

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
NÍVEL MESTRADO**

JANIEL RODRIGO ZARO

**BALANÇO DE MASSA E ENERGIA DA PRODUÇÃO DE PLACA POLIMÉRICA
REFORÇADA COM FIBRA DE COCO**

São Leopoldo, janeiro de 2020

JANIEL RODRIGO ZARO

**Balço de massa e energia da produo de placa polimérica reforçada com fibra de
coco**

Trabalho submetido ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UNISINOS como pré-requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes

Banca Examinadora:

Profª. Dra. Daniela Montanari Migliavacca Osório– Universidade FEEVALE

Profª. Dra. Regina Célia Espinosa Modolo - UNISINOS

Dra. Ana Cristina Curia - UNISINOS

Prof. Dr. André Canal Marques - UNISINOS

São Leopoldo, janeiro de 2020

Z38b Zaro, Janiel Rodrigo.

Balanço de massa e energia da produção de placa polimérica reforçada com fibra de coco / Janiel Rodrigo Zaro. – 2020.

129 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2020.

“Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecária: Amanda Schuster – CRB 10/2517)

AGRADECIMENTOS

À minha família, por apoiar-me de forma contínua e segura, carinhosa e perspicaz, durante cada etapa de minha vida, sem mediar esforços para que o ambiente fosse propício e de estímulo ao desenvolvimento pessoal e educacional.

Imenso agradecimento ao Estado Brasileiro que oportunizou meus estudos, seja no ingresso à Universidade pelo Programa Universidade para Todos - PROUNI, ou posteriormente no curso de pós-graduação, financiando meus estudos através da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES). A República Federativa do Brasil oportunizou-me contato com qualificado corpo docente em todas as etapas, do jardim de infância até aqui, de modo que estendo os cumprimentos aos meus professores.

De singular importância, agradeço meu orientador, Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes que me apoiou antes mesmo da efetiva seleção para ingresso no programa de pós-graduação, e no desenvolver dos trabalhos e estudos inerentes à objetivação deste trabalho.

Cumprimento os colegas do Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, pelos momentos de estudo nos laboratórios, ou distrações nos intervalos, bem como aos colegas do Núcleo de Caracterização de Materiais – NUCMAT.

Aos colegas de trabalho que não mediram esforços para viabilizar adequações de funções e horários.

À Universidade do Vale do Rio dos Sinos, instituição a qual honra-me ser estudante.

A todos que de alguma forma contribuíram em cada etapa desta jornada, meu muito obrigado.

INSTITUIÇÕES E FONTES FINANCIADORAS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Apoiaram ainda:

- Empório Argentino.
- Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas -SEBRAE.
- Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.
- Núcleo de Caracterização de Materiais – NUCMAT.



RESUMO

O beneficiamento de resíduos, com vistas a obtenção de matérias-primas está alinhado ao conceito de economia circular e pode oportunizar a redução do consumo de energia, emissões de CO₂ e impactos ambientais negativos associados ao descarte destes resíduos já que estes materiais podem substituir outros de forma satisfatória. Desta maneira, considerando o montante de resíduos provenientes do consumo de coco, é imperativa a necessidade de encontrar alternativas de utilização ao montante de massa de coco pós-consumo descartado irregularmente no litoral brasileiro, ou ainda oriundo dos processos industriais de retirada do material comestível do fruto. A partir desta conscientização da reciclagem do coco verde pós-consumo, surgiram trabalhos que destacaram a possibilidade de extração das fibras do fruto, podendo esta ser utilizada em aplicações diversas, como matéria prima em placas poliméricas na condição de agentes de reforço. Contudo, objetiva-se verificar se os processos necessários ao beneficiamento do coco verde pós-consumo com vistas a obtenção de fibras não comprometem a viabilidade técnica, ambiental e econômica desta matéria prima, considerando-a como matéria prima na produção de uma placa polimérica de resina Poli (ácido láctico) PLA. Com base na metodologia da avaliação do ciclo de vida (ACV) foi realizado o balanço de massa e energia dos processos que envolvem o beneficiamento do resíduo coco pós-consumo, da produção do compósito e da confecção da placa polimérica, de modo a permitir a quantificação dos fluxos que formam o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) desta cadeia produtiva, o que permitiu verificar que a Energia Embutida (EE) da Fibra de Coco (FC), considerando o processo de beneficiamento em escala laboratorial foi de 47,09MJ/kg, onde 98,3% da energia despendida são referentes ao processo de secagem das fibras, e o restante de desfibramento, prensagem e corte do coco. Já a EE da placa polimérica de resina PLA e reforçada com FC possui EE de 31,27 MJ/UF. A utilização do *software* de seleção de materiais CES Edupack para simular e comparar placas poliméricas de PLA reforçada com de FC, fibra de vidro, Carbono, e demais Fibras Naturais (FN) possibilitou verificar que a FC possui comportamento energético e mecânico similar às FN disponíveis no mercado. No intuito de verificar qualitativamente os principais aspectos e impactos inerentes aos processos de beneficiamento do coco pós-consumo, bem como na produção do compósito e na confecção da placa polimérica foi realizada a avaliação por meio de uma planilha de aspectos e impactos avaliada por especialistas. Foi identificado que os principais aspectos inerentes aos processos estudados são o consumo de energia elétrica e a geração de resíduos, já que a FC representa apenas 5,7% da massa de coco beneficiada, subprodutos como o pó e o LCCV, que representam 24,5 e 40,6%, respectivamente, necessitam de soluções alinhadas a sua destinação ou até valorização. Dentre os impactos ambientais negativos analisados evidenciaram-se o potencial de aquecimento global, a acidificação, eutrofização e modificação do uso da terra.

Palavras-chave: coco pós-consumo, fibra de coco, PLA, energia embutida.

ABSTRACT

The processing of residues, with a view to obtaining raw materials, is in line with the concept of circular economy and can make it possible to reduce energy consumption, CO₂ emissions and negative environmental impacts associated with the disposal of these residues since these materials can replace others satisfactorily. In this way, considering the amount of residues from coconut consumption, it is imperative to find alternative uses for the amount of post-consumption coconut mass discarded irregularly on the Brazilian coast, or even from industrial processes for removing edible material from the coconut fruit. From this awareness of the recycling of post-consumption green coconut, work has emerged that highlighted the possibility of extracting the fibers from the fruit, which can be used in various applications, as a raw material in polymeric plates in the condition of reinforcing agents. However, the objective is to verify if the processes necessary for the processing of post-consumption green coconut in order to obtain fibers do not compromise the technical, environmental and economic viability of this raw material, considering it as a raw material in the production of a polymeric plate of Poly (lactic acid) PLA resin. Based on the methodology of the life cycle assessment (LCA), the mass and energy balance of the processes involving the processing of post-consumer coconut waste, the production of the composite and the making of the polymeric plate was carried out, in order to allow the quantification of the flows that make up the Life Cycle Inventory (LCI) of this production chain, which allowed to verify that the Embedded Energy (EE) of Coconut Fiber (FC), considering the process of improvement on a laboratory scale was 47.09MJ / kg, where 98.3% of the energy spent is related to the drying process of the fibers, and the rest to shredding, pressing and cutting the coconut. The EE of the polymeric PLA resin plate and reinforced with FC has an EE of 31.27 MJ / UF. The use of CES Edupack material selection software to simulate and compare polymeric PLA plates reinforced with FC, fiberglass, Carbon, and other Natural Fibers (FN) made it possible to verify that CF has an energetic and mechanical behavior similar to the available FN in the market. In order to qualitatively verify the main aspects and impacts inherent to the post-consumption coconut processing processes, as well as in the production of the composite and in the manufacture of the polymeric plate, the evaluation was carried out using a spreadsheet of aspects and impacts evaluated by specialists. It was identified that the main aspects inherent to the studied processes are the consumption of electric energy and the generation of residues, since the CF represents only 5.7% of the processed coconut mass, by-products such as powder and LCCV, which represent 24, 5 and 40.6%, respectively, need solutions aligned to their destination or even recovery. Among the negative environmental impacts analyzed, the potential for global warming, acidification, eutrophication and land use modification were highlighted.

Keyword: post-consumer coconut, coconut fiber, PLA, embodied energy

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção de coco no Brasil ao longo dos anos.....	22
Figura 2 – Fluxograma do beneficiamento do resíduo de coco pós-consumo para obtenção da fibra.....	24
Figura 3 – Equipamento triturador da biomassa de coco.	25
Figura 4 – Modelo que conecta os aspectos da matéria prima e aspectos da sustentabilidade.	27
Figura 5 – Publicações de trabalhos relacionando os temas de compósitos poliméricos reforçados com fibra de coco.....	30
Figura 6 – Publicações de trabalhos relacionando o petróleo e seus impactos ao longo do tempo.	33
Figura 7 - Publicações de trabalhos sobre ACV ao longo do tempo.....	34
Figura 8 – Fases de uma ACV.....	35
Figura 9 – Diagrama de representação de pré-determinação e geração dos impactos ambientais atrelados ao ciclo de vida de um produto.	36
Figura 10 – Inventário de entradas e saídas correspondente a uma unidade de processo.	38
Figura 11 – Metodologia de avaliação da confiabilidade dos dados do inventário.....	39
Figura 12 – Diferença entre ACV e SUB-RAW índice	45
Figura 13 – Fluxograma das etapas do trabalho.....	52
Figura 14 - - Limites do sistema de ACV para o estudo completo.	54
Figura 15 – Processos analisados.	54
Figura 16 – Cocos maduros utilizados no trabalho.	55
Figura 17 – Etapa correspondente ao corte do coco.....	56
Figura 18 – Coco verde pós-consumo após o processo de corte.	56
Figura 19 – Serra Fita utilizada para o corte dos cocos.....	57
Figura 20 – Polpa do fruto retirada após a etapa de corte.	58
Figura 21 – Fatias de coco após o processo de limpeza.	58
Figura 22 – Etapa de prensagem da biomassa de coco.....	59
Figura 23 – Partículas de coco verde após a prensagem.	59
Figura 24 – Desfibrador mecânico.	60
Figura 25 – Elementos do desfibrador mecânico.	61
Figura 26 – FC após desfibramento.....	61
Figura 27 – Estufa para secagem das fibras.	62
Figura 28 – FC após o processo de secagem.....	62

Figura 29 – Misturador.	63
Figura 30 – FC e PLA antes da homogeneização.	64
Figura 31 – FC e PLA após a homogeneização.	64
Figura 32 – FC e PLA após o processo de homogeneização.	65
Figura 33 – Extrusora Seibt ES35	66
Figura 34 – Mistura após extrusão.	66
Figura 35 - Prensa hidráulica utilizada no processo de moldagem.	66
Figura 36 – Processo de Corte do coco pós-consumo.	75
Figura 37 – Processo de limpeza das partes de coco já cortadas.	76
Figura 38 – Processo de prensagem manual das partes do coco.	76
Figura 39 – Processo de desfibramento mecânico do coco prensado.	77
Figura 40 – Processo de secagem das FC.	77
Figura 41 – Processo de Homogeneização das FC e a resina PLA.	78
Figura 42 – Processo de secagem do material homogeneizado.	78
Figura 43 – Processo de extrusão da mistura de PLA e FC.	79
Figura 44 – Processo de moagem do material extrudado e seco.	79
Figura 45 – Processo de secagem do material extrudado.	80
Figura 46 – Processo de prensagem para obter a placa polimérica.	80
Figura 47 – Fluxo energético na produção de PET.	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação de estudos da Embrapa sobre o coco.	23
Tabela 2 – Resultados de pesquisa em base de dados.	29
Tabela 3 – Tabela de planejamento e coleta dos dados.	38
Tabela 4 – Classificação dos dados a partir da fonte.	38
Tabela 5 – Níveis baseados na forma de obtenção dos dados.	39
Tabela 6 – Métodos de AICV e por suas principais categorias de impacto.	40
Tabela 7 - Critérios de abrangência, severidade e frequência 1	46
Tabela 8 - Classificação dos aspectos e impactos, adaptado de SGA	47
Tabela 9 - Critérios de abrangência, severidade e probabilidade\frequência 2	47
Tabela 10 - Classificação de criticidade dos impactos ambientais.	48
Tabela 11 - Critérios de acordo com Anschau (2017)	49
Tabela 12 – Etapas do ICV.	67
Tabela 13 – Dados de Tensão e Corrente elétrica dos equipamentos.	68
Tabela 14 – Dados de potência dos Motores e dos Resistores.	68
Tabela 15 – Aspectos e impactos considerados para a construção da planilha.	69
Tabela 16 – Critérios utilizados para a avaliação dos impactos ambientais.	70
Tabela 17 – Escalas de significância dos impactos ambientais.	71
Tabela 18 – Exemplificação da planilha de avaliação de aspectos e impactos ambientais.	72
Tabela 19 - Principais impactos relacionados a cada etapa proposta na metodologia.	73
Tabela 20 – Balanço de massa: Etapa 1.	81
Tabela 21 – Balanço de massa: Etapa 2.	82
Tabela 22 – Balança de massa: Etapa 3.	82
Tabela 23 – Normalização do percentual dos resíduos e FC pelo total de coco pós-consumo beneficiado.	83
Tabela 24 - Quantidade de resíduos sólidos provenientes nas etapas de processamento e da produção dos materiais.	84
Tabela 35 – Resíduos sólidos por UF	87
Tabela 25 – Dados do balanço de energia dos processos.	88
Tabela 26 - Quantificação de energia despendida em cada etapa descrita no escopo.	91
Tabela 27 – Dados dos materiais utilizados na simulação.	95
Tabela 28 – Resultados das simulações no Ces Edupack.	96
Tabela 29 – Dados de EE e PC utilizados nas simulações.	100

Tabela 30 – Resultados das simulações.....	100
Tabela 31 – Sugestões dos especialistas acerca da metodologia da planilha de aspectos e impactos ambientais.	104
Tabela 32 – Modificações realizadas a partir das sugestões dos especialistas.....	105
Tabela 33 – Significância dos impactos ambientais segundo as avaliações dos especialistas.	108
Tabela 34 – Aspectos e Impactos ambientais presentes nos processos.....	109

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
CFC _s	Clorofluorcarbonetos
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EE	Energia Embutida
FC	Fibras de Coco
FN	Fibras Naturais
HCFC's	Hidroclorofluorcarbonos
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
ISO	Organização Internacional de Normalização
LCCV	Líquido da Casca de Coco Verde
LCVMAT	Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais
N ₂ O	Óxido Nitroso
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
NUCMAT	Núcleo de Caracterização de Materiais
PET	Polietileno tereftalato
PLA	Poli (ácido láctico)
PO ₄	Fosfato
PP	Polipropileno
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SO ₂	Dióxido de Enxofre
UF	Unidade Funcional
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos

LISTA DE SÍMBOLOS

CF_{raw}	Emissões de CO ₂ da matéria-prima original (kg/kg)
CF_{sub}	Emissões de CO ₂ da matéria-prima substituta (kg/kg)
E_E	Energia Elétrica (Wh)
EE_{raw}	Energia Embutida da matéria-prima original (MJ/kg)
EE_{sub}	Energia Embutida da matéria-prima substituta (MJ/kg)
I	Corrente elétrica (A)
P_e	Potência Elétrica (W)
t	Tempo (h)
U	Tensão elétrica (V)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
1.2 JUSTIFICATIVA	18
1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 FIBRAS NATURAIS (FN)	20
2.1.1 Fibras de coco	21
2.1.1.1 Ciclo de vida do coco	21
2.1.1.2 Beneficiamento para obtenção da fibra de coco	23
2.2 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS BASEADOS EM FN	26
2.2.1 Matriz poli (ácido láctico) - PLA	28
2.2.2 Biocompósitos – PLA a base de FN.....	28
2.2.3 Processos de produção de placas poliméricas	31
2.2.3.1 Processo de moldagem por compressão	31
2.3 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV).....	32
2.3.1 Objetivo e escopo	36
2.3.2 Inventário do ciclo de vida (ICV).....	37
2.3.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)	40
2.3.4 Interpretação dos resultados	41
2.4 BALANÇO ENERGÉTICO	41
2.4.1 Análise de processos	41
2.4.2 Energia embutida (EE)	42
2.4.2.1 Parâmetros de sustentabilidade relacionados à Energia embutida	43
2.5 AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DOS IMPACTOS.....	45
3 METODOLOGIA.....	51
3.1 ETAPA 1	52
3.1.1 Definição de objetivo e escopo da ACV simplificada	53
3.1.1.1 Objetivo	53
3.2.1.2 Descrição de estudo de caso - produção de compósito polimérico de PLA reforçado com fibra de coco em escala laboratorial	53

3.2.1.2.1 <i>Subsistema 1 – Beneficiamento do resíduo de coco verde pós-consumo</i>	55
3.2.1.2.2 <i>Subsistema 2 – Obtenção do compósito e produção da placa polimérica</i>	62
3.2 ETAPA 2	67
3.2.1 Análise do Inventário do ciclo de vida (ICV)	67
3.2.1.1 <i>Elaboração dos diagramas de blocos de cada unidade de processo</i>	67
3.2.1.2 <i>Coleta dos dados para o balanço energético</i>	68
3.2.1.3 <i>Coleta dos dados de massa</i>	68
3.2.1.4 <i>Coleta de dados secundários</i>	68
3.2.1.5 <i>Cálculo do Consumo Elétrico</i>	69
3.3 ETAPA 3	69
3.3.1 Avaliação dos aspectos e impactos ambientais	69
3.4 ETAPA 4	73
3.4.1 Simulação utilizando os dados do ICV via software de seleção de materiais	73
3.4.2 Estimativa do CO₂equivalente nas simulações diversas	74
4 RESULTADOS	75
4.1 BALANÇO DE MASSA E ENERGIA	75
4.1.1 Diagramas de blocos	75
4.1.2 Balanço de massa	80
4.1.3 Balanço energético	87
4.1.3.1 <i>Análise do consumo energético do beneficiamento da FC</i>	89
4.1.3.2 <i>Análise do consumo energético da UF</i>	91
4.2 SIMULAÇÕES NO CES EDUPACK	94
4.3 SIMULAÇÕES DIVERSAS	99
4.4 AValiação Ambiental	103
4.4.1 Sugestões acerca da metodologia da planilha de aspectos e impactos	103
4.4.2 Avaliações dos processos	106
4.4.2.1 <i>Impactos significativos</i>	110
5 CONCLUSÃO	111
REFERÊNCIAS	113
APÊNDICE A – LISTA DE ESPECIALISTAS – AVALIADORES DA PLANILHA ..	122
APÊNDICE B – ENTREVISTADOS – AVALIADORES DOS PROCESSOS	123
APÊNDICE C – TRABALHOS SELECIONADOS A PARTIR DA PESQUISA EM BASE DE DADOS	124
APÊNDICE D – PLANILHA DE ASPECTOS E IMPACTO	126

APÊNDICE E – REFERÊNCIAS UTILIZADAS PELO CES EDUPACK.....127

1 INTRODUÇÃO

Na evolução da sociedade de consumo impera a lógica de renovação constante de produtos e serviços. (ZANIRATO; ROTONDARO, 2016). O meio ambiente já não consegue absorver grande parte dos impactos relacionados às atividades humanas. (ASHBY; JONES, 2013). Desenvolver tecnologias desprezando suas influências no meio ambiente e na sociedade promove consequências indesejáveis como a degradação e esgotamento dos recursos, redução da biodiversidade e aumento da desigualdade. (ASHBY, 2015).

Considerando que o aumento da demanda por materiais implica no crescimento direto da demanda de energia, e já que grande parte da matriz energética consiste em fonte fóssil, os impactos advindos destes processos resultam, conseqüentemente, no desequilíbrio indesejável nas emissões de gases de efeito estufa. (ALLWOOD *et al.*, 2011).

Assim, a exploração dos recursos naturais, atrelada ao seu uso intensivo para confecção de produtos e serviços, bem como a disposição dos resíduos gerados de forma inadequada, promove problemas graves ao bioma, sendo necessário explorar as circunstâncias da utilização dos materiais e processos. (ASHBY; JONES, 2013).

As discussões acerca da necessidade de reciclagem e preservação ambiental ampliaram o interesse pelos biomateriais com foco em matérias-primas renováveis. (MOHANTY, MISRA, HINRICHSEN, 2000). A dita economia “verde” baseia-se na eficiência energética dos processos, utilização de combustíveis renováveis, e redução de emissões de gases de efeito estufa, o que pode se considerar em consonância com o desenvolvimento dos materiais compósitos reforçados com Fibras Naturais (FN). (AKIL; ZAMRI, 2014). As FN são consideradas biodegradáveis, e o desenvolvimento técnico tornou seu processamento economicamente viável, reduzindo ainda os impactos negativos ao meio ambiente. (ARENAS; ASDRUBALI, 2018).

Em sintonia com os aspectos sustentáveis no desenvolvimento de produtos foi criado o projeto de valorização do resíduo de coco na Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS, financiado pela empresa Empório Argentino e o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), no período de 06/2017 a 08/2019. O projeto buscou implementar alternativas de beneficiamento para o resíduo de coco, já que a produção do fruto no Brasil demandou em 2017 aproximadamente 215 mil hectares de área plantada, sendo o equivalente a 2,3 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2019), e considerando que grande parte do resíduo pós-consumo é descartado sem reaproveitamento. Uma das alternativas propostas foi

confeccionar uma placa polimérica de matriz biodegradável Poli (ácido láctico) (PLA) reforçada com Fibra de Coco (FC).

No processo de beneficiamento deste resíduo surgem três potenciais coprodutos divididos pelas formas físicas que são constituídos: fibra, pó e líquido. As FC possuem aplicações na indústria automobilística como suportes e coberturas para assentos, em objetos de artesanatos e jardinagem, e fonte alternativa de energia em indústrias. Objetivamente, tais aplicações utilizam apenas pequena quantidade do montante disponível e sem muito valor agregado, ensejando o esforço em pesquisas para encontrar novas utilizações, tais como em compósitos. (SATYANARAYANA; GUIMARÃES; WYPYCH, 2007).

Diante da perspectiva de reaproveitamento dos resíduos, que em grande parte dos casos empregam métodos de beneficiamento para sua valorização, surge a necessidade de determinar parâmetros de viabilidade técnica e sustentável que quantifiquem grandezas físicas dos processos, e que possibilitem a avaliação e comparação entre materiais.

Componente da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é a etapa de elaboração do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) de um produto, que consiste no levantamento dos fluxos de massa e energia das etapas de produção, e que resulta numa radiografia pormenorizada dos processos produtivos inerentes a especificidade de cada unidade.

A partir da elaboração do ICV pode-se determinar e estimar parâmetros técnicos relativos aos dados coletados. A Energia Embutida (EE) ou incorporada é um parâmetro que resulta do somatório das energias empregadas nos diversos estágios do ciclo de vida dos materiais, (ASHBY; JOHNSON, 2011), e, portanto, é necessária a quantificação da energia utilizada na etapa produtiva.

Já a pegada de dióxido de carbono equivalente reflete as emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida do produto (ZANOLETTI *et al.*, 2017) e pode ser auferida realizando-se uma estimativa a partir dos balanços compreendidos no ICV.

A quantificação e análise destes dois parâmetros pode representar um método simplificado na verificação da eficiência ecológica de um material em comparação aos demais, já que ambos permitem contrapor quantidades de energia e emissões, respectivamente. (BONTEMPI, 2017). A partir disto, propõe-se a elaboração do ICV, ou ainda o balanço de massa e energia de um processo de fabricação em escala laboratorial de uma placa polimérica reforçada com FC, abrangendo-se as etapas de beneficiamento do resíduo de coco, e posterior produção da placa.

A elaboração do ICV e a quantificação dos parâmetros de EE e emissões de CO₂ serviram de base para uma análise dos impactos ambientais do produto.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o balanço de massa e energia do processo de produção de um compósito polimérico reforçado com FC.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a. Elaborar o ICV do processo de produção do compósito polimérico, incluindo o beneficiamento do coco pós-consumo;
- b. Avaliar qualitativamente os aspectos e impactos ambientais significativos envolvidos no beneficiamento do coco pós-consumo e na confecção do compósito;
- c. Simular o conteúdo energético de compósitos poliméricos a base de resina PLA com diferentes agentes de reforço utilizando software de seleção de materiais;
- d. Comparar as placas poliméricas simuladas no item c em termos de energia, emissões de Dióxido de Carbono (CO₂).

1.2 JUSTIFICATIVA

Sustentabilidade pressupõe a utilização racional de recursos naturais de modo a permitir que futuras gerações estejam possibilitadas a usufruírem dos mesmos, dentro de uma perspectiva equilibrada em termos sociais, econômicos e ambientais. O sistema econômico atual permite a aquisição de produtos e serviços à nível global, resultando na necessidade por materiais e energia, que em várias situações não atendem aos requisitos do desenvolvimento sustentável.

Para a confecção dos mais variados produtos são necessárias matérias-primas alinhadas às propriedades e características finais desejadas. A partir da definição dos materiais que compõe o rol de matérias-primas, é provável que uma série delas dependa de processos industriais para adequá-lo ao fim desejado, de modo que, na maioria dos casos, é possível a partir do controle e análise de processos a coleta de grandezas físicas, tais como corrente e tensão elétrica, para então determinar a quantidade de energia despendida nos processos.

A reutilização e reciclagem de materiais é imposição necessária para uma sociedade preocupada com o futuro das gerações, tendo em vista os problemas ambientais atrelados ao

uso desenfreado e inconsequente dos recursos. Ocorre que em inúmeros casos, visando a valorização de um resíduo, os processos de beneficiamento e segregação de tais materiais necessitam de quantidades expressivas de energia, inviabilizando o caráter sustentável do material beneficiado, já que o dispêndio elevado de energia nos processos necessários impacta negativamente o meio ambiente ao mesmo tempo em que encarecem o produto.

Desta forma cabe uma análise técnica com intuito de verificar as reais possibilidades de beneficiamento de qualquer resíduo, bem como os possíveis impactos inerentes ao processo.

Especificamente, a alta quantidade de resíduos originados pelo consumo do coco impõe para fins de atender a uma economia circular, que se estude alternativas comerciais e ambientais aos materiais. Assim, diversos estudos como o elaborado pelo projeto do Núcleo de Caracterização de Materiais (NUCMAT) buscam utilizar o resíduo de coco verde pós-consumo como matéria-prima em materiais de maior valor agregado. Para isso, com fins de obter a fibra natural de coco é necessário que o resíduo de coco-verde pós-consumo seja beneficiado.

A realização de um balanço de massa e energia permite uma radiografia energética de cada etapa dos processos de beneficiamento, sendo possível determinar, mesmo que aproximadamente, o montante de energia requerido para o processamento deste material. Um conceito capaz de promover a comparação quantitativa do montante de energia despendido na fabricação de produtos é a EE. Pode-se através dela comparar em termos energéticos a viabilidade de beneficiamento de materiais residuais, e sua potencial utilização como matéria-prima para novos produtos substituindo materiais comerciais. Além da EE, é comumente utilizado o parâmetro de pegada de carbono, emitido durante o ciclo de vida dos materiais e produtos, para efeitos de comparação e avaliação do caráter sustentável.

Portanto, para realizar uma avaliação ambiental baseada nos conceitos mencionados, é necessário o balanço energético e de massa do ciclo produtivo do produto, levando em conta o beneficiamento das matérias-primas utilizadas.

1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

O trabalho é dividido em cinco capítulos. O primeiro compreende uma introdução sobre os aspectos relacionados ao tema proposto, a identificação dos objetivos, delimitação do tema e justificativa. O segundo capítulo dispõe sobre o referencial teórico relacionado ao tema e utilizado para estruturar a metodologia apresentada no capítulo que segue. No quarto capítulo é realizada a discussão e avaliação dos resultados encontrados no decorrer do processo. O quinto capítulo propõe a conclusão, considerações e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo aborda o referencial teórico necessário ao estudo do tema proposto no trabalho.

2.1 FIBRAS NATURAIS (FN)

O interesse por materiais de fonte renovável fez com que houvesse um crescimento na pesquisa e desenvolvimento das FN, expandindo seu uso em novas aplicações. (VÄISÄNEN; DAS; TOMPOO, 2017). FN apresentam baixo preço, biodegradabilidade, reciclabilidade, alta disponibilidade, baixa densidade, baixa abrasividade, neutralidade em emissões de gás carbônico, elevado módulo elástico, dentre outros aspectos que as elevam a condição de material sustentável. (VÄISÄNEN; DAS; TOMPOO, 2017; PARAMBIL *et al.*, 2018; OKSMAN; SKRIFVARS; SELIN, 2003; SABA *et al.*, 2017; BLEDZKI; GASSAN, 1999; CESTARI *et al.*, 2019; KU *et al.*, 2011).

Loureiro e Esteves (2019), apontam que desde o início do novo milênio existe um interesse pela substituição das fibras de vidro utilizadas na indústria automobilística por FN. O uso de materiais a base de celulose como agentes de reforço em compósitos termoplásticos traz vantagens ambientais como a redução nos níveis de CO₂ durante seu ciclo de produção, processamento e uso. (NAGALAKSHMAIAH *et al.*, 2019).

A utilização de compósitos poliméricos na indústria, alinhados a perspectiva sustentável dos produtos, demanda o desenvolvimento de matrizes e agentes de reforço baseados em fontes renováveis. A disponibilidade natural, baixa densidade, boa alongação por unidade de massa em comparação aos agentes de reforço inorgânicos, além da característica biodegradável, tornam as FN atrativas como agentes de reforço em polímeros. (PUGLIA; BIAGIOTTI; KENNY, 2008). Além disso, as FN destacam-se por apresentar características de não abrasividade durante o processo de manufatura, bem como a recuperação energética inerente a utilização das fontes renováveis. (SALIT, 2014).

Dentre os métodos existentes para a extração das fibras, os mais comuns são a imersão das fibras em soluções aquosas e a extração mecânica. O método de imersão, além de ser demorado, o que pode ocorrer entre aproximadamente 14 e 28 dias, é potencialmente contaminador da água pelo efluente gerado. (SANJAY *et al.*, 2019). Dentro os métodos de extração mecânica, Verma e Gope (2015), destacam o desfibramento. Este procedimento pode envolver duas formas de processos: um úmido, no qual é utilizada a imersão do coco já triturado

por rolos e facas em solução por no mínimo 72h e após extração das fibras em equipamentos específicos; e outro, a seco, onde se utiliza um equipamento denominado desfibrador que desintegra a casca por meio de barras de metal que giram em alta velocidade, passando o material por peneira para separar a fibra do pó. Os autores salientam que este último é considerado o método mais eficiente para a obtenção da FC.

As FN demonstram-se alternativa sustentável na medida em que se originam a partir de processos industriais, principalmente valorizadas a partir de resíduos por meio de processos de beneficiamento. As FN substituem materiais “danosos” ambientalmente, se considerados os conteúdos energéticos, por exemplo, interrompendo assim, cadeias produtivas dos materiais substituídos, eliminando consumos de energia, emissões e demais impactos atrelados a especificidade de cada processo, além de proporcionar valor e utilidade a uma grande massa de resíduos descartados. Logo, estão alinhadas a economia circular, na medida em que põe fim a estratégia de “take-make-dispose” tradicionalmente empregada e criticada por Kappler *et al.* (2018).

2.1.1 Fibras de coco

Aborda-se abaixo o referencial específico relacionado às FC, englobando elementos de sua produção, características e produção.

