

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**GUILHERME PETRY BREIER**

**ABORDAGENS ECOINOVADORAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVOS  
PRODUTOS**

**PORTO ALEGRE**

**2015**

**GUILHERME PETRY BREIER**

**ABORDAGENS ECOINOVADORAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVOS  
PRODUTOS**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia, na área de concentração em Sistemas da Qualidade.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Carla Schwengber ten Caten, Dr<sup>a</sup>.

**Porto Alegre**

**2015**

## **GUILHERME PETRY BREIER**

### **ABORDAGENS ECOINOVADORAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS**

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

Prof<sup>a</sup>. Carla Schwengber ten Caten, Dr<sup>a</sup>.  
Orientador PPGE/UFGRS

---

Prof. Jose Luis Duarte Ribeiro, Dr.  
Coordenador PPGE/UFGRS

#### **BANCA EXAMINADORA**

Prof. Carlos Fernando Jung, Dr.  
Faculdades Integradas de Taquara – FACCAT  
Taquara – RS

Prof<sup>a</sup>. Lia Buarque de Macedo Guimarães, Dr<sup>a</sup>.  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFGRS  
Porto Alegre – RS

Prof. Carlos Augusto do Nascimento, Dr.  
Universidade Feevale – FEEVALE  
Novo Hamburgo – RS

## **DEDICATÓRIA**

Dedico especialmente esta tese a minha esposa, Bruna Helena Suzigan Breier, que em sua jornada pela construção de um mundo melhor, sempre me oportuniza momentos de reflexão. Dedico também aos meus pais, que sempre abriram mão de qualquer coisa para eles, para proporcionar o melhor, as melhores condições de estudos, tanto para mim quanto para meus irmãos. Por fim, dedico a eles, os melhores irmãos que eu poderia ter recebido. Amo todos vocês!

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), à qual devo todas as etapas do doutorado, a formação e o conhecimento construído. Agradeço com carinho a minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carla Schwengber ten Caten, que sempre buscou atender meus questionamentos e me proporcionar o que o Programa possui de melhor.

Aos professores da banca avaliadora que participaram com grande importância da defesa de qualificação do doutorado e também da defesa da tese de doutorado: (i) Prof. Dr. Carlos Fernando Jung, que auxiliou na realização dessa pesquisa e de tantas outras que ocorreram desde dezembro de 2000, quando nos conhecemos na escola técnica de Taquara desenvolvendo o plano de curso de eletrônica; (ii) Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lia Buarque de Macedo Guimarães, que também auxiliou na realização desta pesquisa e que incansavelmente luta pela construção de um país com uma maior inclusão social, pela formação de uma sociedade mais justa e com maior desenvolvimento sustentável; (iii) Prof. Dr. Carlos Augusto do Nascimento, que oportunizou seu tempo e conhecimento para participar dessa banca. Aos professores (i) Prof. Dr. Carlos Pérez Bergmann que disponibilizou seu tempo e discutiu ideias e apoiou o projeto; (ii) Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Annelise Kopp Alves que disponibilizou o Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER), para a realização dos ensaios na reta final da pesquisa.

Aos professores que colaboraram em parceria, para publicações de trabalhos, durante a realização das disciplinas, (i) Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ângela de Moura Ferreira Danilevicz; (ii) Prof. Dr. Flavio Fogliatto; (iii) Prof. Dr. Francisco José Kliemann Neto; (iv) Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Istefani Carísio de Paula; (v) Prof. Dr. José Luis Duarte Ribeiro.

Aos colegas do programa que sempre compartilharam um chimarrão, alguma brincadeira para alegrar os momentos de grandes cobranças, e pelo conhecimento compartilhado, em especial lembrança: Gabriel Vidor; Pedro Hack; Alexandre Pedott; Rogério Miorando; Maria Auxiliadora; Heloisa Weber; Thiago Spomberg; Aline Callegaro; Raffaella Tanure; Marcelo Pereira; Felipe Albano; Alejandro Frank; Angélica Mendes; Felipe Ferreira; Fernanda Weber; Flávia Twardowski; Giana Lorenzini; Giuliano Marodin; Joana Siqueira; João Aguiar; Karina Rossini; Monique

Sonego; Patrícia Magnago; Rodolfo Petter; Camila Dutra; Verinha Martins; Juliano Denicol.

Aos ex-colegas PPGEP: Diego Santini; Diogo Pereira; Jonathan Oliveira; Marcos Rosendo; Fabiano Maioli; Marcio Kreutz; Rodrigo Algayer, pela grande ajuda na conclusão do mestrado que me habilitou a fazer esse doutorado.

Um agradecimento aos ex-colegas de Unisinos: Juarez Machado; Diego Francio; Jerônimo Mulinari, Fábio Damásio, pelos incentivos na graduação.

Não poderia faltar um agradecimento aos integrantes e agregados do projeto 25: Marcelo Bordin; Estevão Krause; Jorge Linden; Juliano Valentini; Cassio dos Reis; Klaus Dinnebier; Marcus Tonelli; Fernando Martinotto, Daniel Souza; Evandro Hennemann e demais cimoleiros, vocês são grandes amigos!

Em especial lembrança: Rodrigo Portella; Mayler Martins; Vinicius dal Bem, amigos que compartilham muitas alegrias sempre que nos reunimos.

Ex-colegas por onde trabalhei: Altus; Cimol; Faccat; PortoCHIP, Uniritter por todas oportunidades que me possibilitaram crescer profissionalmente.

Aos colegas e ex-colegas da CEITEC: Katia Monteiro; Maira Malinoski; Rafael Laufer; Jackson Nunes; Luiz Fernandez; Dieter Schwanke; Fabio Benevenuti; Fabrício Mattos; Francisco Osman; Fulvio Eilert; Ismael Fraga; William Fantinel; Simone dal Molin; Rodrigo Palmieri; Raulito da Silva; Pedro Mucillo; Marcos Dossa; Lisia Brasil; Karina Antas; Juliana Barbisan; Janaina Costa; Reinaldo de Bernardi; Henrique Pimentel; Gustavo Ilha; Guilherme Berzagui; André Braga; Valquiria Guedes; Carla Pedroso; Sara Keller; Guilherme Rohde, por acompanhar todo esse esforço e apoio prestado.

Agradeço também: (i) aos funcionários do Departamento de Engenharia de Produção e Transportes (DEPROT) da UFRGS; (ii) aos estudantes do Curso de Engenharia de Produção com tive a oportunidade de trabalhar e orientar; (iii) a equipe do Centro de Referência em Avaliação de Tecnologias e Insumos Estratégicos em Saúde (CRETIES) da UFRGS pela oportunidade de colaborar com as pesquisas; (iv) ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de doutorado.

A todas as pessoas que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho, tanto intelectual quanto tecnicamente.

## RESUMO

A demanda por recursos para o desenvolvimento de produtos se tornou uma importante área de pesquisa no início do século 21. O desperdício e o descarte de recursos, sem preocupação alguma com o meio ambiente, era uma atitude corriqueira, e sem grande importância para a sociedade global. Entretanto, o elevado custo para a extração de matérias-primas do meio ambiente, bem como a redução dos recursos no planeta, fez com que a indústria recorresse ao reaproveitamento de materiais ao longo de toda a cadeia de desenvolvimento de produtos bem como ao uso consciente de cada elemento. A partir da integração de conhecimentos das áreas de engenharia, foi identificada a necessidade de entender as influências das abordagens ecoinovadoras no desenvolvimento de produtos para a indústria. Assim essa tese tem por objetivo geral propor estratégias para desenvolvimento de produtos baseadas na ecoinovação como contribuição à melhoria da sustentabilidade de organizações. Os objetivos específicos são: (i) definir o conceito de ecoinovação através de uma pesquisa e avaliar exemplos brasileiros de acordo com sua definição; (ii) propor a criação de um produto ecoinovador através da aplicação dos conceitos de ecoeficiência e da filosofia ZERI; (iii) criar uma solução ecoinovadora para a geração de produtos desenvolvidos através do projeto berço-a-berço como alternativa para a redução dos resíduos sólidos; (iv) desenvolver e analisar as características físico-químicas de um compósito ecoinovador elaborado a partir de resíduos de casca de arroz e resíduos de MDF para aplicações de absorvedores de radiações eletromagnéticas; (v) criar um absorvedor piramidal de radiações eletromagnéticas baseado num compósito ecoinovador. Para atingir os objetivos desta tese foram utilizados, métodos e conhecimentos, para a geração de novos produtos com base em recursos obtidos através do reaproveitamento de resíduos. Também foram usadas estratégias que minimizam os impactos ambientais destes novos produtos concebidos no conceito da ecoinovação. Testes experimentais foram realizados com os produtos ecoinovadores desenvolvidos por meio dessas abordagens. Os resultados envolveram a obtenção de conhecimento científico acerca do tema do desenvolvimento de produtos ecoinovadores para a melhoria da sustentabilidade de organizações, bem como protótipos, apresentados na forma de cinco estudos científicos.

**Palavras-chave:** Ecoinovação; Ecoeficiência; Ecoeficácia, Projeto Berço-a-Berço; Reaproveitamento de Resíduos; Botões de Pedras Semipreciosas; Polpa de Celulose de Casca de Arroz; Absorvedor Piramidal para Radiações Eletromagnéticas; Abordagens para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis.

