéis MDF e MDF (UF) - (Monte Carlo).

Categorias de impacto	MDF (UF) (A)	MDF (B)	Análise comparativa (Monte Carlo) $A \geq B$
Depleção de recursos abióticos (kg Sb eq)	1,15E+00	6,59E-04	98,30%
Acidificação (kg SO ₂ eq)	5,38E-01	3,65E-04	95,40%
Eutrofização (kg PO ₄ ⁻ eq)	1,03E+00	1,16E-03	32,40%
Ecotoxicidade/água doce (kg 1,4-DB eq)	3,79E+01	2,44E-02	92,50%
Aquecimento global (kg CO ₂ eq)	2,73E+02	1,89E-01	89,10%
Toxicidade humana (kg 1,4-DB eq)	1,36E+02	8,96E-02	91,40%
Ecotoxicidade/marinha (kg 1,4-DB eq)	9,25E+04	5,90E+01	92,30%
Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq)	1,65E-05	1,10E-08	96,20%
Formação fotoquímica de ozônio (kg C ₂ H ₄ eq)	7,55E-02	4,30E-05	96,60%
Ecotoxicidade/terrestre (kg 1,4-DB eq)	6,89E+00	5,00E-03	83,90%

4.7.2.4 Avaliação de impacto do painel PCCV-HDF

A contribuição relativa em percentual de cada processo para os impactos ambientais potenciais do painel PCCV-HDF é apresentada na Figura 10. Os principais consumos e emissões responsáveis por cada categoria de impacto são:

- **Depleção de recursos abióticos:** A prensagem do painel foi responsável por 46,5% dos impactos em depleção de recursos abióticos, em função do consumo de energia requerido neste processo. O principal processo relacionado à produção de energia que contribuiu para a depleção abiótica se refere à extração de gás natural. O transporte das cascas, pó e fibra, contribuiu com 35,6 % dos impactos devido a utilização de diesel na operação do caminhão.

- **Acidificação:** A prensagem do painel contribuiu com 38,6% dos impactos em acidificação, devido ao consumo de energia. O processo que contribui para os impactos na produção de energia elétrica é o de fabricação dos fios de cobre para transmissão e distribuição de energia. O transporte contribuiu com 47% devido à queima do diesel na operação do caminhão.
- **Eutrofização:** O beneficiamento da casca de coco contribuiu com 88% dos impactos para eutrofização em função dos efluentes gerados, principalmente o LCCV (Líquido da Casca de Coco Verde) e o LLP (Líquido da Lavagem do Pó).
- **Aquecimento Global:** A prensagem do painel foi responsável por 59,6% dos impactos devido ao consumo de energia. Isso se deve a produção de eletricidade a partir de usina hidrelétrica e a queima de gás natural e carvão em usinas termelétricas. Na produção de energia hidrelétrica ocorrem emissões de substâncias como dióxido de carbono, monóxido de carbono e metano pela mudança no uso da terra no processo de construção de hidroelétricas (de florestas para reservatórios). O transporte respondeu por 17,3% dos impactos, devido à queima de combustível (diesel) na operação do caminhão.
- **Depleção da camada de ozônio:** O transporte contribuiu com 47% dos impactos para a depleção da camada de ozônio, devido à queima de diesel na operação do caminhão. A prensagem do painel contribuiu com 38% dos impactos em virtude do consumo de energia. O processo que contribui para os impactos da cadeia de produção de energia é a queima de gás natural em usinas termelétricas.
- **Toxicidade humana:** A prensagem do painel contribuiu com 69,9% devido ao consumo de energia. Os processos relacionados à produção de energia que foram responsáveis pelos impactos nesta categoria foram transmissão e distribuição de energia devido à extração de cobre em refinaria que é utilizado na fabricação dos fios de transmissão de energia. A extração de cobre gera rejeitos sulfídicos que são tóxicos.
- **Ecotoxicidade (água doce, marinha e terrestre):** A prensagem do painel foi responsável por 67,5% dos impactos na categoria ecotoxicidade de água doce, 69% em ecotoxicidade marinha e 78% em ecotoxicidade terrestre, devido ao consumo de energia. Os processos relacionados à produção de energia, responsáveis pelos impactos nestas categorias são também os relacionados a extração de cobre.
- **Formação fotoquímica de ozônio troposférico:** A prensagem do painel contribuiu com 63% dos impactos em função do consumo de energia. E o transporte contribuiu com 12,8%. Os principais processos relacionados à produção de energia que geram emissões que afetam a formação fotoquímica são os relacionados a produção de energia elétrica em usinas

hidrelétricas e a produção de cana de açúcar para geração de energia a partir da fermentação do bagaço. E para o transporte, o processo responsável é a queima de diesel na operação do caminhão.

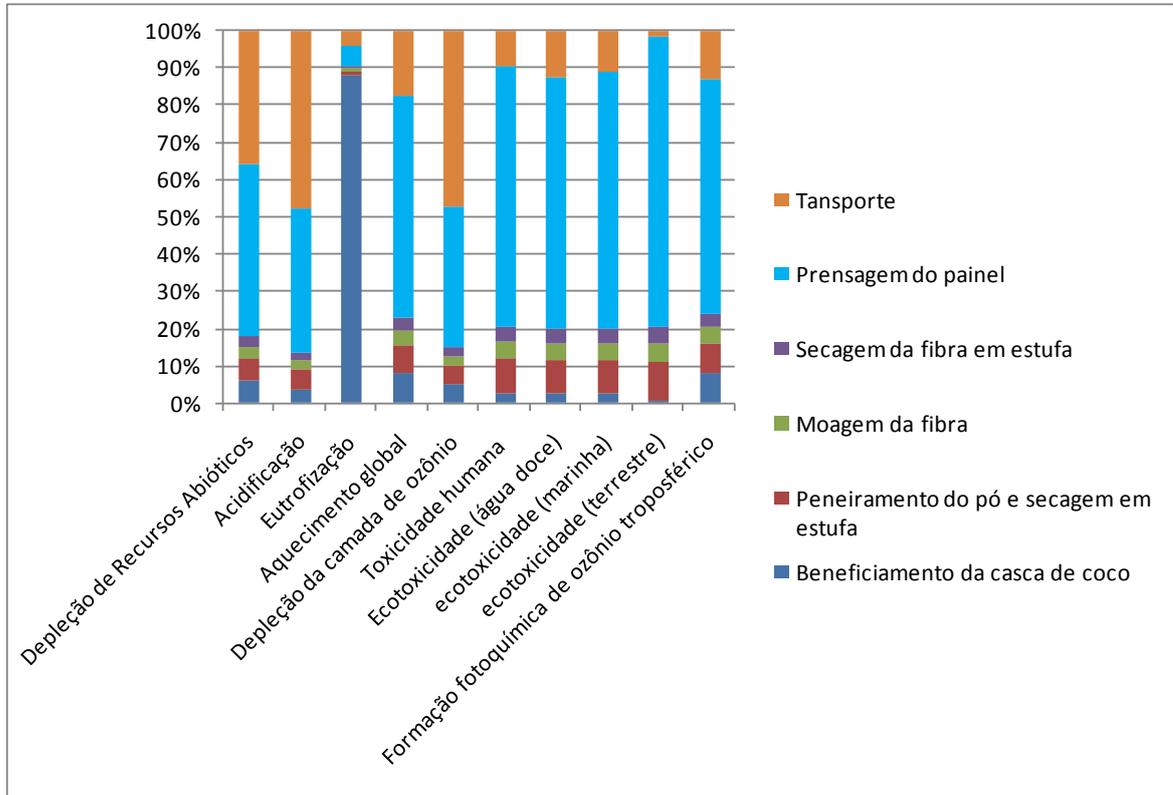


Figura 9 Contribuição relativa (percentual) dos processos unitários no ciclo de vida do painel PCCV-HDF.

4.7.2.5 Avaliação de impacto do painel PCCV-MDF

A contribuição relativa em percentual dos impactos ambientais potenciais do PCCV-MDF é apresentada na Figura 11. Os principais consumos e emissões responsáveis por cada categoria de impacto são:

- **Depleção de recursos abióticos:** A prensagem do painel foi responsável por 48,8% dos impactos em depleção de recursos abióticos, em função do consumo de energia requerido neste processo. O principal processo relacionado à produção de energia que contribuiu para a depleção abiótica se refere à extração de gás natural. O transporte contribuiu com 33,5 % dos impactos devido a utilização de diesel na operação do caminhão.
- **Acidificação:** A prensagem do painel contribuiu com 41% dos impactos em acidificação, devido ao consumo de energia. O processo que contribuiu para os impactos na produção de

energia elétrica é o de fabricação dos fios de cobre para transmissão e distribuição de energia, e a queima de carvão em usinas termelétricas. O transporte contribuiu com 45% devido à queima do diesel na operação do caminhão.

- **Eutrofização:** O beneficiamento da casca de coco contribuiu com 87% dos impactos para eutrofização em função dos efluentes gerados, principalmente o LCCV (Líquido da Casca de Coco Verde) e o LLP (Líquido da Lavagem do Pó).

- **Aquecimento Global:** A prensagem do painel foi responsável por 61,5% dos impactos devido ao consumo de energia. Isso se deve a produção de eletricidade a partir de usina hidrelétrica e a queima de gás natural e carvão em usinas termelétricas. Na produção de energia hidrelétrica ocorrem emissões de substâncias como dióxido de carbono, monóxido de carbono e metano pela mudança no uso da terra no processo de construção de hidroelétricas (de florestas para reservatórios). O transporte respondeu por 16% dos impactos, devido à queima de combustível (diesel) na operação do caminhão.

- **Depleção da camada de ozônio:** O transporte contribuiu com 44% dos impactos para a depleção da camada de ozônio, devido à queima de diesel na operação do caminhão. A prensagem do painel contribuiu com 40% dos impactos em virtude do consumo de energia. O processo que contribuiu para os impactos da cadeia de produção de energia é a queima de gás natural em usinas termelétricas.