2.1.1.1 Ciclo de vida do coco

Dados de 2019 provenientes da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAOSTAT) apontam que a produção de coco no Brasil, que cresceu ao longo dos anos, demandou no ano de 2017 215 mil hectares de área plantada, produzindo o equivalente a aproximadamente 2,3 milhões de toneladas conforme o gráfico ilustrado na Figura 1. Segundo Sobral (2018), menos de 1% da produção de coco brasileira é exportada. Tal contexto demonstra a urgência de se encontrar alternativas para o devido tratamento dos resíduos provenientes do fruto consumido pelo mercado brasileiro interno.

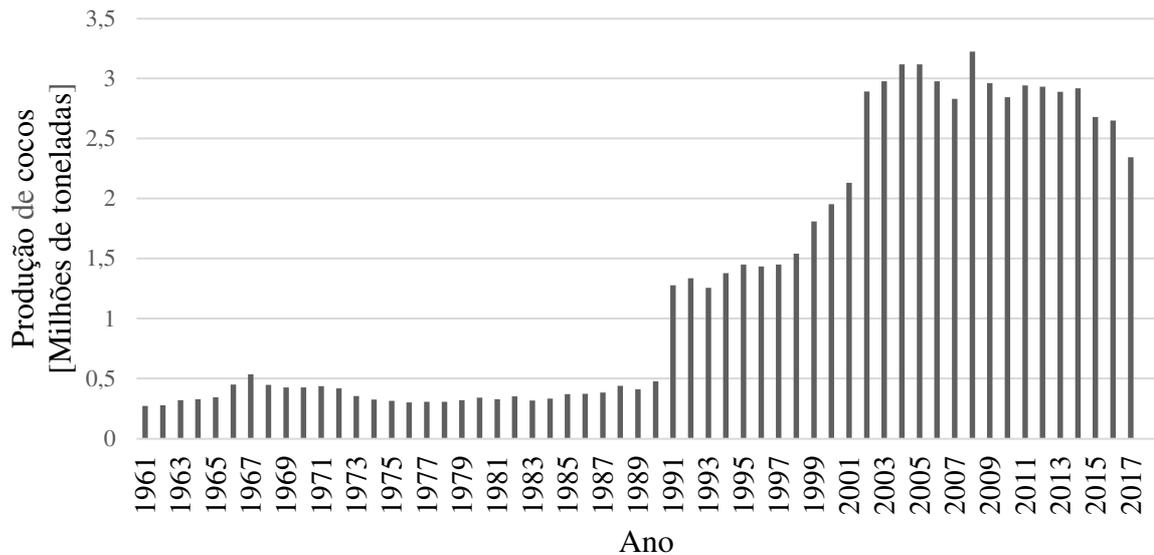


Figura 1 – Produção de coco no Brasil ao longo dos anos.

Fonte: Elaborado pelo autor baseado nos dados da FAOSTAT (2019).

Os benefícios resultantes dos excelentes valores nutricionais dos alimentos naturais à base de coco implicam na ampliação do mercado do fruto, tendo o Brasil produção de destaque. (LOMELÍ-RAMÍREZ *et al.*, 2018).

O fruto coco é composto pelo epicarpo, casca externa e lisa, mesocarpo camada interna fibrosa e o endocarpo que constitui a camada lenhosa. (CASTILHOS, 2011). Subproduto do consumo da água de coco in natura ou de processos industriais, a casca de coco verde (CCV) representa de 80% a 85% da massa bruta do coco verde. (ROSA *et al.*, 2001a).

Consumido in natura nas áreas litorâneas é responsável pela parcela de aproximadamente 70% de todo o resíduo sólido gerado em praias brasileiras. (MATTOS *et al.*, 2011a). Diante disso, surgem sérios problemas atrelados ao descarte de tal material, seja em lixões ou aterros sanitários, já que a disposição do material implica em custos e impactos negativos para a sociedade. (CARDOSO; GONÇALVEZ, 2016).

Tendo em média um tempo de decomposição de 10 anos, a disposição do coco pós-consumo como rejeito diminui consideravelmente a vida útil dos aterros sanitários, e se disposto irregularmente a céu aberto implica no descontrole das emissões de metano, bem como em possíveis contribuições para a proliferação de vetores patológicos. (SILVA, 2014).

De acordo com Rosa *et al.* (2001b), o desenvolvimento de novas perspectivas de aproveitamento da casca de coco verde implica na redução do montante disposto em aterros sanitários, proporcionando ainda alternativa de renda junto aos sítios produtivos.

No Brasil vários estudos sobre a biomassa de coco verde foram realizados por pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), dentre os quais destacam-se os da Tabela 1. Os trabalhos citados abordam perspectivas de beneficiamento do coco verde pós-consumo, abordando alternativas de processos para o manejo, aplicações dos subprodutos, servindo ainda como fonte de consulta aos produtores e pesquisadores.

Tabela 1 – Relação de estudos da Embrapa sobre o coco.

Autor	Tema
ROSA <i>et al.</i> , (2001a)	Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola.
ROSA <i>et al.</i> , (2001b)	Processo agroindustrial: Obtenção de pó de casca de coco verde.
ROSA <i>et al.</i> , (2009a)	Compósitos biodegradáveis reforçados com FC imaturo.
ROSA <i>et al.</i> , (2009b)	Aproveitamento da casca de coco verde.
MATTOS <i>et al.</i> , (2011a)	Beneficiamento da casca de coco verde.
MATTOS <i>et al.</i> , (2011b)	Painéis elaborados com resíduos da casca de coco-verde.
CORRADINI <i>et al.</i> , (2008)	Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde.
SOBRAL (2018)	Coco: O produtor pergunta, a Embrapa responde.

A FC é uma fibra natural lignocelulósica abundante no planeta. (ROUT *et al.*, 2016). Entre as FN, a de coco é considerada uma das mais rígidas, podendo ser derivada de cocos verdes, denominada de fibra branca, ou de cocos maduros, mais rígida que a anterior, sendo chamada de fibra marrom. (SINHA; NARANG; BHATTACHARYA, 2017).

Ashby (2012), corrobora a afirmação de que as fibras podem ser obtidas em dois momentos, antes e após o fruto estar completamente maduro, o que caracterizaria algumas propriedades. A FC extraída do fruto ainda não maduro possui cor clara, sendo lisa e fina, já a FC oriunda do fruto maduro seria mais robusta, grossa e forte, sendo ainda mais abrasiva.

2.1.1.2 Beneficiamento para obtenção da fibra de coco

A obtenção das fibras, de acordo com Castilhos (2012), é baseada em duas técnicas: maceração, processo biológico, no qual as cascas são submersas em água por um período de 4 a 12 semanas para promover a fermentação anaeróbia, ou o desfibramento mecânico.

Nota-se que tradicionalmente a extração das FC é baseada na imersão da biomassa em salmouras anaeróbicas. Tais procedimentos além de consumirem muito tempo, implicam em altas quantidades de efluentes contaminados. Atualmente, avanços tecnológicos possibilitaram o desenvolvimento de equipamentos de trituração, reduzindo os problemas citados. (DAM, 2002).

As etapas de beneficiamento da biomassa de coco são ilustradas na Figura 2 e são baseadas no trabalho de Mattos *et al.* (2011a).

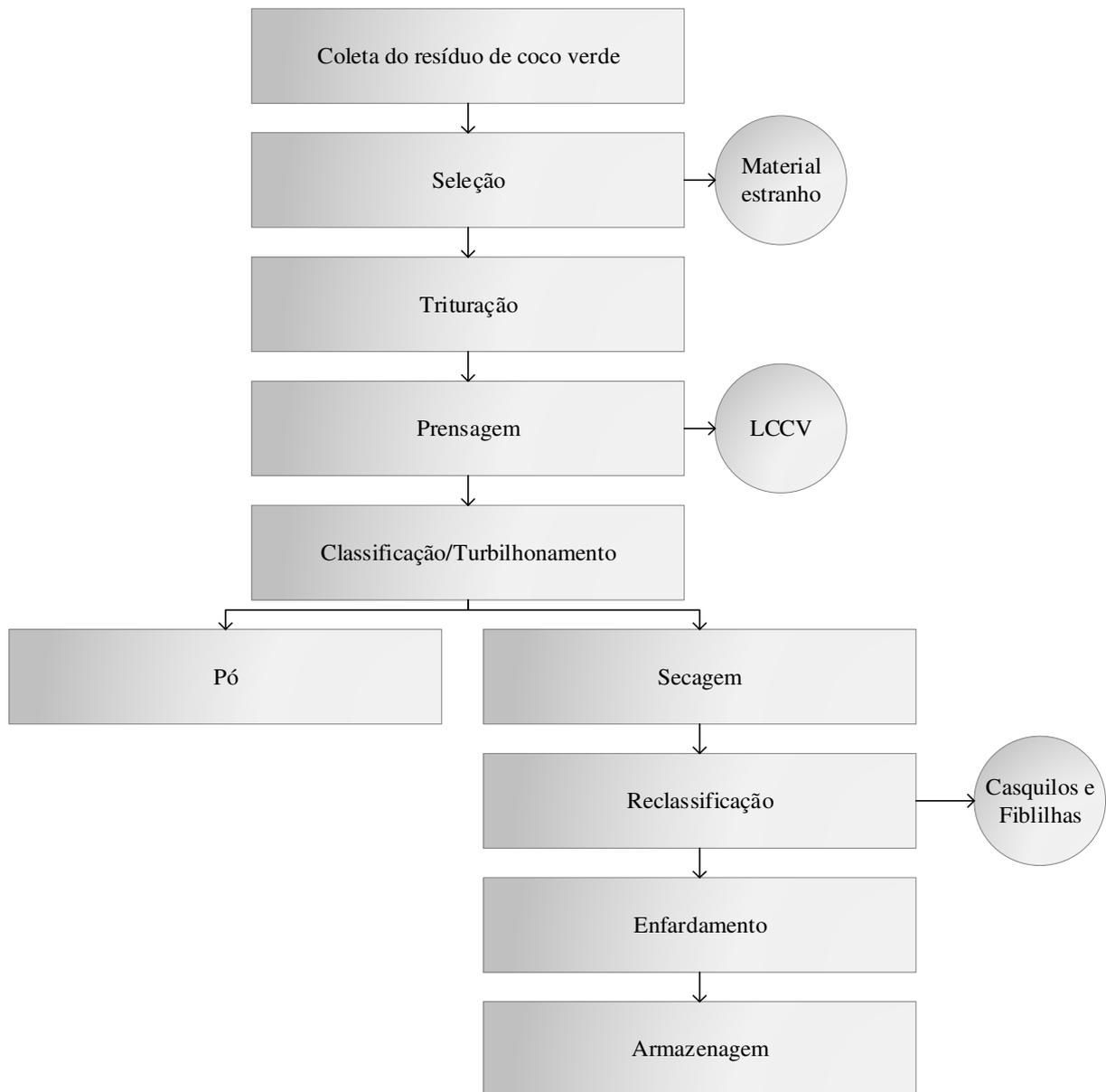


Figura 2 – Fluxograma do beneficiamento do resíduo de coco pós-consumo para obtenção da fibra.

Fonte: Adaptado de Mattos *et al.* (2011a)

O coco coletado e encaminhado às unidades de processamento é selecionado e separado de impurezas que por sorte possam estar presentes. Mattos *et al.* (2011a), sugerem que o coco verde pós-consumo seja processado no período de até três dias após a extração da água de coco. A não observação deste prazo comprometeria a qualidade final dos subprodutos já que a desidratação aumentaria sua densidade e, conseqüentemente, prejudicaria as etapas posteriores do processamento, dificultando a retirada dos sais nas etapas de prensagem e da separação das fibras na etapa de classificação por turbilhamento.

Uma vez selecionada, a biomassa de coco é introduzida no equipamento de trituração. O equipamento comumente utilizado é ilustrado na Figura 3. Ele é responsável por triturar e desintegrar as cascas inteiras a partir de um rolo de facas fixas.



Figura 3 – Equipamento triturador da biomassa de coco.

Fonte: Mattos *et al.* (2011a).

Uma vez desintegrada, a casca de coco verde é prensada em uma prensa de rolos horizontais. Nesta etapa a casca de coco é separada do Líquido da Casca de Coco Verde (LCCV) que corresponde a 30% da massa da biomassa inicial, de acordo com Mattos *et al.* (2011a). Segundo os autores o LCCV é composto por açúcares fermentescíveis, compostos fenólicos, cátions (cálcio, magnésio, potássio e sódio) e ânions (cloreto, bicarbonato e sulfato), possuindo ainda valores elevados de demanda química de Oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de Oxigênio (DBO), e que por isso seria necessário tratar adequadamente este efluente residual.

Já prensadas e separadas do LCCV, as fibras são separadas do pó na máquina classificadora representada na Figura 3, que é composta por um rolo de facas fixas que gira ao redor de um eixo fixo, e uma chapa perfurada, onde os orifícios possuem 1cm, por onde este pó

é segregado. O material é turbilhonado ao longo do eixo da máquina, o que separa os dois subprodutos pela característica física. A fibra então separada deve ser secada ao sol para a redução do teor de umidade, que neste instante é superior ao valor adequado de 18%. Para garantir a qualidade final da fibra, o sugerido é realizar a etapa de reclassificação por peneiramento para retirar possíveis impurezas como casquilhos e fibrilas provenientes do endocarpo. Tais impurezas podem ser empregadas para a composição de substratos utilizados no setor agrícola e resultantes prioritariamente do pó do coco, subproduto que necessita de outra cadeia de beneficiamento, a qual pode ser encontrada nos trabalhos de Rosa *et al.*, (2001a) e Rosa *et al.*, (2001b). Finalmente, ocorre o enfardamento e armazenamento das fibras para posterior comercialização.

2.2 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS BASEADOS EM FN

A seleção de matérias-primas e fabricação de produtos cada vez mais precisam estar alinhadas com os pilares da sustentabilidade, ou seja, desde as etapas de beneficiamento dos materiais primários, suas características e propriedades, bem como a disponibilidade destes no mercado devem respeitar o tripé conforme Bontempi (2017b) apresenta na Figura 4. Os principais aspectos inerentes a cada material mostrado na Figura (em azul), que devem ser observados para a escolha e desenvolvimento de produtos com afinidade aos conceitos da sustentabilidade, estes representados em tom salmão.

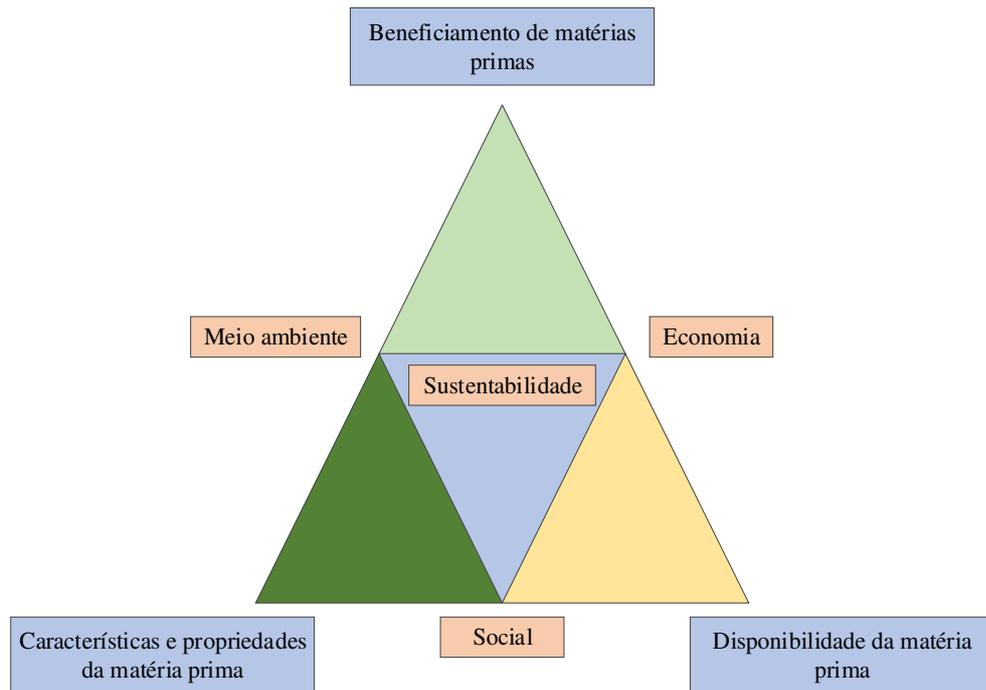


Figura 4 – Modelo que conecta os aspectos da matéria-prima e aspectos da sustentabilidade.

Fonte: Adaptado de Bontempi (2017b).

Os compósitos baseados em fontes naturais vêm recebendo grande atenção nas últimas décadas em função da essencial preocupação com o meio ambiente e a percepção do caráter finito das fontes de petróleo. (YU; DEAN; LI, 2006). Parte essencial de sua estrutura são os agentes de reforço, como particulados ou fibras. Apesar de possuírem boas propriedades mecânicas, os compósitos poliméricos baseados em fibras sintéticas são consideravelmente mais custosos e possuem maior massa específica, se comparados aos de FN. (HAGHDAN; SMITH, 2015).

Diante disso, diversos estudos estão sendo realizados no intuito de verificar a possibilidade de substituição das fibras sintéticas por FN como agentes de reforço em compósitos poliméricos.

Bledzki e Gassan (1999), verificaram que diversos compósitos reforçados com FN atingem valores de propriedades mecânicas parecidas com os compósitos reforçados com fibras de vidro, reconhecendo as fibras de juta, linho e coco como as mais importantes do setor. De forma semelhante, Wambua, Ivens e Verpoest (2003), substituíram as fibras de vidro por FN como agentes de reforço em compósitos de polipropileno. Nos testes que avaliaram o comportamento de parâmetros mecânicos dos compósitos, os autores verificaram que as propriedades mecânicas encontradas potencializam a utilização de FN em substituição às fibras de vidro em aplicações que não necessitem de alta resistência a cargas.

2.2.1 Matriz poli (ácido lático) - PLA

Poli (ácido lático) (PLA) é um biopolímero, ou seja, polímero biodegradável produzido a partir de fontes renováveis, com ampla perspectiva de mercado, que vem sendo reconhecido como o mais promissor material de aplicação biomédica e de embalagens pelo viés sustentável contemporâneo. (ZHANG *et al.*, 2012). As principais fontes renováveis são agrícolas, como milho, beterraba, batata e amido. (DRUMRIGHT; GRUBER; HENTON, 2000; WU, 2009; SUJARITJUN *et al.*, 2013; SABA *et al.*, 2017). A fonte natural de seus componentes implica na completa decomposição de sua estrutura, promovendo o PLA ao patamar de material sustentável. (JIN; HU; PARK, 2019; YUSOFF; TAKAGI; NAKAGAITO, 2016).

Segundo Nuthong *et al.* (2013), os benefícios do PLA incluem ainda a baixa energia para ser produzido, reduzindo assim as emissões de gases de efeito estufa. O PLA foi o primeiro polímero comercial advindo de fontes renováveis e o único com comportamento similar ao Polietileno Tereftalato (PET) e Polipropileno (PP). (LOUREIRO; ESTEVES, 2019). Tais características favorecem sua ampla aceitação como alternativa aos polímeros de base petroquímica. (MULCHANDANI; GUPTA; KATIYAR, 2018).

Zhang *et al.* (2012) colocam que fatores como o caráter hidrofóbico, fragilidade, baixa resistência a impactos, alto custo de processamento, atrelada a sensibilidade de temperatura, podem limitar a aplicação da resina PLA em ramos da engenharia.

Por ser frágil individualmente para determinadas aplicações, a combinação desta resina com algum agente de reforço, FN por exemplo, pode oferecer boa performance mecânica, e ainda contribuições ambientais. (SUJARITJUN *et al.*, 2013).

Observando as faixas de temperatura apropriadas, a resina PLA pode ser processada pela mesma técnica que os demais termoplásticos em forma de filmes ou fibras finas, podendo passar pelo processo de moldagem por compressão para ser conformado. (SUMMERSCALES; GROVE, 2014).

2.2.2 Biocompósitos – PLA a base de FN

Os biocompósitos vêm recebendo grande atenção atualmente. Estudos que sistematizam conceitos e trabalhos relacionados a confecção de compósitos “verdes”, como Baillie (2004), Jawaid, Salit e Alothman (2017a), Jawaid, Salit e Alothman, (2017b), Thakur (2014), Ramakrishna *et al.* (2004) são acervos completos servindo como fonte de consulta.

Buscando encontrar trabalhos que pudessem estar relacionados com o tema desta dissertação de mestrado pesquisou-se em três bases de dados distintas os critérios descritos na Tabela 2.

Os 186 trabalhos encontrados foram então unidos em uma mesma planilha, optando-se por considerar somente os trabalhos em forma de artigos publicados em revista. Após desconsiderar trabalhos não relacionados ao tema restaram 44 títulos, em que desses foram selecionados somente os trabalhos que continham as palavras-chave em seu título, o que resultou em um montante de 19 trabalhos, os quais estão descritos na Tabela 2 e disponível no apêndice C.

Tabela 2 – Resultados de pesquisa em base de dados.

Base de dados	Critérios	Resultados
Springer;	Coconut AND Polylactic AND Composite	186
Scopus;	Coir AND Polylactic AND Composite	
Web Of	Coconut AND Pla AND Composite	
Science	Coir AND Pla AND Composite	

Destes 19 trabalhos verificou-se que nenhum abordou em seu tema o balanço energético atrelado aos procedimentos de beneficiamento da FC, ou da própria produção de placas poliméricas.

Foram identificadas também as revistas que mais publicaram sobre o assunto: Journal of Polymers and the Environment; Polymer Composites; The International Journal of Advanced Manufacturing Technology; Cellulose; Journal of Thermoplastic Composite Materials; Fibers and Polymers.

A análise da Figura 5, que expõe as publicações ao longo do tempo de trabalhos relacionados diretamente ao tema de compósitos de matriz PLA baseado em FC como agente de reforço tornou possível verificar o aumento de publicações ao longo dos anos. Este crescimento pode estar atrelado a necessidade de desenvolvimento científico na área em função da alta demanda por produtos que se encaixem na denominada economia verde, ou ainda circular.

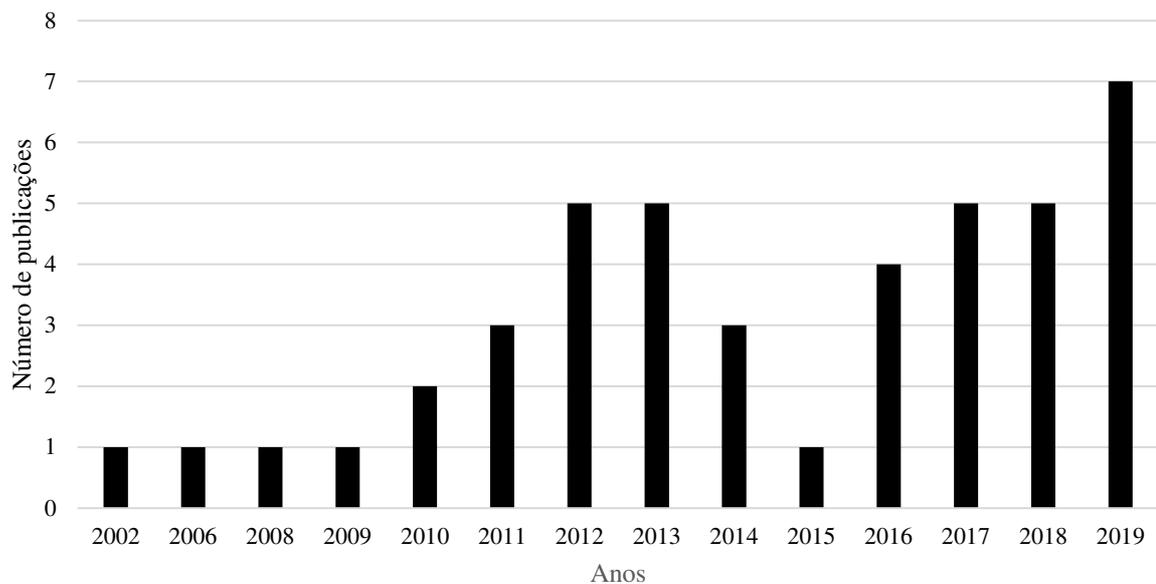


Figura 5 – Publicações de trabalhos relacionando os temas de compósitos poliméricos reforçados com fibra de coco.

Kappler *et al.* (2018), propõe a utilização da casca de coco verde baseado em uma perspectiva de economia circular, aquela onde se busca reduzir o desperdício de matéria prima e produtos, concomitantemente ao melhoramento na gestão dos resíduos gerados. Segundo os autores, a mudança do paradigma linear tradicional, que configura a preocupação única da empresa com a extração da matéria prima e posterior fabricação do produto, para um modelo onde as estratégias busquem diminuir o consumo de materiais, energia, emissões e resíduos, buscando ainda restaurar, reutilizar e regenerar materiais, e produtos alinha-se a valorização e beneficiamento do coco pós-consumo.

Dentre os elementos de gestão ambiental presentes na economia circular destaca-se a logística reversa. Curia *et al.* (2018), estudam a estratégia de logística reversa para o aproveitamento da casca de coco pós-consumo com base na percepção dos atores envolvidos. A pesquisa realizada no litoral Catarinense permitiu verificar que (58%) dos entrevistados demonstram pouco conhecimento sobre a aplicabilidade e benefícios (42%) do reaproveitamento do coco pós-consumo. Ainda, aproximadamente 15% consideram alta a viabilidade de aplicação da estratégia. Concluíram que consumidores e distribuidores demonstram pouca preocupação ambiental; varejistas descontentamento com os resíduos gerados em virtude da demanda por espaço e cuidados na alocação; prefeituras não assumindo na prática seu papel na responsabilidade ambiental; catadores de cooperativas e associações necessitando articulação com os demais atores para promover a logística.

Curia *et al.* (2017), similarmente ao trabalho realizado no litoral Catarinense, verificaram a percepção da logística reversa do coco pós-consumo no Rio Grande do Sul. A pesquisa permitiu concluir que consumidor e varejista demonstram em grande maioria conhecimento e interesse relacionados ao tema, fundamentalmente pelo trabalho das prefeituras locais, vigilantes na fiscalização ambiental relacionada a gestão dos resíduos sólidos. Contudo, varejistas e consumidores ainda percebem a falta de responsabilidade do poder público para com a gestão compartilhada dos resíduos, não disponibilizando coleta seletiva apropriada, por exemplo. Apesar de os consumidores ainda não assumirem grande importância na participação da logística reversa do coco, e a defasagem no desenvolvimento de políticas públicas que estimulem negócios sustentáveis, o beneficiamento do coco pós-consumo se mostra alternativa viável no desenvolvimento sustentável regional.

2.2.3 Processos de produção de placas poliméricas

Este subcapítulo aborda o método de moldagem por compressão, o qual foi utilizado para a produção da placa polimérica.

2.2.3.1 Processo de moldagem por compressão

O método de moldagem por compressão, técnica de processamento para termoplásticos, termofixos e seus compósitos, inicialmente desenvolvido para produzir peças compostas em substituição a metais, é normalmente utilizado para desenvolver peças chatas ou moderadamente curvas, já que termoplásticos necessitam de maior calor e pressão para serem processados devido à sua alta resistência. (SALIT, 2014).

O processo se inicia com a colocação do material em um molde aberto, que então é posto entre duas placas aquecidas, em que o material é aquecido para ser amolecido por algum tempo. Posteriormente é pressionado sob determinada pressão, assumindo a forma do molde. O processo de resfriamento da matriz ocorre quando o molde é introduzido entre duas placas frias, solidificando novamente o material para ser enfim desmoldado. (SALIT, 2014).

Considerando que a resina PLA possui boa resistência a tração e bom limite a ruptura é possível empregar os métodos de moldagem por extrusão, vácuo, compressão entre outros. (JIN; HU; PARK, 2019).

Diversos estudos que empregaram o método da moldagem por compressão na confecção de placas poliméricas de matriz PLA e FC como material de reforço foram encontrados. Dentre eles podemos citar o trabalho de Jang *et al.* (2012), Oksman, Skrifvars e Selin (2003), Yusoff, Takagi e Nakagaito (2016).

Encontrou-se também estudos que utilizaram a técnica de moldagem por injeção, que não é empregada nesse trabalho, mas que é amplamente utilizada em processos produtivos em larga escala. Dentre os estudos que empregaram tal método para a confecção de placas poliméricas de matriz PLA e a FC como material estruturante pode-se citar Sun *et al.* (2017), Sujaritjun *et al.* (2013).

2.3 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)

Questionamentos relacionados a taxa de dissipação da energia, o montante necessário para realizar determinado trabalho derivam dos estudos relacionados a conservação de energia em sistemas. Com o passar do tempo o espectro de análises energéticas foi ampliado, incorporando as possíveis alterações climáticas e possíveis impactos ambientais oriundos dos processos industriais. Assim, a busca para atingir níveis sustentáveis de impactos ambientais demonstram a preocupação dos seres humanos com o aspecto energético relacionado aos processos e produtos que providenciam. (HORNE; KARLI; VERGHESE, 2009)

Klöpfer e Grahl (2014), sugerem que o pensamento embasado no ciclo de vida de um produto foi preconizado em 1880 pelo economista e biólogo Escocês Patrick Gueddes, que analisou a demanda de carvão, e pode ser considerado o pioneiro desta mentalidade de análise.

No período pós-segunda guerra mundial as novas formas de geração de energia como a nuclear, geotérmica, eólica, dentre outras renováveis, passavam por processos de balanço que analisavam, de acordo com cada limite de fronteira local, os fluxos mássicos e energéticos de cada sistema. O desenvolvimento empírico aumentou a complexidade dos processos, exigindo a ampliação das fronteiras do sistema, de modo que, por exemplo, para averiguar se a geração de energia nuclear era superior à energia consumida nos processos, os pesquisadores passaram a observar o consumo energético das etapas anteriores ao da efetiva geração, como a mineração do urânio, manejo dos resíduos a longo prazo, o transporte de materiais e equipamentos. Desta forma, de acordo com Horne, Karli e Verghese (2009), tais ferramentas de análise, que consideram o produto e suas matérias-primas holisticamente durante seu estágio de vida, teriam sido inéditas e um passo inicial para o desenvolvimento do método que posteriormente seria denominado de avaliação do ciclo de vida.

Franklin e Hunt conduziram uma famosa análise de avaliação no conceito moderno de avaliação de ciclo de vida. O relatório proposto aborda os impactos ambientais relacionadas ao ciclo de vida de embalagens de diversos materiais para armazenar bebidas. Denominado de *Resources And Environmental Profile Analysis (REPA)*, o estudo quantifica os recursos utilizados nos limites da fronteira estabelecida, bem como as respectivas emissões de gases decorrentes das etapas dos processos. (KLÖPFER; GRAHL, 2014). Atualmente esta espécie de estudo é denominada de avaliação ambiental de inventário de ciclo de vida.

As investigações denominadas de eco-balanços e avaliação do berço ao túmulo, empregadas sistematicamente a partir dos anos 70 em virtude da crise do petróleo, receberam a denominação atual no ano de 1990, quando o termo avaliação de ciclo de vida foi proposto e acordado pelos participantes de uma conferência em Vermont, Estados Unidos, organizada pela *Society of Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC*. (HORNE; KARLI; VERGHESE, 2009).