## ABSTRACT

The demand for resources to product development has become an important research area in the early 21st century. Waste and the disposal of resources without any concern for the environment, was a commonplace attitude, and without great importance for society global. However, the high cost for the extraction of raw materials from the environment, and the reduction of resources on the planet, made the industry resort to reuse of materials throughout the product development chain and the conscious use of each element. From the integration of knowledge from engineering, we identified the need to understand the influences of eco-innovadoras approaches in product development for the industry. So this thesis has the objective to propose strategies for product development based on eco-innovation as a contribution to improving the sustainability of organizations. The specific objectives are: (i) define the concept of eco-innovation through research and evaluate Brazilian examples according to their definition; (ii) propose the creation of a ecoinovador product through the application of the concepts of eco-efficiency and ZERI philosophy; (iii) create a ecoinovadora solution for the production of products developed through the cradle-to-cradle design as an alternative to the reduction of solid waste; (iv) develop and analyze the physical and chemical characteristics of a ecoinovador composite made from rice husks and MDF waste for absorbers of electromagnetic radiation applications; (v) create a pyramidal absorber of electromagnetic radiation based on a composite ecoinovador. To achieve the objectives of this thesis were used, methodologies and knowledge to generate new products based on resources obtained through the reuse of waste. Also were used strategies that minimize the environmental impacts of these new products designed on the concept of eco-innovation. Experimental tests were performed with the ecoinovadores products developed through these approaches. The results involved obtaining scientific knowledge about ecoinovadores product development theme for improving the sustainability of organizations, as well as prototypes, presented as five scientific studies.

**Keywords:** Eco-innovation; Eco-efficiency; Eco-efficiency, Cradle-to-Cradle design; Reuse of Waste; Buttons semiprecious; Pulp rice husks; Pyramid absorber for electromagnetic radiation; Approaches to the development of sustainable products.



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 Introdução</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2. Tema e objetivos</b> .....	<b>14</b>
1.2.1. Objetivo geral .....	15
1.2.2. Objetivos específicos.....	15
<b>1.3 Justificativa</b> .....	<b>15</b>
<b>1.4 Delineamento do estudo</b> .....	<b>17</b>
1.4.1 Descrição dos estudos e procedimentos .....	19
1.4.2 Método de pesquisa.....	22
<b>1.5 Delimitações do trabalho</b> .....	<b>24</b>
<b>1.6 Estrutura da tese</b> .....	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>26</b>
<b>2.1 Artigo 1</b> .....	<b>27</b>
<b>2.2 Artigo 2</b> .....	<b>63</b>
<b>2.3 Artigo 3</b> .....	<b>100</b>
<b>2.4 Artigo 4</b> .....	<b>148</b>
<b>2.5 Artigo 5</b> .....	<b>175</b>
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>199</b>
<b>3.1 Síntese dos resultados</b> .....	<b>199</b>
<b>3.2 Conclusão</b> .....	<b>203</b>
<b>3.3 Sugestões para pesquisas futuras</b> .....	<b>205</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>206</b>

# CAPÍTULO 1

## 1.1 Introdução

O tema da sustentabilidade tem sido constantemente debatido na literatura acadêmica e no meio das organizações nas últimas décadas, em seus vários aspectos, características e nas mais diferentes áreas de conhecimento, tratando fundamentalmente de preocupações como o meio ambiente, o desenvolvimento social e desempenho econômico (FEEMAN, 1996). Desde o processo de revolução industrial ocorrido no século 18, a indústria é a principal responsável pelo crescimento econômico de diversos países. Impulsionada pelas oportunidades econômicas e pelo rápido desenvolvimento tecnológico, a industrialização se expandiu e se transformou rapidamente desde o seu início (DOSI, 1988; FOXON e ANDERSEN, 2009). A soma dos fatores como desenvolvimento científico aliado com o tecnológico possibilitou a modernização desse processo nos mais diversos segmentos industriais. Logo o aprimoramento e a incorporação de métodos mais eficientes e eficazes de produção foram impulsionados numa tentativa de redução de custos e obtenção de maiores lucros.

De modo amplo, se reconhece o importante papel desempenhado pelas indústrias para o crescimento econômico, inovação tecnológica e melhoria do bem estar social de diversas sociedades (BARBIERI, 2002). De certa forma, entende-se que os objetivos para as organizações são a busca por maiores lucros, e estratégias para obter maiores vantagens competitivas no mercado (COHEN e LEVINTHAL, 1990). Nesse caso, as estas estratégias levam em consideração, atividades que melhoram o desempenho econômico principalmente em termos da redução dos custos e aumentos da eficiência bem como da produtividade (FREEMAN, 1996). Está evidenciada também, a importância da organização gerenciar suas externalidades ambientais, sociais, geográficas e culturais como, por exemplo: a poluição ambiental; a condição social dos seus trabalhadores; o cumprimento das leis onde está instalada; as questões culturais para onde seus produtos ou serviços são comercializados (SACHS, 1993).

Entre os principais impactos causados pela industrialização, os impactos ambientais são os que mais se agravam e se acumulam desde a revolução industrial (BURGELMAN et al., 2001). No processo de modernização, a indústria busca constantemente métodos, estratégias e abordagens que minimizem sua pegada ecológica (NILL e KEMP, 2009). Embora estas abordagens tenham contribuído para a melhoria da eficiência e da produtividade, existem argumentos na criação de um valor mais sustentável, que permitam a incorporação aos seus objetivos econômicos, objetivos sociais e ambientais em suas estratégias (BARNEY, 1986).

Em decorrência dos registros de inúmeros casos de acidentes ambientais associados com as atividades industriais, com o excesso de produtos nocivos à saúde humana bem como a poluição causada pelos resíduos de produtos descartados sem nenhum tipo de responsabilidade, a sociedade tem percebido cada vez mais as implicações dos problemas ambientais para a preservação da biodiversidade do planeta (KÖNNÖLÄ et al., 2008). Atribui-se às atividades industriais como sendo umas das responsáveis pelas emissões nocivas de efluentes líquidos, emissões gasosas e resíduos sólidos que contaminam a água, o ar e o solo respectivamente (NILL e KEMP, 2009). A dependência dos recursos naturais como fontes de suprimentos para atender as indústrias, gera impactos ambientais que percorrem toda a cadeia de valor do empreendimento, desde as perdas na extração de matérias-primas passando pela geração de resíduos no processo de transformação até o pós-consumo, no descarte sem reaproveitamento dos produtos (MILES e COVIN, 2000).

Com relação aos impactos sociais, muitas teorias e abordagens têm oportunizado uma evolução no desenvolvimento do conceito de responsabilidade social empresarial e incorporação de diferentes estratégias de gestão explicadas como um processo de modernização (ARAGÓN-CORREA, 1998; MILES e COVIN 2000). Entretanto, poucas são as iniciativas, externas as organizações, que possibilitam o crescimento e o desenvolvimento social das comunidades onde as mesmas estão inseridas.

Diante desse cenário de implicações ambientais, do baixo desenvolvimento social e da perplexidade das sociedades com a realidade, emerge o conceito de desenvolvimento sustentável como aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras de atenderem as suas próprias necessidades. Tornou público em 1987 pelo relatório de BRUNDTLAND,

esse conceito passou a ser cada vez mais aceito e incorporado nas agendas políticas e empresariais (BARBIERI, 2002). Também, diante do aumento da pressão social, regulamentação ambiental e restrições comerciais, as organizações se apropriam de iniciativas e abordagens que reduzam os impactos ambientais na geração de novos produtos, como a incorporação das tecnologias de controle e de prevenção ambiental, tais como: Ecoeficiência, Produção mais limpa, Avaliação do Ciclo de Vida do Produto, ISO14000, em seus processos produtivos.

Para NIDUMOLU, PRAHALAD e RAMGASWAMI (2009), a responsabilidade impulsiona a inovação e se manifesta como alternativa para que as organizações coloquem em prática as mudanças. As abordagens socioambientais devem ser capazes de influenciar o desempenho da organização com potencial para proporcionar vantagens competitivas e valor sustentável para os negócios bem como para a sociedade. Estas sinergias entre inovação e sustentabilidade, permitem as organizações alcançarem maiores ganhos de eficiência e a criarem uma base de diferenciação. Diante deste contexto, constata-se que as organizações se constituem de elementos essenciais para promoverem, através das suas estratégias e práticas socioambientais, melhorias ou inovações em seus processos e produtos de modo a atender aos objetivos da sustentabilidade.