- **Toxicidade humana:** A prensagem do painel contribuiu com 71% devido ao consumo de energia. Os processos relacionados à produção de energia que foram responsáveis pelos impactos nesta categoria foram transmissão e distribuição de energia devido à extração de cobre em refinaria que é utilizado na fabricação dos fios de transmissão de energia. A extração de cobre gera rejeitos sulfídicos que são tóxicos.

- **Ecotoxicidade (água doce, marinha e terrestre):** A prensagem do painel foi responsável por 69% dos impactos na categoria ecotoxicidade de água doce, 70% em ecotoxicidade marinha e 78% em ecotoxicidade terrestre, devido ao consumo de energia. Os processos relacionados à produção de energia, responsáveis pelos impactos nestas categorias são também os relacionados a extração de cobre.

- **Formação fotoquímica de ozônio troposférico:** A prensagem do painel contribuiu com 64% dos impactos em função do consumo de energia. E o transporte contribuiu com 11,8%. Os principais processos relacionados à produção de energia que geram emissões que afetam a formação fotoquímica são os relacionados a produção de energia elétrica em usinas hidrelétricas e a produção de cana de açúcar para geração de energia a partir da fermentação do bagaço. E para o transporte, o processo responsável é a queima de diesel na operação do caminhão.

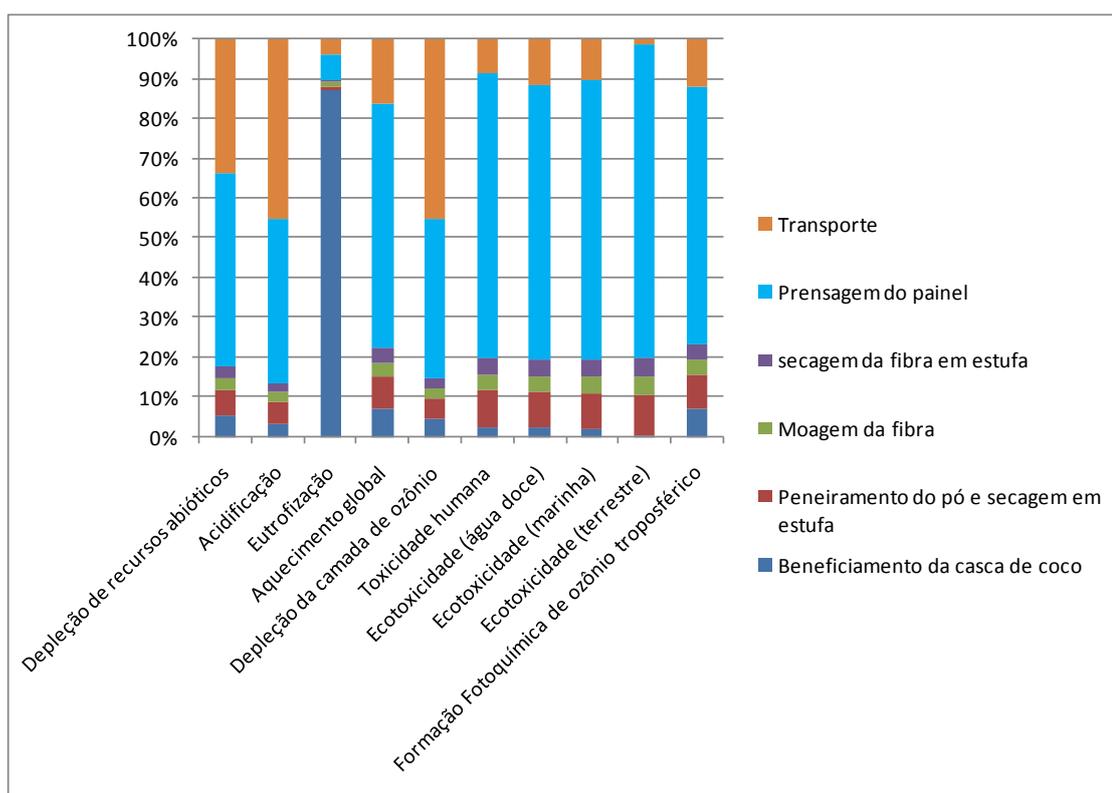


Figura 10 Contribuição relativa (percentual) dos processos unitários no ciclo de vida do PCCV-MDF.

4.7.2.6 Avaliação de impacto do PCCVR-MDF UF

A contribuição relativa em percentual dos impactos ambientais potenciais do PCCVR-MDF UF é apresentada na Figura 12. Os principais consumos e emissões responsáveis por cada categoria de impacto são:

- **Depleção de recursos abióticos:** A prensagem do painel contribuiu com 73% dos impactos para depleção abiótica, em função do consumo de energia requerido na prensagem e do uso da resina UF. O processo que contribui para os impactos da produção de energia é a queima de gás natural em usinas termelétricas e, em relação à resina, os processos de produção de uréia.

O transporte contribuiu com 18,9% dos impactos, devido ao uso de diesel na operação do caminhão.

- **Acidificação:** A prensagem do painel contribuiu com 62,5% dos impactos para esta categoria em função do consumo de energia e do uso da resina UF. Para a produção de energia o processo que contribui para estes impactos é a queima de carvão em usinas termelétricas e extração de cobre, utilizado na fabricação dos fios de transmissão de energia. E no caso da resina UF, é a sua produção. O transporte contribuiu com 30% dos impactos, devido à queima de combustível na operação do caminhão.

- **Eutrofização:** O processo de beneficiamento da casca de coco contribuiu com 78,9% dos impactos para eutrofização em função dos efluentes gerados que são o LCCV (Líquido da Casca de Coco Verde) e o LLP (Líquido da Lavagem do Pó). A prensagem do painel contribuiu com 14% dos impactos pelo consumo de energia elétrica. Na cadeia de produção de energia, o processo que contribui é a disposição de resíduos da extração de cobre.

- **Aquecimento Global:** A prensagem do painel contribuiu com 76,4% dos impactos para aquecimento global em função do uso de resina UF e consumo de energia. O processo que contribui para os impactos relacionados à cadeia de produção da resina UF é a produção de uréia. Para a produção de energia ocorrem emissões de substâncias como dióxido de carbono, monóxido de carbono e metano pela mudança no uso da terra no processo de construção de hidroelétricas (de florestas para reservatórios) e pela queima de carvão e gás natural em usinas termelétricas. O transporte contribuiu com 11% dos impactos devido à queima do combustível na operação do caminhão.

- **Depleção da camada de ozônio:** A prensagem do painel é responsável por 63% dos impactos, devido ao consumo de energia e uso de resina UF. O processo que contribui para os impactos relacionados à cadeia de produção de resina UF é a queima do gás natural utilizado na indústria, para a produção da resina. Para a produção de energia, os impactos estão relacionados à queima de gás natural em termelétricas. O transporte contribuiu com 28,8%, devido à queima de diesel na operação do caminhão.

- **Toxicidade humana:** A prensagem do painel é responsável por 84% dos impactos em toxicidade humana devido ao uso de resina UF e ao consumo de energia. O processo que contribui para os impactos da resina UF é a fabricação de uréia. Na produção de energia, os impactos estão relacionados à extração de cobre devido aos rejeitos gerados que contêm metais pesados como cromo.

- **Ecotoxicidade (água doce, marinha e terrestre):** A prensagem do painel foi responsável por 82,6% dos impactos em ecotoxicidade em água doce, 83,6% em ecotoxicidade marinha e 87,7% em ecotoxicidade terrestre devido ao consumo de energia e uso de resina UF. Os processos relacionados à produção de energia, responsáveis pelos impactos nestas categorias são a transmissão e distribuição de energia elétrica em função da extração de cobre em refinaria que é utilizado na fabricação dos fios, o qual gera rejeitos sulfídicos que contêm metais pesados. E os impactos da produção da resina UF ocorrem na produção de uréia.

- **Formação fotoquímica de ozônio troposférico:** A prensagem do painel contribui com 82,9% dos impactos para a formação fotoquímica de ozônio troposférico devido o uso de resina UF e consumo de energia neste processo. Os impactos relacionados à cadeia de produção da resina UF nesta categoria de impacto é a produção de uréia. Na produção de energia os processos que contribuem são a produção de cana de açúcar para geração de energia a partir da fermentação do bagaço e a produção de energia elétrica em usinas hidrelétricas.

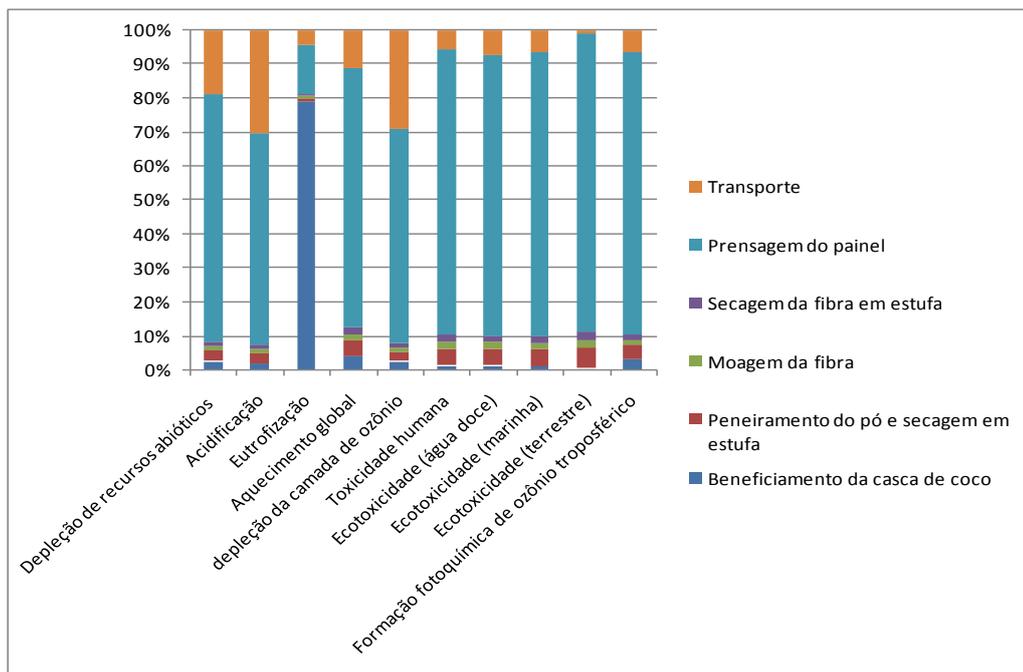


Figura 11 Contribuição relativa (percentual) dos processos unitários no ciclo de vida do PCCVR-MDFUF.