Conforme os dados exportados da plataforma *scopus* para as pesquisas sobre “*petroleum*” and “*impacts*” e separadamente para “*life cycle assessment*”, organizados nos gráficos representados na Figura 6 e Figura 7, nota-se o aumento exponencial das publicações a partir de 1970 para a pesquisa que relaciona a exploração e petróleo aos impactos ambientais e a partir de 1990 para trabalhos que utilizam a nomenclatura proposta pela SETAC.

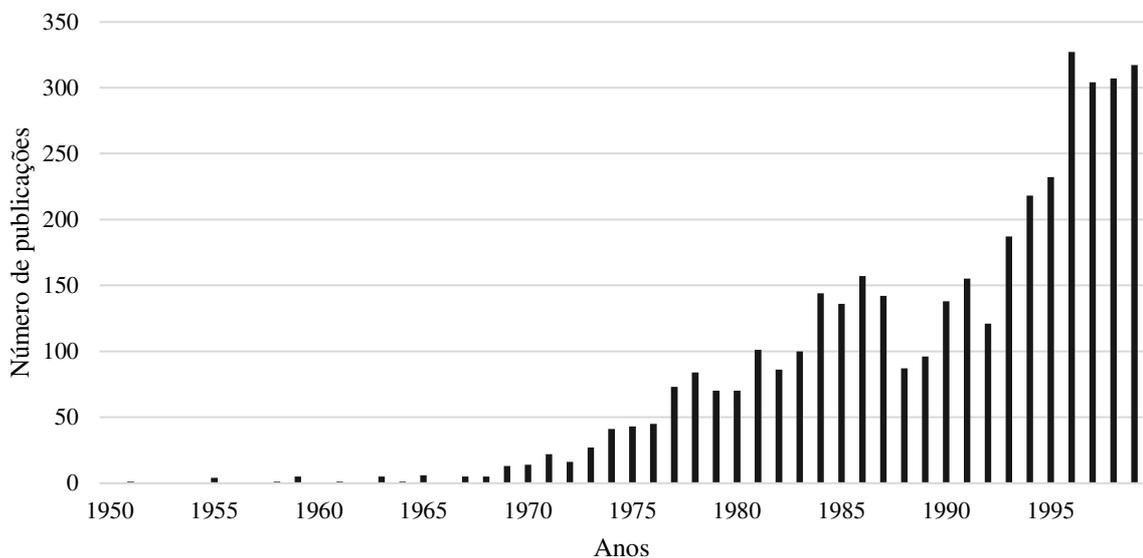


Figura 6 – Publicações de trabalhos relacionando o petróleo e seus impactos ao longo do tempo.

Uma vez que análises baseadas no ciclo de vida foram sendo aplicadas em vários estudos, a Organização Internacional de Padronização (ISO) editou as normas 14040 (1997), ISO 14041 (1998), ISO 14042 (2000) e 14043 (2000). A estrutura foi definida por quatro estágios conforme a Figura 8: Objetivo e Escopo, análise de Inventário, avaliação de impacto e interpretação.

No ano de 2006, as normas existentes foram atualizadas e atualmente correspondem às normas 14040:2006 e 14044:2006. Ambas as normas descrevem de forma geral os princípios e estruturas de uma avaliação de ciclo de vida, abordando a definição de objetivo e escopo, a elaboração do ICV, a AICV, a interpretação dos resultados de cada fase, revisões, limitações e possibilidade de aplicações do método.

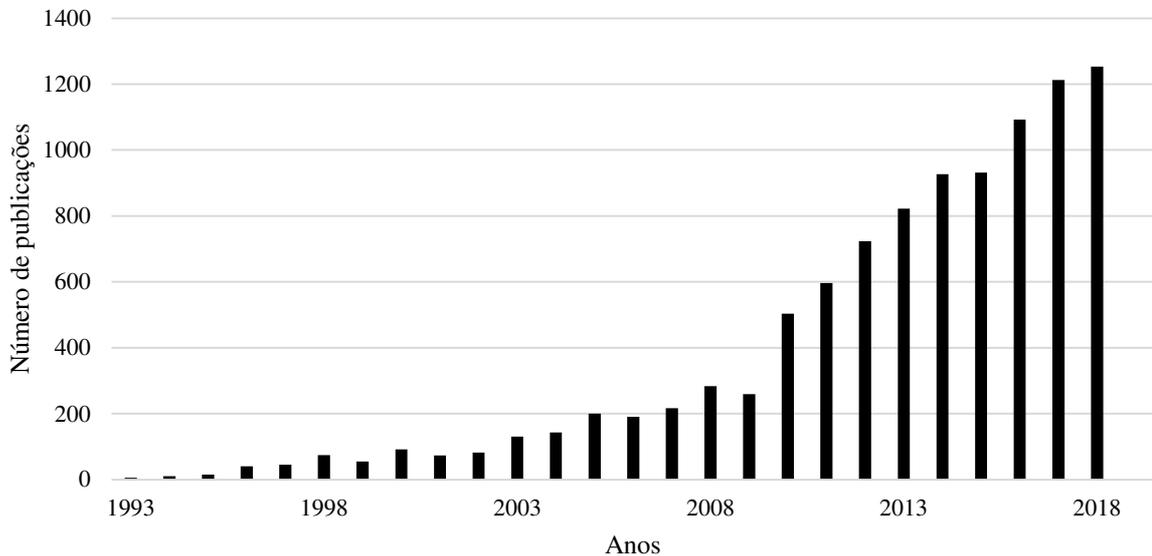


Figura 7 - Publicações de trabalhos sobre ACV ao longo do tempo.

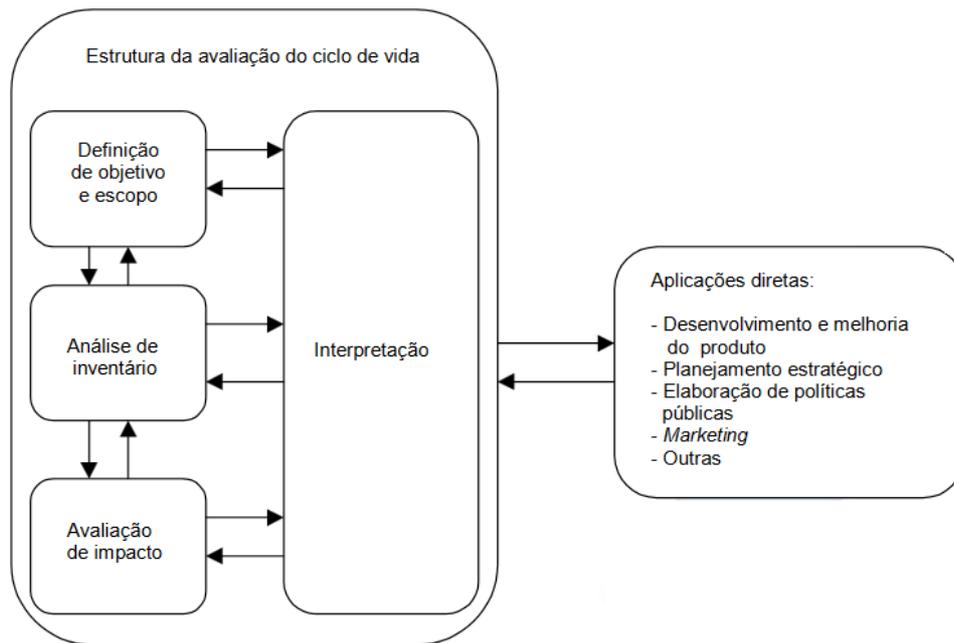


Figura 8 – Fases de uma ACV.

Fonte: ABNT 14040.

A ACV é um método que avalia aspectos ambientais e potenciais impactos associados a determinado produto, em função da elaboração de um inventário que contabiliza as entradas e saídas pertinentes às fronteiras estabelecidas, a avaliação dos impactos atrelados a cada entrada e saída, bem como a posterior interpretação dos dados obtidos nas fases de inventário e de avaliação de impactos, ambos relacionados ao objetivo do estudo. (ABNT 14040, 2009).

A política nacional de resíduos sólidos (Brasil, 2010) aprovada sob número 12.305 em 2010 contempla em diversos momentos a avaliação do ciclo de vida. Abordando o conceito, a mesma estimula a aplicação da ACV dos produtos como instrumento na gestão integrada, ou seja, no conjunto de ações interessadas em solucionar os problemas dos resíduos sólidos, considerando dimensões políticas, econômicas, ambientais, sociais e culturais, sob a premissa do desenvolvimento sustentável, estabelecendo responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida, instruindo o desenvolvimento de produtos com menores impactos à saúde humana e ao meio ambiente. (BRASIL, 2010).

A metodologia busca estimar os impactos ambientais tais como mudanças climáticas, depleção da camada de ozônio, eutrofização, acidificação, toxicidade humana e de ecossistemas, depleção de recursos naturais, uso da água, da terra, dentre outros, durante o ciclo de vida de um produto. (REBITZER *et al.*, 2004).

A aplicação da metodologia nos estágios iniciais de design e planejamento de um produto é fundamental, já que conforme a Figura 9, é a etapa principalmente responsável pelos impactos gerados durante o ciclo de vida do produto. (REBITZER *et al.*, 2004).

Atualmente pode-se afirmar que o impacto ambiental atrelado a todos os estágios de vida de um produto é obtido por meio da ACV. (ASHBY *et al.*, 2012). A metodologia se distingue das demais avaliações ambientais por considerar o impacto ambiental durante todo o ciclo de vida, análise denominada de berço ao túmulo, e por considerar a Unidade Funcional (UF), que quando comparadas concomitantemente, possibilitam comparações entre produtos com a mesma funcionalidade. (KLÖPFFER, 2014).

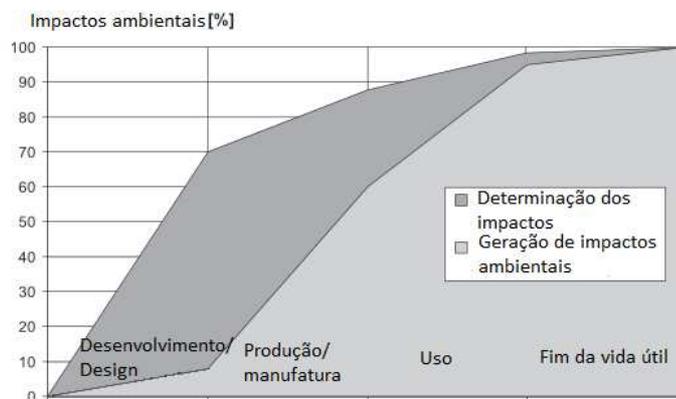


Figura 9 – Diagrama de representação de pré-determinação e geração dos impactos ambientais atrelados ao ciclo de vida de um produto.

Fonte: Rebitzer *et al.* (2004).

2.3.1 Objetivo e escopo

A primeira fase da avaliação de ciclo de vida consiste na definição do objetivo e escopo. O objetivo deve definir a aplicação pretendida, as motivações para realizar o estudo e o público-alvo. (ABNT 14040, 2014).

Já o escopo do trabalho corresponde a uma série de definições que devem ser estabelecidas no início do estudo: a descrição do produto a ser estudado, o sistema de produção bem como sua descrição e mapeamento das unidades de processos, a UF, os tipos de impactos relacionados aos aspectos existentes, enfim, demais limitações e imposições que cada sistema em particular requer. (ABNT 14040, 2014).

A UF é definida com o propósito de fornecer uma quantidade de referência para a qual as entradas e saídas do inventário são relacionadas, servindo para comparações entre produtos.

2.3.2 Inventário do ciclo de vida (ICV)

O ICV corresponde à segunda etapa da avaliação de ciclo de vida. Nela é realizada a coleta de dados de cada unidade de processo, conforme representado na Figura 10, tais como energia, matérias-primas, emissões, bem como a quantificação, compilação e análise prévia das grandezas colhidas que são organizadas em uma tabela denominada de Inventário de ciclo de vida. (REBITZER *et al.*, 2004).

De acordo com Güereca, Jato-Espino e Lizasoain-Artega (2018), os resultados obtidos na avaliação do ciclo de vida dependem da qualidade dos dados obtidos durante a fase de inventário. Realizar um inventário adequado requer o planejamento da coleta dos dados e atenção especial para a confiabilidade deles.

A norma NBR ISO 14040 estabelece que sejam especificados em termos gerais as principais características dos dados utilizados no estudo, a fim de permitir a objetivação das problemáticas elencadas na primeira etapa da ACV. As características elencadas são: período temporal coberto, área geográfica coberta, tecnologias cobertas, precisão, completeza e representatividade dos dados, consistência e reprodutibilidade dos métodos utilizados, fontes dos dados e sua representatividade, e incerteza da informação.

Diante da perspectiva de especificação dos dados utilizados na ACV, a Tabela 3, baseada na proposta de Wenzel *et al.* (1997) e sugerida por Bjorn *et al.* (2018), possibilita ao executor da avaliação planejar a coleta de dados, classificando sua qualidade e considerando a especificidade de cada meio de obtenção. Os níveis de qualidade que variam entre muito alto e muito baixo são classificados conforme a especificidade e podem ser observados na Tabela 4.

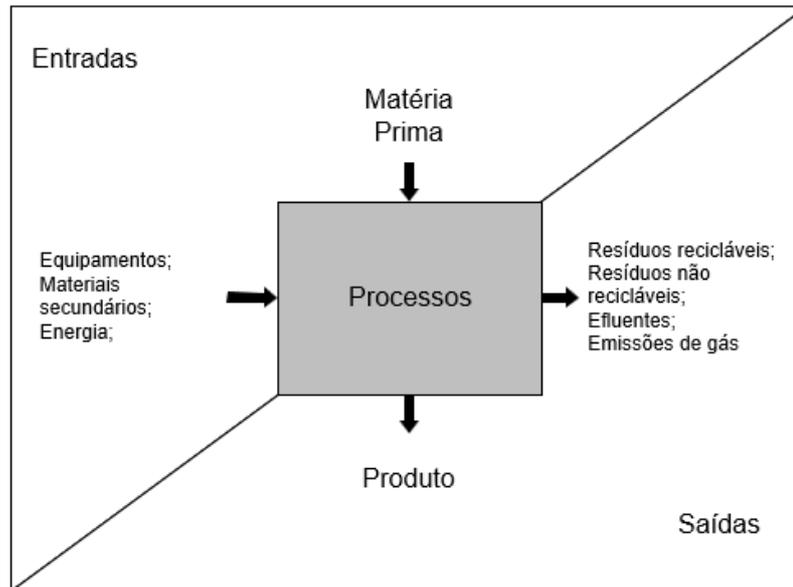


Figura 10 – Inventário de entradas e saídas correspondente a uma unidade de processo.

Fonte: Rebitzer (2002)

Tabela 3 – Tabela de planejamento e coleta dos dados.

Processo	Qualidade					Tipo	Fonte	Acesso
	Muito Alto	Alto	Médio	Baixo	Muito Baixo			
X	x					Concentração	Processos	Questionário
Y		x				kg/ano	Literatura	Busca online
Z				x		Unidade processo	Ecoinvent	Busca na base

Fonte: Adaptado de Wenzel *et al.*, 1997.

Tabela 4 – Classificação dos dados a partir da fonte.

Classificação	Especificidade
Muito alto	Medida diretamente na unidade de processo ou dimensionada a partir de medições.
Alto	Derivada de medições em processo específico por meio de modelagem.
Médio	Obtidos a partir de bases de dados de processos ou da literatura em geral, preferencialmente atualizada, da melhor tecnologia disponível e adequada a realidade local.

Baixo	Obtidos a partir de bases de dados genéricas ou literatura refletindo dados de uma determinada região do planeta.
Muito Baixo	Atribuída pelo executor da avaliação.

Fonte: Adaptado de Wenzel *et al.* (1997)

De forma similar, a metodologia adaptada de Weidema (1998), e proposta por Kappler *et al.* (2018), ilustrada na Figura 11, permite verificar a qualidade dos dados registrados na fase de inventário mensurando seu nível de confiabilidade.

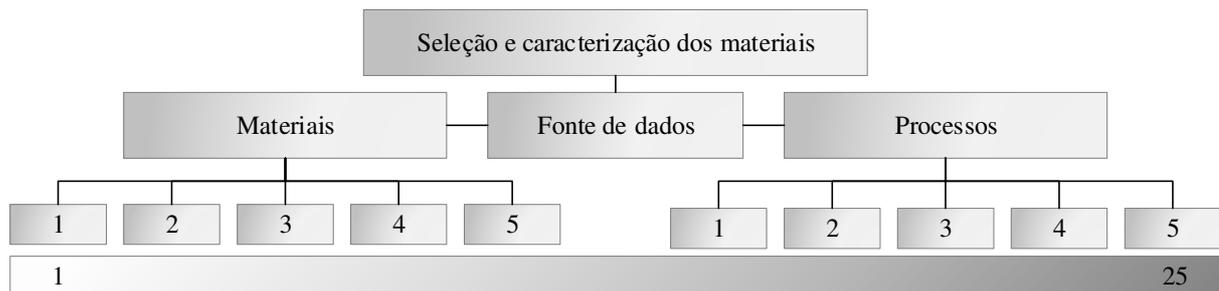


Figura 11 – Metodologia de avaliação da confiabilidade dos dados do inventário.

Fonte: Adaptado de Kappler *et al.* (2018).

Os dados são classificados em 5 níveis descritos na Tabela 5. A partir da classificação é realizada a multiplicação dos dados de cada material e seu correspondente processo. Os valores encontrados poderão então variar entre 1 e 25, sendo que valores próximos ao mínimo correspondem a uma confiabilidade maior.

Tabela 5 – Níveis baseados na forma de obtenção dos dados.

Nível	Descrição
1	Dados checados baseados em medições.
2	Dados checados baseados parcialmente em suposições, ou dados não checados baseados em medições.
3	Dados não checados baseados parcialmente em medições.
4	Estimativa qualificada.
5	Estimativa não qualificada.

Fonte: Adaptado de Kappler *et al.* (2018).

2.3.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

A terceira etapa da ACV é quando os impactos ambientais são relacionados a cada entrada e saída listada do ICV e que assim corresponde à AICV. Esta etapa permite a compreensão e avaliação da magnitude e significância dos potenciais impactos ambientais relativos a cada processo ou produto. (ABNT 14040, 2010).

Os dados obtidos por meio do ICV devem ser correlacionados a categorias de impactos a partir da definição de um método estabelecido e que corresponda a realidade local. Mendes, Bueno e Ometto (2013), revisaram as principais metodologias existentes para a avaliação dos impactos, os quais foram listados, juntamente com os impactos e abrangência correspondentes na Tabela 6.

Tabela 6 – Métodos de AICV e por suas principais categorias de impacto.
(1) Mudanças climáticas; (2) Depleção da camada de ozônio; (3) Acidificação; (4) Eutrofização; (5) Formação de Fotooxidantes; (6) Ecotoxicidade; (7) Toxicidade humana; (8) Consumo de recursos naturais; (9) Ocupação do solo.

Método de AICV	Categorias de Impactos									Abrangência Global
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
CML	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Eco-Indicator 99	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
Ecological Scarcity	✓	✓			✓		✓	✓	✓	
EDIP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
EPS 2000							✓	✓		✓
Impact 2002+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
LIME	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
LUCAS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
MEEuP	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		
ReCiPe	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
TRACI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
USEtox						✓	✓			✓
IMPACT World+	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: Adaptado de Mendes (2013).

2.3.4 Interpretação dos resultados

A etapa de interpretação dos resultados da ACV consiste na combinação adequada entre as constatações oriundas da etapa de ICV e AICV com o proposto no objetivo e escopo, para se obter conclusões e postular recomendações. (ABNT 14010, 2010).

2.4 BALANÇO ENERGÉTICO

Este subcapítulo aborda a metodologia de contabilização dos gastos energéticos em cada um dos processos analisados no escopo.

2.4.1 Análise de processos

De acordo Treloar (1997) o método de análise de processos define-se pela origem dos dados. Uma análise de processos é toda aquela em que os dados utilizados não são provenientes de tabelas de entradas e saídas, compiladas geralmente pelo governo, e que relacionam o fluxo mássico e energético com fluxos econômicos. O método de análise de processos foca na quantificação de energia e massa empregada em cada etapa industrial individualmente por meio de medições. (FAY; TRELOAR; IYER-RANIGA, 2000).

Apesar da alta confiabilidade e exatidão dos dados para a análise, o balanço pode demonstrar inconsistências quando comparado a outros. Isto se deve à existência de um componente geográfico em qualquer avaliação energética, já que recursos são locais, e então é praticamente inviável delimitar os limites de qualquer sistema com âmbito global.

O método de análise de processos é comumente empregado ao avaliar um produto atípico em fase laboratorial, ou seja, que não pode ser representado no momento da avaliação por um setor industrial e, portanto, ainda não possui o mapeamento de suas unidades de processos específicos. (REBITZER *et al.*, 2004).

Diante do estudo de caso analisado neste trabalho, de caráter laboratorial, onde o enfoque é verificar o panorama energético dos processos envolvidos, o método de análise de processos demonstra-se adequado. Além disso, a utilização da análise dos processos por fontes primárias permite o conhecimento do perfil energético e mássico, proporcionando subsídios para uma análise na mitigação da energia e material empregados e oriundos em cada etapa.

2.4.2 Energia embutida (EE)

Energia embutida, termo que também corresponde ao de energia incorporada, consiste em um método quantitativo que visa obter o somatório da energia empregada em todas as fases do ciclo de vida de um produto, incluindo a extração de matéria prima, transportes nas diversas etapas, fabricação, montagem, instalação, desmontagem, desconstrução e disposição final. (FAY; TRELOAR; IYER-RANIGA, 2000; BONTEMPI, 2017); ASHBY, 2012).

Apesar de ser consenso científico de que tal parâmetro permite a comparação, entre produtos, do montante de emissões de gases de efeito estufa durante sua produção, ocorrem discordâncias relacionadas aos valores absolutos verificados, muito em função do grande número de variáveis inerentes aos processos de fabricação. (ARENAS; ASDRUBALI, 2019).

Bontempi (2017a), destaca que se um produto é constituído de diversos materiais, como por exemplo um compósito, ou um objeto constituído de diferentes partes e cada uma de material distinto, a EE do produto deverá ser calculada levando-se em conta todas as energias incorporadas de cada componente individualmente.

Zanoletti *et al.*, (2017) utilizaram o conceito de EE como parâmetro chave na seleção de materiais sustentáveis, aqueles que mitigam os impactos ambientais atrelados às três fases do ciclo de vida de um produto: confecção, utilização e disposição final. No estudo, os autores propuseram a utilização da cinza de casca de arroz como material adsorvente, e verificaram que por obter bom desempenho na remoção de surfactantes ionizados, é alternativa sustentável ao carvão ativado comumente utilizado para este fim. É possível observar no estudo, que utiliza a plataforma CES Edupack® para realizar as comparações de EE e emissões de carbono entre os materiais propostos, que a EE das cinzas é aproximadamente 20 vezes inferior ao do carvão ativado, podendo concluir-se tecnicamente que a substituição do subproduto oriundo do beneficiamento do arroz implica em ganhos ambientais. (ZANOLETTI *et al.*, 2017).

É importante salientar que em diversos casos a energia despendida no beneficiamento de determinado resíduo compromete sua viabilidade técnica, justamente por elevar demasiadamente a EE dele. Utilizando o exemplo do estudo anterior, pode-se inferir que caso a cinza de casca de arroz carecesse de procedimentos custosos em se tratando de energia, a substituição pode até fazer sentido pelo emprego da biomassa residual na indústria, contudo não é encorajada pela alta demanda energética que possui.

O estudo realizado por Dove, Bradley e Patwardan (2019), discorre justamente sobre a temática do parágrafo anterior. Os autores exploram o desenvolvimento de um compósito isolante a base de componentes naturais como a argila e um biopolímero de alginato, que

substitua o material isolante aerogel a base de sílica, devido ao material ter elevado custo e EE. A análise do parâmetro de EE é realizada a partir de dados obtidos dos fornecedores das matérias-primas e comparados com os da literatura. Justificam que apesar da ferramenta de ACV ser uma ferramenta robusta que propicia detalhadamente os aspectos e impactos de um produto durante seu ciclo de vida, ela requer grande quantidade de dados que muitas vezes não estão disponíveis, sendo desta forma conveniente estimar parâmetros como a EE e emissões de carbono, ambos relativos às quantidades de materiais e energia utilizadas nos processos de fabricação.

É possível concluir pelo estudo proposto que a EE e, portanto, as emissões de carbono equivalente, do compósito baseado em fontes naturais e renováveis, são próximas e até superiores aos materiais a base de sílica, logo o compósito não garante a superioridade de performance ambiental.

Fatimah e Biswas (2016), descreveram matematicamente a demanda de energia empregada em um produto durante seu ICV conforme segue:

$$EE_{Total} = \sum_{i=1}^N I_i \times EE_i \quad (2.1),$$

em que, EE_i denota a EE de uma etapa qualquer i , e I representa todas as quantidades de materiais utilizados nos processos.

2.4.2.1 Parâmetros de sustentabilidade relacionados à Energia embutida

Enquanto que o método de avaliação de ciclo de vida analisa os impactos ambientais considerando todos os estágios do ciclo de vida de um produto até a disposição final, requerendo grande quantidade de dados e delimitações de fronteiras de análises muitas vezes complicadas de serem determinadas, a utilização de parâmetros ambientais para comparações diretas reduzem substancialmente a complexidade inerente às avaliações de ciclo de vida, demonstrando-se alternativa viável para investigações voltadas a substituição de matérias-primas clássicas por novos materiais com propriedades similares ainda no estágio de desenvolvimento do produto.

Bontempi (2017a), propõe um método para a comparação da sustentabilidade atrelada a substituição entre materiais. O método relaciona os parâmetros ambientais de EE e emissões de CO₂ conforme a equação 2.2:

SUB RAW index

$$= [\log(EE_{raw}/(MJ/kg)) - \log(EE_{sub}/(MJ/kg)) + \log(CF_{raw}) - \log(CF_{sub})]/2 \quad (2.2)$$

em que *EE* e *CF* representam os valores de EE em (MJ/kg) e CO₂ (kg/kg) da matéria prima sob índice *raw* e do material substituto sob índice *sub*. A utilização da escala logarítmica é apropriada dada a amplitude dos indicadores ambientais de diferentes materiais, que variam na ordem de 0,01 a 10⁷. A divisão dos valores de EE pela própria unidade de medida busca tornar o resultado da operação adimensional.

O parâmetro resultante pode assumir valores entre -9 a 9 se consideradas as ordens de grandeza estipuladas anteriormente. Valores positivos significam um incremento na sustentabilidade atrelada a substituição dos materiais, e de forma oposta, valores negativos resultam em substituições insustentáveis ambientalmente. Um caso particular em que o parâmetro resulta em nulo é o que corresponderia a equivalência na utilização dos materiais no que diz respeito aos indicadores ambientais analisados.

De acordo com a autora, o método proposto serve exclusivamente para comparar materiais ambientalmente, se as propriedades finais dos produtos não forem afetadas. Além disso, pode ser observado na Figura 12 que o escopo da análise do método proposto é limitado ao nível 1, correspondente ao beneficiamento de materiais residuais, o que implica na comparação pontual dos indicadores ambientais naquelas etapas, e, portanto, difere do método de ACV, mais robusto, e em que uma comparação entre os materiais abordaria ainda as fases de processamento, manufatura, utilização e destinação final.

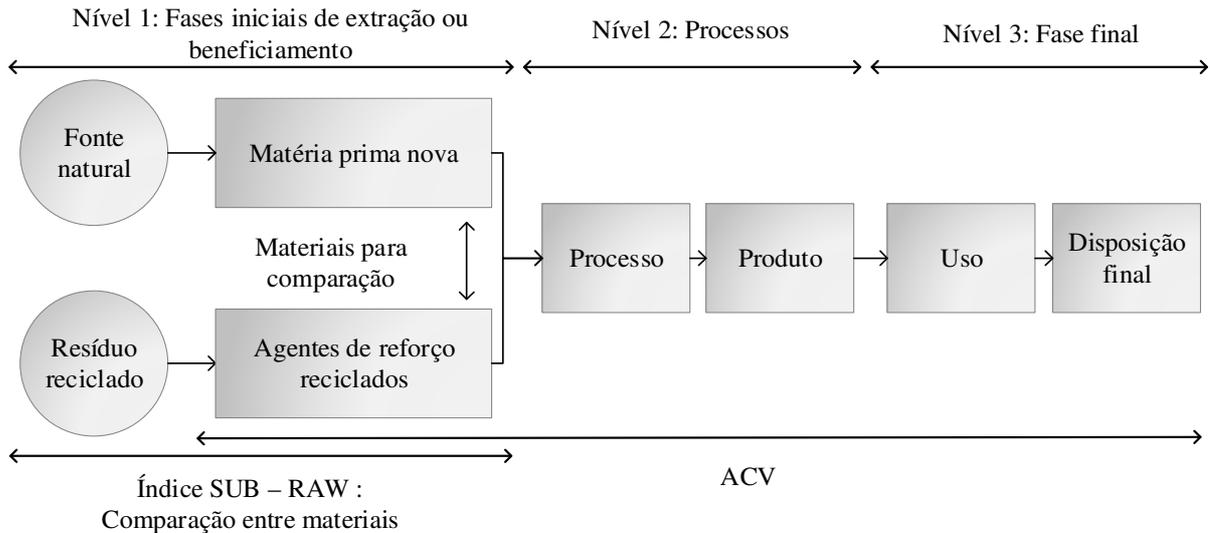


Figura 12 – Diferença entre ACV e SUB-RAW índice

Fonte: Bontempi (2017a).

2.5 AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DOS IMPACTOS

A avaliação do grau de significância dos impactos ambientais é uma das etapas necessárias de qualquer estudo ambiental. Para Sánchez (2006), esta etapa é de difícil execução, já que a atribuição de graus de importância a certas alterações ambientais depende de estudo técnico e do instituto de juízo de valor do avaliador, que carrega certa subjetividade.

Avaliar impactos consiste em classificá-los e elencar os mais importantes, já que não convém empregar sacrifícios em atividades antropogênicas que resultem em desprezível modificação ambiental.

Sánchez (2006), salienta que a subjetividade inerente ao juízo de valor pode ser reduzida ao condicionar a avaliação a estudos técnicos detalhados. No caso deste trabalho, a descrição do estudo de caso, bem como a elaboração dos diagramas de blocos com a representação de fluxos de entradas e saídas de matéria e energia, permite ao executor da avaliação conhecimento acerca de cada etapa do processo, permitindo, portanto, uma decisão mais técnica, mas não descolada de certa subjetividade. Logo, é interessante definir com clareza quais julgamentos baseiam-se em critérios de apreciação pessoal ou de um conjunto de especialistas, e quais baseiam-se em critérios técnicos. Para o autor, esta seria a razão fundamental para se diferenciar claramente uma **previsão** de impacto ambiental, fundamentada em aspectos técnicos, da **avaliação** dos impactos, resultante do julgamento de valor de um grupo de pessoas.

Diante disto, discorre-se a seguir exemplos de algumas alternativas utilizadas por pesquisadores que em seus projetos de mestrado relacionados a processos e cadeias produtivas,

no que concerne a etapa de definição da significância dos impactos ambientais, basearam-se na definição de atributos de importância de avaliação e na forma de agregação dos valores atribuídos.

Rigon (2015), realizou a avaliação qualitativa de aspectos e impactos ambientais inerentes ao processo de combustão da casca de arroz em leito fluidizado e grelha. A definição dos critérios ou atributos de avaliação para verificar a significância de cada aspecto e impacto foi adaptada do Sistema de Gestão Ambiental da UNISINOS. (GOMES, 2013).