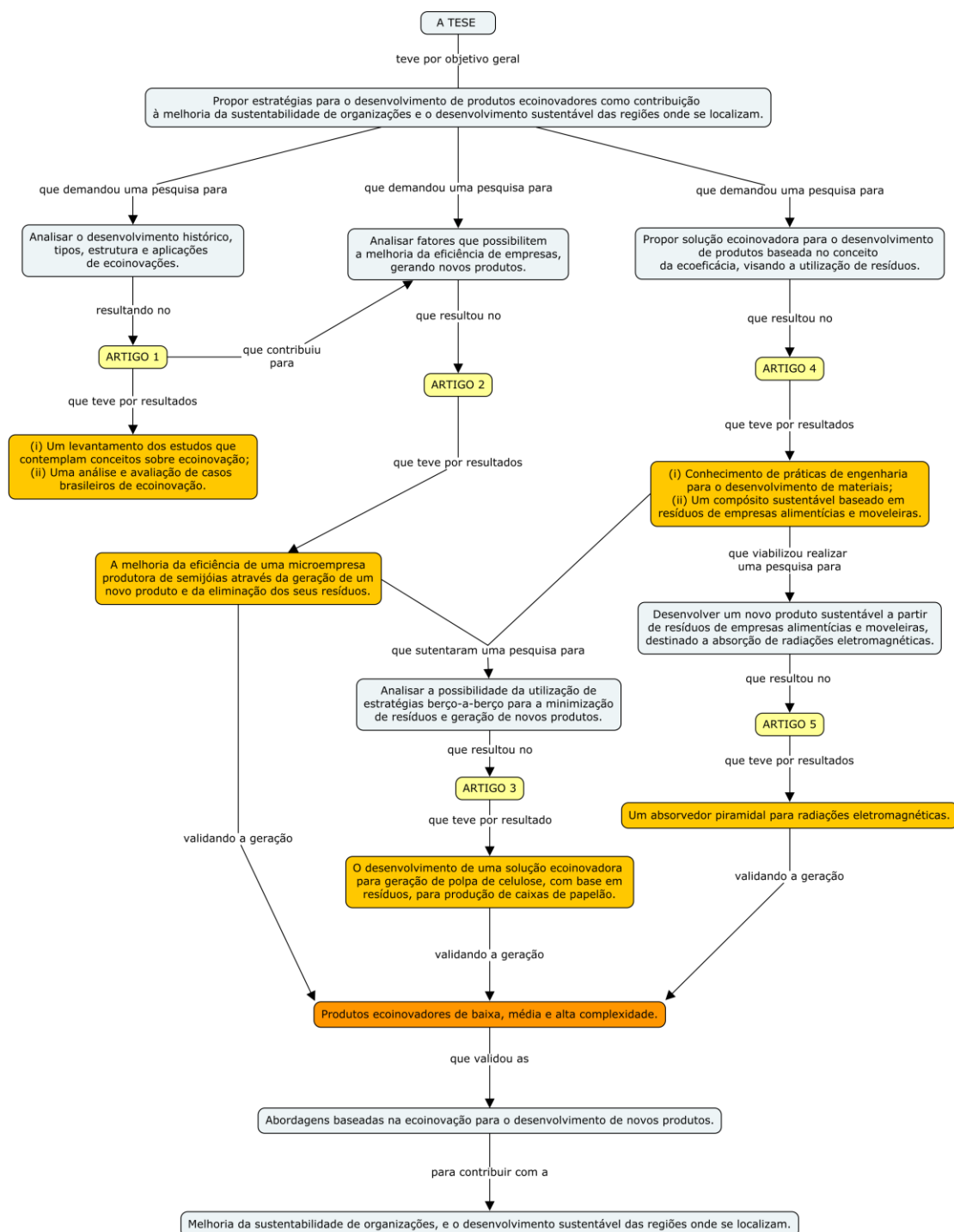
Nesse cenário surge o conceito daecoinovação. As ecoinovações são definidas como inovações com ênfase na preservação do meio ambiente, resultando, em todo o seu ciclo de vida, na redução de riscos ambientais, poluição e na minimização de outros impactos negativos do uso desses recursos, em comparação com as alternativas existentes (ARUNDEL; KEMP, 2009; RENNINGS, 1998). Ressalta-se que, com o passar dos anos, o tema da ecoinovação vem sendo tratado pelos pesquisadores de diferentes países e concepções teóricas. Em alguns, o termo utilizado é “inovação ambiental” e em outros se emprega “ecoinovação”, para se referir às inovações com propósitos ambientais. Neste estudo de tese, os termos acima são considerados como sinônimos, mas, para uma uniformidade em todo o trabalho, somente será utilizado o termo ecoinovação, exceto em citações diretas de outros autores.

Diante dos pressupostos apresentados, essa tese, baseada em uma pesquisa teórica e empírica, busca contribuir para o desenvolvimento sustentável por meio da geração de produtos nas organizações nacionais focada no conceito das ecoinovações. É apresentado uma seleção de casos em ecoinovação e o

desenvolvimento de três produtos distintos, de baixa, média e alta complexidade, todos utilizando matéria-prima descartada da indústria, e que evoluem de abordagens ecoeficientes, ecoeficazes até o projeto berço-a-berço com base em princípios da reciclagem até reaproveitamento.

Um mapa conceitual é apresentado na Figura 1, demonstrando a relação entre os artigos que compõem a tese com seus respectivos objetivos e contribuições.

Figura 1 – Mapa conceitual da tese que apresenta as relações entre objetivos, tópicos abordados e resultados esperados dos estudos propostos



Fonte: Primária

## 1.2. Tema e objetivos

O tema deste projeto de pesquisa contempla a geração de novos produtos com base em abordagens ecoinovadoras. Este tema está inserido na área de

pesquisa de Sistemas de Qualidade, linha de pesquisa Qualidade e Desenvolvimento de Produtos e Processos, Inovação e Sustentabilidade. Engloba conhecimentos de Engenharia de Produção em interdisciplinaridade com outras Engenharias.

### **1.2.1. Objetivo geral**

Contribuir para o desenvolvimento de produtos empregando o conceito deecoinovação para a promoção da sustentabilidade de organizações.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Os objetivos específicos são:

- (i) Definir o conceito de ecoinovação através de levantamento e avaliar exemplos brasileiros de acordo com sua definição;
- (ii) Propor a criação de um produto ecoinovador através da aplicação dos conceitos de ecoeficiência e da filosofia ZERI;
- (iii) Criar uma solução ecoinovadora para a geração de produtos desenvolvidos através do projeto berço-a-berço como alternativa para a redução dos resíduos sólidos;
- (iv) Desenvolver e analisar as características físico-químicas de um compósito ecoinovador elaborado a partir de resíduos de casca de arroz e resíduos de MDF para aplicações de absorvedores de radiações eletromagnéticas;
- (v) Criar um absorvedor piramidal de radiações eletromagnéticas baseado num compósito ecoinovador.

## **1.3 Justificativa**

A escolha do tema de pesquisa foi em função da significativa importância atribuída pela recente literatura, para relacionar abordagens ecoinovadoras como alternativas para a criação de produtos sustentáveis integrando o desenvolvimento econômico ambiental e social de forma igualitária. Constata-se que as questões

sociais e ambientais têm sido tratadas, principalmente nos atuais dias, como importante fator chave para relacionar crescimento econômico e a inovação, com o desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, o desafio intelectual desse estudo reside na abordagem e elaboração de novas estratégias com desempenho ecoinovador na criação de novos produtos.

Na revisão de literatura, constatou-se que os estudos relacionados a ecoinovação ainda são incipientes e o tema requer mais pesquisas específicas, com dados empíricos de levantamento. De acordo com Andersen (2008), a pesquisa sobre ecoinovação ainda está em sua fase inicial e há poucos pesquisadores de inovação em todo o mundo atualmente trabalhando com questões ambientais.

Também para Reid e Miedzinski (2008), a mensuração da ecoinovação ainda se caracteriza como um desafio, já que requer a criação de uma estratégia coerente por diferentes segmentos de pesquisa, incluindo estudos sobre inovação e economia além do meio ambiente. Portanto, é necessário o desenvolvimento de estudos que contemplem análises mais aprofundadas da ecoinovação. É necessário o estabelecimento de um procedimento de referência integrando a mensuração destas inovações com o uso e a produtividade dos recursos, no sentido de contribuir para o estabelecimento de metas de longo prazo nas estratégias organizacionais e de fomento à ecoinovação. De acordo com Rennings (1998), os estudos na área da inovação devem ser complementados por estudos adicionais sobre a ecoinovação, já que desempenha papel fundamental na política de sustentabilidade das organizações.

Ainda, ressaltam Arundel e Kemp (2009) que o tema é um campo rico e inexplorado de pesquisa, que tem extraordinárias possibilidades à investigação. Para a compreensão do conceito da ecoinovação, é necessário ir além do uso das estatísticas existentes, pois sua possibilidade de criação e emprego é ilimitada e não com o uso específico de mensurá-la. Ou seja, o que existe até o momento é que a maioria dos conhecimentos existentes sobre a ecoinovação está baseada em estudos de casos isolados. Na maioria das vezes, somente analisam as razões pelas quais as organizações introduzem as ecoinovações e a importância atribuída às questões do meio ambiente (KEMP; ARUNDEL, 1998).

Com base nesse panorama da necessidade de se tratar da relação e importância das estratégias e abordagens da ecoinovação vinculadas com a questão da sustentabilidade, é que este estudo de tese se insere. Mais especificamente,



pretende-se contribuir, tanto para com a teoria existente, como para o emprego de boas estratégias ecoinovadoras dentro das organizações e que as mesmas possam atuar em conjunto para a criação de novos recursos. No que se refere às abordagens de ecoinovação, estudos anteriores nessa linha apresentaram sua contribuição, inclusive na definição dos conceitos desta tese, como, por exemplo, os estudos de: Fussler e James (1996); Arundel e Kemp (2009); Buysse e Verbeke (2003); Berkhout, Hertin e Gann (2006); Hart (1995); Huber (2008); Kanerva, Arundel e Kemp (2009); Kemp e Arundel (1998); Lau e Ragothaman (1997); Menguc, Auh e Ozanne (2010); Sharma (2000); Sharma, Aragón-Correa e Rueda-Manzanares (2007) entre outros.

No entanto, essa revisão da literatura sugere que há falta de estudos que desenvolvam estratégias para o tratamento das perspectivas internas e externas relativas a uma estratégia para o meio ambiente e seus efeitos interativos, situando a organização no contexto socioambiental. É nesse sentido que este estudo de tese se insere, podendo servir de guia na condução do enfoque de inovações, através das abordagens ecoinovadoras e da inclusão do desenvolvimento social, em organizações do setor de produção de bens, possibilitado pelo incremento de pesquisas nessa área.

#### **1.4 Delineamento do estudo**

A combinação de diversos fatores tais como os econômicos, a escassez de recursos, os culturais e sociais têm sido cada vez mais desafiante para as organizações e gestores realizarem mudanças das suas estratégias no sentido de equacionar os impasses econômicos, ambientais e sociais na direção do desenvolvimento sustentável. Por um lado, as organizações enfrentam uma maior concorrência global além da escassez de recursos, do outro, as mesmas organizações se deparam diante de uma maior reação social e política frente aos problemas das externalidades ambientais causadas pelos impactos ambientais das suas atividades como, por exemplo, a geração de resíduos. Para todas essas questões, as organizações necessitam de mudanças em suas atitudes rumo à sustentabilidade (HART 1995; PORTER e van der LINDE, 1995; HART 1995). Muitas organizações podem enfrentar dificuldades em adotar estratégias que

impulsionam a sustentabilidade, pois estas limitariam seu desempenho. Algumas das causas são: as ausências de abordagens para a sustentabilidade ou estratégias que não priorizam os valores; que apresentam fracos compromissos; com faltas de metas e objetivos socioambientais; com falta de pessoal qualificado e inexperiente para lidar com as questões ambientais bem como com a falta de recursos produtivos tecnológicos ou financeiros (EKINS, 2010; FOXON e ANDERSEN, 2010). Tais dificuldades não são observadas somente nas pequenas empresas brasileiras, mas também em grandes empresas brasileiras bem como multinacionais (ARAGON-CORREA, 1998).