Os principais pontos críticos (hotspots) identificados no ciclo de vida dos painéis, por categoria de impacto estão sumarizados na Tabela 10. Os principais pontos críticos identificados nos painéis estudados são os efluentes gerados no beneficiamento da casca de coco, o consumo de energia na prensagem do painel, o consumo de combustíveis fósseis para operar o caminhão e o uso de resina a base de Ureia-Formaldeído na produção do painel PCCVR-UF.

Tabela 11 Principais pontos críticos dos painéis

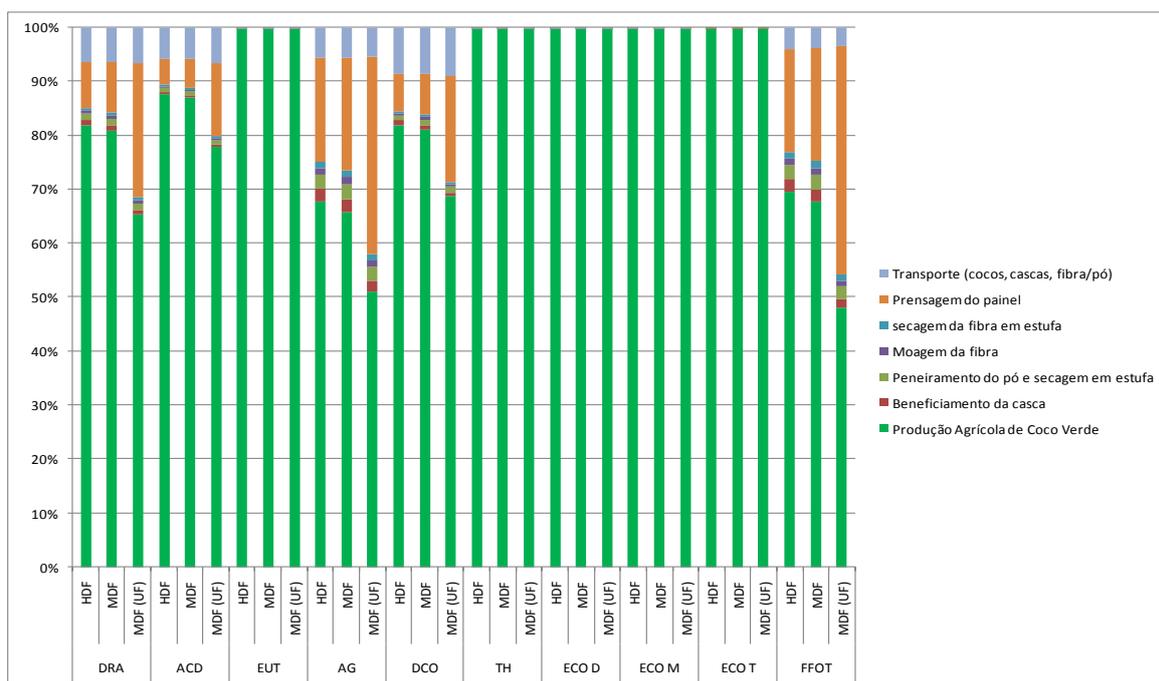
Categorias de impacto	Pontos críticos (PCCV-HDF)	Processo unitário (PCCV-HDF)	Pontos críticos (PCCV-MDF)	Processo unitário (PCCV-MDF)	Pontos críticos (PCCVR)	Processo unitário (PCCVR)
Depleção de recursos abióticos	Consumo de energia Consumo de diesel na operação do caminhão	Prensagem do painel Transporte	Consumo de energia Consumo de diesel na operação do caminhão	Prensagem do painel Transporte	Consumo de diesel na operação do caminhão Consumo de energia Produção da resina UF	Prensagem do painel Transporte
Acidificação	Consumo de energia Operação do caminhão	Prensagem do painel Transporte	Consumo de energia Operação do caminhão	Prensagem do painel Transporte	Consumo de energia Operação do caminhão Produção da resina UF	Prensagem do painel Transporte
Eutrofização	Efluentes gerados (LCCV e LLP)	Beneficiamento da casca de coco verde	Efluentes gerados (LCCV e LLP)	Beneficiamento da casca de coco verde	Efluentes gerados (LCCV e LLP) Consumo de energia	Beneficiamento da casca de coco verde Prensagem do painel
Aquecimento global	Consumo de energia operação do caminhão	Prensagem do painel Transporte	Consumo de energia Operação do caminhão	Prensagem do painel Transporte	Operação do caminhão Consumo de energia Produção da resina UF	Prensagem do painel Transporte

Depleção da camada de ozônio	Consumo de energia Operação do caminhão	Prensagem do painel Transporte	Consumo de energia Operação do caminhão	Prensagem do painel Transporte	Operação do caminhão Consumo de energia Produção da resina UF	Prensagem do painel Transporte
Toxicidade humana	Consumo de energia	Prensagem do painel	Consumo de energia	Prensagem do painel	Consumo de energia Produção da resina UF	Prensagem do painel
Ecotoxicidade (água doce, marinha e terrestre)	Consumo de energia	Prensagem do painel	Consumo de energia	Prensagem do painel	Consumo de energia Produção da resina UF	Prensagem do painel
Formação fotoquímica de ozônio	Consumo de energia Operação do caminhão	Prensagem do painel Transporte	Consumo de energia Operação do caminhão	Prensagem do painel Transporte	Consumo de energia Produção da resina UF	Prensagem do painel

4.8 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

4.8.1 Cenário 1 (C1)

No cenário 1, a casca de coco verde é vista como um material com valor comercial, proveniente de um processo anterior que é o processamento da água de coco verde. Nessa situação a produção agrícola de coco verde é considerada. Observa-se na Figura 13, que as etapas que mais contribuíram com os impactos ambientais potenciais dos três painéis foram a produção agrícola, a prensagem do painel e o transporte.



*DRA: Depleção de Recursos Abióticos, ACD: Acidificação, EUT: Eutrofização, AG: Aquecimento Global, DCO: Depleção da Camada de Ozônio, TH: Toxicidade Humana, ECO D: Ecotoxicidade em água doce, ECO M: Ecotoxicidade Marinha, ECO T: Ecotoxicidade Terrestre e FFOT: Formação Fotoquímica de Ozônio Troposférico.

Figura 12 Contribuição relativa (percentual) dos processos unitários no ciclo de vida dos painéis, em cada categoria de impacto.

O processo agrícola contribuiu com a maioria dos impactos em todas as categorias em função do uso dos fertilizantes orgânicos (esterco de gado) e inorgânicos (uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio), do consumo de energia na irrigação e do diesel utilizado no transporte que auxilia a colheita dos frutos.

A prensagem do painel também contribuiu com os impactos ambientais devido ao consumo de energia requerida neste processo, o uso da resina UF no painel PCCVR-MDF UF. Já o transporte dos frutos, das cascas, pó e fibra, foi responsável pelos impactos

ambientais em algumas categorias devido ao uso e a queima de diesel na operação do caminhão.

4.8.2 Cenário 2 (C2)

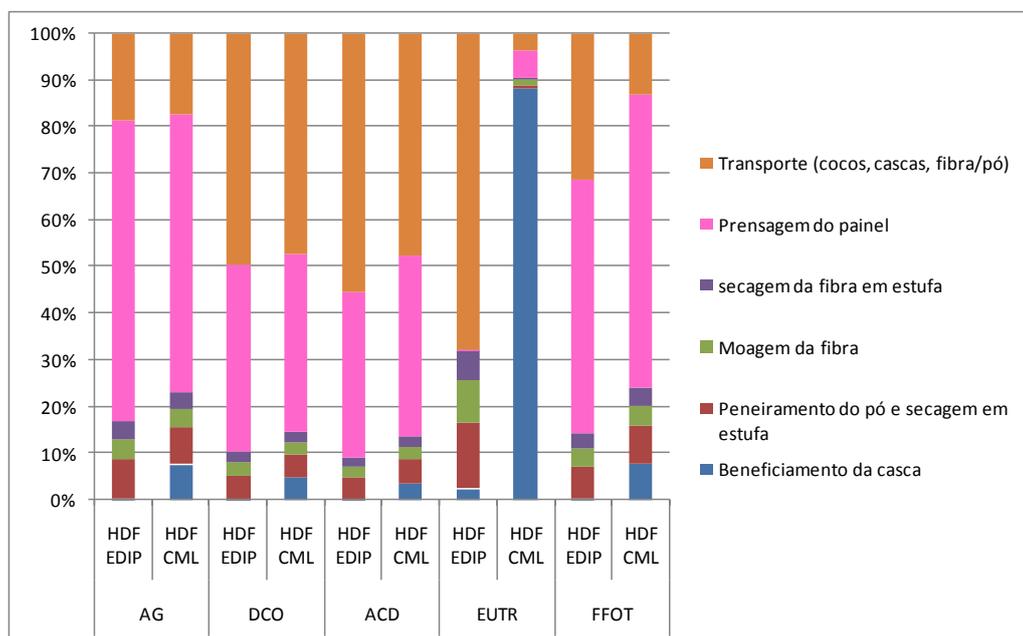
O C2 considera a modelagem feita pelo método EDIP 97, para as categorias que podem ser comparadas aos resultados obtidos pelo método CML 2001. As categorias analisadas pelo método EDIP 97 foram aquecimento global, depleção da camada de ozônio, eutrofização, formação fotoquímica de ozônio troposférico e acidificação.

A seguir são apresentados os resultados da avaliação comparativa de cada painel.