Grabasck (2016), avaliou a significância de aspectos e impactos ambientais atrelados aos processos de extração de areia e beneficiamento de resíduo de construção e demolição em agregado reciclado baseada também nos critérios utilizados pelo Sistema de Gestão Ambiental (SGA) da UNISINOS. A autora baseou-se ainda no trabalho de Rigon (2015), e a descrição dos critérios de abrangência, severidade e frequência, utilizados por ambas as autoras para avaliar os impactos, que podem ser verificados na Tabela 7.

Tabela 7 - Critérios de abrangência, severidade e frequência 1

Classificação de abrangência	Pontuação
Causa impacto localizado ou no entorno do local de ocorrência	1
Causa impacto que ultrapassa o local de ocorrência	2
Causa impacto regional, podendo atingir até 100 km do local de ocorrência	3
Causa impacto regional ultrapassando os 100 km do local de ocorrência	4
Classificação de severidade	Pontuação
Não causa danos	0
Causa danos leves, acima dos estabelecidos pela legislação, porém cessa o impacto ao ser feita a adequação	2
Causa danos severos, acima dos estabelecidos pela legislação, causando danos irreparáveis ao meio ambiente	4
Classificação de frequência	Pontuação
Periodicidade de ocorrência semestral ou maior	1
Periodicidade de ocorrência mensal	2
Periodicidade de ocorrência semanal	3
Periodicidade de ocorrência diária	4

Fonte: Grabasck (2016) apud Gomes (2013) e Rigon (2015)

Rigon (2013), analisou os aspectos e impactos ambientais ocorridos durante a fase de produção de uma obra residencial. A autora utilizou a metodologia do SGA da UNISINOS, definindo como critérios de abrangência, severidade e frequência adaptados ao setor da construção civil.

Ambos os trabalhos baseados no SGA da UNISINOS classificaram a significância dos aspectos e impactos de acordo com pontuação obtida quando realizado o somatório das classificações individuais dos critérios. As margens de classificação são descritas na Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação dos aspectos e impactos, adaptado de SGA

Pontuação	Resultado
3 a 6	Desprezível
7 a 9	Moderado
10 a 18	Crítico

Fonte: Rigon (2015) apud SGA Unisinos (2013)

Silva (2016), realizou a avaliação qualitativa dos potenciais aspectos e impactos ambientais atrelados ao processo de produção do setor calçadista. A autora elaborou uma planilha de avaliação baseada em um sistema de *software* empregado em diversos setores, e que considera critérios de abrangência, probabilidade e severidade dos impactos ambientais para determinar os mais significativos ao processo produtivo.

Stalter (2017), baseada em Silva (2016), considerou os mesmos critérios da autora para caracterizar os aspectos e impactos ambientais significativos atrelados à cadeia produtiva de embalagens de utilidades domésticas. A classificação dos critérios de abrangência, severidade e probabilidade são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Critérios de abrangência, severidade e probabilidade/frequência 2

Critérios de abrangência	Pontuação
Pode causar impacto no local de trabalho ou no entorno	1
Pode causar impacto que ultrapassa o local da ocorrência até os limites da instalação	2
Extrapola os limites da instalação	4
Critérios de severidade	Pontuação

Não causa danos: Impactos que não causam danos ou com efeitos benéficos sobre o homem e/ou ao meio ambiente, produtos e serviços. 1

Causa danos leves: Impactos no meio ambiente não chega a comprometer nenhuma espécie de vida ou recursos naturais, podendo ser recuperado através de pequenas ações. 2

Causa danos graves: Impacto no meio ambiente pode comprometer alguma espécie de vida ou recursos naturais e a recuperação poderá depender de maiores recursos. 3

Causa danos gravíssimos: Impacto no meio ambiente compromete alguma espécie de vida ou recursos naturais, e a recuperação poderá ser impossível ou dependerá de recursos especiais. 4

Critérios de probabilidade/frequência	Pontuação
Baixa: Aspectos decorrentes de atividades/tarefas que, apesar da alta frequência de execução, configuram-se ou podem ocorrer de uma a quatro vezes ao mês	1
Média: Aspectos decorrentes de atividades/tarefas que, apesar da alta frequência de execução, configuram-se ou podem ocorrer de cinco a nove vezes ao mês	2
Alta: Aspectos decorrentes de atividades/tarefas que, apesar da alta frequência de execução, configuram-se ou podem ocorrer de dez vezes em diante ao mês	4

Fonte: Silva (2016); Stalter (2017).

A classificação de significância dos impactos realizada por Stalter (2017) e Silva (2016) foi obtida por meio da soma das pontuações dos critérios de avaliação e considerou o enquadramento nas margens estipuladas pela Tabela 10.

Tabela 10 - Classificação de criticidade dos impactos ambientais

Classificação	Resultado
3 a 5	Desprezível
6 a 8	Moderado
9 a 12	Crítico

Fonte: Silva (2016).

Outra forma de estimar a significância dos aspectos e impactos ambientais foi utilizada por Anschau (2017). O autor elaborou uma matriz de levantamento de aspectos e impactos ambientais (LAIA) baseado na matriz proposta por Leopold *et al.* (1971). Assim, avaliou

critérios de severidade, abrangência e probabilidade de ocorrência para cada impacto ambiental. Os critérios utilizados foram compilados conforme a Tabela 11.

Tabela 11 - Critérios de acordo com Anschau (2017)

Pontuação	Grau	Severidade
0	Nenhum	O aspecto não tem relação direta com o impacto.
1	Baixo	Impacto de baixa severidade. Quase não afeta meio ambiente ou a saúde dos profissionais. Fácil recuperação e/ou medidas de controle/prevenção na fonte.
2 a 9	Médio e alto	Impacto de média a alta severidade. Afeta de forma ampla o meio ambiente ou a saúde dos profissionais.
10	Muito alto	Impacto de alta severidade. Afeta de forma generalizada o meio ambiente.
20	Extremamente alto	Impacto extremo, se não houver cuidados, pode afetar as gerações futuras, merece atenção quando um aspecto é avaliado com este grau de severidade. Merece receber tratamento, como indicadores para seu gerenciamento e planos de ação de redução constantes.

Pontuação	Grau	Abrangência
1	Pontual	Restrito à área.
2	Local	Abrange toda área e/ou setor ligado ao ponto onde foi gerado. Pode afetar a vizinhança.
3	Sistêmico	Abrange as áreas ligadas ao setor e irá impactar em mais pontos da empresa até a sociedade

Pontuação	Grau	Probabilidade
1	Esporádico	Ocorrem dificilmente, sem frequência definida.
2	Cíclico	Ocorrem em ciclos semanais ou mensais.
3	Contínuo	Ocorrem com grande frequência. Diariamente por exemplo.

Fonte: Anschau (2017).

Para averiguar a significância dos aspectos e impactos o autor utilizou os parâmetros de importância e consequência. A importância de cada aspecto ambiental foi obtida por meio da

soma das severidades de cada impacto ambiental multiplicando-se pela probabilidade de ocorrência dele. Já a consequência dos aspectos foi determinada pela soma das severidades multiplicadas pela abrangência relativa. Finalmente, o autor obteve a significância dos impactos somando a importância, a severidade e a consequência.

Todos os trabalhos analisados utilizaram como método de agregação a forma classificada por Sánchez (2006) como **ponderação de atributos**. Neste método são arbitrados ou não valores de pesos entre os atributos, e em seguida, combinam-se os mesmos a partir de uma função matemática predeterminada. Em todos os estudos os atributos definidos foram a abrangência, severidade e a frequência, também denominada em alguns casos como probabilidade de ocorrência. Cada estudo definiu uma escala de valoração para cada atributo conforme descrito na Tabela 7, Tabela 9 e Tabela 11. Considerando o método de ponderação dos atributos, nota-se que Rigon (2013), Rigon (2015), Grabasck (2016), Silva (2016) e Stalter (2017) realizaram a soma dos atributos relacionados a cada aspecto e impacto, e posteriormente classificaram de acordo com margens estabelecidas nas Tabela 8 e Tabela 10. Já Anschau (2017), modificou a regra lógica de quantificação, determinando a importância e a consequência de cada aspecto e impacto, por meio de soma e multiplicação dos valores individuais atribuídos, para posteriormente encontrar a significância.

3 METODOLOGIA

Abordam-se neste capítulo os materiais utilizados no trabalho, bem como a metodologia aplicada para desenvolver os objetivos propostos.

O método aplicado no trabalho corresponde a combinação entre uma avaliação simplificada de ciclo de vida e a aplicação da ferramenta de seleção de materiais CES Edupack®. A avaliação é simplificada, pois tem seu foco na elaboração do ICV, baseado nas definições do objetivo e escopo, para colher dados relativos aos processos.

A metodologia do trabalho foi dividida em 5 etapas conforme pode ser observado no fluxograma da Figura 13.

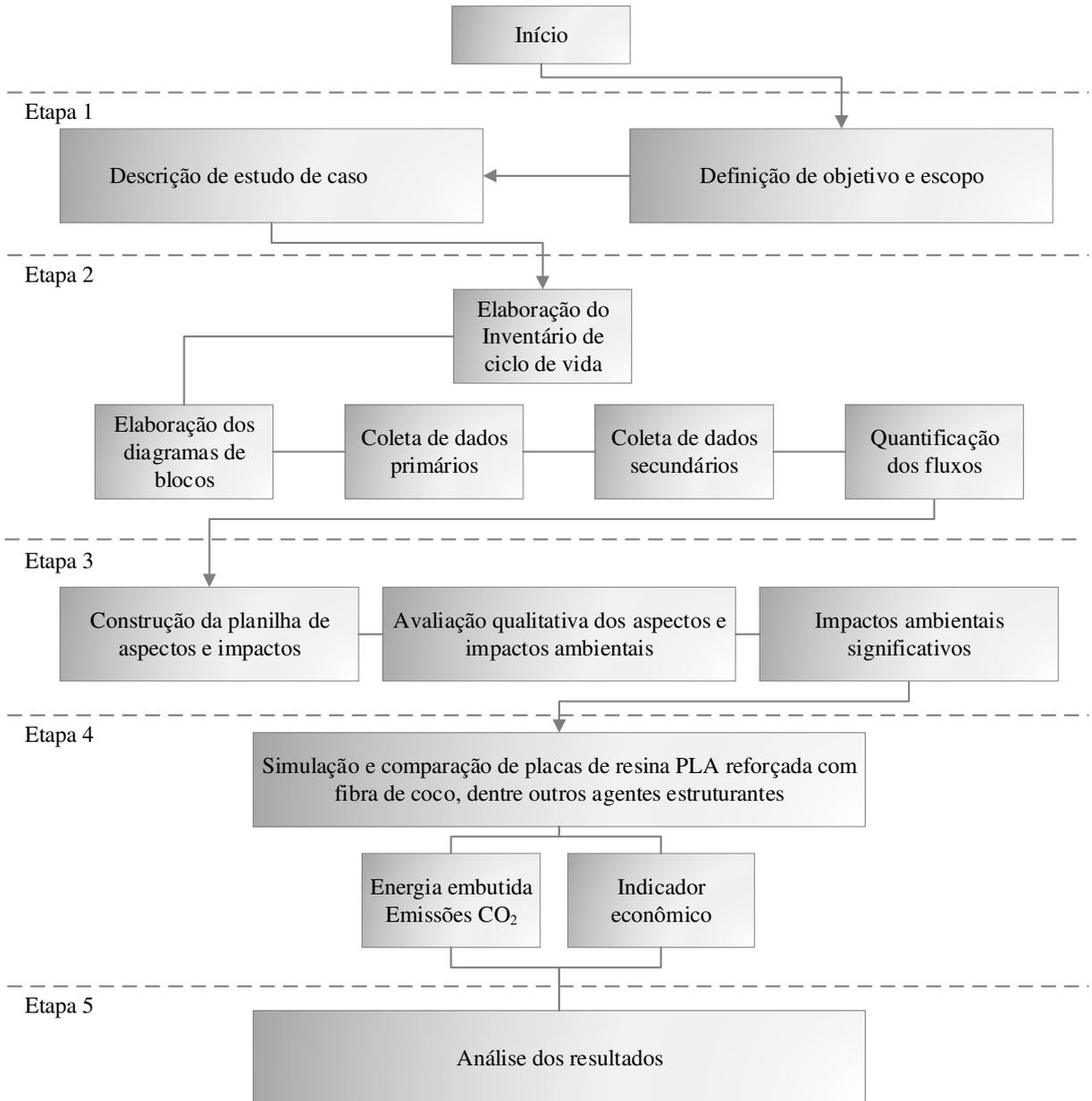


Figura 13 – Fluxograma das etapas do trabalho.

3.1 ETAPA 1

Nesta etapa, que corresponde a primeira fase de uma ACV, serão definidos os objetivos e o escopo dos processos estudados, que são descritos de forma pormenorizada no estudo de caso.

3.1.1 Definição de objetivo e escopo da ACV simplificada

3.1.1.1 Objetivo

O objetivo da realização simplificada da ACV neste estudo consistiu no levantamento dos dados na fase de ICV, bem como na avaliação qualitativa dos principais aspectos e impactos atrelados ao sistema produtivo e posterior interpretação dos resultados, comparando-se os resultados do balanço energético obtidos para a placa a base de PLA e reforçada com FC, a placas reforçadas com demais fibras disponíveis no mercado.

Desta forma a UF do estudo foi definida como sendo uma placa polimérica de 150g, com as dimensões de 15mm x 15mm x 3mm, de matriz resina PLA reforçada com FC na proporção de 10%.

A função da placa consistiu em servir como matéria prima para a confecção de armação que serve como suporte às lentes oculares. Salienta-se que a etapa de confecção da armação às lentes não foi estudada na presente dissertação.

3.2.1.2 Descrição de estudo de caso - produção de compósito polimérico de PLA reforçado com fibra de coco em escala laboratorial

As fronteiras do sistema produtivo estudado foram delimitadas conforme apresentado na Figura 14. Os subsistemas 1 corresponde a fase de beneficiamento do coco pós consumo para obtenção da fibra, e o de número 2 a produção do compósito polimérico seguido da confecção da placa polimérica, respectivamente.

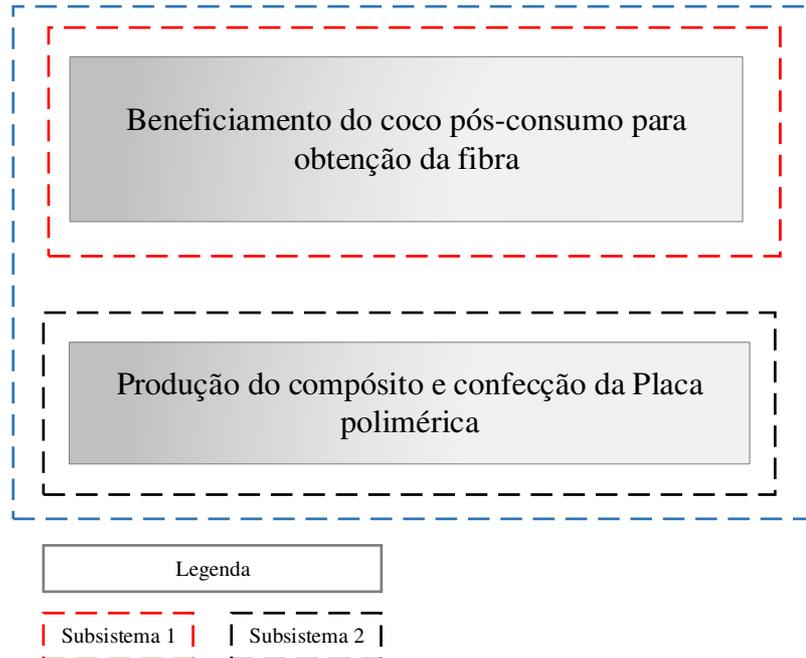


Figura 14 - - Limites do sistema de ACV para o estudo completo.
Os processos analisados nos subsistemas 1 e 2 foram descritos na Figura 15.

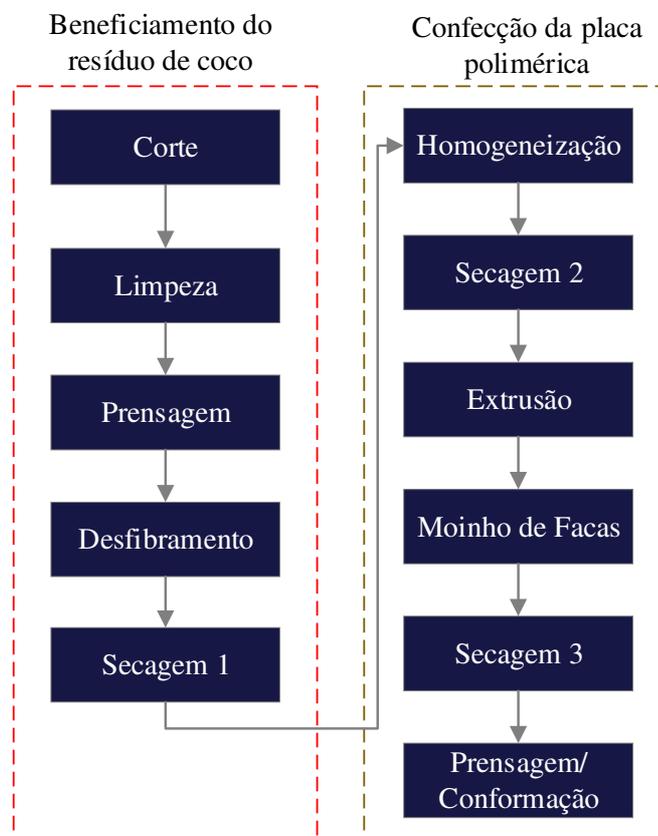


Figura 15 – Processos analisados.

3.2.1.2.1 Subsistema 1 – Beneficiamento do resíduo de coco verde pós-consumo

Gerenciamento

De modo geral, como ocorre nas associações responsáveis pelo beneficiamento deste resíduo, a primeira etapa consiste na coleta, transporte e separação dos cocos nas unidades de processamento. Conforme pesquisa de Curia *et al.* (2017), que realizou um levantamento de dados primários por meio de questionário e entrevistas de 346 pontos de consumo de água de coco verde *in natura* de três regiões do estado do Rio Grande do Sul, os municípios de Porto Alegre, Torres, Arroio do Sal, Xangri-lá, Capão da Canoa, Imbé e Tramandaí apresentaram geração de resíduo de coco acima de 40 ton/ano, sendo localidades chave para implementação de unidades de beneficiamento.

Especificamente para este trabalho utilizou-se frutos maduros, ainda não consumidos, no sentido de avaliar precisamente as massas das diferentes partes presentes no coco, e evitar algum tipo de contaminante patológico nessa avaliação de processo. Na Figura 16 é possível verificar o aspecto da amostra de coco utilizada pelo grupo de pesquisa da UNISINOS no projeto “Desenvolvimento de compósito reforçado com fibra de coco” financiado pelo SEBRAE-RS e empresa Empório Argentino.



Figura 16 – Cocos maduros utilizados no trabalho.

Corte

A etapa de corte demarca a fronteira inicial na contabilização energética do processo de beneficiamento do coco verde pós-consumo. O fruto selecionado na etapa de gerenciamento foi posteriormente cortado em 4 partes conforme a Figura 17 e Figura 18. O equipamento utilizado para este fim foi uma serra fita, representada na Figura 19 e disponível no laboratório de Eng. Mecânica da UNISINOS. O corte dos frutos deve ser realizado na direção paralela a da disposição das fibras, com o intuito de evitar a diminuição do comprimento das fibras, e não comprometer a valorização do material.

Limpeza

A etapa de limpeza consiste na remoção da polpa que pode estar presente no interior do fruto. Considerando que o coco disponível nas associações de beneficiamento pode estar já em estado inicial de decomposição, é importante remover quaisquer materiais orgânicos presentes antes do endocarpo do fruto. O material removido do interior do fruto foi representado na Figura 20.



Figura 17 – Etapa correspondente ao corte do coco.



Figura 18 – Coco verde pós-consumo após o processo de corte.



Figura 19 – Serra Fita utilizada para o corte dos cocos.



Figura 20 – Polpa do fruto retirada após a etapa de corte.



Figura 21 – Fatias de coco após o processo de limpeza.

Prensagem

A prensagem das fatias do coco cortadas e limpas representadas na Figura 21 foi realizada em uma prensa manual hidráulica disponível no laboratório de Eng. Mecânica da UNISINOS, conforme ilustrado na Figura 22. Nesta etapa surge o LCCV como primeiro subproduto do processo. O material foi coletado e pesado individualmente para posterior quantificação. Surgem ainda pequenas partículas de coco, que considerando o módulo de

prensagem de 10 toneladas, se desintegram das fatias de coco prensadas. Os pequenos elementos de coco são representados na Figura 23.



Figura 22 – Etapa de prensagem da biomassa de coco.



Figura 23 – Partículas de coco verde após a prensagem.

Desfibramento

O método utilizado para a trituração das fibras neste estudo é denominado como moagem a seco e é aplicado pelo equipamento chamado desfibrador. Este equipamento consiste na revolução em alta velocidade de barras de metal, que em contato com a biomassa de coco separa as fibras do material não-fibroso, que então é separado constantemente pela peneira acoplada. (VERMA; GOPE, 2015).

O resíduo prensado foi então desfibrado no equipamento elaborado pelo NUCMAT da UNISINOS (Projeto financiado pelo SEBRAE e Empresa Empório Argentino) e ilustrado na Figura 24 e Figura 25. Neste momento, conforme descrito na bibliografia, as fibras são separadas das partes granulométricas que são constantemente peneiradas, por uma chapa com orifícios de diâmetro de 1cm. O desfibrador está instalado no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais - LCVMAT da UNISINOS.



Figura 24 – Desfibrador mecânico.

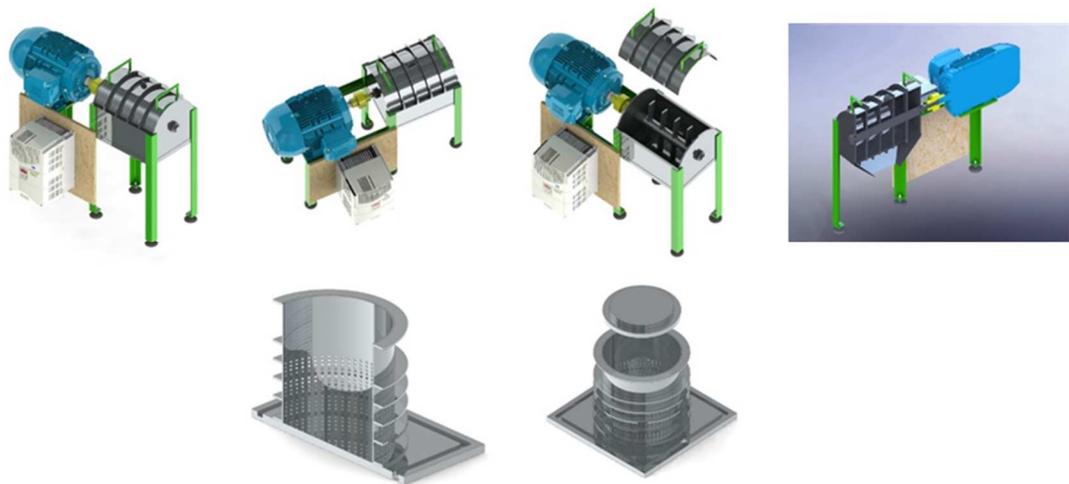


Figura 25 – Elementos do desfibrador mecânico.



Figura 26 – FC após desfibramento.

Secagem 1

As fibras originadas após o processo de trituração mecânica foram secadas em estufa representada pela Figura 27, e disponível no LCVMAT da UNISINOS pelo período de 12h e após embaladas. O aspecto das fibras é verificado na Figura 28.



Figura 27 – Estufa para secagem das fibras.



Figura 28 – FC após o processo de secagem.

A secagem das fibras antes do processamento industrial é importante, já que a água presente na superfície das fibras deve agir como um agente separador na composição matriz – fibra, comprometendo a performance dos produtos. (FARUK *et al.* 2012; BLEDZKI; GASSAN, 1999).

3.2.1.2.2 Subsistema 2 – Obtenção do compósito e produção da placa polimérica

A obtenção do compósito foi baseada em processo de moldagem por compressão, que é utilizado frequentemente para a confecção de polímeros reforçados com FN. Previamente a moldagem do composto, a FC e a resina PLA passam pelo processo de homogeneização e

secagem, portanto, todas as amostras utilizadas na produção e demais caracterizações das matérias-primas e produtos foram realizadas em base seca.

A FC foi misturada ao PLA em um aglutinador do LCVMAT, representado pela Figura 29, pelo período de 7 minutos, com a correspondência de 10% de massa de FC em relação a massa de PLA. O aspecto anterior e após a homogeneização dos materiais no aglutinador pode ser observado nas Figura 30 e Figura 31.



Figura 29 – Misturador.



Figura 30 – FC e PLA antes da homogeneização.



Figura 31 – FC e PLA após a homogeneização.

A mistura representada na Figura 32 foi seca a 70°C em estufa por 12 horas. Posteriormente a substância passou por uma extrusora monorosca disponível no laboratório de materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, ilustrada na Figura 33, e

pelo moinho de facas disponível no LCVMAT, resultando com aspecto similar ao da Figura 34. O material foi despejado em um molde metálico. Colocou-se um filme de poliéster em cada superfície do molde para facilitar a remoção da placa ao término do processo de resfriamento. O molde e o material passaram então pela aplicação térmica e de pressão, em que o PLA foi fundido para ocorrer o processo de polimerização junto a FC e depois foi resfriado. Os parâmetros utilizados para moldagem foram: Força de prensagem de 50 toneladas em temperatura de moldagem de 210°C e resfriamento até 60°C sob pressão constante de 50 toneladas.

Ao término da fusão dos PLA pela temperatura de 210°C e moldagem da placa polimérica, as placas da prensa foram então resfriadas pelo período médio de 20min com circulação interna de água em temperatura ambiente. Esta água é oriunda da rede de abastecimento de água potável do laboratório onde a placa foi produzida.

Neste processo os compostos a serem moldados, neste caso a resina PLA e a FC, foram armazenados em um molde, com aplicação de calor e pressão, sendo o compósito fundido e resfriado. A prensa hidráulica utilizada corresponde a marca FKL Máquinas automatizadas e pode ser observada na Figura 35.



Figura 32 – FC e PLA após o processo de homogeneização.



Figura 33 – Extrusora Seibt ES35



Figura 34 – Mistura após extrusão.



Figura 35 - Prensa hidráulica utilizada no processo de moldagem.

Após a desmoldagem as placas foram rebarbadas com auxílio de uma lixa.

3.2 ETAPA 2

A segunda etapa consiste no levantamento de subsídios para elaboração do ICV. São elaborados os diagramas de blocos de cada unidade de processo, coletados os dados de tensão e corrente elétrica, ou ainda de potência dos equipamentos utilizados e descritos na etapa anterior, bem como a busca dos dados relativos ao processamento da resina PLA.

3.2.1 Análise do Inventário do ciclo de vida (ICV)

O ICV cumpre as etapas descritas na Tabela 12. É importante destacar que conforme definido nas condições de fronteira da etapa metodológica 3.2.1.2, sua aplicação abrangeu somente as etapas de: beneficiamento do coco verde pós-consumo, desconsiderando qualquer resquício de EE deste material proveniente da fase de cultivo e industrialização, bem como da fabricação e manutenção dos equipamentos utilizados neste trabalho. Tal premissa parece razoável já que a valorização pretende agregar valor a um resíduo; produção do compósito polimérico; e produção da resina PLA.

ETAPA	ITEM
Elaboração dos diagramas de blocos de cada unidade de processo	3.2.2.1
Coleta dos dados elétricos	3.2.1.2
Coleta dos dados de massa	3.2.1.3
Coleta dos dados secundários	3.2.1.4
Cálculo do consumo elétrico	3.2.1.5

Tabela 12 – Etapas do ICV.

3.2.1.1 Elaboração dos diagramas de blocos de cada unidade de processo

Nesta etapa foi desenvolvida a elaboração dos diagramas de bloco de cada unidade do processamento do coco verde pós-consumo, bem como da produção do compósito e da confecção da placa polimérica. O mapeamento foi individualizado, seguindo a metodologia de análise de processos para cada unidade dos subsistemas delimitados no escopo e permitiu a quantificação dos fluxos das entradas e saídas. Os diagramas de bloco seguem o padrão descrito por Rebitzer (2002) e demonstrado na Figura 10.

3.2.1.2 Coleta dos dados para o balanço energético

Os dados de Corrente Elétrica (I) foram coletados por meio das especificações de cada equipamento utilizado em cada unidade de processo. Os dados de Tensão Elétrica (U) foram medidos por meio de um multímetro digital da marca Minipa, modelo ET-2550. Dados de I e U estão descritos na Tabela 13. Na Tabela 14 estão descritos diretamente os dados de potência dos motores fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos utilizados. Os dados utilizados para as potências relativas aos resistores foram os informados pelos fabricantes dos equipamentos.

Tabela 13 – Dados de Tensão e Corrente elétrica dos equipamentos.

Equipamento - Processo	U (V)	I (A)	P _e (W)
Serra Fita - Corte	220,0	4,2	924,0
Desfibrador - Desfibramento	220,0	6,7	1478,4
Estufa – Secagem 1, 2 e 3	220,0	9,0	1980,0
Moinho de facas - Moagem	380,0	11,7	4446,0
Homogeneizador - Homogeneização	380,0	5,1	1938,0

Tabela 14 – Dados de potência dos Motores e dos Resistores.

Equipamento - Processo	Potência (cv)	Potência Resistor (W)
Extrusora - Extrusão	7,6	11000,0
Prensa - Moldagem	4,0	8000,0

3.2.1.3 Coleta dos dados de massa

A medição das quantidades de massa de cada unidade de processo, excluindo a massa de vapor d'água nos processos específicos, que foi obtida pelo balanço de massa, foi realizada com o auxílio de uma balança digital da marca Marte, modelo AS 5500C.

3.2.1.4 Coleta de dados secundários

O consumo energético da produção da resina PLA foi obtido a partir de fonte secundária, ou seja, a partir do banco de dados estabelecido no software de seleção de materiais utilizado no trabalho.

3.2.1.5 Cálculo do Consumo Elétrico

A Energia Elétrica (E_E) consumida por cada processo foi determinada a partir da Equação 3.1.

$$E_E = P_e t \quad (3.1),$$

onde P_e denota a Potência nominal do equipamento e t o tempo de duração do processo. Para os equipamentos que não forneceram os dados de potência nominal diretamente calculou-se a mesma pela Equação 3.2.

$$P_e = I \cdot U \quad (3.2),$$

onde I e U correspondem aos dados de corrente e tensão elétrica, respectivamente.

3.3 ETAPA 3

A terceira etapa é relativa às avaliações ambientais do escopo definido na etapa inicial. São utilizados os dados levantados na segunda etapa deste trabalho para construir uma planilha de aspectos e impactos enviada para especialistas que avaliaram a metodologia da planilha bem como os processos.

3.3.1 Avaliação dos aspectos e impactos ambientais

A avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais busca evidenciar preliminarmente os de maior significância, servindo de subsídio para a seleção de alguma das categorias de impacto ambiental representada na Tabela 6 em um estudo futuro de ACV.