A revisão da literatura mostra que abordagens ecoinovadoras podem ser avaliadas em relação à sustentabilidade. Nesse caso, aecoinovação leva em conta a realização de qualquer melhoria ou inovações para a sustentabilidade. Sendo assim, as estratégias ecoinovadoras podem afetar o desempenho sustentável das organizações. Embora as organizações enfrentem o desafio para melhorarem o desempenho ambiental, existe uma ampla gama de abordagens ecoinovadoras que permitem às organizações obterem benefícios econômicos, ambientais e sociais e responder de modo eficiente às pressões e necessidades externas (RENNINGS, 1998; ARUNDEL e KEMP, 2009).

Baseada nestas perspectivas e razões apresentadas conjectura-se, nessa tese, que o desenvolvimento da ecoinovação na organização se constitui em fortes desafios, para os quais se relacionam com os objetivos e metas das empresas, levando-se em conta, o aprimoramento das habilidades organizacionais vinculadas com os recursos e conhecimentos existentes. Todas as intenções e formas de cooperação bem como, a participação e ação de todos os atores do sistema resultam na melhoria da capacidade de ecoinovação de produtos bem como dos processos. Por sua vez, a principal pergunta que esse estudo se propõe a responder com a pesquisa consiste em “Quais abordagens podem ser adotadas para adoção de práticas ecoinovadoras orientadas para a sustentabilidade e como elas podem melhorar o desempenho das organizações rumo à sustentabilidade?”.

É apresentado a seguir, o delineamento pelo qual o objetivo geral e os objetivos específicos foram alcançados, bem como os métodos e procedimentos adotados para o desenvolvimento da pesquisa que resulta nesta tese de doutorado.

### 1.4.1 Descrição dos estudos e procedimentos

No quadro 1 é apresentado uma síntese de cada objetivo específico proposto nesta tese, as respectivas questões de pesquisas e revisões teóricas bem como os respectivos métodos de pesquisa e resultados. Para cada objetivo específico pretendeu-se ter como resultado um estudo (artigo). Os três primeiros estudos já foram realizados e os dois últimos estão em fase de conclusão.

Quadro 1 – Quadro síntese dos objetivos específicos e respectivos desdobramentos

Objetivos específicos	Questões de pesquisa	Revisão teórica	Método de pesquisa	Resultados
Realizar uma análise sobre o conceito da ecoinovação e analisar Cases brasileiros.	Q1: Qual o estado da arte do conceito de ecoinovação e como ela está sendo aplicada no Brasil?	1. Ecoinovação 2. Avaliação de ecoinovação 3. Casos brasileiros ecoinovadores	Pesquisa de caráter exploratório	Artigo 1
Criar soluções ecoinovadoras baseadas na ecoeficiência e minimizar a geração de resíduos	Q2: Como a ecoinovação pode auxiliar a ecoeficiência gerando produtos ecoinovadores e minimizar a geração de resíduos?	1. Ecoeficiência 2. Filosofia ZERI	Pesquisa de caráter experimental	Artigo 2
Desenvolver soluções Ecoinovadoras baseadas em resíduos	Q3: Como ecoinnovar gerando produtos baseado no projeto berço-a-berço colaborando com a redução dos resíduos?	1. Projeto Berço-a-Berço 2. Framework para a geração de produtos em ciclos fechados.	Pesquisa de caráter experimental	Artigo 3
Analisar as características de um novo compósito ecoinovador baseado em resíduos da indústria alimentícia e moveleira	Q4: Quais são as características físico-químicas do compósito e como ele é constituído?	1 Ecoeficácia 2: Propriedades físicas para análise de elementos absorvedores de radiações	Pesquisa de caráter exploratório e experimental	Artigo 4
Criar um absorvedor piramidal para absorção de radiação baseado num composto de casca de arroz e resíduos de MDF	Q5: Como desenvolver um novo produto baseado em casca de arroz e resíduos de MDF para absorver radiações eletromagnéticas	1: Absorvedor de radiações eletromagnéticas 2: Desenvolvimento de produto	Pesquisa de caráter exploratório e experimental	Artigo 5

Fonte: Primária

**ARTIGO 1** – *Ecoinovação: uma alternativa para o sistema de inovação de produtos e serviços no contexto brasileiro* – descreve os resultados de um levantamento bibliográfico na qual é apresentada uma síntese sobre o conceito de ecoinovação e de exemplos ecoinovadores no cenário Brasileiro. Através de um processo de avaliação, aplicado para a análise de ecoinovações, são avaliados exemplos de aplicações de soluções ecoinovadoras em diversos setores da economia Brasileira.

Os resultados deste estudo demonstram que existe um grande esforço para o emprego da ecoinovação na dimensão de projeto de produtos, a qual é a que mais pode contribuir para a minimização dos impactos ambientais que tal solução pode proporcionar. Embora todas as demais dimensões, nas quais as ecoinovações são avaliadas, desempenham papel significativo na constituição de novas soluções ecoinovadoras. Logo esse estudo, é uma pesquisa na literatura e que sustenta o desenvolvimento dos demais estudos posteriores.

**ARTIGO 2** – *Soluções ecoinovadoras para produtos com base na filosofia ZERI e no conceito de ecoeficiência: uma proposta para a indústria de semijoias* – apresenta o desenvolvimento experimental de soluções ecoinovadoras baseadas nos princípios de ecoeficiência e na filosofia ZERI, visando a não geração de resíduos sólidos no segmento industrial de semijoias (à base de pedras semipreciosas).

Os resultados desse estudo possibilitou a geração de um produto de baixa complexidade, mas que a produção do mesmo pode aumentar a eficiência do sistema incrementando as receitas da empresa. A pesquisa também apontou que empregando os conceitos da filosofia ZERI através com a venda dos resíduos gerados no processo para outras cadeias produtivas a empresa colabora com a não poluição do meio ambiente.

**ARTIGO 3** – *Uma proposta de criação de produtos baseado no projeto berço-a-berço* – desenvolvimento de uma solução para os resíduos de casca de arroz – objetivou a criação de uma solução ecoinovadora para a geração de produtos desenvolvidos através do projeto berço-a-berço como alternativa para a redução dos resíduos sólidos. Foram utilizadas estratégias berço-a-berço para a minimização de resíduos do segmento de indústria responsáveis pela produção de

alimentos. Foi analisado o volume de resíduo gerado no processo produtivo e coletados dados para análises e possíveis tomadas de decisões.

Com base nesses dados foi possível, através da análise do processo de beneficiamento de arroz na comunidade de Palmares do Sul, à utilização das cascas de arroz como elemento para a geração de polpa de celulose. Com base nessa polpa foi atingido o objetivo de criar um produto de média complexidade. Foram gerados três tipos de polpas com características diferentes. Com o uso dessas polpas fica possibilitada a fabricação de caixas papelão. Foram criadas pequenas caixas de papelão como protótipos.

**ARTIGO 4 – *Análise de um material compósito ecoinovador como alternativa para construção de absorvedores de radiações eletromagnéticas*** – objetivou a análise de um compósito ecoinovador constituído por resíduos da produção de arroz (casca de arroz) e resíduos da indústria moveleira (MDF), para aplicações de absorção de radiações eletromagnéticas. A pesquisa foi baseada num estudo empírico para o desenvolvimento de um compósito capaz de absorver radiações eletromagnéticas.

As análises físico-químicas desse novo compósito sustentável apresentaram resultados satisfatórios para a utilização em aplicações de absorção de radiações eletromagnéticas.

**ARTIGO 5 – *Desenvolvimento de absorvedor de radiações eletromagnéticas a partir de resíduos industriais: uma alternativa ecoinovadora*** – este artigo objetivou o desenvolvimento de um absorvedor piramidal de radiações eletromagnéticas baseado num compósito ecoinovador feito através de resíduos de casca de arroz e resíduos de MDF segundo uma metodologia empírica de desenvolvimento de produtos.

Este estudo permitiu o desenvolvimento e a avaliação do protótipo funcional do produto por meio de testes e experimentos laboratoriais. Para validação do protótipo foram realizados ensaios submetendo os absorvedores a radiações eletromagnéticas de ultra-alta frequência (UHF) até micro-ondas (SHF). Com base nesses resultados validou a produção de um produto de alta complexidade baseado numa abordagem ecoinovadora para o desenvolvimento de novos produtos contribuindo para a melhoria da sustentabilidade de organizações.

### 1.4.2 Método de pesquisa

Os métodos de pesquisa utilizados para o desenvolvimento dessa tese basearam-se em vários autores. Para atingir cada objetivo específico foram utilizados procedimentos metodológicos pertinentes conforme descritos na sequência.

Foi realizado um levantamento da literatura para atingir o primeiro objetivo específico – analisar o conceito de ecoinovação e sua evolução com o passar do tempo, resultando no estudo “Ecoinovação: uma alternativa para o sistema de inovação de produtos e serviços no contexto brasileiro”. Também foi explorado uma análise de estudo de caso onde se procurou avaliar, se exemplos de ecoinovações com uma abordagem qualitativa. A pesquisa exploratória possibilitou uma maior familiaridade com o problema de pesquisa e conhecimento do contexto pesquisado acerca dos princípios e abordagens ecoinovadoras em artigos e casos reais brasileiros.