4.8.2.1 Avaliação de impacto pelos métodos CML 2001 e EDIP 97 para o PCCV-HDF.

Na avaliação de impacto comparativa entre os métodos EDIP 97 e CML 2001 para o PCCV-HDF foi possível observar que houve similaridade quanto aos resultados para a maioria das categorias, onde os processos de prensagem do painel e o transporte foram apontados como os maiores contribuidores.

No entanto em relação a categoria de impacto eutrofização, houve divergências, visto que o método CML apontou o processo de beneficiamento da casca como maior responsável pelos impactos nesta categoria, enquanto que no método EDIP 97, o processo de transporte foi o maior responsável pelos impactos de eutrofização, como pode ser visto na Figura 14.



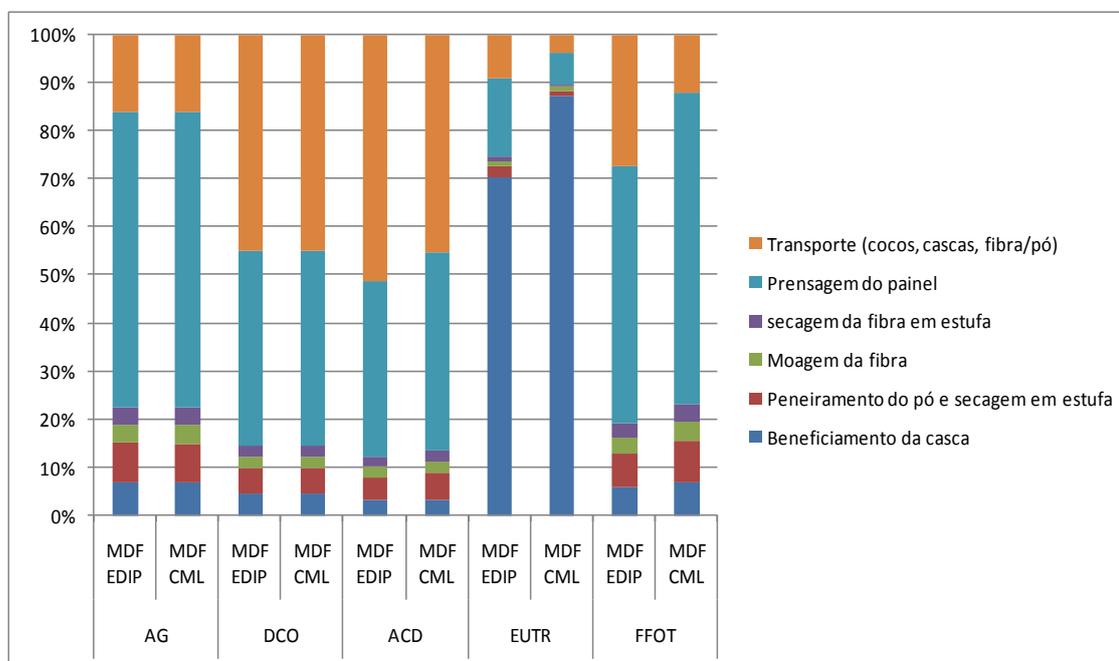
*AG:Aquecimento Global; DCO: Depleção da Camada de Ozônio; ACD: Acidificação; EUTR: Eutrofização; FFOT: Formação Fotoquímica de Ozônio Troposférico

Figura 13 Contribuição relativa (percentual) das etapas do ciclo de vida do painel PCCV-HDF analisado pelos métodos EDIP 97 e CML 2001.

4.8.2.2 Avaliação de impacto pelos métodos CML 2001 e EDIP 97 para o painel PCCV-MDF.

Na avaliação de impacto comparativa entre os métodos EDIP 97 e CML 2001 para o PCCV MDF para a situação de referência, foi possível observar que houve similaridade quantos aos resultados para a maioria das categorias, onde os processos de prensagem do painel e o transporte foram apontados como os maiores contribuidores para a maioria das categorias, com exceção de eutrofização, como pode ser visto na figura 15.

A categoria de impacto eutrofização apresentou a maior variação nos resultados. No método EDIP 97 a contribuição do processo de beneficiamento da casca foi em torno de 70% para os impactos de eutrofização, já no método CML 2001 a contribuição deste processo foi superior a 80%.



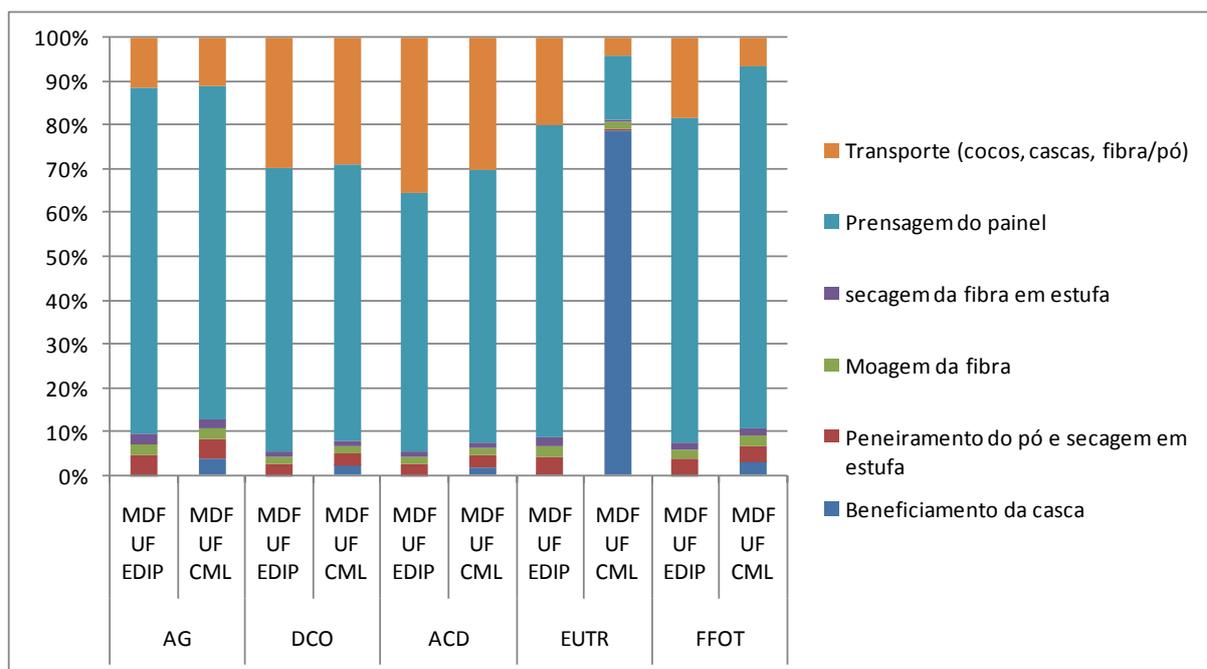
*AG:Aquecimento Global; DCO: Depleção da Camada de Ozônio; ACD: Acidificação; EUTR: Eutrofização; FFOT: Formação Fotoquímica de Ozônio Troposférico.

Figura 14 Contribuição relativa (percentual) das etapas do ciclo de vida do painel PCCV -MDF analisado pelos métodos EDIP 97 e CML 2001.

4.8.2.3 Avaliação de impacto pelos métodos CML 2001 e EDIP 97 para o painel PCCVR-MDF UF

Na avaliação de impacto comparativa entre os métodos EDIP 97 e CML 2001 para o PCCVR – MDF UF foi possível observar que houve similaridade quanto aos resultados para a maioria das categorias, onde os processos de prensagem do painel e o transporte foram apontados como os maiores contribuidores.

No entanto em relação à categoria de impacto eutrofização, os resultados foram diferentes, o método CML apontou o processo de beneficiamento da casca como maior responsável pelos impactos nesta categoria, enquanto que no método EDIP 97, o processo de prensagem do painel foi o maior responsável pelos impactos de eutrofização, como pode ser visto na Figura 16.



*AG: Aquecimento Global; DCO: Depleção da Camada de Ozônio; ACD: Acidificação; EUTR: Eutrofização; FFOT: Formação Fotoquímica de Ozônio Troposférico

Figura 15 Contribuição relativa (percentual) das etapas do ciclo de vida do painel PCCVR - MDF UF analisado pelos métodos EDIP 97 e CML 2001.

4.9 DISCUSSÃO

4.9.1 Pontos críticos ambientais relacionados aos painéis em diferentes cenários

Observa-se que o consumo de energia elétrica na prensagem do painel, o transporte de casca, pó e fibra, pelo uso e a queima do combustível, os efluentes gerados no beneficiamento da casca e o uso da resina UF são os fatores que mais contribuem para as categorias de impactos analisadas.

O consumo de energia na produção dos painéis, o uso de combustíveis fósseis e de resina uréia-formaldeído, também são importantes fatores na geração de impactos dos painéis industriais avaliados por Rivela et al.(2007); Wilson, (2010); SILVA et al. (2013)a; PIEKARSKI, (2012; 2013); SILVA et al.(2013)b, ATHENA, (2013); Saravia-Cortez et al.(2013);SILVA et al.(2014); e nos painéis em escala laboratorial e piloto produzidos por SANTOS et al.(2014) e Gonzáles-Garcia et al. (2009).

Com base no Cenário 1 da análise de sensibilidade, observa-se que o processo agrícola é o principal responsável pelos impactos ambientais potenciais dos painéis em estudo, em função do uso dos fertilizantes NPK, do consumo de energia na irrigação e do diesel utilizado no transporte que auxilia a colheita dos frutos. Assim, é importante observar que a partir do momento em que as cascas de coco passarem a ser consideradas um material com valor econômico e não um resíduo será necessário atuar na redução dos impactos no processo agrícola para que outros produtos oriundos da casca de coco sejam mais competitivos.

Os impactos ambientais na produção agrícola pelo uso de fertilizantes, diesel e consumo de energia nas atividades de campo como a colheita, também foram relatados em outros estudos de painéis. Puetmann et al. (2010), mostrou que a fase de colheita representou 3-7 % do consumo total de energia do berço ao portão.