Ancorado no ICV elaborado, a Tabela 15 apresenta os aspectos e impactos ambientais que foram considerados para a construção da planilha apresentada no apêndice E.

Tabela 15 – Aspectos e impactos considerados para a construção da planilha.

Aspectos	Impactos
Consumo de Energia Elétrica	Potencial de aquecimento global
Emissão de CO ₂	Potencial de aquecimento global
Emissão de CH ₄	Potencial de aquecimento global

Emissão de N ₂ O	Potencial de aquecimento global
Emissão de SO ₂	Acidificação
Emissão de NO _x	Acidificação
Emissão de PO ₄	Eutrofização
Emissão de NO ₂	Eutrofização
Emissão de CFC _s ; HCFC _s e outros	Depleção da camada de Ozônio
Uso da Terra	Mudança de uso e ocupação do solo; Alteração da qualidade do solo
Uso consuntivo da água	Escassez hídrica
Consumo de Recursos energéticos não renováveis	Depleção de recursos minerais fósseis
Geração de ruído	Poluição sonora
Geração de efluente	Alteração da qualidade das águas Alteração da qualidade do solo
Geração de odor	Alteração da qualidade do ar
Geração de material particulado	Alteração da qualidade do ar

A avaliação dos impactos ambientais foi adaptada a partir dos critérios de abrangência, severidade, frequência e risco apresentados no referencial capítulo 2.7. Os critérios utilizados estão sistematizados na Tabela 16, onde os critérios de abrangência, severidade e frequência foram adaptados das planilhas utilizadas por Grabasck (2016) e Rigon (2015), e o critério de risco sugerido durante a construção da planilha por especialista.

Tabela 16 – Critérios utilizados para a avaliação dos impactos ambientais.

Classificação de abrangência	Pontuação
Impacto localizado no entorno do local da execução dos processos.	1
Impacto que ultrapassa o local de execução de processos, mas não excede a fronteira da empresa.	2
Impacto regional quando localizado entre a fronteira da empresa e uma distância de 100km.	3
Impacto global quando ultrapassa a faixa pré-estabelecida no item anterior.	4
Classificação de severidade	Pontuação
Não causa danos	0

Danos leves com parâmetros acima de limites impostos em legislação ou norma, cessando o impacto quando da interrupção do aspecto via adequação operacional.	2
Danos severos com parâmetros acima de limites impostos em legislação ou norma, cessando o impacto quando da interrupção do aspecto via adequação operacional, NÃO implicando na solução imediata dos danos, sendo necessário ferramentas de controle extra-firma.	4

Classificação de frequência	Pontuação
Periodicidade de ocorrência semestral ou maior	1
Periodicidade de ocorrência mensal	2
Periodicidade de ocorrência semanal	3
Periodicidade de ocorrência diária	4

Critérios de Risco	Pontuação
Normal	1
Anormal	2
Risco	3

A partir da pontuação dos critérios individuais apresentados na Tabela 16 para cada impacto em cada processo analisado, a significância total se deu pela soma aritmética das significâncias individuais, multiplicando-se este valor pelo fator de conversão. O fator de conversão adotado neste trabalho equivale ao percentual de 100 unidades pelo valor máximo possível de significância, que no caso do trabalho, é de 195, já que a significância individual pode ser de até 15 pontos, e multiplicada por 13 processos. Assim, considerando percentualmente as escalas atribuídas pelos autores nas Tabela 8 e Tabela 10, atribui-se as escalas de significância pequena, média e grande conforme a Tabela 17.

Tabela 17 – Escalas de significância dos impactos ambientais.

Escalas de significância total	Percentual
Pequena	< 40
Média	> 40 e < 66
Grande	> 66%

A Tabela 18 exemplifica o funcionamento da planilha de impactos desenvolvida. Após preencher hipoteticamente os critérios para cada impacto ambiental, e por processo, é necessário mensurar primeiramente o fator de conversão deste caso. A maior pontuação de

significância possível para algum impacto de um processo individual é de 15. O fator de conversão é obtido então pela divisão de 100 unidades pelo somatório das significâncias máximas possíveis, considerando os processos (30), e assim, encontramos o valor de 3,33.

Tabela 18 – Exemplificação da planilha de avaliação de aspectos e impactos ambientais.

Aspectos	Impactos	Processo <i>i</i>					Processo <i>j</i>					%	
		Abrangência	Severidade	Frequência	Risco	Significância	Abrangência	Severidade	Frequência	Risco	Significância		
A	X	1	0	1	1	3	1	0	1	1	3	6	20
B	Y	3	2	2	2	9	3	2	2	9	9	18	60
C	Z	4	4	4	3	15	4	4	4	3	15	30	100

*fator de conversão: 100/30.

Verifica-se, portanto, a partir da Tabela 18 que os impactos ambientais X, Y e Z possuem significância pequena, média e grande respectivamente.

Os resultados das avaliações considerando a significância total de cada impacto por avaliador, foram então agrupados, e tratados no *software* minitab, para encontrar a média dos resultados, bem como o desvio padrão das avaliações.

Além da avaliação dos aspectos e impactos ambientais relativos aos processos analisados, realiza-se a quantificação dos resíduos oriundos de cada etapa da produção da placa, incluindo o beneficiamento da matéria prima, em função da UF. Os dados relativos aos resíduos nos moldes da Tabela 19.

Tabela 19 - Principais impactos relacionados a cada etapa proposta na metodologia.

Etapa	Resíduo Sólido/UF
Beneficiamento do coco pós-consumo	
Corte	
Limpeza	
Prensagem	
Desfibramento	
Secagem 1	
Produção do compósito e da placa polimérica	
Homogeneização	
Secagem 2	
Extrusão	
Secagem 3	
Moagem	
Prensagem	
Total	

Fonte: Adaptado de Giannetti *et al.* (2008).

3.4 ETAPA 4

Consiste na definição do software de seleção de materiais utilizado para simular placas poliméricas com diferentes agentes de reforço, considerando os dados obtidos na etapa 2.

3.4.1 Simulação utilizando os dados do ICV via software de seleção de materiais

Fundado a partir do trabalho pioneiro de Mike Ashby, o software CES Edupack® (*Granta Material Inspiration, 2016*) consiste no conjunto de ferramentas e recursos de ensino e pesquisa que englobam o tema de materiais em áreas como engenharia, design, ciência e desenvolvimento sustentável. (CES EDUPACK, 2019).

A base de dados que comporta informações relativas a materiais e processos está dividida em diversos módulos, sendo o terceiro nível considerado como avançado, uma vez que possui dados sobre mais de 3900 materiais. Intitulada *Material Universe*, a base reúne informações acerca das características, propriedades físicas e mecânicas, finalidades, origem, e aspectos ambientais relacionados a cada material.

O software possui uma ferramenta específica de desenvolvimento de produtos denominada de Eco Audit que possibilita a aprendizagem de conceitos relacionados ao design sustentável de materiais e produtos, permitindo uma avaliação ambiental dos aspectos e impactos atrelados a produção e utilização dos produtos. (ASHBY, *et al.* 2012).

A ferramenta sintetizadora proporciona a elaboração de modelos híbridos e de materiais compósitos, levando em conta o tipo de material, a proporção utilizada, contabilizando então as propriedades físicas, mecânicas, e sustentáveis baseadas nas bases de dados disponíveis.

Avaliar o aspecto sustentável a partir dos indicadores mencionados implica na confrontação de dados. Estes podem ser obtidos diretamente pelas medições *in loco*, e, portanto, de caráter primário ou por fontes secundárias encontradas na literatura e compiladas em bases de dados como o CES EduPack.

Os dados coletados no ICV do processo de beneficiamento da FC, bem como da completa produção do compósito em escala industrial, e da produção da resina PLA, serão introduzidos na ferramenta *CES Edupack*. O programa permite a introdução de novos materiais para comparação de diversos parâmetros. Desta forma, foi realizada a introdução do montante de energia gasta para beneficiamento da FC, bem como da produção do compósito.

3.4.2 Estimativa do CO₂equivalente nas simulações diversas

A estimativa de CO₂equivalente ocorre por meio da utilização de fatores de conversão para determinada matriz energética, onde multiplica-se o consumo de energia pelo fator de conversão determinado. No caso deste trabalho utiliza-se, conforme aplicado em Anschau (2018) e Rigon (2015), o fator médio de emissões para matriz energética Brasileira, publicado mensalmente pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Especificamente, utilizou-se o valor de 0,0426 Toneladas de CO₂ por MWh de energia elétrica. (MCTIC, 2019).

4 RESULTADOS

Apresenta-se neste capítulo os diagramas de bloco quantitativos das etapas estudadas com os balanços de massa e energia, os resultados obtidos por meio do ICV, das avaliações da planilha de aspectos e impactos ambientais, e das comparações simuladas entre as placas constituídas de diferentes agentes de reforço.

4.1 BALANÇO DE MASSA E ENERGIA

Inicia-se pela quantificação em relação a UF dos fluxos de massa e energia, e posterior interpretação dos resultados, empregando assim a 4ª etapa da ACV buscando identificar as peculiaridades de cada etapa do processo produtivo e de beneficiamento dos materiais utilizados para a confecção da placa polimérica.

4.1.1 Diagramas de blocos

Os diagramas de blocos elaborados individualmente por cada etapa dos processos descritos no estudo de caso estão descritos nas figuras 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 e 45. Em cada um dos processos onde ocorre a geração de resíduos descreve-se de forma percentual o montante de resíduos gerados, bem como o percentual da massa (em base seca) de subproduto.

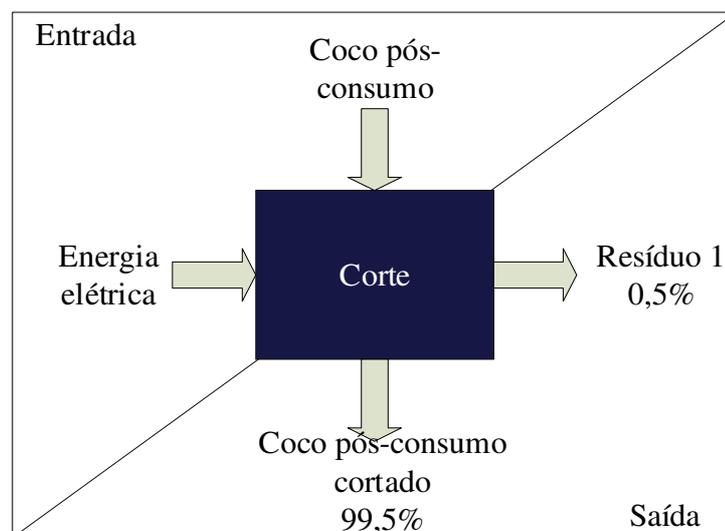


Figura 36 – Processo de Corte do coco pós-consumo.

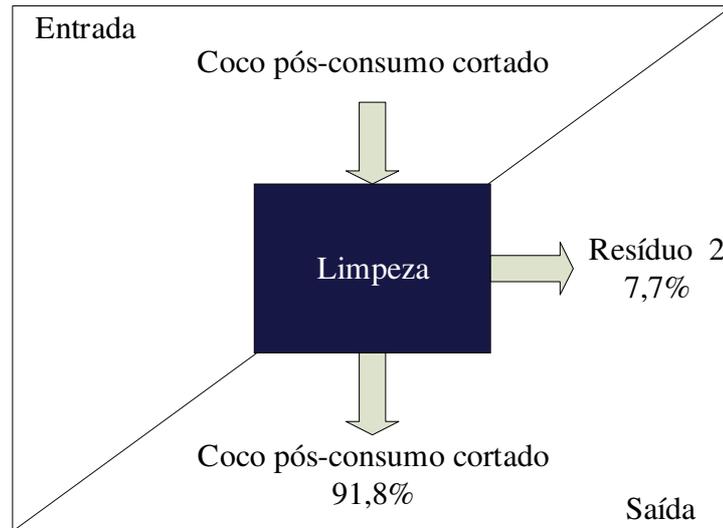


Figura 37 – Processo de limpeza das partes de coco já cortadas.

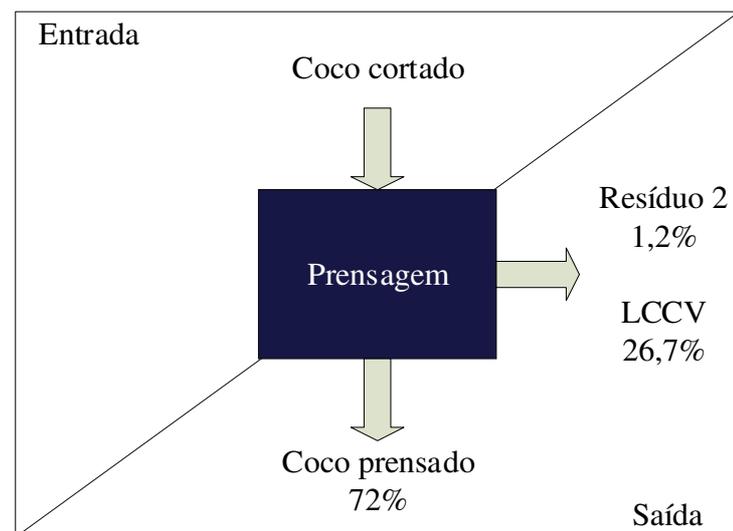


Figura 38 – Processo de prensagem manual das partes do coco.

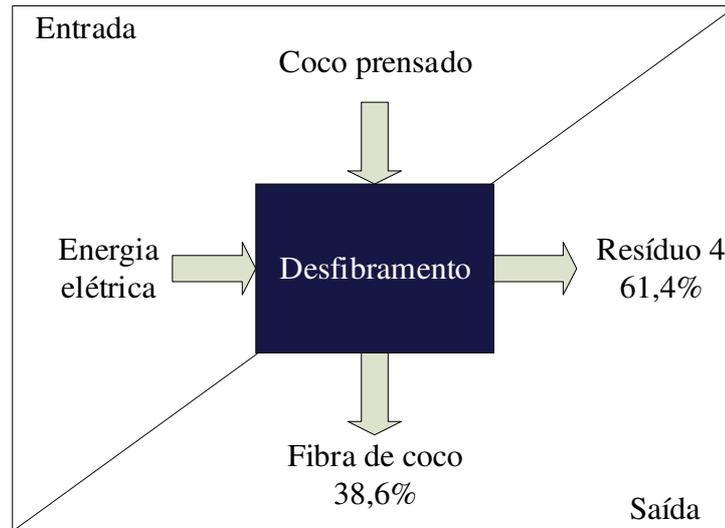


Figura 39 – Processo de desfibramento mecânico do coco prensado.

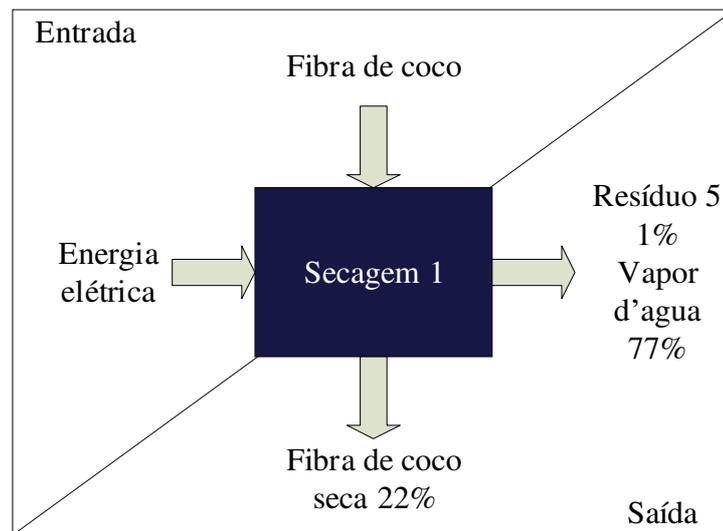


Figura 40 – Processo de secagem das FC.

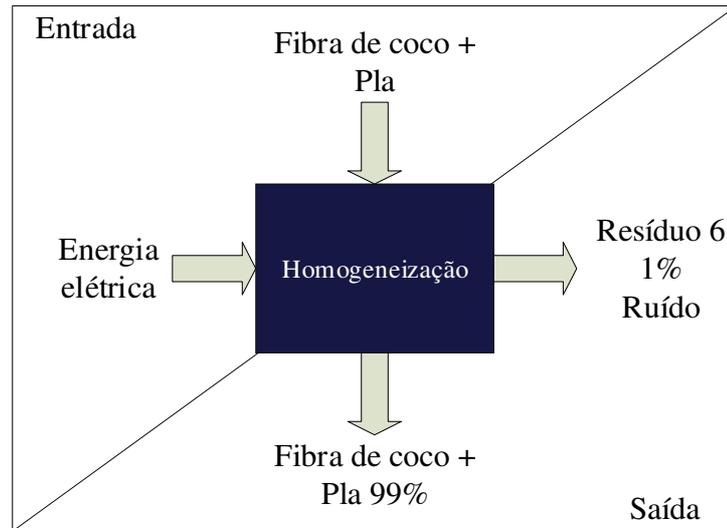


Figura 41 – Processo de Homogeneização das FC e a resina PLA.

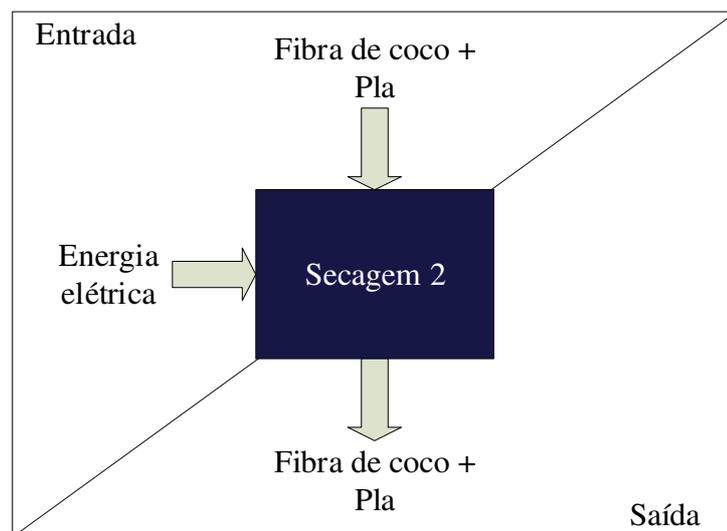


Figura 42 – Processo de secagem do material homogeneizado.

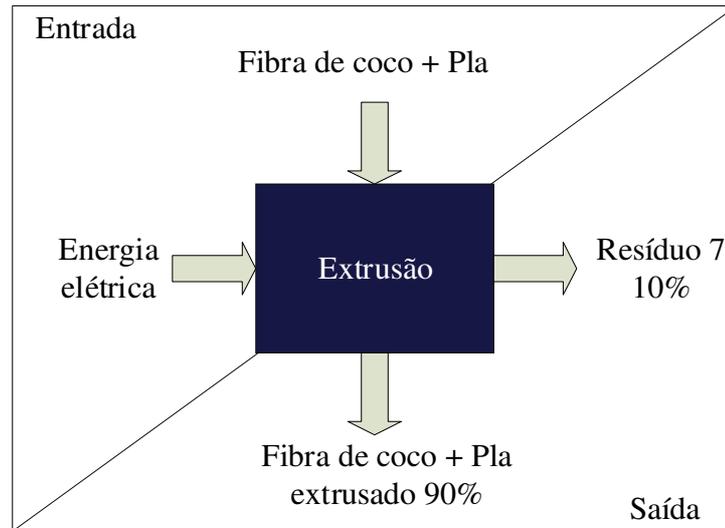


Figura 43 – Processo de extrusão da mistura de PLA e FC.

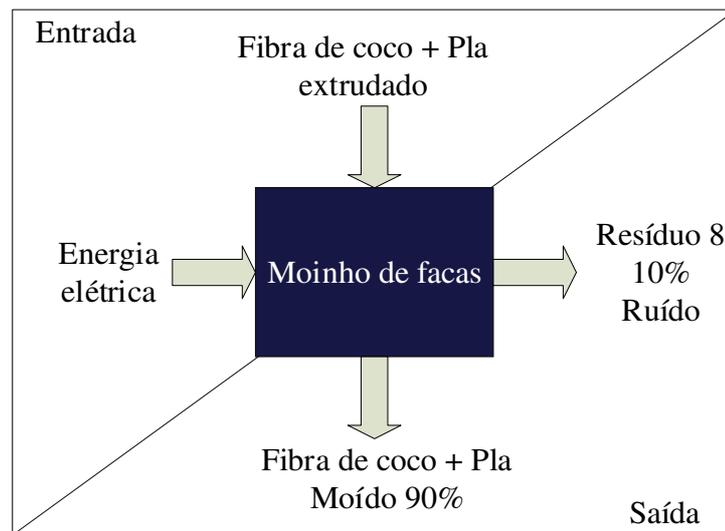


Figura 44 – Processo de moagem do material extrudado e seco.

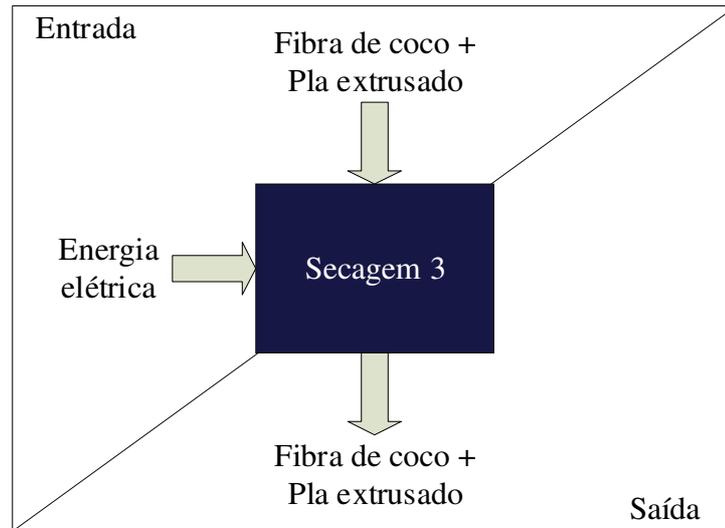


Figura 45 – Processo de secagem do material extrudado.

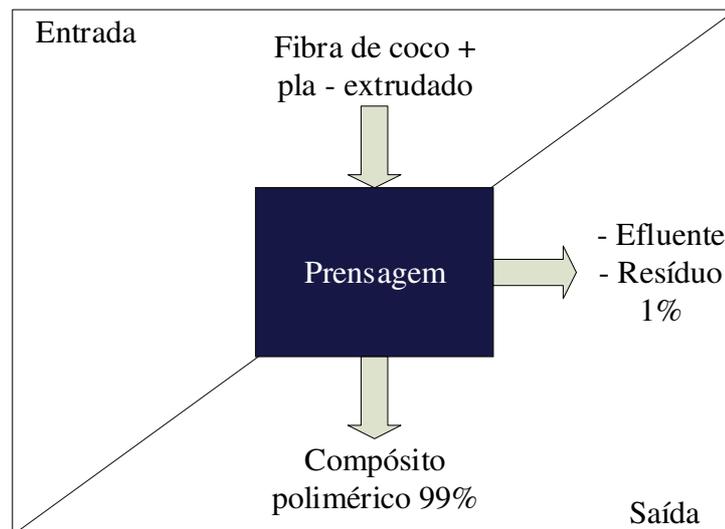


Figura 46 – Processo de prensagem para obter a placa polimérica.

4.1.2 Balanço de massa

O balanço de massa das etapas de beneficiamento do coco foi dividido em duas etapas representadas nas Tabela 20 e Tabela 21. A divisão ocorreu em virtude de que o total de 6924,8g de massa prensada não foi totalmente desfibrada. Na etapa 1 descrita na Tabela 20 realizou-se o beneficiamento de sete cocos. Os processos que englobam esta primeira etapa são os de corte, limpeza e prensagem. Já na segunda etapa do balanço de massa representada na Tabela 21 quantificou-se os processos de desfibramento e secagem.

Tabela 20 – Balanço de massa: Etapa 1.

	Pré-consumo	Retirada da água	Pós-consumo	Corte dos cocos e retirada da copra*	Pré-prensagem	Pós-prensagem		
Coco	Massa (base seca) [g]	Água de coco [g]	Massa [g]	Copra + casquilhos [g]	Massa [g]	LCCV [g]	Resíduo de casquilhos [g]	Massa de coco prensada [g]
1	1902,4	400,5	1501,9	142,2	1359,7	333,3	15,0	1011,4
2	1945,9	415,3	1530,6	155,7	1375,0	465,9	10,1	899,0
3	1963,9	476,0	1487,9	126,3	1361,6	335,2	22,9	1003,5
4	1925,3	537,0	1388,3	74,0	1314,3	292,7	33,3	988,4
5	2007,2	407,3	1599,9	144,7	1455,3	493,1	11,4	950,7
6	2032,0	519,8	1512,2	88,3	1423,9	245,3	16,2	1162,4
7	1845,5	391,7	1453,8	129,8	1323,9	405,1	9,4	909,4
Total:	13622,2	3147,6	10474,6	861,0	9613,7	2570,6	118,3	6924,8
%/Total**	-	-	100,0	8,2	-	24,5	1,1	66,1

*O resíduo proveniente da etapa de corte dos sete cocos foi pesado, dividindo-se o montante pelo total de cocos e adicionando ao resíduo proveniente da retirada da copa.

**Os percentuais calculados são relativos ao total da massa (base seca) de coco pós-consumo.

Tabela 21 – Balanço de massa: Etapa 2.

Lote	Desfibrador			Secagem 1			
	Entrada	Saída		Entrada	Saída		
	Coco Prensado [g]	Fibra [g]	Pó [g]	Fibra [g]	Fibra seca [g]	Particulado [g]	Vapor d'água
A	391,3	152,5	238,8	152,5	35,2	3,6	113,7
B	376,1	127,1	249,0	127,1	27,6	3,1	96,4
C	416,9	145,7	271,2	145,7	34,5	2,8	108,4
D	300,0	107,1	192,9	107,1	23,3	1,2	82,6
E	304,0	157,8	146,2	157,8	33,5	2,5	121,8
F	303,2	138,7	164,5	138,7	26,3	2,7	109,7
G	301,6	94,9	206,7	94,9	25,0	4,2	65,7
Total	2393,1	923,8	1469,3	923,8	205,4	20,1	698,3
%/processo	100,0	38,6	61,4	100,0	22,2	2,2	75,6
%/total*	100,0		61,4		8,6	0,8	29,2

*Os percentuais calculados são relativos ao total da massa dos lotes de coco prensado.

Tabela 22 – Balança de massa: Etapa 3.

	Homogeneizador			Extrusão			Moinho de Facas		
	Entrada	Saída		Entrada	Saída		Entrada	Saída	
	PLA + FC [kg]	PLA + FC Homogeneizado [kg]	Particulado [kg]	PLA + FC Homogeneizado [kg]	PLA + FC Extrudado [kg]	Material preso ao equip. [kg]	PLA + FC Extrudado [kg]	PLA + FC Moído	Material preso ao equipamento [kg]
	2,0	1,98	0,02	1,0	0,9	0,1	4,0	3,6	0,4
%/processo	100,0	99,0	1,0	100,0	90,0	10,0	100,0	90,0	10,0

	Prensagem da placa		
	Entrada	Saída	
	PLA + FC moído e extrudado[kg]	Placa polimérica [kg]	Rebarbas [kg]
	0,150	0,150	0,0015
%/processo	100,0	99,0	1,0

*Continuação da Tabela 22.

Tabela 23 – Normalização do percentual dos resíduos e FC pelo total de coco pós-consumo beneficiado.

	Pós-consumo [g]	Resíduos do processo de Corte e Limpeza	Prensagem		Desfibramento	Secagem		Vapor d'água
			LCCV [g]	Resíduo de casquilhos [g]	Pó [g]	Fibra seca [g]	Particulado [g]	
Total:	10474,6	861,0	2570,6	118,3	4251,6	594,4	58,2	2020,6
%/total	100,0	8,2	24,5	1,1	40,6	5,7	0,6	19,3

A partir dos dados relacionados nas etapas 1 (Tabela 20) e 2 (Tabela 21) do balanço de massa representa-se na Tabela 23 os valores das massas dos resíduos gerados em relação a quantidade inicial de massa de coco pós-consumo que foi beneficiada.

As quantidades de resíduos resultantes em cada etapa de processamento, seja do beneficiamento do coco pós-consumo, bem como do processo de produção do compósito e da placa polimérica conforme a descrição do estudo de caso, por meio da pesagem dos materiais e seus subprodutos, e após a normalização em relação às quantidades totais estão representados na Tabela 24.

Tabela 24 - Quantidade de resíduos sólidos provenientes nas etapas de processamento e da produção dos materiais.

Processos	kg _{resíduo} /kg _{material}
Resíduos para obtenção da FC	13,20
Corte	0,08
Limpeza	1,36
Prensagem	4,52
Desfibramento	7,15
Secagem	0,09
Resíduos para produção do compósito e da placa polimérica	0,206
Homogeneização	0,01
Secagem 2	-
Extrusão	0,099
Secagem 3	-
Moagem	0,089
Prensagem	0,008
Total de Resíduo por kg de placa polimérica (10% FC) + processamento.	1,526

Pode-se abstrair da Tabela 24 que o beneficiamento do coco pós-consumo gera 13,20kg de resíduos para cada 1kg de FC seca. Em outras palavras, isso significa, já considerando os dados da Tabela 23, que as FC representam 5,7% da massa inicial de coco pós-consumo beneficiado. Este percentual está alinhado aos 7,5% encontrados por Pimentel *et al.* (2010). A diferença pode consistir no teor de umidade, já que a massa da FC seca é menor se comparada

com a maior teor de humidade, e que nos estudos de Pimentel *et al.* (2010) o processo de secagem foi somente ao sol.

Ainda na análise das etapas de beneficiamento do coco verde pós-consumo, o processo de prensagem, no qual é resultante o LCCV e pequenas partículas da copra, representa 25,6% do total dos resíduos gerados no beneficiamento. A partir dos ensaios realizados pelo grupo do projeto de beneficiamento de coco verde pós-consumo foi possível verificar que o pH do LCCV é de 5,7. Mattos *et al.* (2011a) determinaram o mesmo parâmetro encontrando 5,02.

O percentual de 76,89% de massa da casca de coco verde pós-consumo em relação à massa total do fruto, é semelhante, mas inferior à faixa amostral de 80 a 85% encontrado por ROSA *et al.*, (2001a).

Mattos *et al.* (2011a), afirmam que o percentual entre fibras e pó após trituração e separação é de 30 e 70% respectivamente. Neste trabalho, os percentuais encontrados foram de 38,6 e 61,4%. Neste caso, as diferenças podem estar relacionadas ao equipamento utilizado, já que o desfibrador do NUCMAT possui sistema de trituração e prensagem com especificidades diferentes, como por exemplo uma malha de peneiramento maior.

Dentre as oportunidades já existentes ao pó de coco, podem ser citados os empregos como matéria prima para substrato agrícola conforme proposto por Rosa *et al.* (2001a). Contudo, é ainda necessário verificar a viabilidade destas novas etapas de beneficiamento inerentes a transformação do resíduo em matéria prima.