Esse tipo de pesquisa favorece o entendimento das relações e possíveis informações que possam contribuir para a formulação de novos conceitos e definições (GIL, 2002), no caso desta tese, do desenvolvimento de produtos inovadores. A abordagem qualitativa priorizou a visão interpretativa do contexto pesquisado, a partir do ponto de vista dos pesquisadores.

Foram utilizadas duas abordagens para a minimização de resíduos em um processo produtivo de semijoias com o objetivo de delinear uma proposta para a geração de um produto ecoinovador através dos conceitos de ecoeficiência e da minimização dos resíduos com base na filosofia ZERI. Isso resultou no estudo “Soluções ecoinovadoras para produtos com base na filosofia ZERI e no conceito de ecoeficiência: uma proposta para a indústria de semijoias”, cuja pesquisa se caracterizou como exploratória (CRESWELL, 2007), com abordagem qualitativa. Metodologia essa que evidenciou a possibilidade a empresa uma solução ecoinovadora com seus próprios resíduos e o abastecimento de outras cadeias com recursos de qualidade para a produção de novos produtos. Foram realizados ensaios mecânicos nos botões gerados para demonstrar suas resistências e comprovar a sua viabilidade técnica e comercial.

Estratégias berço-a-berço foram utilizadas como metodologia para atingir o terceiro objetivo específico – criar uma solução ecoinovadora para a geração de

produtos desenvolvidos através do projeto berço-a-berço como alternativa para a redução dos resíduos sólidos. O desenvolvimento e aplicação resultaram no estudo “Uma proposta de criação de produtos baseado no projeto berço-a-berço – desenvolvimento de uma solução para os resíduos de casca de arroz”, cuja pesquisa se caracterizou como experimental. O estudo experimental permitiu a utilização do conhecimento científico e prático para o desenvolvimento de estratégias e soluções ecoinovadoras baseadas no método berço-a-berço, bem como a geração de um produto ecoinovador, a base de resíduos da indústria, de uma polpa de celulose para fabricação de papelão para o uso em caixas de transporte e armazenamento. Foram realizados ensaios laboratoriais para analisar características mecânicas das amostras de papelão desenvolvidas.

Com base na abordagem da ecoeficácia foi desenvolvido um compósito destinado a absorção de radiações eletromagnéticas para atingir o quarto objetivo – desenvolver e analisar as características físico-químicas de um compósito ecoinovador elaborado a partir de resíduos de casca de arroz e resíduos de MDF para aplicações de absorvedores de radiações eletromagnéticas. A pesquisa resultou no estudo “Análise de um material compósito ecoinovador como alternativa para construção de absorvedores de radiações eletromagnéticas”, cuja pesquisa se caracteriza como exploratória. Análises laboratoriais do compósito foram realizadas a fim de caracterizar suas propriedades dielétricas. Foram realizados ensaios físico-químicos para analisar a composição do compósito bem como análises microscópicas e medições dielétricas do mesmo.

Foi utilizada a metodologia para pesquisa e Desenvolvimento aplicada a novas tecnologias, produtos e processos (JUNG 2004), para o desenvolvimento do produto ecoinovador de modo a atender o quinto objetivo específico – criar um absorvedor piramidal de radiações eletromagnéticas baseado num compósito ecoinovador, feito através de resíduos de casca de arroz e resíduos de MDF, segundo uma metodologia de desenvolvimento de produtos, que resultou no estudo “Desenvolvimento de absorvedor de radiações eletromagnéticas a partir de resíduos industriais: uma alternativa ecoinovadora”, cuja pesquisa se caracterizou como experimental com abordagem quantitativa.

## 1.5 Delimitações do trabalho

As pesquisas que compõem esta tese foram basicamente realizadas no Laboratório de Otimização de Produtos e Processos (LOPP), do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em parceria com outros laboratórios, conforme especificados a seguir, no período de 2011 a 2015.

Em relação à pesquisa “Eco-inovação: uma alternativa para o sistema de inovação de produtos e serviços no contexto brasileiro”, os resultados obtidos limitam-se aos estudos publicados de 1992 a 2014. As palavras chaves para buscas nas plataformas *Web of Science*, *Google Scholar* e *ScienceDirect* foram ‘Environment innovation’ e ‘Eco-innovation’. Desde as primeiras publicações encontradas sobre o conceito da eco-inovação desta tese, as buscas foram constantemente sendo atualizadas durante o período de desenvolvimento dos estudos do doutorado.

Em relação à pesquisa “Soluções ecoinovadoras para produtos com base na filosofia ZERI e no conceito de ecoeficiência: uma proposta para a indústria de semijoias”, os dados coletados limitam-se as condições de trabalho, métodos empregados, volumes de produções, volumes de resíduos, visão dos empresários e empregados da empresa estudada no município de Lajeado – RS e que foram coletados entre maio e junho de 2013. As soluções propostas visaram atender as necessidades locais sem a alteração dos processos em execução. As inovações propostas foram desenvolvidas se restringiram os resíduos gerados no processo produtivo estudado. Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Inovação e Otimização de Produtos e Processos do Curso de Engenharia de Produção das Faculdades de Taquara (FACCAT).

Em relação à pesquisa “Uma proposta de criação de produtos baseado no projeto berço-a-berço – desenvolvimento de uma solução para os resíduos de casca de arroz”, os dados coletados limitam-se, métodos empregados, volumes de produções, volumes de resíduos, visão dos empresários e comunidade. As soluções propostas visaram atender as necessidades locais de geração de emprego e renda para a comunidade de Palmares do Sul – RS. As inovações propostas foram desenvolvidas se restringindo os resíduos gerados no processo produtivo de beneficiamento do arroz e limitadas as restrições produtivas do Centro de



Desenvolvimento de Celulose do SENAI de Telêmaco Borba no estado do Paraná. Os ensaios mecânicos nas amostras de polpa de celulose foram realizados no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) do curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), com base em normas de certificação brasileiras (ABNT).

Em relação as pesquisas “Análise de um material compósito ecoinovador como alternativa para construção de absorvedores de radiações eletromagnéticas” e “Desenvolvimento de absorvedor de radiações eletromagnéticas a partir de resíduos industriais: uma alternativa ecoinovadora”, os resultados foram obtidos com base em ensaios experimentais de desenvolvimento de produtos. Foram realizados testes experimentais de levantamento das características físicas da constituição do compósito e testes com emissões de radiações eletromagnéticas em campo aberto nos absorvedores desenvolvidos.

Os protótipos foram desenvolvidos e ensaiados experimentalmente no Laboratório de Inovação e Otimização de Produtos e Processos do Curso de Engenharia de Produção das Faculdades de Taquara (FACCAT) e o material compósito analisado no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) do curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

## **1.6 Estrutura da tese**

Esta tese está estruturada em três capítulos. No primeiro tem-se uma visão geral da pesquisa realizada, do contexto e a importância do desenvolvimento das abordagens ecoinovadoras para o desenvolvimento de produtos, que serve como exemplo e motivação para outras inovações tecnológicas aplicadas no fortalecimento mais sustentável de organizações. Também são apresentados o tema e objetivos, a justificativa, o delineamento do estudo, a descrição dos artigos propostos, as delimitações e estrutura da tese.

O segundo capítulo apresenta, os artigos propostos com base nos objetivos específicos e respectivos resultados obtidos nos artigos 1, 2, 3, 4 e 5.

O terceiro capítulo apresenta uma síntese dos resultados obtidos com o desenvolvimento da pesquisa de doutorado que resultou nesta tese, as conclusões e sugestões para pesquisas futuras.

## CAPÍTULO 2

Esta tese identificou a necessidade de contribuir para o desenvolvimento de produtos empregando o conceito deecoinovação para a promoção da sustentabilidade de organizações. Neste capítulo são expostas as pesquisas que foram realizadas ao longo desse estudo sobre a ecoinovação.

Estas cinco pesquisas foram importantes para definir quais abordagens ecoinovadoras contribuem para o desenvolvimento de produtos de baixa, média e alta complexidade. Os resultados do desdobramento dos cinco objetivos específicos são apresentados na forma de artigos 1, 2, 3, 4 e 5, estão nominados:

- a) Artigo 1 – Ecoinovação: uma alternativa para o sistema de inovação de produtos e serviços no contexto brasileiro;
- b) Artigo 2 – Soluções ecoinovadoras para produtos com base na filosofia ZERI e no conceito de ecoeficiência: uma proposta para a indústria de semijoias;
- c) Artigo 3 – Uma proposta de criação de produtos baseado no projeto berço-a-berço – desenvolvimento de uma solução para os resíduos de casca de arroz;
- d) Artigo 4 – Análise de um material compósito ecoinovador como alternativa para construção de absorvedores de radiações eletromagnéticas;
- e) Artigo 5 – Desenvolvimento de absorvedor de radiações eletromagnéticas a partir de resíduos industriais: uma alternativa ecoinovadora.