No estudo de Silva *et al.* (2014), o processo de produção de cana de açúcar foi o principal responsável pelos impactos na categoria eutrofização, com uma contribuição de 75%, em função da aplicação de fertilizantes nitrogenados no solo.

No estudo de Saravia-Cortez *et al.* (2013) para o painel tipo particleboard, a pegada ecológica da categoria recursos materiais, está diretamente relacionada a sub-categoria recursos de madeira, na qual estão inclusas as atividades florestais, com contribuição de 94,78% da pegada ecológica nesta categoria.

No estudo de Iritani *et al.* (2014), no qual foi realizada ACV de um roupeiro composto por MDP, 50% dos impactos na categoria eutrofização ocorrem devido ao uso de fertilizantes NPK no processo de produção florestal e a maioria dos impactos ambientais para a categoria acidificação se deu pelo uso de diesel devido as operações de campo no processo de produção florestal.

Na pesquisa de Silva *et al.* (2013) para o MDP, 22% dos impactos da categoria eutrofização ocorrem pelo uso de fertilizantes a base de nitrogênio no solo na fase de produção florestal e cerca de 50% dos impactos potenciais identificados na categoria depleção de recursos abióticos ocorrem pelo uso de diesel necessário nas operações de campo no processo de produção florestal. O uso de diesel também contribuiu para os impactos na categoria eutrofização e para a categoria depleção da camada de ozônio, na qual está última contribuiu com 90% dos impactos.

4.9.2 Efeitos da escolha de métodos de avaliação de impacto nas avaliações de painéis

Existem diferentes métodos de avaliação, e podem ser de ponto médio ou ponto final. Os métodos de ponto médio avaliam o impacto ambiental potencial de determinado processo ou produto e os métodos de ponto final modelam todo o caminho do impacto, informando sobre os danos a saúde humana, qualidade dos ecossistemas e recursos naturais (ILCD, 2010).

Cada método tem suas categorias de impacto, seus modelos de caracterização e indicadores de categoria, e além disso consideram diferentes cadeias de causa e efeito ambiental, por isso os resultados de uma avaliação de impacto podem mudar com a escolha de diferentes métodos de avaliação, como pode ser observado na análise de sensibilidade, para o cenário C2, no item 5.2.

4.10. CONCLUSÕES

- i) Sobre a análise de inventário do ciclo de vida dos painéis:
 - ✓ A produção agrícola de coco verde gera emissões para o ar, água e solo, em função da mudança no uso da terra e uso de fertilizantes minerais e orgânicos.

- ✓ O processo de beneficiamento da casca de coco gera emissões para a água devido aos efluentes gerados, que são o Líquido da Casca de Coco Verde e o Líquido da Lavagem do Pó.
 - ✓ Ocorre maior consumo de energia elétrica no processo de prensagem dos painéis.
 - ✓ A prensagem do painel MDF UF gera emissões de formaldeído (EF) pela degradação da resina curada durante a manufatura.
- ii) Sobre os principais pontos críticos identificados na ACV dos painéis PCCV e PCCVR:
- ✓ Os principais pontos críticos identificados na avaliação dos painéis são os processos de prensagem, beneficiamento da casca de coco verde e transporte. O primeiro ponto crítico está relacionado à energia requerida para realização da prensagem do painel. O segundo se refere aos efluentes gerados no processamento da casca de coco e na lavagem do pó que são o LCCV (Líquido da Casca de Coco Verde), e o LLP (Líquido da Lavagem do Pó). O terceiro se refere à queima de combustíveis fósseis na operação do caminhão. No caso do PCCVR, outro fator relevante é o uso de resina UF e aditivos (sulfato de amônia e emulsão de parafina).
 - ✓ No cenário em que a casca de coco verde possui valor comercial e o sistema de produto abrange o processo de produção agrícola, observa-se que os principais pontos críticos ocorrem no processo agrícola devido ao uso de fertilizantes NPK, consumo de energia na irrigação e o uso de diesel no transporte que dá suporte a colheita dos frutos.
- iii) Sobre a avaliação comparativa de impacto dos painéis:
- ✓ O painel PCCV-MDF apresentou melhor desempenho ambiental que o PCCV-HDF;
 - ✓ Na avaliação comparativa entre os painéis PCCV-HDF e PCCVR-MDF UF, a análise de incerteza realizada pelo método de Monte Carlo, mostrou que não é possível afirmar que o painel HDF tem desempenho ambiental inferior em relação ao MDF UF, pois a significância dos resultados foi inferior a 99,5%, com exceção para a categoria de impacto eutrofização;
 - ✓ Na análise comparativa entre os painéis PCCV MDF-UF e PCCVR-MDF, a análise de incerteza realizada pelo método de Monte Carlo, mostrou que não é

possível afirmar que o painel MDF-UF tem desempenho ambiental inferior em relação ao MDF, pois a maioria das categorias de impacto não apresentou uma significância aceitável, onde $A \geq B$ foi inferior a 95%, com exceção das categorias depleção de recursos abióticos, acidificação, depleção da camada de ozônio e formação fotoquímica de ozônio troposférico, onde $A \geq B$ foi superior a 95%.

- ✓ A avaliação de impacto realizada pelo método EDIP 97, mostra que em função do método escolhido podem ocorrer variações nos resultados, pois cada método de avaliação de impacto considera cadeias de causa e efeito diferentes. Na avaliação de impacto do painel PCCV-HDF, o método EDIP 97 aponta o processo de transporte como o maior contribuidor para a eutrofização, enquanto que o método CML aponta o beneficiamento da casca de coco; Na avaliação de impacto do painel PCCV-MDF, o beneficiamento da casca de coco contribuiu com cerca de 70% dos impactos, pelo método EDIP e no método CML, a contribuição deste processo para a eutrofização foi superior a 80%. Na avaliação do painel PCCVR-MDF UF, o processo que mais contribuiu com a categoria de impacto eutrofização pelo método EDIP 97 foi a prensagem do painel, e no método CML foi o beneficiamento da casca de coco.

4.11 RECOMENDAÇÕES

Diante dos pontos críticos identificados na avaliação de impacto ambiental potencial dos painéis PCCV (HDF e MDF), e PCCVR na situação em que considera-se a casca de coco como um resíduo, sugere-se que algumas etapas do ciclo de vida sejam otimizadas. Essas etapas são o beneficiamento da casca em função dos efluentes gerados, a prensagem do painel e o transporte, por conta das emissões geradas pela queima do diesel na operação do caminhão.

A melhoria do desempenho ambiental dos painéis ocorre principalmente quando o consumo de energia ao longo do ciclo de vida desse produto é reduzido. Para tanto, o pré-tratamento da matéria prima é uma alternativa na eliminação de constituintes que promovem absorção de água pelo painel, que tradicionalmente são retirados pela ação do calor, e consequentemente reduz o consumo de energia do processo de prensagem. O pré-tratamento

segundo Torquato (2008) é realizado para amolecer as fibras ou partículas de madeira, facilitando a operação do desfibrador e com isso reduz o consumo de energia.

Castro et al. (2014) apresentou alguns tipos de pré-tratamentos térmicos e químicos para a madeira de eucalipto. Os pré-tratamentos sugeridos no estudo foram com água quente, água fria, hidróxido de sódio, cloreto de cálcio ou hidróxido de cálcio. O pré-tratamento químico de acordo com Torquato (2008) pode ser feito utilizando sulfito, hidróxido de sódio ou cal.

Pelaez-Samaniego et al. (2013), relata o pré-tratamento térmico como uma alternativa para remoção de constituintes como a hemicelulose, que confere característica higroscópica aos painéis. Ainda segundo Pelaez-Samaniego et al. (2013), o pré-tratamento térmico evita o uso de produtos químicos, e nele são usados água quente ou vapor.

Embora existam diversas opções de pré-tratamento da matéria prima, é importante considerar a alternativa mais viável do ponto de vista ambiental, para que o pré-tratamento adotado não comprometa negativamente o desempenho ambiental do ciclo de vida do produto. Assim, indica-se realizar uma avaliação de ciclo de vida comparativa dos tratamentos para observar as que tem melhor potencial de reduzir os impactos dos painéis em estudo.

Em relação aos efluentes gerados no beneficiamento da casca de coco verde, sugere-se o tratamento destes para redução da carga orgânica, bem como avaliar o seu potencial como fonte de nitrogênio, fósforo e potássio na fertilização de culturas. Segundo Mattos et al. (2012), estudos investigaram o potencial de reuso dos efluentes do processo de beneficiamento da casca de coco verde como fonte de taninos para a formulação de resinas fenólicas para fabricação de adesivos, e utilização para fins fitoterápicos; além da sua utilização como fonte de potássio, na fertilização agrícola de culturas tolerantes a alta salinidade, em função da sua elevada condutividade elétrica. Freitas Neto et al.(2006), avaliou o potencial de aproveitamento de biogás empregando um reator anaeróbio no tratamento do LCCV.

Para minimizar os impactos do transporte, sugere-se investigar o uso de combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis, como o biodiesel, avaliando se ocorre redução nas emissões devido sua queima, na operação do caminhão. Segundo Bermann (2008), o uso de biodiesel reduz as principais emissões associadas ao diesel derivado do petróleo, como óxidos de enxofre e material particulado.

Com relação ao uso da resina UF, o ideal é produzir os painéis sem ela, e aproveitar o potencial da matéria-prima (pó e fibra), em função da lignina, que funciona como ligante natural. As emissões de formaldeído livre tem potencial carcinogênico segundo Athanassiadou et al. (2014).

De acordo com a FISPQ (2010), dentre os efeitos adversos a saúde humana pelo manuseio da resina UF, tem-se irritação da garganta, dores de cabeça, fraqueza, desmaios, ressecamento dos olhos, irritação e dermatite. Por isso, o seu manuseio deve ser feito, utilizando equipamentos de proteção individual como máscaras com filtros para proteção de vapores, luvas e óculos de segurança.