Já para as etapas de produção do compósito e da fabricação da placa polimérica constituída por 10% de FC, obtêm-se que são gerados 0,206 kg de resíduos por perdas de materiais nos equipamentos. Do montante dos resíduos gerados, 48,06% são oriundos da extrusora, onde o material fica “colado” às paredes quando fundido, e 43,20% no moinho de facas. A quantidade representada pelo processo de homogeneização se refere às pequenas partículas de “poeira” da mistura de coco e PLA. Já o resíduo resultante da prensagem no processo de moldagem, que corresponde a 3,9% dos resíduos gerados é constituído pelo material fundido que “vaza” entre as placas, sendo caracterizado como rebarba da placa.

Finalmente, plotou-se no Gráfico 1 em termos percentuais os valores de massas de resíduos gerados em cada etapa de processamento, considerando os dados das Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22. Não foram consideradas as emissões de vapor d’água. É possível abstrair do Gráfico 1 que o desfibramento se destaca como processo gerador de resíduo, e isso em formato de pó. Prensagem aparece com significativa proporção na medida em que representa a fase da separação entre conteúdo de casca de coco e LCCV. Extrusão e moinho de facas representam a

ineficiência dos equipamentos, na medida em que os resíduos são os próprios materiais grudados nas paredes dos equipamentos.

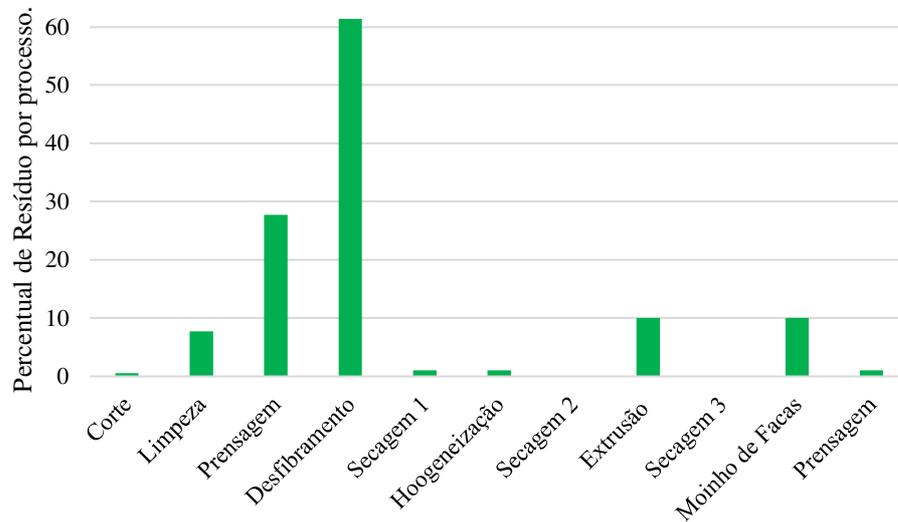


Gráfico 1 – Percentual de massa de resíduo por processo analisado considerando todas as etapas analisadas no estudo de caso.

A Tabela 25 reúne os dados das quantidades de resíduos sólidos provenientes de cada etapa dos processos necessários à obtenção da FC, produção do compósito e da placa polimérica, considerando os dados UF: 15g de FC e 135g de resina de PLA.

A etapa do beneficiamento do coco pós-consumo é responsável por 88,2% do montante de resíduos gerados para cada UF, onde especificamente no processo de desfibramento, que corresponde a 47,8% do total é originado o pó, na etapa de prensagem, que equivale a 30,2% é derivado o LCCV, e na etapa de limpeza que constitui 9,1% de copra. Secundariamente, as etapas de corte e secagem somam 1,1%.

A análise das etapas relativas à produção do compósito e da produção da placa permite concluir que os processos de extrusão e moagem são responsáveis por 5,6% e 5,4% dos resíduos gerados na produção da UF. Em ambos os casos, os resíduos equivalem as perdas de material nas partes internas dos equipamentos. As etapas de homogeneização e prensagem do compósito somam 1,1%.

Tabela 25 – Resíduos sólidos por UF

Etapa	g Resíduo Sólido/UF	%
Beneficiamento do coco pós-consumo		
Corte	1,2	0,5
Limpeza	20,4	9,1
Prensagem	67,8	30,2
Desfibramento	107,2	47,8
Secagem 1	1,35	0,6
Produção do compósito e da placa polimérica		
Homogeneização	1,35	0,6
Secagem 2	-	
Extrusão	13,37	5,6
Secagem 3	-	
Moagem	12,02	5,4
Prensagem	1,1	0,5
Total	224,4	100%

4.1.3 Balanço energético

Os dados obtidos pelas medições e quantificações do balanço energético foram descritos na Tabela 26. Cabe destacar que no processo de moldagem das placas a quantificação se deu em duas etapas. Uma considerando o aquecimento do composto polimérico para que após a fusão pudesse adquirir o formato da matriz, e outra considerando a prensagem das placas, considerando o trabalho de 2,9W do motor.

Tabela 26 – Dados do balanço de energia dos processos.

Equipamento/processos	I (A)	U (V)	P _e (W)	t (h)	Quantidade de material (kg)	Wh/kg	MJ/kg	Confiabilidade dos dados
Serra-Fita - Corte	4,2	220,0	924,0	0,078	10,47	6,8	0,025	2
Prensa manual*	0	0	0,0	0,000	0,00	0	0,000	-
Desfibrador	6,72	220,0	1478,4	0,350	2,39	216,2	0,778	2
Estufa - Secagem 1	9,0	220,0	1980,0	6,000	0,92	12859,9	46,3	2
Homogeneizador - Homogeneização	5,1	380,0	1938,0	0,117	2,00	113,05	0,41	2
Estufa - Secagem 2	9	220,0	1980,0	12,000	2,00	11880	42,8	2
Extrusora - Extrusão	x	x	16,6	1,000	1,00	16587,9	59,7	2
Estufa - Secagem 3	9,0	220,0	1980,0	12,000	3,06	7764,7	27,95	2
Moinho de facas - Moagem	11,7	380,0	4446,0	0,250	3,60	308,7	1,1	2
Prensa - Moldagem	x	x	10982,8	0,083	0,15	6101,6	21,96	2
	x	x	3,0	0,017	0,15	0,33	0,001	

*Os valores relacionados a prensa manual aparecem zerados tendo em vista a não utilização de energia elétrica para o procedimento. Como o intuito é calcular a EE, não consta o valor de massa nessa tabela.

4.1.3.1 Análise do consumo energético do beneficiamento da FC

Primeiramente cabe realizar a análise do perfil energético das etapas de beneficiamento da FC. A EE obtida para a FC é de 47,09 MJ/kg se somados os processos de corte, prensagem manual, desfibramento e secagem 1. Notadamente o processo de secagem das fibras, que representa 98,3% do consumo energético da etapa de beneficiamento do coco pós-consumo, requer atenção especial para que se proponha uma operação que possibilite a redução no consumo de energia elétrica, bem como das emissões de CO₂.

Uma das alternativas, proposta por Verma e Gope (2015), seria a secagem do material à sombra. Mattos *et al.* (2011a), sugerem a secagem das fibras ao sol, observando que as FC não devem passar a noite expostas à céu aberto para não serem umidificadas pelo orvalho. A exposição das FC em ambientes abertos e arejados pode contribuir para a redução do tempo de secagem em estufa, mas pode esbarrar na inexistência de espaços adequados. Certamente, optar pela exposição das FC ao sol dependerá também da localização da unidade de beneficiamento, considerando as características climáticas de cada região, já que segundo Carrijo, Liz e Makishima (2002), as fibras devem passar pela secagem ao sol por cerca de 4 dias, ou até atingirem umidade entre 15 e 20%.

A etapa de desfibramento da FC verde pós-consumo correspondeu a cifra de 1,65% do montante de energia despendida no beneficiamento. O estudo permitiu verificar empiricamente que, considerando as dimensões do equipamento construído para o projeto, a quantidade de material interposta que permitia o seu funcionamento de forma não intermitente era de aproximadamente 300g, e que eram necessários ao menos 3 min para uma boa separação entre as FC e o pó.

A etapa de corte apresenta-se praticamente desprezível em termos energéticos se comparada aos demais processos. O percentual não alcança valores maiores uma vez que o consumo energético é dividido pela massa total dos frutos pós-consumo cortados. Determinar a elongação máxima necessária das FC para determinada aplicação é parte fundamental e permite a redução de consumo energético no processo de desfibramento, isto porque, quanto menores as dimensões do material de coco verde pós-consumo introduzido no desfibrador, representado neste trabalho pela Figura 18, menor será o tempo necessário para este processo se mantida a massa estipulada de material desfibrado em cada lote.

Ashby (2012), apresenta a EE da FC como sendo um valor entre 7,2 e 7,96 MJ/kg. Na base de dados do *software* CES Edupack, o valor encontrado para a EE da FC estaria na faixa de 9,5 e 10,5 MJ/kg.

Freire (2015), realizou um estudo de ACV de painéis obtidos a partir da casca de coco verde. De acordo com os dados do ICV elaborado no estudo, e considerando que o beneficiamento do coco verde pós-consumo é realizado a partir da prensagem e trituração em um equipamento como o da Figura 3, composto por um rolo de facas fixas onde o material é triturado, rolos horizontais para a prensagem e separação do LCCV do material já triturado, e após, turbilhamento na máquina classificadora para separação da FC e do pó, passando a fibra ainda **por secagem ao sol** e posterior secagem em estufa para preparação ao processo de prensagem do painel pode-se determinar o valor para EE de 15,80 MJ/kg para a FC em um dos beneficiamentos realizados.

Considerando para fins de comparação com as fontes apresentadas, que as FC obtidas pelo projeto foram secas ao sol e somente preparadas por 1,5h em estufa de secagem, encontraríamos uma EE de 12,4 MJ/kg. Certamente reside na etapa de secagem a diferença entre os valores encontrados.

Cabe ainda ressaltar que o equipamento proposto pelo NUCMAT difere daquele utilizado por Freire (2015). Este realiza a trituração, prensagem, e classificação/separação, enquanto que o desfibrador somente tritura e separa o pó das fibras. Neste sentido, caberia somar o consumo energético do processo de prensagem, que no caso deste estudo é ainda manual.

Ashby (2012), aborda a confiabilidade dos dados propostos. O autor salienta que as eco-propriedades como a EE e as emissões de CO₂ diferem de propriedades mecânicas como as elétricas, térmicas, ópticas na medida em que não possuem equipamentos sofisticados, e padrões internacionais bem estabelecidos e sedimentados, que as determinam. Segundo Ashby (2012), as determinações das eco-propriedades se dão a partir de normas e procedimentos estabelecidos pela ISO 14040, no Brasil NBR 14041, ainda vagas e não facilmente aplicadas. As diferenças nos processos e equipamentos utilizados, na matriz energética da região, as dificuldades em determinar as fronteiras de análise, dentre outros, podem e contribuem para valores imprecisos. Desta forma, o autor propõe que um desvio padrão de 10% dos valores obtidos em relação aos valores tabelados seria considerado bom. Valores onde os desvios são maiores que 20% da amostra são diferentes de forma significativa.

4.1.3.2 Análise do consumo energético da UF

A quantificação dos fluxos energéticos é dada em função da UF estabelecida no trabalho. O somatório das energias despendidas no processo foi estimado pela equação 2.1, proposta no referencial bibliográfico. Os dados foram organizados na Tabela 27.

Tabela 27 - Quantificação de energia despendida em cada etapa descrita no escopo.

Etapa	MJ/UF	%
Produção do PLA*	7,48	23,9
Beneficiamento do Coco pós-consumo		
Gerenciamento	0	-
Corte	0,00028	-
Prensagem	0	-
Desfibramento	0,01	0,03
Secagem 1	0,69	2,20
Subtotal	0,70	2,23
Produção do compósito e da placa polimérica		
Homogeneização	0,06	0,20
Secagem 2	6,42	20,53
Extrusão	8,96	28,65
Secagem 3	4,19	13,40
Moinho de facas	0,17	0,54
Moldagem	3,29	10,52
Subtotal	23,09	73,84
Total	31,27	100,00

***Dado coletado na base de dados do Ces Edupack conforme referência no apêndice E.**

Os dados de consumo energético apresentados por etapa de produção do compósito, confecção da placa, beneficiamento do coco verde pós consumo, e considerando a energia despendida para a produção da resina PLA, apresentados na Tabela 27, foram plotados no Gráfico 2.

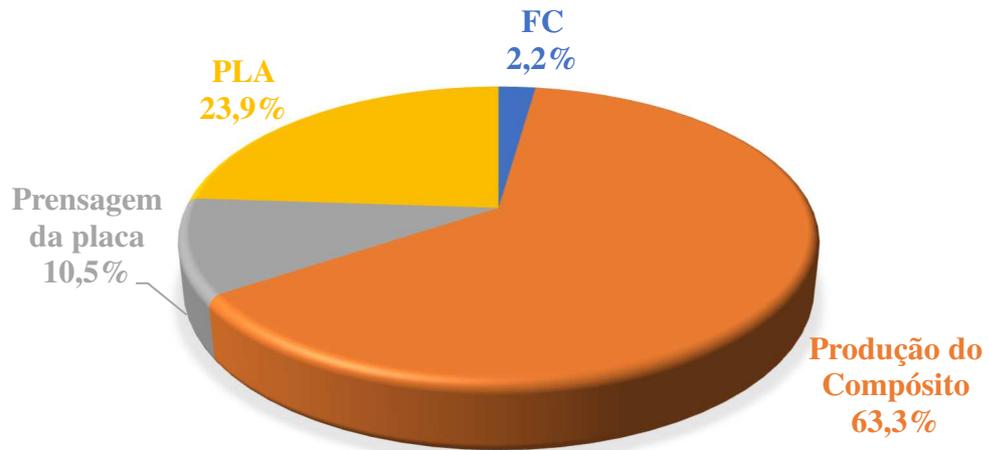


Gráfico 2 – Balanço energético aborçando as matérias-primas FC, PLA e as etapas de produção do compósito e da produção da placa polimérica.

A análise permite verificar que a etapa de produção do compósito aparece como sendo a de maior intensidade energética. Este valor pode ser explicado pela baixa eficiência da extrusora monorosca, que no estudo de caso, extrudou 1kg por hora de material, em virtude de superaquecimento interno e comprometimento dos materiais.

Considerando que a proporção de FC obtidas no processo de desfibramento corresponde a 38,6% do montante de massa de coco desfibrada, podemos estimar que, se utilizado o equipamento desenvolvido neste projeto, podem ser geradas em torno de 2,3kg de fibra não seca por hora, ou ainda, considerando 8h de funcionamento diário, 18,4kg de fibra por dia de trabalho.

É possível verificar a partir do Gráfico 3 que o processo de beneficiamento do coco verde pós-consumo, buscando a obtenção da FC que possui EE de 47,09MJ/kg, corresponde a apenas 2,97% do total de energia empregada nos processos analisados no estudo de caso, conforme demonstrado no Gráfico 3. A análise desta alíquota evidencia o processo de secagem 1 da FC como responsável pela maior parte do consumo energético.

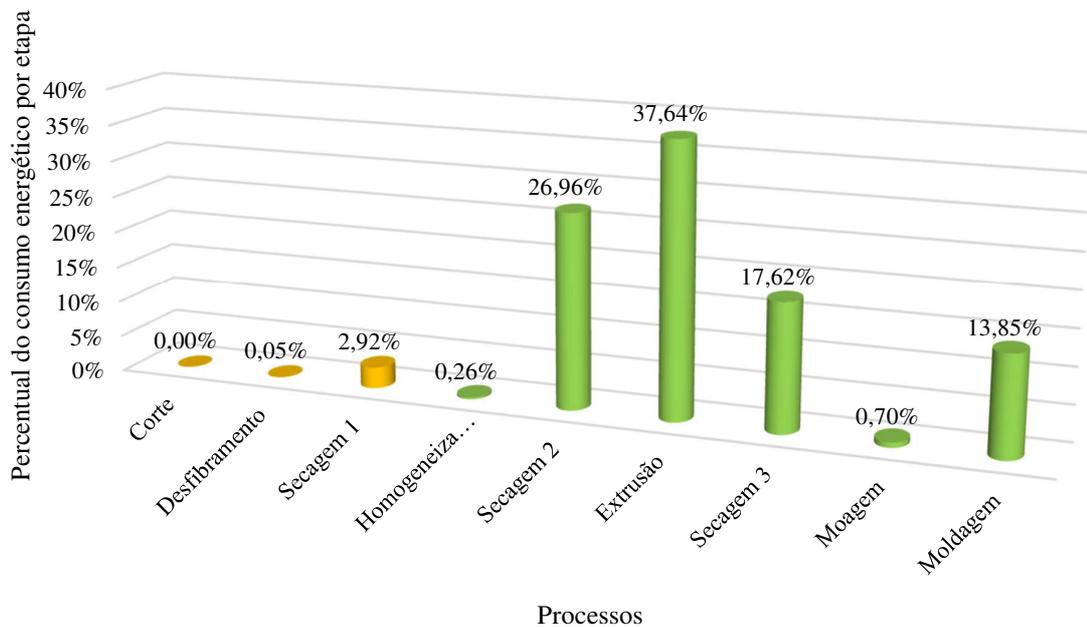


Gráfico 3 - Balanço energético com percentuais abordando as etapas de beneficiamento do coco verde pós-consumo, a produção do compósito e a confecção da placa polimérica.

A etapa de homogeneização entre a resina PLA e a FC demonstra-se reduzida na comparação com os demais processos. Tal procedimento é de suma importância para viabilizar uma adesão eficiente entre ambos os compostos.

As etapas de secagem 2 e 3 surgem novamente como influentes no gasto energético para a confecção da placa. Os índices se elevam em relação a secagem 1, pois ocorre a redução na quantidade de material dos lotes e aumento no tempo de secagem. O processo de secagem do material homogeneizado e extrudado é importante para reduzir a umidade dos compostos, e proporcionar uma melhor adesão entre a resina e o material estruturante, conforme Bledzki, e Gassan (1999). A não secagem dos compósitos nas etapas indicadas interfere diretamente nas propriedades mecânicas da placa, provocando o aparecimento de bolhas no compósito. Assim, é fundamental observar o tempo mínimo necessário para a secagem dos materiais, para além de obter a melhor condição para o processo de moldagem, diminuir substancialmente a quantidade de energia empregada nestes processos.

O processo em escala laboratorial de moldagem, segundo colocado em termos de consumo energético, demonstra-se um tanto ineficiente, já que é necessário aguardar a diminuição da temperatura de 200°C até 60°C para a solidificação do material e obtenção da placa. Para melhorar a eficiência destes processos, considerando a produção comercial da placa,

é necessário optar por demais formas de moldagem de materiais, partindo para equipamentos como injetoras.

4.2 SIMULAÇÕES NO CES Edupack

Modelou-se no software Ces Edupack sete diferentes placas poliméricas, todas elas considerando como material principal, a resina biodegradável PLA. Os sete agentes de reforço utilizados estão descritos na Tabela 28, que discrimina os valores de EE, PC, preço e a nomenclatura dos materiais na base de dados.

O parâmetro de EE considerado pelo *software* de seleção de materiais corresponde a energia necessária para a produção dos materiais a partir de minérios ou matérias-primas. O conceito é ilustrado na Figura 47, onde é esquematizado o fluxo energético da produção da resina termoplástica Polietileno tereftalato, ou ainda PET.

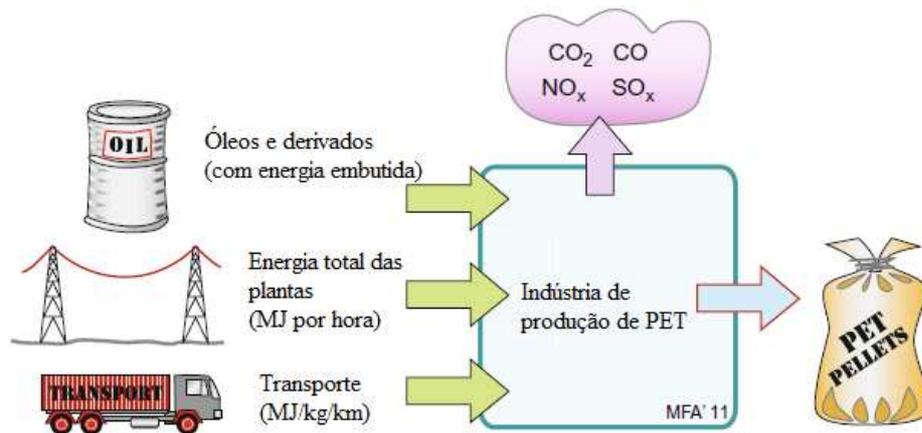


Figura 47 – Fluxo energético na produção de PET.

Fonte: Adaptado de Ashby (2012)

No caso exemplificado pela Figura 47, o parâmetro de EE equivale ao somatório das energias despendidas nos processos de fabricação internamente às indústrias, bem como as energias empregadas na extração e transporte das matérias-primas necessárias ao desenvolvimento deste material.

Como já abordado neste trabalho, a EE da UF, ou ainda da placa polimérica de matriz resina PLA reforçada com FC, considera a EE das FC a partir do seu processo de beneficiamento, desconsiderando os eventuais gastos energéticos relativos ao transporte, bem como a energia empregada nos processos de produção da placa polimérica. Tais análises e

consideração não foram realizadas no *software* Ces Edupack, e estão apresentadas no subcapítulo 4.3.

Tabela 28 – Dados dos materiais utilizados na simulação.

Materiais	CES Edupack ^(d)	EE (MJ/kg)	Emissão de CO ₂ (kg/kg)	Preço ^(c) R\$/kg
Pla	PLA (unfilled - general purpose)	52,7 – 58,1	2,7 – 2,98	10,9 – 14,3
Banana	Banana Fiber	1 - 3	0,198 – 0,22	2,97 – 4,05
Carbono	Carbon HM fiber	272 - 300	19,3 – 21,3	203,0 – 405,0
FC -UNISINOS ^(b)	na	47,09	0,56	1,0 – 2,0
Coco ^(a)	Coir Fiber	9,5 – 10,5	1,5 – 1,7	0,5 – 1,54
Juta	Jute Fiber	4 -8	2,69 – 2,9	0,502 – 1,54
Sisal	Sisal Fiber	9,5 – 10,5	1,5 – 1,7	2,89 – 4,63
Vidro	SF Glass	25,7 – 28,3	0,8 – 0,92	6,4 – 96,0

a) Dados obtidos para a FC a partir da base de dados do software.

b) Dados obtidos pelo autor após a elaboração do ICV. Observar que neste caso o valor é único, sem considerar margens de aproximação.

c) Os valores de preço consultados no programa são do dia 14 nov. 19. A cotação do dólar para real neste dia foi de R\$ 4,20.

d) As fontes dos dados apresentados e abstraídos do *software* são apresentadas no Apêndice E.

Conforme exposto na Tabela 28 o *software* Ces Edupack trabalha com margens de aproximação, ou seja, a partir das fontes de dados para os parâmetros estudados, estipula uma faixa de valores dentre os quais o valor calculado pode estar. Da mesma forma, assim o faz quando da apresentação dos resultados, já que simula os dados a partir dos valores possíveis apresentados.

As sete placas poliméricas foram elaboradas considerando-se a proporção de 90% de resina PLA para 10% de materiais de reforço. Considerou-se a disposição randômica para as fibras. Não foram considerados os gastos energéticos com os processos de produção do

compósito ou de produção da placa, com extrusão, moldagem. Os resultados das simulações que utilizam os dados descritos na Tabela 27 estão descritos na Tabela 29.

Utilizando a ferramenta de plotagem de gráficos do próprio software realizou-se as comparações das propriedades obtidas pela simulação, no Gráfico 4 e Gráfico 5.

O Gráfico 4 denota a relação entre EE e preço. Pode ser observado que destoa do grupo formado pelas FN e a fibra de vidro, a placa reforçada com fibra de Carbono. Em termos de EE a placa com fibra de carbono consome aproximadamente 37% de energia a mais que a placa reforçada com FC da UNISINOS. Já em relação aos preços verifica-se que novamente a placa reforçada com fibra de Carbono possui valor maior que as demais, sendo aproximadamente 53% mais cara que a placa com FC da UNISINOS.

Tabela 29 – Resultados das simulações no Ces Edupack.

Agentes de Reforço	Placas	EE (MJ/kg)	Emissão de CO ₂ (kg/kg)	Preço R\$/kg
Banana	PLA/Banana	47,3 – 52,7	2,43 – 2,7	10,1 – 13,3
Carbono	PLA/Carbono	82,9 – 91,9	4,99 – 5,54	37,5 – 68,6
FC – UNISINOS	PLA/FC - UNISINOS	52,5 – 58,2	2,68 – 2,97	10,8 – 14,3
Coco	PLA/Coir	48,4 – 53,8	2,58 – 2,87	9,88 – 13,1
Juta	PLA/Juta	46,9 – 52,5	2,69 – 2,99	9,67 – 12,8
Sisal	PLA/Sisal	47,7 – 52,9	2,56 – 2,85	9,97 – 13,2
Vidro	PLA/Vidro	47,6 – 52,7	2,35 – 2,61	10,0 – 29,4

*A solução representa uma faixa de valores possíveis para o resultado.

Os resultados apresentados na Tabela 29 serviram como base para a elaboração do Gráfico 4, Gráfico 5 e Gráfico 6.

O Gráfico 4 apresenta a plotagem dos dados de EE *versus* preço. É possível identificar um grande grupo, formado majoritariamente pelas placas reforçadas com FN, como já era esperado, tendo em vista a pesquisa bibliográfica onde diversos autores, tais como Zang *et al.* (2017), Sun *et al.* (2017) manifestam as excelentes possibilidades de uso das FN, se considerado seu aspecto sustentável.

A placa polimérica reforçada com fibra de Carbono é claramente mais dispendiosa energeticamente, e economicamente.

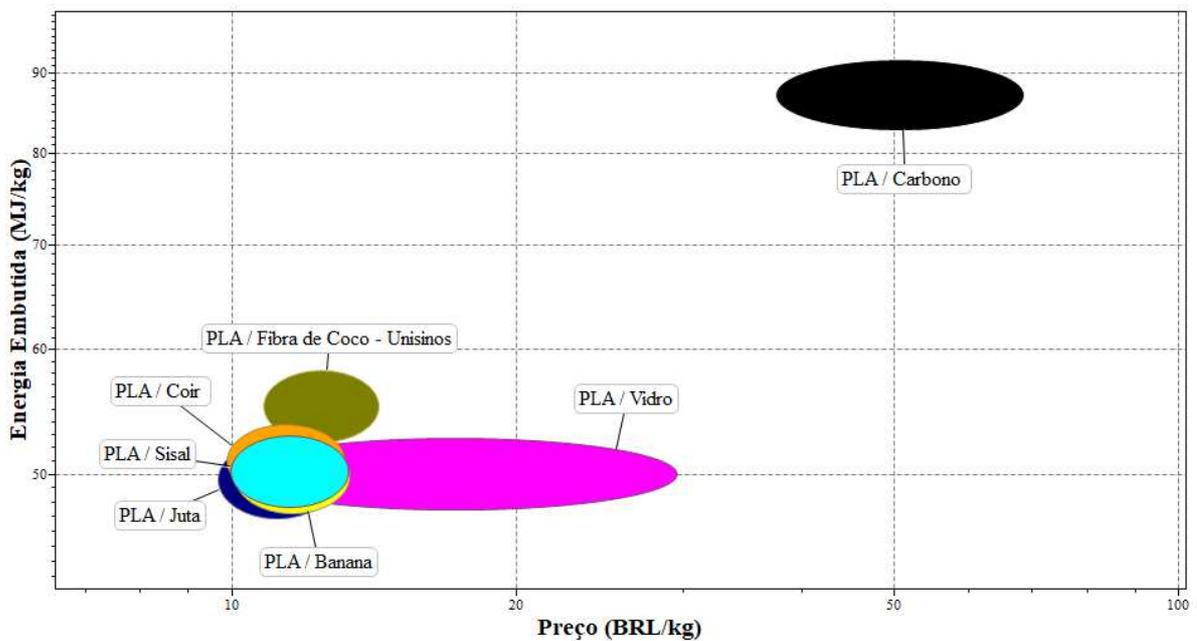


Gráfico 4 – EE x Preço.

O Gráfico 5 traz os dados para a plotagem de EE *versus* PC. Novamente, pelo caráter proporcional entre as emissões de CO₂ consumo energético, nota-se que o grande grupo formado pelas placas reforçadas com FN e fibra de vidro contribui de forma menor às emissões de CO₂ em comparação a placa reforçada com fibra de Carbono. Especificamente, a placa de Carbono emite aproximadamente 186% a mais de CO₂.

Já o Gráfico 6 apresenta a plotagem da EE *versus* Módulo de Young, também denominado de módulo de elasticidade. De acordo com os estudos de Ashby e Johnson (2011), os sólidos são formados por ligações atômicas. Tais ligações podem ser imaginadas como pequenas “molhas” que conectam os átomos. Em um sólido no qual seja difícil de estirar essas molhas, podemos considerá-lo como rígido, e terá um módulo de elasticidade superior ao material que possui maior facilidade no estirar de suas conexões, como polímeros. Este módulo permite verificar se um material é adequado para determinada aplicação, onde flexões para determinadas tensões não sejam desejadas.

Assim, utilizou-se para o cálculo do Módulo de elasticidade da placa de matriz PLA reforçada com FC os dados provenientes dos trabalhos de Jang *et al.* (2012), Sujaritjun *et al.* (2013). Nos dois trabalhos citados os autores realizaram ensaios para averiguar dentre outras propriedades mecânicas o módulo de elasticidade. Observou-se que ambos os trabalhos utilizaram o método de moldagem por compressão para fabricação das placas, e consideraram também nos testes as fibras sem tratamento químico.

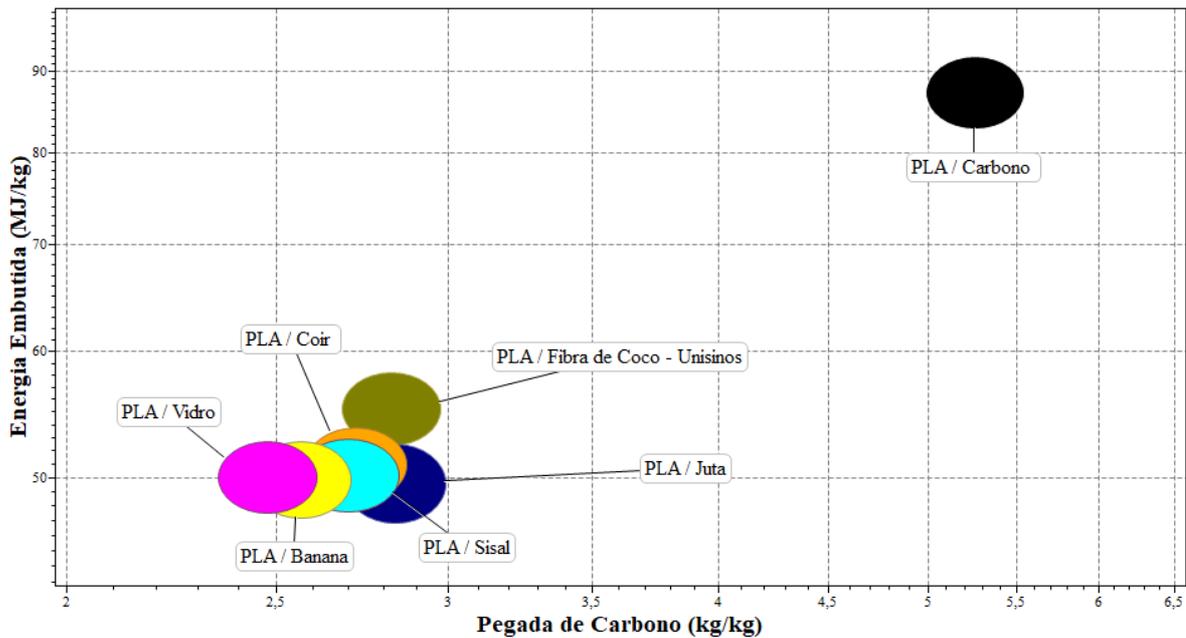


Gráfico 5 – EE x Emissões de CO₂.