## 2.1 Artigo 1

**ECOINOVAÇÃO: UMA ALTERNATIVA PARA O SISTEMA DE INOVAÇÃO DE  
PRODUTOS E SERVIÇOS NO CONTEXTO BRASILEIRO**

## **ECOINOVAÇÃO: UMA ALTERNATIVA PARA O SISTEMA DE INOVAÇÃO DE PRODUTOS E SERVIÇOS NO CONTEXTO BRASILEIRO**

Autores

Guilherme Petry Breier

Carla Schwengber ten Caten

Carlos Fernando Jung

### **Resumo**

Este artigo tem por objetivo apresentar o conceito de ecoinovação como um fator de diferenciação para o desenvolvimento de produtos no cenário brasileiro. O presente trabalho busca caracterizar uma definição para o conceito de ecoinovação através de uma análise da evolução dos conceitos encontrados na literatura buscando explorar a diversidade de significados. Para buscar um melhor entendimento sobre os conceitos, foram escolhidos cinco casos brasileiros para exemplificar essa diversidade de ecoinovações de acordo com as principais dimensões chaves que envolvem o conceito: projeto, usuário, serviços e governança. São mostrados através desses casos, que a diversidade da aplicação parece ser considerável. Ficou evidente que dimensão do desenvolvimento do projeto é a que mais pode contribuir para determinar quais os impactos ambientais que tal solução pode proporcionar. Entretanto cabe ressaltar que todas as dimensões podem desempenhar um papel significativo na constituição de uma sociedade sustentável. A interação de todas essas dimensões e a participação de todas as pessoas no desenvolvimento de soluções ecoinovadoras são fatores cruciais para o sucesso das inovações despertadas através de uma consciência sustentável conforme pode ser constatada nesse artigo.

**Palavras-chaves:** Ecoinovação; Avaliação da Ecoinovação; Ecoinovações Brasileiras; Sustentabilidade.

## 1. Introdução

A utilização do conceito da ecoinovação é cada vez mais recorrente na gestão e política ambiental brasileira, enquanto que a nível mundial, é utilizada em diversos contextos e com diferentes conotações subjacentes que podem, eventualmente, minimizar o seu valor prático (CHARTER e CLARK, 2007; FOXON, 2005; KEMP e FOXON, 2007; MORAND, 2008; NILL e KEMP, 2009). Isso se deve ao fato de que os conceitos para a expressão ecoinovação parecem ser bem amplos e, portanto, isso permite que muitos tipos de inovações possam ser caracterizados como ecoinovações (PAAVOLA, 2007; KEMP e FOXON, 2007; PUJARI, 2006). Com base nessa observação surge a necessidade de entender melhor o conceito de ecoinovação proporcionando um melhor entendimento das suas principais características específicas.

Ecoinovação pode ser uma alternativa importante para o sistema de inovação tanto em produtos quanto em serviços (HIENERTH et al., 2006; DEL RÍO, 2009; CARRILLO-HERMOSILLA et al., 2009). Além de poder contribuir para a renovação de todo o sistema considerando o tripé da sustentabilidade (HIENERTH et al., 2006), a ecoinovação pode consolidar um conceito mais amplo da sustentabilidade considerando mais dois aspectos: o cultural e o espacial (SAHCS, 1993). A sobrevivência em longo prazo do sistema econômico depende da sua capacidade de desenvolver e manter processos econômicos sustentáveis, que não envolvem a criação de valor em curto prazo à custa da riqueza em longo prazo (CARRILLO-HERMOSILLA et al., 2009; PUJARI, 2006; HIENERTH et al., 2006).

Através deste artigo, busca-se a compreensão do conceito de ecoinovação no cenário internacional, através de um levantamento dos conceitos difundidos na literatura e de uma análise de casos consolidados, com exemplos de suas aplicações, focados no contexto brasileiro para melhor exemplificar e entender este conceito. Ao identificar as diferentes dimensões das ecoinovações, exemplificando sua diversidade e enfocando nos seus processamento e nos impactos de suas aplicações, espera-se mostrar a riqueza das formas pelas quais os processos ecoinovadores podem gerar melhorias econômicas, sociais e ambientais, além de consolidar os aspectos culturais e espaciais no conceito mais amplo do termo da sustentabilidade, conforme Sachs (1993).

O artigo está organizado da seguinte forma: a seção dois descreve os conceitos que estão vinculados aecoinovação e desenvolve uma tipologia para classificar e caracterizar as ecoinovações ao longo de suas dimensões, a fim de esclarecer seus diferentes tipos e suas funções correspondentes na transição para o desenvolvimento sustentável; a seção três discute a metodologia e fornece um conjunto de estudos de casos detalhados sobre ecoinovações. Na seção quatro, são apresentados o detalhamento e a avaliação dos estudos de casos. As análises e as implicações destes estudos de casos no que dizem respeito às dimensões da ecoinovação são discutidas na seção cinco. Por fim, na seção de conclusão é apresentada uma síntese desse estudo.

## 2. Ecoinovação

Consolidar o conceito de ecoinovação em uma única definição não é uma tarefa fácil, embora já tenham sido feitas várias tentativas na literatura (HUBER, 2004; LITTLE, 2005; PAAVOLA, 2007; CHARTER e CLARK, 2007; MORAND, 2008; CARRILLO-HERMOSILLA, 2006). Um resumo dessas definições pode ser observado na Figura 1.

Em sua maioria, essas definições enfatizam que as ecoinovações minimizam o impacto ambiental causado pelas atividades de produção e consumo, e que sua principal motivação para sua aplicação não é exclusivamente ambiental (MORAND, 2008; CARRILLO-HERMOSILLA, 2006).

Centrar-se no real impacto ambiental das ecoinovações, em vez de sua intencionalidade de proteção ambiental, tem seus prós e seus contras (FUSSLER e JAMES, 1996; KEMP e ARUNDEL, 1998; NILL e KEMP, 2009). Uma desvantagem clara é decidir quais as inovações na prática, reduzem o impacto ambiental dos produtos e da produção (VINNOVA, 2001). Mas também há problemas com as definições que incidem sobre as intenções dos *stakeholders*. Há uma dificuldade de se estabelecer uma relação entre as atividades ambientais dedicadas das empresas e o desempenho ambiental da indústria (VINNOVA, 2001). Em suma, é certamente mais difícil de verificar uma motivação ambiental do que um resultado ambiental, embora este último possa, também, ser um desafio.

É importante ressaltar que os conceitos abordados na Figura 1, não excluem o fato de que pode haver tecnologias destinadas à redução do impacto ambiental

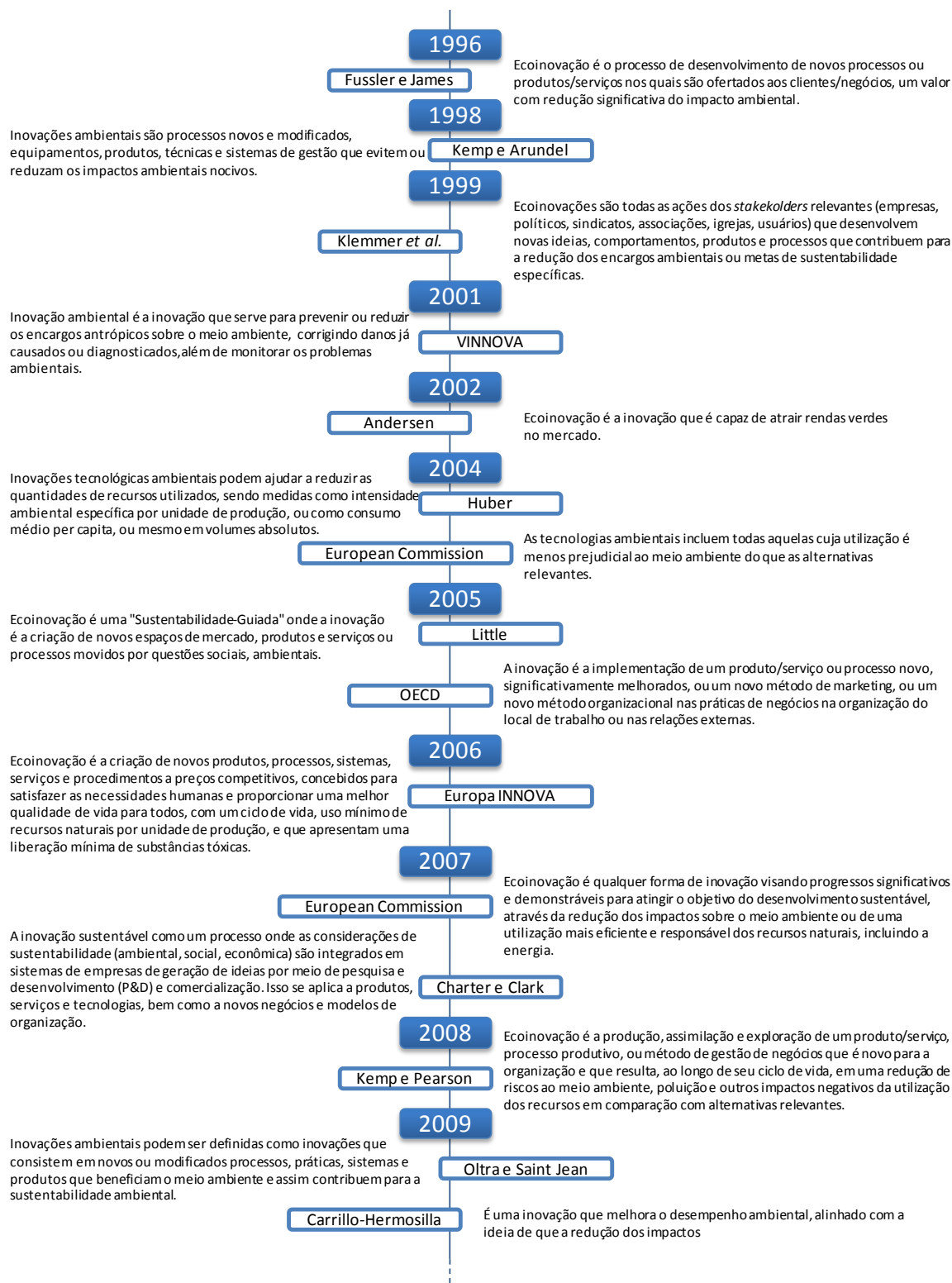
das atividades de produção e consumo, além de tecnologias que produzem ganhos ambientais como um efeito secundário. Como salientado pela Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD, 2009), ecoinovação pode ser ambientalmente motivada, mas também podem surgir como um efeito colateral de outras metas, como a redução dos custos de produção por exemplo. Classificando os conceitos em função de suas características, a primeira categoria pode ser chamada de "inovações ambientalmente motivadas", enquanto a segunda poderia ser chamada de "inovações ambientalmente benéficas" (KEMP e FOXON, 2007).