No cenário onde a casca de coco é considerada como um coproduto do beneficiamento da casca, e que foi modelada na análise de sensibilidade, o processo agrícola contribuiu com a maioria dos impactos nas categorias analisadas pelo uso de fertilizantes NPK, consumo de energia na irrigação e o uso de diesel no transporte que dá suporte a colheita dos frutos. Para redução dos impactos em função do uso de fertilizantes nitrogenados, é importante realizar uma adubação eficiente evitando perdas de nutrientes para o ambiente. Melhorias na eficiência do uso de fertilizantes podem ser alcançadas com aprimoramento das práticas de manejo e técnicas de aplicação de fertilizantes (IFA, 2000). Para reduzir os impactos da produção de energia elétrica no processo agrícola, sugere-se também verificar a viabilidade de utilização de fontes alternativas de energia, como a energia eólica ou solar, visto que as áreas produtoras de coco no Ceará se encontram em boa parte em áreas litorâneas que possuem condições ideais de vento e incidência solar. De acordo com a ANEEL (2015), os maiores índices de radiação são observados na região nordeste, com capacidade de gerar 18 MJ/m².dia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura.**Brasil, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO14044: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações.**Brasil, 2009.
ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), 2015. **Energia Solar.** Disponível em:http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar%283%29.pdf. Acesso em: 13.fev. 2015

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 15316-1: Chapas de fibras de média densidade. Parte 1: Terminologia.** Rio de Janeiro, 2006.

ACV BRASIL. **Avaliação Social do Ciclo de Vida.** Disponível em: <<http://www.acvbrasil.com.br/avaliacao-social-do-ciclo-de-vida/>>, Acesso em: 10 nov. 2014.

ADISSI, P. J.; ALMEIDA NETO, J. A. Conceitos Básicos de Gestão Ambiental. In: ADISSI, P. J.; PINHEIRO, F. A.; CARDOSO, R. S. (org.). **Gestão Ambiental de Unidades Produtivas.**Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.p. 1-17.

AGENDA 21 BRASILEIRA. **Agenda 21 brasileira: Resultado da Consulta Nacional / Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional.** 2. ed. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2004.158 p.

ALMEIDA NETO, J. A.; OLIVEIRA, L. B.; BRAGA, R. C. S. Avaliação de Impactos Ambientais.In: ADISSI, P. J.; PINHEIRO, F. A.; CARDOSO, R. S. (org.). **Gestão Ambiental de Unidades Produtivas.** Rio de Janeiro. Elsevier, 2013.p.125-161.

ARAÚJO JÚNIOR, C. P. **Elaboração e caracterização de painéis lignocelulósicos a partir da casca de coco verde.** 2011.37 f. Monografia (Graduação em Licenciatura em Química) = Curso de Licenciatura em Química, Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 2011.

ARAÚJO JÚNIOR, C. P. **Painéis de Fibras Elaborados a Partir da Casca do Coco Verde sem Adição de Resinas Aglutinantes.** 2014. 83 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade Federal do Ceará (UFC). Fortaleza-CE.

ARAÚJO JÚNIOR, C. P.; CÁCERES, C. A.; MATTOS, A. L. A.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FEITOSA, J. P. A.; ROSA, M. F. Caracterização de painéis obtidos da casca do verde sem adição de resinas sintéticas. In: XII Congresso Brasileiro de Polímeros, 12., 2013, Florianópolis. **Anais...** 2013.

ARAÚJO, G. M. G. **Desafios para aplicação da metodologia do Berço-ao-berço ao ciclo de vida de móveis de MDF e MDP.** 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO14044: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações.** Brasil, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura.** Brasil, 2009.

ATHANASSIADOU, E.; TSIANTZI, S.; MARKESSINI, C. **Producing Panels with Formaldehyde at wood Levels.** Disponível em: file:///C:/Users/feito_000/Downloads/02e7e528b1cedf05b1000000.pdf. Acesso em: 12 fev. 2015.

ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE. **A Cradle-to-gate Life Cycle Assessment of Canadian Medium Density Fiberboard (MDF) – 2013 Update.** Ottawa, ON. Setembro, 2013.

ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE. **A Cradle-to-gate Life Cycle Assessment of Canadian Particleboard– 2013 Update.** Ottawa, ON. Setembro, 2013.

BARBIERI, J. C.; CAJAZEIRA, J. E. R. **Avaliação do Ciclo de Vida do Produto como Instrumento de Gestão da Cadeia de Suprimento – O Caso do Papel Reciclado.** Disponível em: http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2009/artigos/E2009_T00481_PCN81956.pdf. Acesso em: 10 nov. 2014.

BAUMANN, H., TILLMAN, A.M. **The hitch hiker's Guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application.** Lund: Studenlitteratur AB, 2004.

BARBOZA, E. M. F. **Rotulagem Ambiental: Rótulos ambientais e Análise do Ciclo de Vida (ACV).** Novembro de 2001. Disponível em: <http://acv.ibict.br/publicacoes/reatorios/Rotulagem%20Ambiental.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2014.

BERMANN, C. **Crise Ambiental e as energias renováveis.** Cienc. Cult. Vol. 60, n.3. São Paulo setembro, 2008. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252008000300010. Acesso em: 12 fev. 2015.

BRASIL. Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm. Acesso em: 09 nov. de 2014.

BRUNDTLAND, G. H. **Nosso futuro comum: comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento.** 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CAMPOS, M. G. **Abordagem de Ciclo de Vida na Avaliação de Impactos Ambientais no Processamento primário offshore.** Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

CARACHI, J. C.; LEÃO, A. C.; CHAMMA, P. V. C. Avaliação de Painéis Produzidos a partir de resíduo sólidos para aplicação na arquitetura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 1, p. 47-53, 2009.

CARVALHO, P. S. G. **Estudo Aplicado de ACV a Sistema de Refrigeração por Absorção e por Compressão de Vapor de Amônia**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Energia e Fluidos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

CASTRO, V.; ARAÚJO, R. D.; PARCHEN, C.; IWAKIRI, S. Avaliação dos efeitos de pré-tratamentos da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage no grau de compatibilidade com cimento Portland. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 935-942, 2014.

CAVALETT, O.; CHAGAS, M. F.; SEABRA, J. E. A.; BONOMI, A. **Comparative LCA of ethanol versus gasoline in Brazil using different LCIA methods**. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 2012.

COLTRO, L. **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão**. Campinas: Centro de Tecnologia de Embalagem-CETEA/ITAL, 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 1986. **Resolução 01. Dispõe sobre Critérios Básicos e Diretrizes Gerais para a Avaliação de Impacto Ambiental**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

ELCOCK, D. **Life-cycle Thinking For The Oil and Gas Exploration and Production Industry**. Prepared by the Environmental Science Division, Argonne National Laboratory. ANL/EVS/R-07/5.2007. Disponível em: http://www.evs.anl.gov/pub/dsp_detail.cfm?PubID=2154. Acesso em: 02 abr. 2013.

EMBRAPA, 2010. **A cultura do coqueiro no Brasil. Importância histórica e Agronômica**. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br/download/Documentos47.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2014.

FIGUEIRÊDO, M.C. B. **Modelo de Avaliação do Desempenho Ambiental de Inovações Tecnológicas Agroindustriais, Considerando o Conceito de Ciclo de Vida e a Vulnerabilidade Ambiental: AMBITEC-Ciclo de Vida**. 2008. Tese. 424 f. (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; ROSA, M. F.; PIRES, A. C. MOTA, S. **Avaliação do Ciclo de Vida de Tecnologias Agroindustriais**. In CASTELLANO, E. G.; ROSSI, A.; CRESTANA, S. *Princípios Gerais do Direito Ambiental*. v. 1. Seção 1. Parte 3. Cap. 9. Brasília, DF, Embrapa 2014.

FISPQ (Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos). **Resina Uréia Formol**. Empresa Águia Química, 2010.

FONTENELE, R. E. S. Cultura do Coco no Brasil: Caracterização do mercado atual e perspectivas futuras. In: XLIII Congresso da SOBER “Instituições, Eficiência, Gestão e Contratos no Sistema Agroindustrial”, 43., 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** 2005.

FREITAS NETO, M. A.; LEITÃO, R. C.; ROSA, M. F.; ARAÚJO, A. M.; FARIAS FILHO, A. L.; BRITO, C. R. F.; VIANA, M. B.; SANTAELLA, S. T. **Perspectivas do aproveitamento energético do biogás gerado durante o tratamento anaeróbico do líquido da casca de coco verde.** 2006. Disponível em: <http://www.cpamn.embrapa.br/agrobioenergia/trabalhos/112.PDF>. Acesso em: 12.fev.2015.

GALDINO, C. A. B.; SANTOS, E. M.; PINHEIRO, J. I.; MARQUES JÚNIOR, S. RAMOS, R. E. B. **Passivo Ambiental das Organizações: Uma Abordagem teórica sobre a Avaliação de Custos e Danos Ambientais no Setor de Exploração de Petróleo.** In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 22., 2002, Curitiba. **Anais...** 2002.

GARCIA-GONZÁLES, S.; FEIJOO, G.; HEATHCOTE, C.; KANDELBAUER, A. Environmental Assessment of Green hardboard production coupled with a laccase activated system. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 5, p. 445-453, 2011

GARCIA-GONZÁLES, S.; FEIJOO, G.; WIDSTEN, P.; KANDELBAUER, A.; ZIKULNIG-RUSCH, E.; MOREIRA, M. T. Environmental performance assessment of hardboard manufacture. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 14, n. 5, p. 456-466, 2009

GOEDKOOP, M.; SCHRYVER, A. D.; OELE, M. **Introduction to LCA with SimaPro 7.** PRÉ CONSULTANTS, 2008.

HAUSCHILD, M. Z.; GOEDKOOP, M.; GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; JOLLIET, O.; MARGNI, M.; SCHRYVER, A.; HUMBERT, S.; LAURENT, A.; SALA, S.; PANT, R. **Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment.** International Journal of Life Cycle Assessment. 2012.