A implementação dos dados permitiu verificar no Gráfico 6 que a placa reforçada com FC, seja a do referencial já explicitado, ou ainda a do próprio *software* possuem comportamento semelhante, e menor se comparado aos demais materiais. A placa reforçada com fibra de Carbono destoa do grupo principal se considerados os dois parâmetros apresentados, EE e módulo de elasticidade. Resta claro que para aplicações onde sejam requeridos maiores valores para o módulo de elasticidade as placas reforçadas com FN, de vidro, não são indicadas. Contudo, se consideradas as circunstâncias de utilização da UF, onde não são necessários altos valores para o módulo estudado, a utilização de um material como a fibra de Carbono implica em gasto energético e econômico desnecessário.

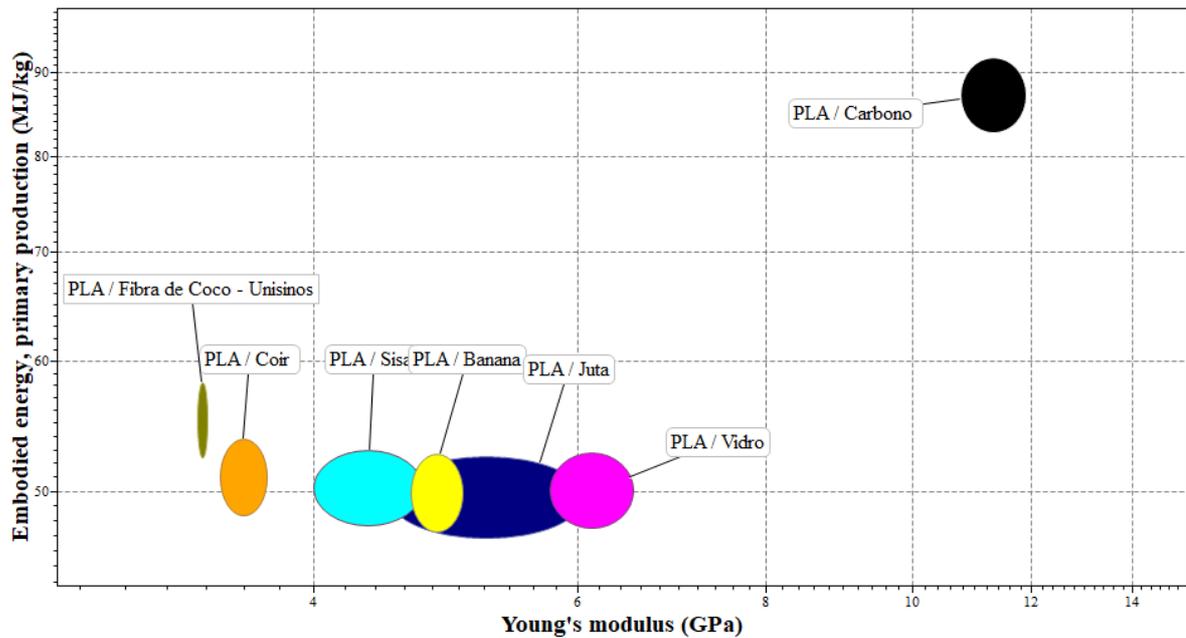


Gráfico 6 – EE x Módulo de Young.

4.3 SIMULAÇÕES DIVERSAS

No intuito de verificar o perfil energético de placas poliméricas de PLA reforçadas com diferentes materiais estruturantes, quais sejam, FC, de vidro e de carbono, optou-se por realizar simulações na qual seja possível realizar a comparação em termos de energia considerando os dispêndios energéticos nos processos de fabricação do compósito e de fabricação das placas, processos não compreendidos nas simulações que foram realizadas no CES Edupack., em virtude da não possibilidade de implementação dos dados dos processos em escala laboratorial deste trabalho.

Foram utilizados os dados de energia e emissão de carbono dos materiais coletados no Ces Edupack para as fibras de vidro, carbono e PLA conforme descrito na Tabela 30. Considerou-se o dado da EE da FC produzida na UNISINOS a partir do ICV deste trabalho.

Considerou-se o montante de energia empregado na fabricação da placa, conforme a descrição do estudo de caso, idêntica para as três placas.

Tabela 30 – Dados de EE e PC utilizados nas simulações.

Agentes de Reforço	EE (MJ/kg)	Emissão de CO ₂ (kg/kg)
FC - UNISINOS	47,09	0,56
Carbono	286	3,38
Fibra de Vidro	27	0,32
PLA	55,4	0,66
Processamento	23,09	0,27

Assim, considerando os resultados das simulações apresentados na Tabela 30, em termos percentuais as simulações foram plotadas nos Gráfico 7, Gráfico 8 e Gráfico 9, de onde se conclui que as placas reforçadas com fibra de vidro e FC da UNISINOS se assemelham em perfil energético, já que a EE de ambos os materiais é próxima. Já em relação a placa de fibra de carbono, nota-se que as placas reforçadas com FC ou vidro possuem aproximadamente 10% a menos de EE que a placa reforçada com fibra de carbono.

Tabela 31 – Resultados das simulações.

Agentes de Reforço	Placas	EE (MJ/kg)	Emissão de CO ₂ (kg/kg)
Carbono	PLA/Carbono	34,86	0,41
FC- UNISINOS	PLA/FC - UNISINOS	31,28	0,37
Vidro	PLA/Vidro	30,97	0,36

EE - Placa PLA + Vidro

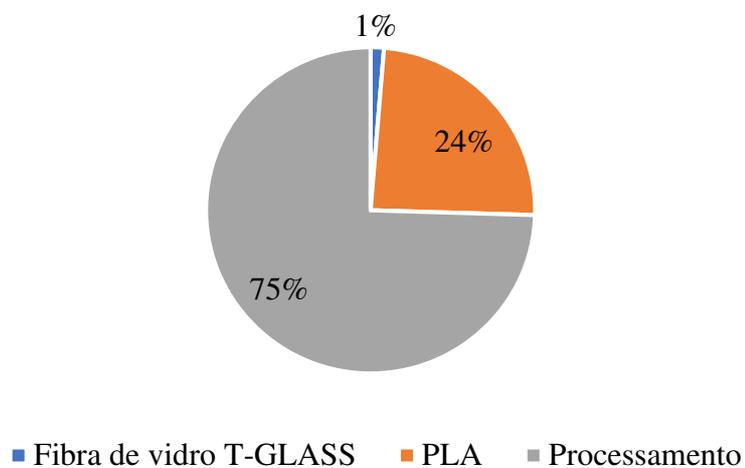


Gráfico 7 – EE: Placa PLA + Fibra de vidro.

EE - Placa PLA + Coco

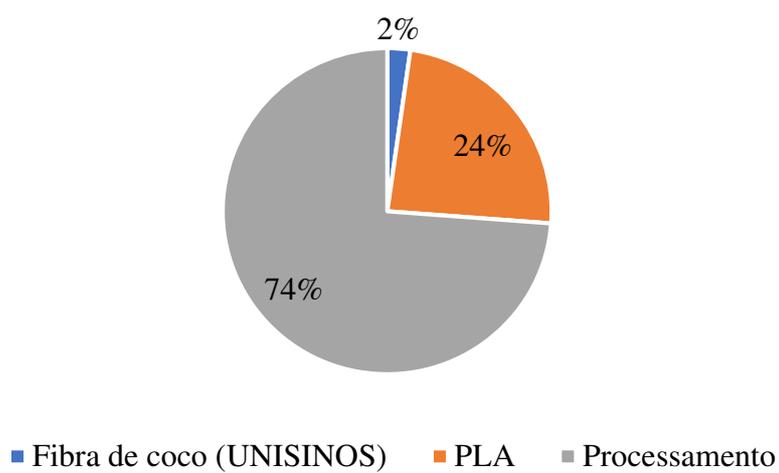
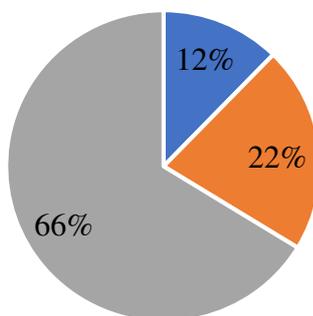


Gráfico 8 – EE: Placa PLA + FC.

EE - Placa PLA + Carbono



■ Fibra de carbono (CARBON HM FIBER) ■ PLA ■ Processamento

Gráfico 9 – EE: Placa PLA + Fibra de Carbono.

Para determinar as emissões de CO₂ das três placas plotadas acima utilizou-se a metodologia similar a utilizada por Rigon (2015) e Anschau (2017). Os autores fizeram uso do fator de conversão de emissões de carbono por unidade de energia elétrica, ambos considerando a matriz energética brasileira. O fator de conversão utilizado equivale a 0,0426 Toneladas de CO₂ por MWh de energia elétrica. (MCTIC, 2019).

Verifica-se que as placas fabricadas com FC e vidro emitem aproximadamente 6 e 10,5 vezes menos de CO₂ respectivamente, do que a placa de fibra de Carbono, conforme o Gráfico 10.

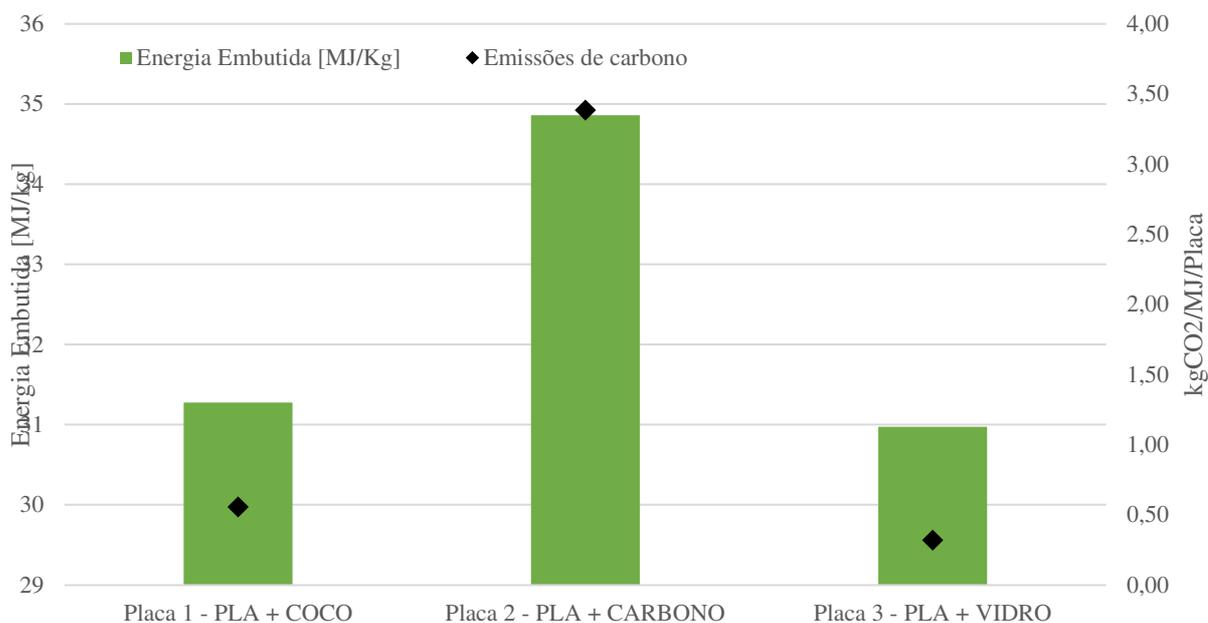


Gráfico 10 – EE e Emissões de CO₂ das placas.

4.4 AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Neste subcapítulo analisa-se os resultados pertinentes a avaliação ambiental realizada no trabalho.

4.4.1 Sugestões acerca da metodologia da planilha de aspectos e impactos

Após encaminhar a planilha de aspectos e impactos ambientais para a avaliação dos especialistas, verificou-se que vários destes pontuaram e sugeriram complementações e modificações. Estas sugestões foram então realizadas e estão descritas na Tabela 32.

Tabela 32 – Sugestões dos especialistas acerca da metodologia da planilha de aspectos e impactos ambientais.

Especialista	Sugestões acerca da metodologia da planilha
AI	Considerou que o sistema de gestão ambiental (SGA) proposto está baseado na versão atualizada da ISO 14.001, e, portanto, deve considerar requisitos como: impactos de emergência ou risco; abordagem do ciclo de vida e planos de mitigação dos impactos ambientais.
AII	Pontuou deficiências de informação nos fluxos propostos, como distância de transporte inicial e final, impossibilitando a avaliação do critério de abrangência; sugeriu a mudança de nomenclatura do resíduo no processo de prensagem; questionou acerca das emissões de vapor d'água nos processos de secagem, extrusão e prensagem.
AIII	Questionou acerca das emissões de vapor d'água nos processos de secagem;
AIV	Verificou equívocos na atribuição de aspectos e impactos abordados; sugeriu a mudança de nomenclatura de resíduo; apontou que não estaria estabelecido o lapso temporal para o critério de frequência;
AV	Observou que o termo impacto ambiental se refere tanto às influências negativas quanto positivas, e portanto, considerando os critérios definidos na planilha para a avaliação dos processos, o correto seria denominar expressamente a avaliação de impactos ambientais negativos; salientou a importância de considerar-se os impactos positivos, já que é função de qualquer atividade empresarial produtiva promover impactos positivos ao meio ambiente, trabalhando na esfera da prevenção à correção; sugeriu a troca da nomenclatura do critério risco para situação, passando a denominar os níveis de avaliação em normal, anormal e emergência; sugeriu a utilização de um fator de conversão na fórmula que determina a significância, simplificando a constatação dos níveis de significância de cada impacto ambiental, já que os valores estariam na faixa de 0 a 100.

As modificações realizadas na planilha a partir dos apontamentos realizados e descritos na Tabela 32 foram compiladas na Tabela 33.

Tabela 33 – Modificações realizadas a partir das sugestões dos especialistas.

Especialista	Modificações realizadas
AI	<p>Como requisitos de Emergência ou risco incluiu-se o critério de emergência:</p> <p>Classificação - Descrição – Pontuação</p> <p>a) Normal - Relativos à rotina operacional - 1</p> <p>b) Anormal - Associados a operações não rotineiras (reforma de instalações, parada de processos, alterações em rotinas por motivo específico) -2</p> <p>c) Risco - Associados a situações de risco (acidentes, colapso de estruturas, equipamentos ou instalações, falha operacional, manifestações da natureza, etc.) inerentes a atividade, que possam causar impactos ambientais – 3</p> <p>Em relação a abordagem relativa a perspectiva do ciclo de vida: Incluiu-se as etapas de pré-produção, transporte pré-produção, etapas pós-produção, e transporte pós-produção.</p> <p>Em relação ao plano de mitigação de impactos: Incluiu-se uma coluna de observações, onde o avaliador pode sugerir alternativas de mitigação para cada impacto.</p>
AII	<p>Assumiu-se a distância de 100km considerando o relatório técnico publicado no decorrer do projeto.</p> <p>Alterou-se a nomenclatura de água potável para efluente.</p> <p>Considerou-se a emissão de vapor de água nas etapas de secagem, extrusão e prensagem.</p>
AIII	<p>Já abordado no item iii) do avaliador A2.</p>

AIV	<p>Reavaliou-se o aspecto definido como Uso da terra. Observou-se ainda que emissões afetam a qualidade do ar, e portanto, este impacto deveria estar atrelado aos aspectos de emissões;</p> <p>Alterou-se a denominação do resíduo 6 de “poeira” para material particulado;</p> <p>Definiu-se para fins de análise de frequência o lapso temporal de 1 semana;</p>
AV	<p>Modificou-se a nomenclatura da planilha para avaliação dos potenciais impactos ambientais negativos; utilizou-se o fator de conversão para facilitar a compreensão dos resultados de significância;</p>

4.4.2 Avaliações dos processos

A planilha de aspectos e impactos ambientais avaliada pelos especialistas sofreu uma série de modificações ao longo de seu planejamento conforme já detalhado na etapa 4.4.1. O Gráfico 11 reúne os resultados de significância, considerando as faixas estabelecidas na Tabela 17, e obtidos a partir da quantificação dos dados preenchidos pelos entrevistados.

Os impactos ambientais que constituíram a versão da planilha encaminhada aos especialistas estão descritos a seguir: Potencial de aquecimento global (1); Acidificação (2); Eutrofização (3); Depleção da Camada de Ozônio (4), Alteração da qualidade do solo (5), Escassez Hídrica (6), Depleção de Recursos Minerais Fósseis (7), Poluição Sonora (8), Alteração da qualidade das águas (9), Alteração da qualidade do ar (10).

Como pode ser verificado no Gráfico 11 o desvio padrão dos resultados é altíssimo. Isto sugere alta subjetividade de avaliação já apontada por Sánchez (2006).

Comparando as avaliações realizadas pelos entrevistados verifica-se semelhança das avaliações entre os entrevistados EIV e EV, e entre os entrevistados EI e EIII. Ambas as avaliações foram representadas nos Gráfico 12 e Gráfico 13. É interessante destacar que os entrevistados que realizaram avaliações semelhantes possuem formação acadêmica também semelhante. Os entrevistados EIV e EV possuem doutorado em engenharia de materiais, mestrado em engenharia, bem como graduações correlacionadas. Já os entrevistados EI e EIII possuem graduação em engenharia ambiental. A semelhança entre as avaliações pode indicar a causa na formação acadêmica também semelhante.

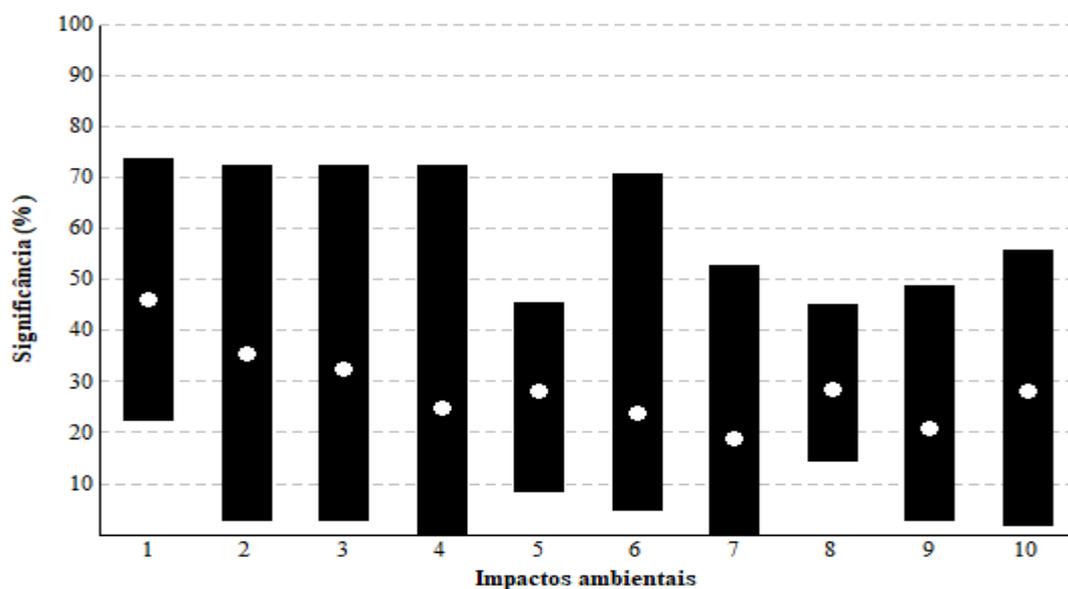


Gráfico 11 – Significância x impactos ambientais.

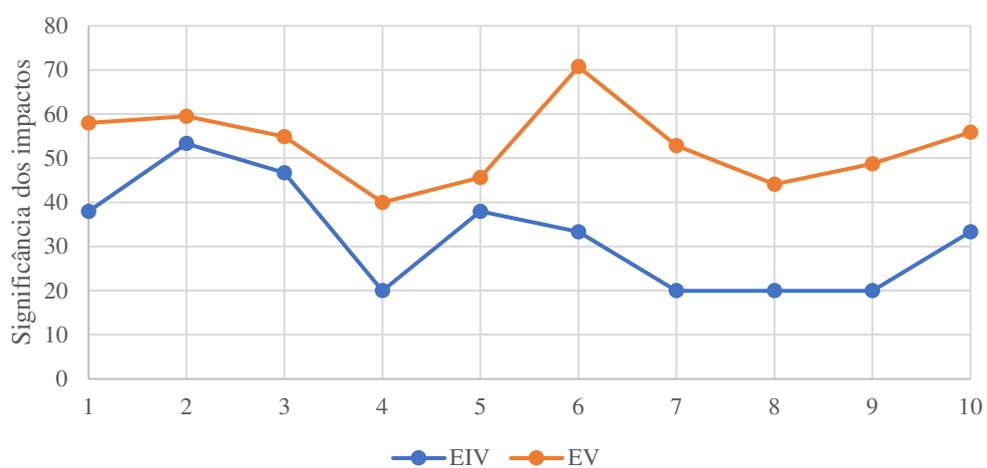


Gráfico 12 – Avaliações realizadas pelos entrevistados EIV e EV.

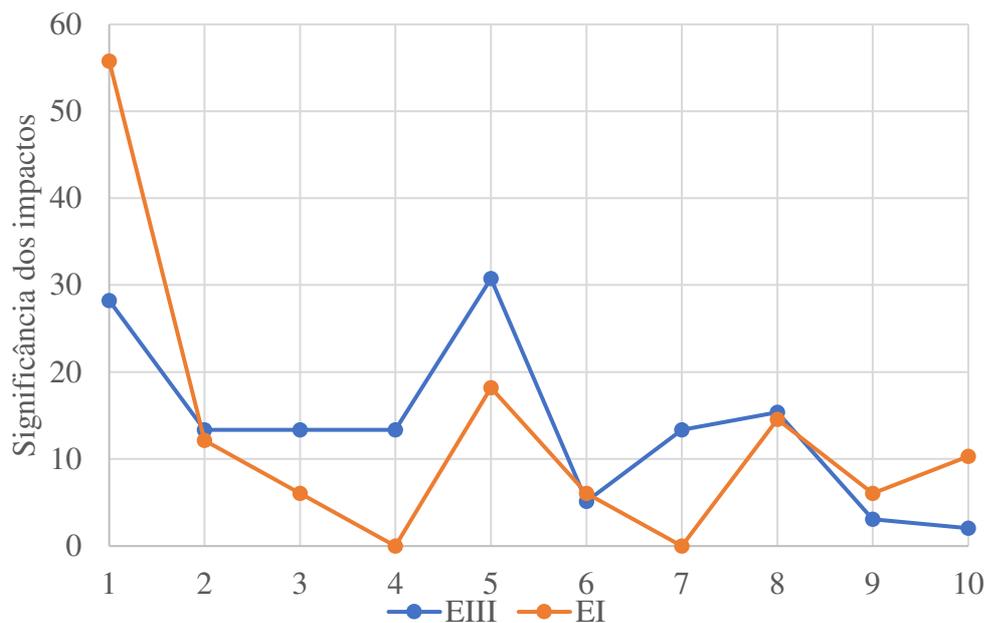


Gráfico 13 - Avaliações realizadas pelos entrevistados EII e EIII.

A partir da classificação estabelecida na Tabela 17 os impactos ambientais assumem as significâncias:

Tabela 34 – Significância dos impactos ambientais segundo as avaliações dos especialistas.

Significância	Impactos
Médio	Potencial de aquecimento global
Baixo	Acidificação
Baixo	Eutrofização
Baixo	Depleção da camada de Ozônio
Baixo	Alteração da qualidade do solo
Baixo	Escassez hídrica
Baixo	Depleção de recursos minerais fósseis
Baixo	Poluição sonora
Baixo	Alteração da qualidade das águas
Baixo	Alteração da qualidade do ar

Na Tabela34 foram descritos os principais impactos ambientais na visão do autor. Incluir-se mais 4 impactos ambientais que não constam na planilha apresentada aos especialistas,

mas que apareceram como sugestão na etapa metodológica: Geração de resíduos (11), Ocupação do solo (12), Destinação Final de Resíduos (13).

Tabela 35 – Aspectos e Impactos ambientais presentes nos processos.

Processo	Aspectos	Impactos
Transporte	Emissão de gases de efeito estufa	1, 4
	Consumo de recursos energéticos não renováveis	2, 3, 7
	Geração de Ruído	8
Corte	Consumo de Energia Elétrica	1, 7
	Geração de Ruído	8
	Geração de odor	10
	Geração de LCCV com copra	2, 3, 9, 11
Limpeza da parte interna do coco	Geração de material orgânico	3, 9, 11
Prensagem	Geração de efluente LCCV	2, 3, 9, 11, 12, 13
Desfibramento	Consumo de energia elétrica	1, 7
	Geração de material (pó)	3, 9, 11, 12
Secagem	Consumo de energia elétrica	1, 7
Homogeneização	Consumo de energia elétrica	1, 7
	Geração de material particulado	10
	Geração de ruído	8
Secagem 2	Consumo de energia elétrica	1, 7
Extrusão	Consumo de energia elétrica	1, 7
	Geração de Resíduo - sobras	9, 11
Secagem 3	Consumo de energia elétrica	1, 7
	Consumo de energia elétrica	1, 7

Moinho de facas (trituração)	Geração de ruído	8
	Consumo de energia elétrica	1,7
Prensagem/moldagem	Emissões	10
	Uso consuntivo da água	6

4.4.2.1 Impactos significativos

Potencial de aquecimento global: este impacto é considerado como o de maior significância, já que seu aspecto, consumo de energia elétrica aparece em quase todos os processos. Apesar do grau de regionalização do estudo, a produção de energia é responsável por emissões de gases de efeito estufa, conforme salienta Freire (2015).

Acidificação: atrelado a diminuição de pH, possui média significância na medida em que o LCVV e o pó de coco possuem pH inferiores que 7, conforme Mattos *et al.* (2011a).

Eutrofização: médio impacto ocasionado principalmente pelos resíduos orgânicos gerados durante o processo de prensagem e desfibramento do coco verde pós-consumo.

5 CONCLUSÃO

O projeto de beneficiamento do coco verde pós-consumo, desenvolvido por diversos atores do meio acadêmico e da comunidade empresarial, abordou diversos aspectos, delineando oportunidades alinhadas ao conceito contemporâneo de desenvolvimento sustentável, ecologia industrial e porque não, demonstrando possibilidades de relações simbióticas entre os mais variados mercados.

Nesse trabalho foi realizado o balanço de massa e energia do beneficiamento do coco pós-consumo, bem como das etapas de fabricação de uma placa polimérica reforçada com FC. Pelo acompanhamento do estudo de caso verificou-se que o beneficiamento do coco com vistas a obtenção da fibra proporciona utilidade a grande quantidade de material orgânico oriundo do consumo da água de coco in natura, ou ainda, da indústria alimentícia, que muitas vezes é destinado de forma irregular em locais públicos ou ineficientemente em aterros sanitários.

O acompanhamento do estudo de caso e a elaboração do ICV permitiu o conhecimento das etapas do processo de beneficiamento do coco verde pós-consumo, bem como da confecção de placas poliméricas, trazendo uma visão técnica relacionada ao consumo energético, emissões de CO₂, proporcionalidade nas relações entre massas e processos, e subsídios para a análise qualitativa acerca dos principais aspectos e impactos ambientais atrelados ao escopo estudado. Verificou-se que dentre os processos que incorporam o beneficiamento, a secagem é representativa do ponto de vista energético. Já do ponto de vista atrelado a geração de resíduos, podemos destacar o processo de desfibramento.

Foi possível constatar que a fibra natural de coco é alternativa às opções de fibras no mercado, mesmo considerando o valor de 47,09 MJ/kg de EE, representado principalmente (98,3%) pela etapa de secagem das fibras em estufa, o que demanda estudos para otimizar este processo. Considerando a placa polimérica de resina PLA e FC, cuja EE equivale a 31,27MJ/UF, ou ainda 125,58MJ/kg de placa polimérica, concluiu-se que a etapa de confecção do compósito é a principal responsável, somando 63,3%.

O balanço de massa do estudo de caso demonstrou que os principais processos onde ocorrem geração de resíduos são a prensagem do coco verde pós-consumo (25,6%) fundamentalmente composto por LCCV e desfibramento (40,6%) composto pelo Pó de coco.

As simulações relativas a EE e emissão de CO₂ demonstraram a capacidade de utilização das FC em comparação a diversas fibras naturais, de vidro e Carbono. De forma direta foi possível identificar a possibilidade de implementação da FN como material de reforço em

aplicações que necessitam de propriedades mecânicas menos elevadas, já que demonstram EE e emissão de CO₂ semelhante a fibra de vidro, e menor se comparada a fibra de Carbono.

A construção e avaliação da planilha de aspectos e impactos ambientais permitiu visualizar a significância dos aspectos e impactos, servindo como base para um estudo completo de ACV. Dentre os aspectos mais importantes estão o consumo de energia elétrica já que os processos estão atrelados principalmente ao uso de equipamentos elétricos e a geração de resíduos, pois, conforme demonstrado, as FC representam em torno de 5,7% da massa total de coco pós-consumo, o que acarreta nas configurações adotadas no estudo de caso, que mais de 90% da massa do coco seja resíduo. Já os impactos mais significativos correspondem ao comportamento dos aspectos, onde o potencial de aquecimento global lidera qualitativamente os impactos em virtude do alto consumo de energia elétrica. Acidificação, eutrofização e modificação no uso da terra estão diretamente ligados aos aspectos provenientes da geração de resíduos orgânicos e efluentes.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se um estudo para verificar melhorias acerca de algumas etapas dos processos, no sentido de transformar os resíduos como o LCCV e Pó de coco em Co-produtos, na perspectiva do conceito de *upcycling*, e assim levantar as oportunidades técnicas acerca da utilização destes materiais, para além das oportunidades já existentes.