Além do impacto ambiental e da motivação por aspectos ambientais, alguns autores consideram que um elemento crucial da ecoinovação é o fator novidade (VINNOVA, 2001; EUROPEAN COMMISSION, 2007). Outros observam que o uso do termo inovação como novidade afasta o Manual de Oslo sobre a inovação (OECD, 2005), que afirma que a inovação não requer investimento em atividades criativas como Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) exclusivamente, ou seja, as empresas podem inovar, adotando tecnologia desenvolvida por outras empresas ou organizações, mesmo quando se trata de tecnologia que já existe há algum tempo e não é de ponta (KEMP e FOXON, 2007).

Da mesma forma que Kemp e Pearson (2008) caracterizam que a ecoinovação está relacionada a uma inovação que é nova para a empresa, esta definição enfatiza o contexto institucional da ecoinovação, através da noção de novidade para um grupo específico. Como argumentado por Morand (2008), isto é relevante porque a inovação é altamente dependente do contexto: o que é inovador para um determinado grupo, em um determinado período de tempo, em um determinado lugar, pode ser totalmente trivial para outro grupo, em outro momento e em outro lugar.

Para Carrillo-Hermosilla et al. (2009), ecoinovação é definida como uma inovação que melhora o desempenho ambiental, alinhado com a ideia de que a redução dos impactos ambientais (intencional ou não) é a principal característica distintiva da ecoinovação.

Neste artigo, a ecoinovação é caracterizada como a inovação que é concebida com o pensamento não apenas de preservação do meio ambiente, mas também que auxilie na consolidação de um mundo mais sustentável focado no conceito de sustentabilidade definido por Sahcs (1993).

Figura 1 – *Timeline* da evolução dos conceitos sobre ecoinovações

Fonte: Primária

Basicamente, inovação refere-se à alteração da forma como algo é feito. Assim, para fins de caracterização, a inovação, incluindo a ecoinovação, é a



mudança percebida a partir de um ponto de início. Para os fins deste artigo, distingue-se entre mudanças radicais e incrementais que são abordadas pela ecoinovação (CARRILLO-HERMOSILLA et al., 2009).

Mudanças incrementais referem-se a modificações de competência, com aumento gradual e contínuo e que preservam os sistemas de produção existentes e mantêm as redes existentes, criando um valor pelo acréscimo no sistema existente (HIENERTH et al., 2006).

Mudanças radicais são mudanças descontínuas que buscam a substituição de componentes e sistemas existentes bem como a criação de novas redes, criando valor pela substituição (HIENERTH et al., 2006).

Esta distinção entre a inovação radical e incremental pode também estar relacionada com as funções ambientais. É cada vez mais reconhecido que o foco na inovação incremental ao longo de caminhos estabelecidos não é suficiente para atingir as metas exigentes do aspecto ambiental da sustentabilidade, como a mitigação da mudança climática, por exemplo, (TUKKER e BUTTER, 2007; SMITH et al., 2005; NILL e KEMP, 2009). Mudanças mais sistêmicas geralmente incorporam benefícios potenciais superiores com a sua modificação (OECD, 2009).

Fabricação de produtos com iniciativas sustentáveis tais como a produção em ciclo fechado, podem, potencialmente, produzir melhorias ambientais mais elevadas em médio e longo prazo, em comparação com simples modificações em processos e produtos. Tukker e Butter (2007) enfatizam a distinção entre sistemas otimizados, inovações singulares e inovações em nível de sistema. Sistemas otimizados proporcionam apenas um número baixo de pontos percentuais de melhoria do aspecto ambiental da sustentabilidade. Inovações singulares, que mudam elementos das cadeias de produção e consumo, podem levar a melhorias de 50 ou 75%, ao passo que, as inovações ao nível do sistema, que levam a reduções radicais de recursos ambientais podem proporcionar melhorias de 75% a 100% no aspecto ambiental da sustentabilidade.

## **2.1. Dimensões Básicas Da Ecoinovação**

Essa tentativa de conceituar ecoinovação também está embasada em uma perspectiva evolutiva da inovação (DOSI et al., 1988; ARTHUR, 1994; NELSON e WINTER, 2002; JUNG, 2004; WITT, 2009), segundo a qual a inovação surge através

de um processo sistêmico que se refere à inter-relação e interação dinâmica entre diferentes *stakeholders* e fatores internos e externos que influenciam o processo de inovação. Essas premissas convidam a explorar uma ampla gama de ecoinovações e a examinar as mudanças ocorridas em várias dimensões da ecoinovações, que consistem nominalmente: dos aspectos de projetos dos produtos, dos usuários, dos serviços vinculados aos produtos, e de governança (CARRILLO-HERMOSILLA et al., 2009) conforme pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2 – Dimensões da ecoinovação



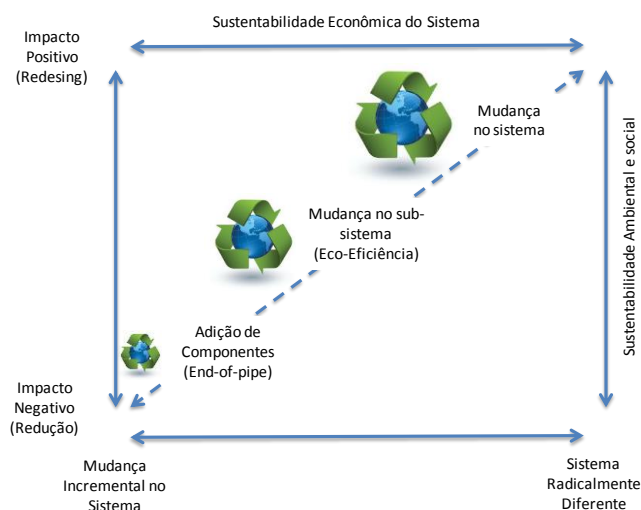
Fonte: Primária

### 2.1.1. Dimensão do projeto na ecoinovação

Considera-se o projeto como uma dimensão crucial do planejamento proativo, que aborda tanto como melhorar os sistemas existentes, quanto criar ou transformar um sistema inteiramente novo (CHARTER e CLARK, 2007). Do ponto de vista ambiental, duas lógicas diferentes de projeto para as inovações podem ser distinguidas: um considera as ações humanas incompatíveis com o meio ambiente e centra-se em minimizar os impactos ambientais. A outra se concentra em reformular os sistemas de produção objetivando reduzir os impactos ambientais das atividades de produção e consumo. Quando essas duas perspectivas são combinadas com a

natureza da mudança tecnológica incremental/radical e do grau de impactos para o sistema, três diferentes abordagens podem identificar o papel e os impactos de ecoinovações Figura 3.

Figura 3 – Evolução da eficiência da ecoinovação conforme mudanças de tecnologias e o nível de impacto no sistema



Fonte: Primária – adaptado de (CARRILLO-HERMOSILLA et al., 2009)

A primeira abordagem se refere à adição de componentes geralmente caracterizadas com técnicas *end-of-pipe*. A segunda se refere a mudanças em partes do sistema, numa tentativa de minimizar os impactos gerados usando o princípio da ecoeficiência. E por fim a terceira se refere a mudanças do sistema, onde o objetivo é formar um ciclo fechado com base nos produtos desenvolvidos.

**Adição de componentes:** representam mudanças pela adição de componentes que minimizam e reparam os impactos negativos, sem necessariamente alterar o processo e o sistema que geram esses impactos em primeiro lugar (LITTLE, 2005; MORAND, 2008; CHARTER e CLARK, 2007). Se a inovação é um componente adicional ao sistema, os custos adicionais para o processo são susceptíveis de serem efetuados. Desde a revolução industrial, a implementação dessas tecnologias tem levado a grandes melhorias na qualidade do ar local, purificação da água entre outros exemplos. No entanto, se estas tecnologias não mudam o processo principal, elas vão apenas resolver parte do problema. Não obstante de, quando os sistemas de produção existentes não podem ser alterados rapidamente, este tipo de ecoinovação pode ser uma alternativa valiosa para lidar

com o problema da falta de tempo para se ter algo menos impactante com relação ao meio ambiente. Essas adições representam tecnologias do tipo *end-of-pipe*.

**Mudança de subsistema:** representam mudanças que reduzem os impactos negativos através da criação de mais bens e serviços, utilizando menos recursos e gerando menos resíduos e poluição (MORAND, 2008; CHARTER e CLARK, 2007). Esta abordagem é tratada especificamente pelo termo ecoeficiência (SCHMIDHEINY, 1992), pois prevê a produção de bens e serviços com valor maior economicamente, reduzindo os impactos ecológicos da produção dos mesmos (ou seja, produzir mais com menos). O conceito de ecoeficiência proporciona orientação prática, voltada para a ação sobre como combinar as questões ambientais no negócio. Mas seus objetivos muitas vezes são considerados insuficientes na medida em que o crescimento da produção prejudica a eficiência ambiental como um todo.

**Mudança de sistema:** representam mudanças em toda cadeia produtiva e que são projetadas com vista a reduzir os impactos ambientais no ecossistema e na sociedade em geral. Esta abordagem baseia-se na analogia entre os sistemas naturais e sócio técnicos tradicionalmente, propostos pelos ecologistas industriais (FROSCHE e GALLOPOULOS, 1989; SOCOLOW, 1997; AYRES e AYRES, 2002; LIFSET, 2005), que se concentram sobre a concepção de sistemas industriais, a fim de incorporar os princípios expostos nos ecossistemas naturais em que os recursos se movem através do sistema para tornarem-se resíduos, que por sua vez se tornam insumos para novos processos.