IFA (INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION). O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente. **International Fertilizer Industry Association, United Nations Environment Programme.** Trad. Associação Nacional para Difusão de Adubos. Paris, 2000.

IPCC (International Panel on Climate Change). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** IPCC, Geneva, 2006.

IRITANI, D. R.; SILVA, D. A. L.; SAAVEDRA, Y. M. B.; GRAEL, P. F. F.; OMETTO, A. R. Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry. **Journal of Cleaner Production**, p. 1-11, 2014.

MARTINS, C. R.; JÚNIOR, L. A. J. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010** / Aracaju – Sergipe - Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas. **BNDES Setorial**, n. 27, p. 121-156, 2008.

MATTOS, A. L. A.; ROSA, M. F.; CRISÓSTOMO, L. A.; BEZERRA, F. C.; CORREIA, D.; VERAS, L. G. C. **Beneficiamento da casca de coco verde**. Disponível em: http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_3830.pdf. Acesso em: 01 abril 2012.

MEDINA, H. V. A análise de ciclo de vida aplicada a pesquisa e desenvolvimento de ecomateriais no Brasil. In PIRES, A. C.; PAULA, M. C. S.; VILLAS BOAS, R. C. (org). **A avaliação do ciclo de vida na América Latina**. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, 2005. p. 310-330.

NASCIMENTO, D. M.; ALMEIDA, J. S.; DIAS, A. F.; FIGUEIRÊDO, M. C. B.; MORAIS, J. P.; FEITOSA, J. P. A.; ROSA, M. F. A novel green approach for the preparation of cellulose nanowhiskers from white coir. **Carbohydrate Polimers**, v. 110, p. 456-463, 2014.

NASCIMENTO, E. P. **Desenvolvimento sustentável: personagem de um novo campo socioambiental?** In CASTELLANO, E. G.; ROSSI, A.; CRESTANA, S. Princípios Gerais do Direito Ambiental. v. 1. Seção 2. Parte 6. Cap. 1. Brasília, DF, Embrapa 2014.

NEMECEK, T., SCHNETZER, J., 2012. Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems. **Data v3. 0**, 2012.

OMETTO, A.; FILHO, A. G. Integrando o Ecodesign ao desenvolvimento de produtos. In: SILVEIRA, M. A. **Gestão da sustentabilidade organizacional: inovação, aprendizagem e capital humano**. Campinas, SP: CTI (Centro de Tecnologia da Informação “Renato Archer”), 2012. p. 105-122.

PELAEZ-SAMANIEGO, M. R.; YADAMA, V.; LOWELL, E.; HERRERA, R. E. A review of wood thermal pretreatments to improve wood composite properties. **Wood Science and Technology**, v. 47, n. 6, p. 1285-1319, 2013.

PELLIN, A.; LEMOS, C. C.; TACHARD, A.; OLIVEIRA, I. S. D. SOUZA, M.P. Avaliação Ambiental Estratégica no Brasil: considerações a respeito do papel das agências multilaterais de desenvolvimento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, p; 27-36, 2011.

PIEKARSKI, C. M. **Proposta de Melhoria do Desempenho Ambiental Associado ao Ciclo de Vida da Produção do Pannel de Madeira MDF**. 2013. 147f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2013.

RIVELA, B.; MOREIRA, M.T.; FEIJOO, G. Life cycle of medium density fiberboard. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 12, n. 3, p. 143-150, 2007.

ROSA, M. F.; ABREU, F. A. P.; FURTADO, A. A. L., BRÍGIDO, A. K. L.; NORÕES, E. R. V. **Processo agroindustrial: obtenção de pó de casca de coco verde**. Comunicado Técnico 61. Dezembro, 2001. Fortaleza, CE. 4p.

RODRIGUES, S. C. **Análise do Processo de Fabricação do Compósito Ecowood : Estudo de Caso de Reciclagem**. 111f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica- CEFET/RJ, Rio de Janeiro, 2009.

ROCHA, F. B. A.; CAMPOS, M. C.; COLOMBO, C. R.; CELESTINO, J. E. M. Gestão de Resíduos como ferramenta aplicada ao beneficiamento do coco verde. In: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos-SP, 30., 2010. **Anais...** 2010.

SANTOS, M. F. N.; BATTISTELLE, R. A. G.; BEZERRA, B. S.; VARUM, H. S. A. Comparative Study of life cycle assessment of particleboards made of residues from sugarcane bagasse (*Saccharum spp.*) and pine wood shavings (*pinus elliottii*). **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 345-355, 2014.

SANTOS, M. I. C.; SILVA, M. S. **Custeio do Ciclo de Vida do Produto: um Estudo na J Macedo Alimentos S/A.** Disponível em: <<http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/708/423>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

SALLES, A. C. N. **Emissões de Gases de Efeito Estufa dos Dormentes de Ferrovia de Madeira Natural e de Madeira Plástica no Brasil e na Alemanha com Base nos seus Ciclos de Vida.** Tese (Doutorado em Ciência e Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.

SARAIVA-CORTEZ, A. M.; HERVA, M.; GARCIA-DIÉGUEZ, C.; ROCA, E. Assessing environmental sustainability of particleboard production process by ecological footprint. **Journal of Cleaner Production**, v. 52, p. 301-308, 2013.

SCHLITTER, F. H. M. **O Processo de Avaliação de Impactos Ambientais no Brasil.** In CASTELLANO, E. G.; ROSSI, A.; CRESTANA, S. Princípios Gerais do Direito Ambiental. v. 1. Seção 1. Parte 3. Cap. 2. Brasília, DF, Embrapa 2014.

SENHORAS, E. **Estratégia de uma agenda para a cadeia agroindustrial do coco.** Campinas: ESC, 2003.

SEIFFERT, M. E. B. **Gestão Ambiental Instrumentos, Esferas de Ação e Educação Ambiental.** São Paulo: Atlas, 2007.

SILVA, D. A. L. **Avaliação do Ciclo de Vida da Produção do Pannel MDP no Brasil.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2012.

SILVA, D. A. L.; LARH, F. A. R.; PAVAN, A. L. R.; SAAVEDRA, Y. M. B.; MENDES, N. C.; SOUSA, S. R.; SANCHES, R.; OMETTO, A. R. Do wood-based panels made with agro-industrial residues provide environmentally benign alternatives? An LCA case study of sugarcane bagasse addition to particle board manufacturing. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, n. 10, p. 1767-1778, 2014.

SILVA, D. A. L.; LARH, F. A. R.; VARANDA, L. D.; CHRISTOFORO, A. L.; OMETTO, A. R. Environmental performance assessment of the melamine-urea-formaldehyde (MUF) resin manufacture: a case study in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, p. 1-9. 2014.

SILVA, D. L. S.; LAHR, F. A. R.; GARCIA, R. P.; FREIRE, F. M. C. S.; OMETTO, A. R. 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, G. A. **Panorama da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no Brasil**. Seminário Avaliação do Ciclo de Vida de Produto e ecodesign, 2006. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/download/publicacoes_meio_ambiente/apres_gil_anderi.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2014.

SILVA, G. O. JERONIMO, C. H. Estudo de Alternativas para o Aproveitamento de Resíduos Sólidos da Industrialização do Coco. **Revista Monografias Ambientais**, v. 10, n. 10, p. 2193-2208, 2013.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K.; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A. F. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v. 32, p. 661-671, 2009.

SILVA, V. B.; CRISPIM, J. Q. Um Breve Relato Sobre a Questão Ambiental. **Revista GEOMAE**, v. 2, p. 163-175, 2011.

SCORSIM, S.; SANCHES, A. M.; GOMES JÚNIOR, O. O sucesso na preservação do meio ambiente através da utilização de biodiesel. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção: A Engenharia de Produção e o Desenvolvimento Sustentável: Integrando Tecnologia e Gestão, 29., Salvador. **Anais...** 2009.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **O Futuro que queremos**. Disponível em <http://www.sustainabledevelopment.un.org/futurewewant.html>. Acesso em: 20 nov. 2014.

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos Painéis MDF Comerciais Produzidos no Brasil**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). – Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

UGAYA, C. M. L. Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos. In ADISSI, P. J.; PINHEIRO, F. A.; CARDOSO, R. S. (org.). **Gestão Ambiental de Unidades Produtivas**. Pag. 275-298. 1. Rio de Janeiro:Elsevier, 2013. p. 275-298.

UNIÃO EUROPÉIA. **ILCD Handbook: Framework and Requirements for Life Cycle Impact Assessment Models and Indicators**. 2010.

VALT, R.B.G. **Análise do Ciclo de Vida de Embalagens Pet, de Alumínio e de Vidro para Refrigerantes no Brasil Variando a Taxa de Reciclagem dos Materiais**. 2004. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

VAN DAM, J. E. G.; VAN DEN OEVER, M. J. A.; KEIJSERS, E. R. P.; VAN DEN PUTTER, J.; ANAYRON, C.; JOSOL, F.; PERALTA, A. Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk Part 2: Coconut husk morphology, composition and properties. **Industrial Crops and Products**, v. 24, p. 96-104. 2006.