REFERÊNCIAS

- AKIL, Hazizan Md.; ZAMRI, Mohd H. Performance of natural fiber composites under dynamic loading. In: HODZIC, Alma; SHANKS, Robert. (Ed.). **Natural Fibre Composites: Materials, Processes and Properties**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2014. p. 323-344.
- ALLWOOD, Julian M. *et al.* Material efficiency: A white paper. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 55, n. 3, p. 362-381, jan. 2011. DOI: 0.1016/j.resconrec.2010.11.002. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344910002405>>. Acesso em: 13 mar. 2019.
- ANSCHAU, Ramon. **Avaliação ambiental-econômica do uso da energia no processo de produção de água mineral com aplicação dos conceitos de produção mais limpa**. Dissertação (Mestrado). 2018. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
- ARENAS, Jorge P.; ASDRUBALI, Francesco. Eco-Materials with noise reduction. In: ARTÍNEZ Leticia M. T.; KHARISSOVA Oxana V., KHARISOV Boris I. (Ed.). **Handbook of Ecomaterials**. 1. ed. Cham: Springer, 2019, p. 1-26. DOI:10.1007/978-3-319-48281-1_137-1. ISBN 978-3-319-48281-1.
- ASHBY, Michael F. **Materials and Sustainable Development**. 1. ed. Oxford: Elsevier, 2015.
- ASHBY, Michael F. **Materials and the environment: eco-informed material choice**. 2. ed. Oxford: Elsevier - Butterworth-Heinemann, 2012. ISBN 978-0-12-385971-6.
- ASHBY, Michael F.; JOHNSON, Kara. **Materiais e Design: A arte da seleção de materiais no projeto do produto**. Tradução de: Arlete Simille Marques. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, Campus, 2011.
- ASHBY, Michael F.; JONES, David R. H. **Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures and Processing**. 4. ed. Oxford: Elsevier, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. Versão Corrigida: 2014. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.
- BAILLIE, Caroline. **Green composites: Polymer composites and the environment**. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 2004. ISBN 1855737396.
- BJORN *et al.* Life cycle inventory analysis. In: HAUSCHILD; ROSENBAUM e OLSEN (2018). (Ed.). **Life Cycle Assessment: Theory and Practice**. Cham: Springer International Publishing AG, 2018. p. 117-165. DOI: 10.1007/978-3-319-56475-3_9. ISBN 978-3-319-56475-3.
- BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. **Progress in Polymer Science**, [s.l.], v. 24, n. 2, p. 221-274, 1999. DOI: . Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670098000185>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

BONTEMPI, Elza. A new approach for evaluating the sustainability of raw materials substitution based on embodied energy and the CO2 footprint. **Journal of Cleaner Production journal**, [s.l.], v. 162, p. 162-169, 2017a. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.028. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617311976?via%3Dihub>. Acesso em: 13 mar. 2019.

BONTEMPI, Elza. **Raw Materials Substitution Sustainability**. Cham: Springer Nature, 2017b. DOI:10.1007/978-3-319-60831-0. ISBN 978-3-319-60831-0.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>> Acesso em: 13 mar. 2019.

CARDOSO, Mahalia S.; GONÇALVEZ, Joaquim C. Aproveitamento da casca do coco-verde (cocos nucifera l.) para produção de polpa celulósica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 321-330, jan./mar. 2016. ISSN: 0103-9954. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5902/1980509821126>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

CARRIJO, O.A.; LIZ, R.S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535, dezembro 2002.

CASTILHOS, Lisiane F. F. de. **Aproveitamento da fibra de coco**. [Paraná]: Dossiê Técnico. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - BRT. ago. 2011. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTY0MA==>>. Acesso em 13 mar. 2019.

CES Edupack. Disponível em: <https://grantadesign.com/education/ces-edupack/>. Acesso em: 13 mar. 2019.

CESTARI, Sibele P. *et al.* Recycling processes and issues in natural fiber-reinforced polymer composites. In: KORONIS, Georgios; SILVA, Arlindo (Ed.). **Green Composites for Automotive Applications**. [S. l]: Elsevier - Woodhead Publishing, 2019. p. 285-289. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04188-8>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/book/9780081021774/green-composites-for-automotive-applications>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

CURIA, Ana C. *et al.* Estudo da gestão da logística reversa do resíduo do coco verde pós-consumo no litoral de santa catarina – SC. In: 9 FIRS – Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. 2018.

CURIA, A.C.; MORAES, C.A.M.; MODOLO, R.C.E. Percepção da Responsabilidade Compartilhada do Varejista e do Consumidor Final do Resíduo do Coco Verde Pós-Consumo no Rio Grande do Sul – RGS. 8 FIRS – Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. 2017.

DAM, J. E. G. V. **Coir Processing Technologies: Improvement of Drying, Softening, Bleaching and Dyeing Coir Fibre/Yarn and Printing Coir Floor Coverings**. Wageningen: Artigo Técnico 06, 2002. Disponível em:

<<http://www.fao.org/3/Y3612E/y3612e00.htm#Contents>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

DOVE, Cassandra A.; BRADLEY, Fiona F.; PATWARDHAN, Siddharth V.; A material characterization and embodied energy study of novel clay-alginate composite aerogels. **Energy and Buildings**, v. 184, p. 88-98, 2019. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.10.045.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817309647?via%3Dihub>>.

Acesso em: 13 mar. 2019.

DRUMRIGHT, R. E.; GRUBER, P. R.; HENTON, E. E. Polylactic Acid Technology. **Advanced Materials**, [s.l.], v. 12, n. 23, p. 1841-1846, dez. 2000. Disponível em: <

[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1521-](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1521-4095%28200012%2912%3A23%3C1841%3A%3AAID-ADMA1841%3E3.0.CO%3B2-E)

[4095%28200012%2912%3A23%3C1841%3A%3AAID-ADMA1841%3E3.0.CO%3B2-E](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1521-4095%28200012%2912%3A23%3C1841%3A%3AAID-ADMA1841%3E3.0.CO%3B2-E)>.

Acesso em: 13 mar. 2019.

ECOINVENT (2010) ecoinvent database v2.2 [<http://www.ecoinvent.com/>]

FAOSTAT – Fao’s Corporate Database. Disponível em:

<<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

FARUK, Omar *et al.* Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. **Progress in Polymer Science**, [s. l.], v. 37, p. 1552-1596, 2012. DOI:

10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670012000391?via%3Dihub>. Acesso em: 13 mar. 2019.

FATIMAH, Yun A.; BISWAS, Wahidul K. Remanufacturing as a means for achieving low-carbon SMEs in Indonesia. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [s.l.], v. 18, p. 2363-2379, dez. 2016. DOI: 10.1007/s10098-016-1148-5. Disponível em:

<<https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-016-1148-5>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

FAY, Roger; TRELOAR, Graham; IYER-RANIGA, Usha. Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. **Building Research & Information**, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 31-41, 2000. DOI: 10.1080/096132100369073. Disponível em: <

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/096132100369073>>.

Acesso em: 13 mar. 2019.

FREIRE, Ana Lúcia Feitoza. **Avaliação do ciclo de vida de painéis obtidos a partir da casca de coco verde**. Dissertação (Mestrado). 2015. Mestrado Acadêmico em Recursos Naturais. Universidade Estadual Do Ceará.

GOMES, Luciana P. Manual do Sistema de gestão ambiental: NBR ISSO 14001/2004 – UNISINOS, 1 ed. São Leopoldo, 2013. (Documento interno).

GRABASCK, Jaqueline Ramos. **Aspectos e impactos ambientais decorrentes da extração de agregado natural e produção de agregado reciclado: estudo de caso no RS**.

Dissertação (Mestrado). 2016. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

GÜERECA, Leonor P.; JATO-ESPINO, Daniel; LIZASOAIN-ARTEAGA, Esther. Life-Cycle Assessment of Construction Materials: Analysis of Environmental Impacts and Recommendations of Eco-Efficient Management Practices. In: HUSSAIN, Chaudhery M. (Ed.). **Handbook of Environmental Materials Management**. Cham: Springer International

Publishing, 2019. p. 1-37. DOI 10.1007/978-3-319-58538-3_76-1. ISBN 9783319585383.

HAGHDAN, Shayesteh; SMITH, Gregory D. Natural fiber reinforced polyester composites: A literature review. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**. [s.l.], v. 34, n. 14, p. 1179-1190, 2015. DOI: 10.1177/0731684415588938. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0731684415588938?journalCode=jrpa>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

Hammond, G and Jones, C (2010) Inventory of Carbon and Energy (ICE) version 1.6a; Department of Mechanical Engineering, University of Bath, UK. [<http://www.organicexplorer.co.nz/site/organicexplore/files/ICE%20Version%201.6a.pdf>]

HORNE, Ralph; GRANT, Tim; VERGHESE, Karli. **Life cycle assessment: Principles, Practice and Prospects**. Collingwood: CSIRO PUBLISHING, 2009. ISBN 9780643094529.

JANG, J. Y. *et al.* Thermal stability and flammability of coconut fiber reinforced poly(lactic acid). *Composites Part B: Engineering*. v. 43, n. 5, p. 2434 – 2438, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.11.003>.

JAWAID, Mohammad; SALIT, Mohd S.; ALOTHMAN, Othman Y. **Green Biocomposites: Design and Applications**. Cham: Springer International Publishing, 2017a. ISBN 978-3-319-49382-4.

JAWAID, Mohammad; SALIT, Mohd S.; ALOTHMAN, Othman Y. **Green Biocomposites: Manufacturing and Properties**. Cham: Springer International Publishing, 2017b. ISBN 978-3-319-46610-1.

JIN, Fang-Long; Hu, Rong-Rong; PARK, Soo-Jin. Improvement of thermal behaviors of biodegradable poly(lactic acid) polymer: A review. **Composites Part B: Engineering**, [s.l.], v. 164, p. 287-296, maio 2019. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.10.078. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836818325435?via%3Dihub>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

JIN, Fan-Long; HU, Rong-Rong. Improvement of thermal behaviors of biodegradable poly(lactic acid) polymer: A review. **Composites Part B: Engineering**. v. 164, p. 287-296, mai. 2019. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.10.078. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836818325435?via%3Dihub>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

KAPPLER, G. *et al.* A casca de coco verde no contexto da economia circular. In: Conferência Internacional de Ambiente em língua portuguesa XX- REALP, 2018, Aveiro. Anais

KAPPLER, G. *et al.* Metodologia para avaliação ambiental de projetos utilizando a ferramenta de acv simplificada. In: Congresso Brasileiro sobre gestão do ciclo de vida-GCV2018, 6., 2018, Brasília. Anais eletrônicos... Disponível em: <http://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2018/09/Anais_GCV2018-1.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2019.

KLÖPFFER, Walter. Introducing Life Cycle Assessment and its presentation in 'LCA Compendium'. In: KLÖPFFER, Walter. (Ed.). **Background and future prospects in life cycle assessment**. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 1-37. DOI 10.1007/978-94-017-8697-3. ISBN 978-94-017-8697-3.

KLÖPPFER, Walter; GRAHL, Birgit. **Life cycle assessment (LCA): A guide to best practice**. Weinheim: Wiley-VCH, 2014. ePDF ISBN: 978-3-527-65565-6.

KU, H. *et al.* A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. **Composites: Part B**, [s.l.], v. 42, n. 42, p. 856-873, 2011. DOI: 10.1016/j.compositesb.2011.01.010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836811000382?via%3Dihub>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

LOMELÍ-RAMÍREZ, María G. *et al.* Comparative Study of the Characteristics of Green and Brown Coconut Fibers for the Development of Green Composites. **BioResources**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 1637-1660, 2018. ISSN: 1930-2126. Disponível em: <http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_13_1_1637_Lomeli_Ramirez_Comparative_Green_Brown_Coconut/5843>. Acesso em: 13 mar. 2019.

LOUREIRO, N. C.; ESTEVES, J. L.; Green composites in automotive interior parts: A solution using cellulosic fibers. In: KORONIS, Georgios; SILVA, Arlindo (Ed.). **Green Composites for Automotive Applications**. [S. l.]: Elsevier - Woodhead Publishing, 2019. p. 81-97. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04188-8>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/book/9780081021774/green-composites-for-automotive-applications>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

MATTOS, Adriano L. A. *et al.* **Beneficiamento da casca de coco verde**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011a. Disponível em: <http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_3830.pdf>. Acessado em: 13 mar. 2019.

MENDES, Natalia C.; BUENO, Cristiane; OMETTO, Aldo R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, [s.l.], 2013. DOI: 10.1590/0103-6513.153213. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/prod/2015nahead/0103-6513-prod-0103_6513_153213.pdf. Acesso em: 13 mar. 2019.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; HINRICHSEN, G. Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview. **Macromolecular Materials and Engineering**, [s.l.], v. 276-277, n. 1, p. 1-24, 2000. DOI: 10.1002/(SICI)1439-2054(20000301)276:1<1::AID-MAME1>3.0.CO;2-W. Disponível em: <[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1439-2054\(20000301\)276:1<1::AID-MAME1>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/(SICI)1439-2054(20000301)276:1<1::AID-MAME1>3.0.CO;2-W)>. Acesso em: 13 mar. 2019.

MULCHANDANI, Neha; GUPTA, Arvind; KATIYAR, Vimal. Polylactic Acid Based Hydrogels and Its Renewable Characters: Tissue Engineering Applications. In: MONDAL, Md. I. H. (Ed.). **Cellulose-Based Superabsorbent Hydrogels**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 1-24. DOI: 10.1007/978-3-319-76573-0_51-1. ISBN 978-3-319-76573-0.

NAGALAKSHMAIAH, M. *et al.* Biocomposites: Present trends and challenges for the future. In: KORONIS, Georgios; SILVA, Arlindo (Ed.). **Green Composites for Automotive Applications**. Woodhead Publishing, 2019. p. 197-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04188-8>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/book/9780081021774/green-composites-for-automotive-applications>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

NUTHONG, Wiphawee *et al.* Impact Property of Flexible Epoxy Treated Natural Fiber Reinforced PLA Composites. **Energy Procedia**, [s.l.], v. 34, p. 839-847, 2013. DOI: 10.1016/j.egypro.2013.06.820. Disponível em: <

<https://core.ac.uk/download/pdf/82182631.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

OKSMAN, K.; SKRIFVARS, M.; SELIN, J. F. Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites. **Composites Science and Technology**, [s.l.], v. 63, n. 9, p. 1317-1324, 2003. DOI: 10.1016/S0266-3538(03)00103-9. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353803001039?via%3Dihub>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

PARAMBIL, Ajithkumar M. *et al.* Fiber-Reinforced Composites. In: MAZUMDER, Mohammad A. J.; SHEARDOWN, Heather.; AL-AHMED, AMIR. (Ed.). **Functional Polymers**. Cham: Springer International Publishing, 2018.

PIMENTEL, S. M. *et al.* **Uso sustentável da fibra e pó do coco: uma alternativa ao desperdício**. Disponível em: <https://repositorio.ifs.edu.br/biblioteca/handle/123456789/292>. Acessado em 13 mar. 2019.

Plastics Europe (2011) Eco-Profiles [<http://www.plasticseurope.org/plasticssustainability/eco-profiles.aspx>]

PUGLIA, D.; BIAGIOTTI, J.; KENNY, M. J. A Review on Natural Fibre-Based Composites - Part II. **Journal of Natural Fibers**, [s.l.], v. 1, n. 3, p. 23-65, 2005. DOI: 10.1300/J395v01n03_03. Disponível em: <https://doi.org/10.1300/J395v01n03_03>. Acesso em: 13 mar. 2019.

RAMAKRISHNA, Seeram *et al.* **An introduction to biocomposites**. Singapura: Imperial College Press, 2004. ISBN 1-86094-426-4.

REBITZER, G. *et al.* Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, [s.l.], v. 30, n. 5, p. 701-720, jul. 2004. DOI: 10.1016/j.envint.2003.11.005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412003002459?via%3Dihub>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

REBITZER, Gerald. **Integrating Life Cycle Costing and Life Cycle Assessment for Managing Costs and Environmental Impacts in Supply Chains**. In: SEURING, S.; GOLDBACH, M. (Ed.). Nova York: Physica-V erlag Heidelberg, 2002, p. 127-146. ISBN 978-3-662-11377-6.

RIGON, Magali Rejane. **Avaliação ambiental do uso da casca de arroz como biomassa para fins energéticos e do coproduto cinza aplicado ao concreto**. Dissertação (Mestrado). 2015. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

RIGON, Viviane Salete. **Aspectos e Impactos ambientais durante a fase de execução de uma obra residencial**. Dissertação (Mestrado). 2013. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

ROSA, Morsyleide de F. *et al.* **Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, n. 54, p. 1-6, maio/2001a. Disponível em: <http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_2459.pdf> Acessado em: 13 mar. 2019.

ROSA, Morsyleide de F. *et al.* **Processo agroindustrial:** obtenção de pó de casca de coco verde. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, n. 61, p. 1-4, dez./2001b. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/425163/1/ct61.pdf>> Acessado em: 13 mar. 2019.

ROUT, Tanmya *et al.* Exhaustive study of products obtained from coconut shell pyrolysis. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, [s.l.], v. 4, n. 3, p. 3696-3705, set. 2016. DOI: 10.1016/j.jece.2016.02.024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343716300689?via%3Dihub>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

SABA, N. *et al.* A review on dynamic mechanical properties of natural fibre reinforced polymer composites. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 106, p. 149-159, 2016. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.075. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061815307479>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

SABA, N. *et al.* Green Biocomposites for Structural Applications. In: JAWAID, Mohammad; SALIT, Mohd S.; ALOTHMAN, Othman Y. (Ed.). **Green Biocomposites: Design and Applications**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 1-27. DOI: 10.1007/978-3-319-49382-4. ISBN 978-3-319-49382-4.

SALIT, Mohd S. **Tropical Natural Fibre Composites: Properties, Manufacture and Applications**. 1. ed. Singapura: Springer International Publishing, 2014. ISBN 978-981-287-155-8.

SANCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 1. ed. Oficina de textos. 2006. ISBN: 9788586238598.

SANJAY, M. R. *et al.* A comprehensive review of techniques for natural fibers as reinforcement in composites: Preparation, processing and characterization. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 207, p. 108–121, 2019. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.11.083. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861718314152?via%3Dihub#!>>. Acesso em: 13mar. 2019.

SATYANARAYANA, K.G; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. **Composites: Part A**, [s. l.], v. 38, n. 7, p. 1694-1709, fev. 2007. DOI: 10.1016/j.compositesa.2007.02.006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X07000279>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

SILVA, Alessandro C. da. Reaproveitamento da casca de coco verde. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, Santa Maria, v. 13, n. 5, p. 4077-4086, dez. 2014. DOI: 10.5902/2236130815186. e-ISSN: 2236-1308. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/viewFile/15186/pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

SILVA, Adriana Hoenisch. **Avaliação ambiental do setor calçadista sob a ótica dos resíduos sólidos**. Dissertação (Mestrado). 2016. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

SINHA, Agnivesh K.; NARANG, Harendra K.; BHATTACHARYA, Somnath. Mechanical properties of natural fibre polymer composites. **Journal of Polymer Engineering**, [s.l], v. 37, n. 9, p. 879–895, mar./2017. DOI: 10.1515/polyeng-2016-0362. ISSN: 0334-6447.

SOBRAL, L. F. **COCO: O produtor pergunta, a Embrapa responde**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2018. ISBN: 978-85-7035-842-4. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas) Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1106165/1/500PERGUNTAS_Cocoed012018.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2019.

STALTER, Carline Fabiane. **Avaliação ambiental e econômica do processo de embalagem de utilidades domésticas a partir da abordagem de produção mais limpa**. Dissertação (Mestrado). 2017. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

SUJARITJUN, Wassamon *et al.* Mechanical property of surface modified natural fiber reinforced PLA biocomposites. **Energy Procedia**, [s.l], v. 34, p. 664-672, 2013. DOI: 10.1016/j.egypro.2013.06.798. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213010412?via%3Dihub>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

SUMMERSCALES, J.; GROVE, S. Manufacturing methods for natural fibre composites. In: HODZIC, Alma; SHANKS, Robert. (Ed.). **Natural Fibre Composites: Materials, Processes and Properties**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2014. p. 176-215.

SUN, Z *et al.* Mechanical and Thermal Properties of PLA Biocomposites Reinforced by Coir Fibers. **International Journal of Polymer Science**. [s.l], v.2017, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/2178329>.

THAKUR, Vijay K. **Green composites from natural resources**. [S. l]: Taylor & Francis Group, 2014. ISBN 978-1-4665-7070-2

TRELOAR, G. J. Extracting Embodied Energy Paths from Input–Output Tables: Towards an Input–Output-based Hybrid Energy Analysis Method. **Economic Systems Research**, [s.l], v. 9, n. 4, p. 375-391, 1997. DOI: 10.1080/09535319700000032. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09535319700000032>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

VÄISÄNEN, Taneli.; DAS, Oisik.; TOMPPU, Laura. A review on new bio-based constituents for natural fiber-polymer composites. **Journal of Cleaner Production**, [s. l], v. 149, p. 582–596, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.02.132. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261730358X?via%3Dihub>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

VERMA, D.; GOPE, P. C. The use of coir/coconut fibers as reinforcement in composites. In: FARUK, O.; SAIN, M. (Ed.). **Biofiber Reinforcements in Composite Materials**. [S. l]: Woodhead Publishing, 2015. DOI: 10.1533/9781782421276.3.285.

WAMBUA, Paul; IVENS, Jan; VERPOEST, Ignaas. Natural fibres: Can they replace glass in fibre reinforced plastics? **Composites Science and Technology**, [s.l], v. 63, n. 9, p. 1259–1264, 2003. DOI: 10.1016/S0266-3538(03)00096-4. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353803000964?via%3Dihub>>.

Acesso em: 13 mar. 2019.

WEIDEMA, Bo P. Multi-user test of the data quality matrix for product life cycle inventory data. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 3, n. 5, p. 259-265, 1998.

DOI: 10.1007/BF02979832. Disponível em:

<<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02979832>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

WENZEL, Henrik; HAUSCHILD, Michael Z., ALTING, L. **Environmental Assessment of Products**. 1. ed. [S.l.]: Springer Science+Business Media Dordrecht, 1997.

WU, Chin-San. Renewable resource-based composites of recycled natural fibers and maleated polylactide bioplastic: Characterization and biodegradability. *Polymer Degradation and Stability*, [s.l.], v. 94, n. 7, p. 1076-1084, jul. 2009. DOI:

10.1016/j.polymdegradstab.2009.04.002. Disponível em: <

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391009001153?via%3Dihub>>.

Acesso em: 13 mar. 2019.

YU, Long; DEAN, Katherine; LI, Lin. Polymer blends and composites from renewable resources. **Progress in Polymer Science**, [s.l.], v. 31, n. 6, p. 576–602, 2006. DOI:

10.1016/j.propolymsci.2006.03.002. Disponível em: <

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670006000414> >. Acesso em: 13 mar. 2019.

YUSOFF, Rosni B; TAKAGI Hitoshi; NAKAGAITO, Antonio N. Tensile and flexural properties of polylactic acid-based hybrid green composites reinforced by kenaf, bamboo and coir fibers. **Industrial Crops and Products**, [s.l.], v. 94, p. 562-573, 2016. DOI:

10.1016/j.indcrop.2016.09.017. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669016305970?via%3Dihub>>.

Acesso em: 13 mar. 2019.

ZANIRATO, Sílvia H.; ROTONDARO, Tatiana. Consumo, um dos dilemas da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 30, n. 88, set./dez. 2016. DOI:

<http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142016.30880007>. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142016000300077>.

Acesso em: 13 mar. 2019.

ZANOLETTI, Alessandra *et al.* Embodied energy as key parameter for sustainable materials selection: The case of reusing coal fly ash for removing anionic surfactants. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 141, p. 230–236, jan. 2017. DOI:

10.1016/j.jclepro.2016.09.070. Disponível em: <

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652616314111>> . Acesso em: 13 mar. 2019.

ZHANG, Qi *et al.* Study on Poly(lactic acid)/Natural Fibers Composites. **Journal of Applied Polymer Science**, [s.l.], v. 125, n. 3, p. 526-533, abr. 2012. DOI: 10.1002/app.36852.

Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.36852>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

APÊNDICE A – LISTA DE ESPECIALISTAS – AVALIADORES DA PLANILHA

Especialista	Formação Acadêmica
AI	Graduação em Engenharia Química.
	Mestrado em Administração.
	Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.
AII	Graduação em Gestão Ambiental.
	Mestrado em Engenharia Civil.
	Doutoranda em Engenharia Civil - Área de Concentração Gerenciamento de Resíduos.
AIII	Graduação em Licenciatura em Química.
	Graduação em Bacharelado em Química.
	Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais.
	Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais.
AIV	Graduação em Tecnólogo em Gestão Ambiental.
	Mestrado em Engenharia Civil.
	Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais.
AV	Graduação em Engenharia Ambiental.
	Mestrado em Engenharia Civil.

APÊNDICE B – ENTREVISTADOS – AVALIADORES DOS PROCESSOS

Entrevistado	Formação Acadêmica
EI	Graduação em Engenharia Ambiental.
	Mestrado em Engenharia Civil.
	Doutorado em andamento em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
EII	Graduação em Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental.
	Mestrado em Engenharia Mecânica.
	Doutorado em andamento em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
EIII	Graduação em Engenharia Ambiental.
	Mestrado em andamento em Engenharia Civil.
EIV	Graduação em Biologia.
	Mestrado em Engenharia.
	Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais.
EV	Graduação em Tecnólogo em Gestão Ambiental.
	Mestrado em Engenharia Civil.
	Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais.
EVI	Graduação em Design de Produto.
	Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais.
	Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais.

**APÊNDICE C – TRABALHOS SELECIONADOS A PARTIR DA PESQUISA EM
BASE DE DADOS**

Autor	Título do artigo
Iovino, R; Zullo, R; Rao, MA; Cassar, L; Gianfreda, L 2008	Biodegradation of poly(lactic acid)/starch/coir biocomposites under controlled composting conditions.
Rigolin, TR; Takahashi, MC; Kondo, DL; Bettini, SHP 2019	Compatibilizer Acidity in Coir-Reinforced PLA Composites: Matrix Degradation and Composite Properties.
Gonzalez-Lopez, ME; Perez-Fonseca, AA; Manriquez-Gonzalez, R; Arellano, M; Rodrigue, D; Robledo-Ortiz, JR 2019	Effect of surface treatment on the physical and mechanical properties of injection molded poly(lactic acid)-coir fiber biocomposites.
Coskun, K; Mutlu, A; Dogan, M; Bozaci, E 2019	Effect of various enzymatic treatments on the mechanical properties of coir fiber/poly(lactic acid) biocomposites.
Surin, P; Rakkwamsuk, P; Wimolmala, E; Sombatsompop, N 2015	Effects of Coir Fiber and Maleic Anhydride Modification on the Properties of Thermoplastic Starch/PLA Composite Laminates.
Siakeng, R; Jawaid, M; Ariffin, H; Salit, MS 2018	Effects of Surface Treatments on Tensile, Thermal and Fibre-matrix Bond Strength of Coir and Pineapple Leaf Fibres with Poly Lactic Acid.
Suardana N.P.G., Lokantara I.P., Lim J.K., 2011	Influence of water absorption on mechanical properties of coconut coir Fiber/Poly-Lactic acid biocomposites.
Nam, TH; Ogihara, S; Kobayashi, S 2012	Interfacial, Mechanical and Thermal Properties of Coir Fiber-Reinforced Poly(Lactic Acid) Biodegradable Composites.
Chun, KS; Husseinsyah, S; Osman, H 2012	Mechanical and thermal properties of coconut shell powder filled polylactic acid biocomposites: effects of the filler content and silane coupling agent.

Sun, ZH; Zhang, L; Liang, DP; Xiao, W; Lin, J 2017	Mechanical and Thermal Properties of PLA Biocomposites Reinforced by Coir Fibers.
Duan J., Wu H., Fu W., Hao M., 2018	Mechanical properties of hybrid sisal/coir fibers reinforced polylactide biocomposites.
Siakeng, R; Jawaid, M; Ariffin, H; Sapuan, SM 2019	Mechanical, dynamic, and thermomechanical properties of coir/pineapple leaf fiber reinforced polylactic acid hybrid biocomposites.
Dong, Y; Ghataura, A; Takagi, H; Haroosh, HJ; Nakagaito, AN; Lau, KT 2014	Polylactic acid (PLA) biocomposites reinforced with coir fibres: Evaluation of mechanical performance and multifunctional properties.
Zhang, L; Sun, ZH; Liang, DP; Lin, J; Xiao, W 2017	Preparation and Performance Evaluation of PLA/Coir Fibre Biocomposites.
Chun, KS; Husseinsyah, S; Osman, H 2013	Properties of coconut shell powder-filled polylactic acid eco-composites: Effect of maleic acid.
Shuib S., Yahya M.A., Abdullah A.H., Kamaruddin N.S., Romli A.Z., 2018	Sound absorption coefficient of coir fibre with polylactic acid (PLA).
Salmah, H; Koay, SC; Hakimah, O 2013	Surface modification of coconut shell powder filled polylactic acid biocomposites.
Yusoff, RB; Takagi, H; Nakagaito, AN 2016	Tensile and flexural properties of polylactic acid-based hybrid green composites reinforced by kenaf, bamboo and coir fibers.
Jang, JY; Jeong, TK; Oh, HJ; Youn, JR; Song, YS 2012	Thermal stability and flammability of coconut fiber reinforced poly(lactic acid) composites.

APÊNDICE E – REFERÊNCIAS UTILIZADAS PELO CES EDUPACK

CES Edupack	Autor/ano	Editora	Título
PLA (unfilled - general purpose)	Wolf <i>et al.</i> (2005)	Institute for Prospective Technological Studies	Techno-economic feasibility of large-scale production of bio-based polymers in Europe
	Vink <i>et al.</i> (2007)	Industrial Biotechnology	The Eco-Profiles for Current and Near-Future Natureworks Polylactide (PLA) production
	Ecoinvent v 2.2 (2010)		
Banana Fiber	Houwink, R. (1958)	Dover Publications	Elasticity Plasticity and Structure of Matter
	Baumeister and Marks	McGraw-Hill	Standart Handbook for Mechanical Engineers
Carbon HM fiber	U.S Department of Energy and Energetics Incorporated (2016)		Bandwidth Studyon Energy Use and Potential Energy Saving Opportunities in the Manufacturing of Lightweight Materials: Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites
	Bledzki and J. Gassan (1999)	Progress in Polymer Science	Composites reinforced with celulose based fibers
Coir Fiber	Houwink, R. (1958)	Dover Publications	Elasticity Plasticity and Structure of Matter
	Summerscales, J. (2011)		Sustainable composites
	Baumeister and Marks	McGraw-Hill	Standart Handbook for Mechanical Engineers

	Ecoinvent v 2.2 (2010)		
	Kalia S.; Kaith, B. S.; Kaur, I.; (2009)	Polymer Engineer and Science	Pre-treatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites – A review
Jute Fiber	Paul, A; Thomas, S; (1997)	Journal of applied Polymer Science	Electrical properties of natural-fiber-reinforced low density polyethylene composites: A comparison with carbon black and glass-fiber-filled low density polyethylene composites
	Houwink, R. (1958) (1958)	Dover Publications	Elasticity Plasticity and Structure of Matter
	Nama T. H. <i>et al.</i> (2011)	Composites: Part B	Effect of Alkali treatment on interfacial and mechanical properties of coir fiber reinforced poly(butylene succinate) biodegradable composites
	Bledzki and J. Gassan (1999)	Progress in Polymer Science	Composites reinforced with cellulose based fibers
Sisal Fiber	Houwink, R. (1958)	Dover Publications	Elasticity Plasticity and Structure of Matter
	Summerscales, J. (2011)		Sustainable composites
	Baumeister and Marks	McGraw-Hill	Standart Handbook for Mechanical Engineers
SF Glass	Sullivan, J L, Gaines, L, and Energy Systems.	United States: N. p., 2010. Web. doi:10.2172/1000659.	A review of battery life-cycle Analysis: State of Knowledge and Critical Needs

Hammoud, G.; Jones, C.; (2008)	University of Bath	Inventory of Carbon and Energy (ICE)
Enviros Consulting LTD.	Enviros Consulting LTD.	Glass Recycling - Life Cycle Carbon Dioxide Emissions
Alcorn, A. (2003)	Centre for Building Performance Research. Victoria University of Wellington.	Embodied energy and Co2 coefficients for Nz building materials