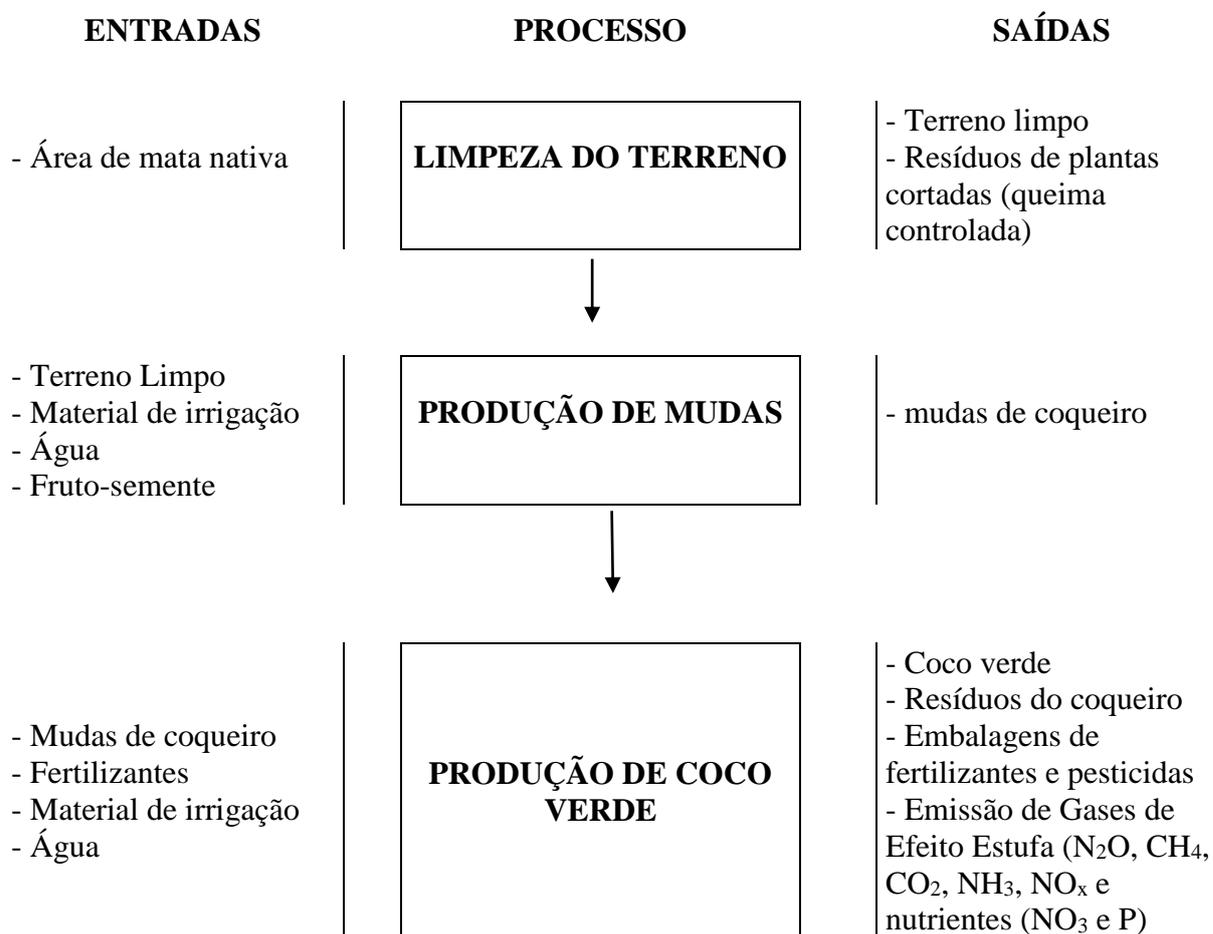
VAN DAM, J. E. G.; VAN DEN OEVER, M. J. A.; TEUNISSEN, W.; KEIJERS, E. R. P.; PERALTA, A. Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk. Part 1: Lignin as intrinsic thermosetting binder resin". **Industrial Crops and Products**, v. 19, p. 207-216, 2004.

VENZKE, C. S. O Ecodesign no setor moveleiro do Rio Grande do Sul. **REAd: revista eletrônica de administração**. Edição 30, vol. 8, n. 6, 2002.

WILSON, J. B. Life-cycle inventory of medium density fiberboard in terms of resources, emissions and carbon. **Wood and Fiber Science**, v. 42, p. 107-124, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Fluxograma da Produção Agrícola de Coco Verde



APÊNDICE B – Produção Agrícola de Coco Verde

Figura 16 - área de vegetação nativa (caatinga)



Figura 17 - Viveiro de mudas



Figura 18 - Muda de coqueiro



Figura 19 - Fruto semente



Figura 20 - Plantio de coqueiros no primeiro ano



Figura 21 - Coqueiro em Produção



Figura 22 - Restos culturais como cobertura morta



Figura 23 - Colheita dos frutos



Fonte: Fábio Miranda

Figura 24 - Trator utilizado na colheita



APÊNDICE C – Fluxograma do Processo de Abertura do Coco Verde

ENTRADAS

- Coco Verde

PROCESSO

**ABERTURA DO COCO
VERDE**

SAÍDAS

- água de coco
- Cascas de Coco Verde

APÊNDICE D – Processo de Abertura do Coco Verde

Figura 25 - Caminhões descarregando os cocos



Figura 26 - Processo de abertura do coco



Figura 27 - Bacia de extração de água de coco



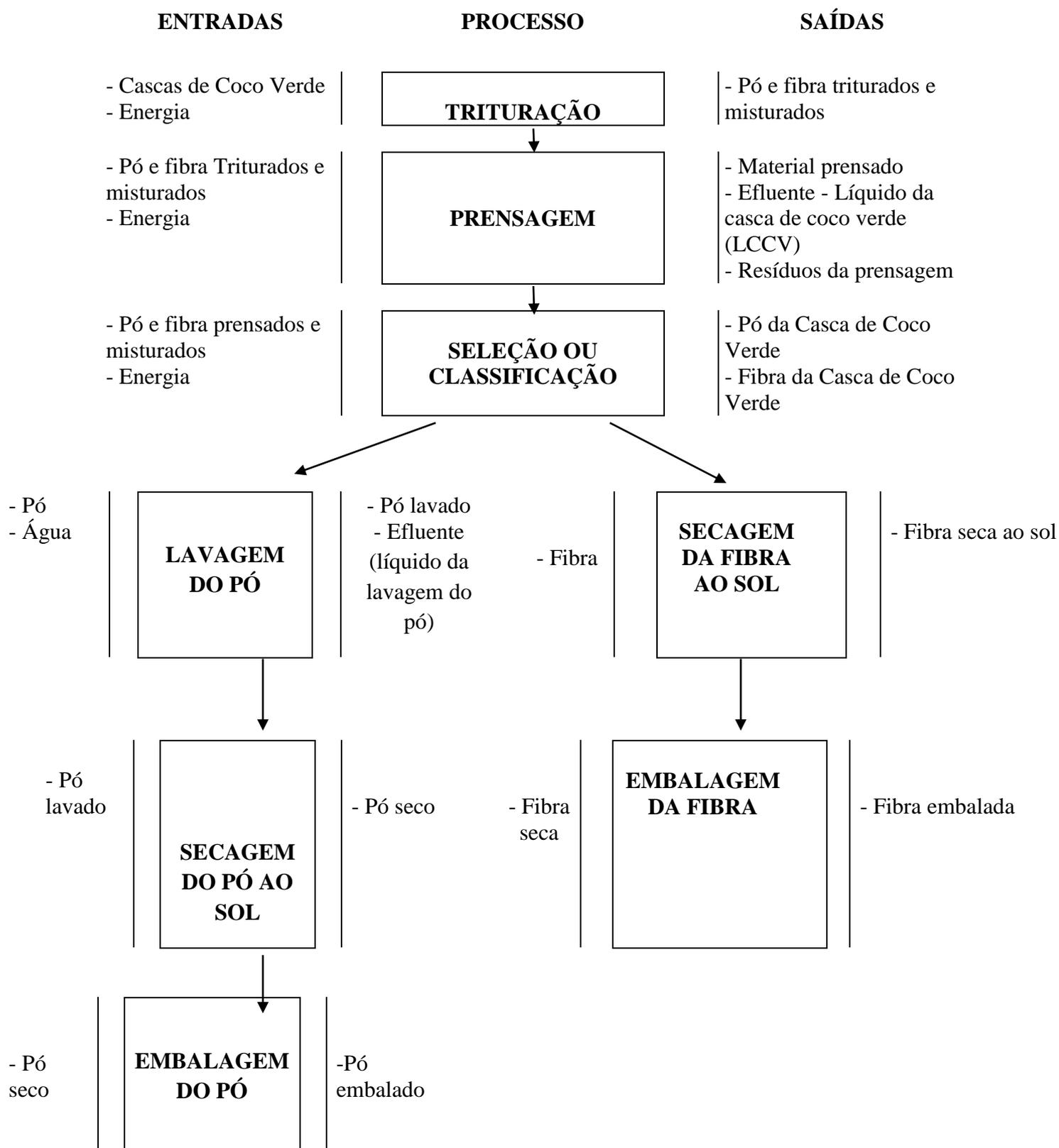
Figura 28 - Cascas após a abertura dos frutos



Figura 29 - Cascas descarregando no caminhão



APÊNDICE E – Fluxograma do Beneficiamento da Casca de Coco Verde



APÊNDICE F – Beneficiamento da Casca de Coco Verde

Figura 30 - Cascas sendo descarregadas **Figura 31 - Cascas de coco sendo pesadas**



Figura 32 - Equipamento para processar a casca de coco

Figura 33 - Fibra da casca de coco verde



Figura 34 - Pó da Casca de coco verde

Figura 35 - Líquido da Casca de Coco (LCCV)



Figura 36 - Lavagem do Pó



Figura 37 - Secagem do pó ao sol



Figura 38 - Secagem da fibra ao sol



APÊNDICE G – Produção dos Painéis (PCCV e PCCVR)

Figura 39 - Peneiramento do Pó



Figura 40 - Pó na estufa de circulação de ar



Figura 41 - Verificação da umidade do pó em balança infra-vermelho



Figura 42 - Moagem da Fibra em Moinho de Facas



Figura 43 - Fibra seca em estufa de circulação de ar



Figura 44 - Preparação da mistura Pó/Fibra



Figura 45 - Mistura Pó/Fibra



Figura 46 - Preparação da mistura no Molde



Figura 47 - Prensa hidráulica



Figura 48 - Pannel de casca de coco verde (PCCV)



Figura 49 - Resina UF, Sulfato de amônia e Emulsão de parafina



Figura 50 - Preparação da mistura pó/fibra, resina UF e aditivos



**Figura 51: mistura pó/fibra com resina
UF e aditivos**



**Figura 52: Painel de Casca de Coco verde
com resina (PCCVR)**



APENDICE H – Fluxograma da produção dos painéis (PCCV e PCCVR)