Dentro da dimensão do projeto naecoinovação, a abordagem sistêmica é premissa básica para se alcançar os melhores resultados. A abordagem sistêmica para projeto ambiental leva em consideração duas alternativas de concepções: ciclo fechado e ciclo aberto (MCDONOUGH e BRAUNGART, 2002; BRAUNGART et al., 2007). A primeira refere-se ao projeto com absorção dos produtos de volta para os processos de produção industrial no final de sua vida útil, gerando novos produtos. Enquanto a segunda refere-se à concepção de produtos que são biodegradáveis dentro do ecossistema.

### **2.1.2. Dimensão do serviço vinculado ao produto naecoinovação**

Inovações bem sucedidas devem proporcionar maiores receitas ou reduzir os custos e atrair novos clientes. Por outro lado, a forma como as empresas criam

valor acrescentado com os seus processos e produtos/serviços pode desempenhar um papel crucial no processo de inovação e nos impactos ambientais (STAHEL e JACKSON, 1993).

Para inovar radicalmente no serviço que está vinculado a um produto, há uma necessidade de redefinição do conceito do serviço do produto e como ele é ofertado aos clientes (MARKIDES, 2006). Mont (2002) e Williams (2007) propõem a aplicação de um sistema de serviço de produto para o desenvolvimento de modelos de negócios sustentáveis. Refere-se a um sistema de produtos, serviços, redes de apoio e infraestrutura que são projetados para ser: competitivo, satisfazer as necessidades dos clientes e ter um impacto ambiental menor do que os modelos de negócios tradicionais. A abordagem centra-se na entrega de uma função para o cliente, o que significa uma prestação de combinações de produtos e serviços que são capazes de responder conjuntamente as necessidades dos usuários (GOEDKOOOP et al., 1999).

Esta dimensão de serviço na ecoinovação salienta a relevância de uma perspectiva de cadeia de fornecimento em ecoinovação. É necessária uma mudança no foco de otimização de toda a cadeia de suprimentos durante a produção, o consumo, atendimento ao cliente e na retirada do mercado, no fim do ciclo dos produtos (LINTON et al., 2007). Duas dimensões do serviço do produto são consideradas neste contexto:

**Oferta de serviço vinculado ao produto:** a criação de serviços vinculados ao produto consiste em mudanças identificáveis na disponibilidade e oferta de um determinado serviço e alterações na percepção da relação do cliente com a empresa ofertadora deste;

**Forma de entrega do Serviço:** as mudanças no processo de entrega de um determinado serviço vinculado a um produto consistem em mudanças na rede de valor (cadeia de valor e outras relações) e nos meios que permitem a entrega do serviço a um determinado produto.

### 2.1.3. Dimensão do usuário na ecoinovação

Para desenvolver ecoinovações, as empresas devem ser capazes de antecipar a aceitação da ecoinovação no mercado (PUJARI, 2006). As empresas devem envolver os usuários no seu desenvolvimento com o objetivo de se beneficiar

da criatividade dos mesmos para desenvolver novos produtos e serviços e garantir que eles vão aceitá-los no momento de decisão pela compra destes (NILL e KEMP, 2009). Na verdade, os usuários desempenham um papel fundamental, não só na aplicação das inovações, mas também na identificação, fazendo melhorias e auxiliando no desenvolvimento destas (CARRILLO-HERMOSILLA et al., 2009). Algumas delas são posteriormente adotadas por fabricantes e vendidas como produtos comerciais. Por isso, pode ser crucial para as empresas saberem quais usuários são capazes de contribuir para as diferentes fases do processo de inovação e como interagir com eles. Mas esta perspectiva de interações com o co-desenvolvedor deve ser complementada com a influência da demanda do mercado no desenvolvimento de novos produtos, como afirma Pujari (2006).

Assim, duas dimensões de usuários no desenvolvimento deecoinovações são consideradas:

**Desenvolvimento com cooperação do Usuário:** Von Hippel (2005) define os usuários como consumidores individuais que esperam para se beneficiar da utilização de um produto ou serviço, em contraste com os fabricantes, os quais esperam se beneficiar com a venda de um produto ou serviço. Estudos revelam que alguns usuários são muito ativos no processo de inovação, pois adotam os papéis de inventores e (co)-autores (HIENERTH et al., 2006). Este fenômeno tem sido evidente em diferentes áreas, tais como no desenvolvimento de softwares (MORAND, 2008) e em equipamentos biomédicos e esportivos (LÜTHJE et al., 2005), entre outros. Embora tais estudos tivessem mostrado que muitos usuários se envolvem no desenvolvimento ou modificação de produtos, eles também revelam que, quando se considera a natureza das inovações orientadas pelo próprio coautor, os novos produtos têm uma redução para um grau médio de capacidade de inovação. Isso pode ser explicado pelas barreiras específicas dos usuários em inovar radicalmente. Limitações cognitivas podem impossibilitá-los de fornecer valiosos insumos. Na fase de geração de ideias, os usuários podem ser funcionalmente fixos no seu contexto atual de uso e, portanto, incapazes de desenvolver radicalmente novas ideias. Também pode ser difícil para esses usuários avaliarem conceitos e protótipos de inovações radicais. Além disso, eles podem não ser capazes de fornecer insumos valiosos devido às altas complexidades tecnológicas envolvidas. Finalmente, os usuários nem sempre estão dispostos a contribuir para projetos de inovação radical. A fim de se envolver sistematicamente

os usuários no processo de inovação, as empresas precisam de uma competência especial para identificar quais usuários são capazes de fornecer valiosas contribuições em projetos de inovação (RONDINELLI e LONDON, 2003). A metodologia de liderança por usuários (URBAN e VON HIPPEL, 1988) procura identificar e envolver potenciais usuários na geração das ideias e fases do desenvolvimento. Usuários de liderança diferem de usuários comuns na medida em que percebem benefícios significativos ao encontrarem soluções inovadoras e, portanto, são altamente motivados a se engajar no novo processo de desenvolvimento do produto.

**Aceitação do Usuário:** o comportamento do usuário desempenha um papel crucial na aplicação das ecoinovações e seus impactos sobre a sociedade. Por sua vez, o foco de mercado é um fator determinante para o desempenho dos produtos mais ecológicos do mercado (PUJARI, 2006). A compreensão clara das necessidades dos usuários é crucial para o sucesso de novos produtos. A criação de mercados específicos para produtos mais ecológicos e a avaliação das necessidades do mercado são importantes para este sucesso. Isso exige dos profissionais de marketing uma percepção de uma contribuição sobre as necessidades e desejos (inclusive ambientais) em estágios iniciais de desenvolvimento do produto. No entanto, o desenvolvimento de um produto que se destaca em termos ambientais, mantendo-se economicamente e tecnicamente competitivos, é um desafio significativo (PUJARI, 2006). Logo, todo e qualquer desenvolvimento de um produto ecoinovador deverá levar em consideração a questão da aceitação por parte dos usuários desses produtos.

#### **2.1.4. Dimensão da governança na ecoinovação**

Todo tipo de inovação, mesmo com o apelo ambiental, quando proporcionam alterações institucionais, são difíceis de consolidar, porque o sistema vigente pode agir como uma barreira para a criação e difusão de um novo sistema. Se o sistema já existente tornou-se social e economicamente difundido, os governos podem incentivar a sua expansão através de uma variedade de mecanismos, incluindo subsídios, incentivos fiscais (UNRUH, 2000; FREEMAN e PEREZ, 1988).

Inovações na governança ambiental referem-se a todas as soluções institucionais, tanto no setor público quanto privado, no sentido de resolver os

conflitos sobre os recursos ambientais. Soluções institucionais referem-se a mudanças nas normas e legislações levando a novas mudanças organizacionais ou estruturais de uma empresa, governo ou sociedade em geral. Do ponto de vista do setor público, essas soluções podem estar relacionadas com a regulamentação do uso dos recursos naturais e distribuição dos respectivos benefícios, fornecimento e recuperação de custos, monitoramento, fiscalização, resolução de conflitos e escolha coletiva (PAAVOLA, 2007). Do ponto de vista de uma empresa, a dimensão da governança instiga os gestores para explorarem o papel mais amplo das empresas na sociedade, ou seja, para renovar as suas relações com outras partes interessadas, particularmente com o governo. O termo "governança" aponta a importância da colaboração público-privada, ao abordar a ecoinovação.

Inovações radicais em gestão têm surgido, em particular, onde federações industriais e organizações surgiram de baixo para cima (*bottom-up*) de modo que pudessem coordenar o funcionamento das soluções de governança (OSTROM, 1990; SENGUPTA, 2004). Em contraste, os grupos criados de cima para baixo (*top-down*) geram muitas soluções de governança em vários níveis formais. Tais processos *bottom-up* e *top-down* também podem vir juntos, como é o caso da combinação global para mitigar a mudança climática.

Considera-se que, em nível do sistema, a governança da ecoinovação tenha um papel crucial a desempenhar, apesar do fato de que as transições para sistemas radicalmente diferentes são processos sociais co-evolutivos complexos. Estas ações são normalmente lideradas por uma série de adaptações graduais e paralelas. Ainda assim, essa coordenação de políticas em prol do meio ambiente tais como: regulação; estratégias corporativas; aprendizagem social entre outras, podem superar algumas barreiras e fomentar novas iniciativas de inovação fornecendo impulso suficiente para a transição do sistema. É fundamental vincular visões de longo prazo com as estratégias de curto e médio prazo para gerar política industrial e social, entre outras condições favoráveis que levam à ação comum para a mudança do sistema.

### **3. Método**

Uma vez que as dimensões-chaves da ecoinovação foram identificadas e descritas, a sua importância relativa para a caracterização das ecoinovações devem



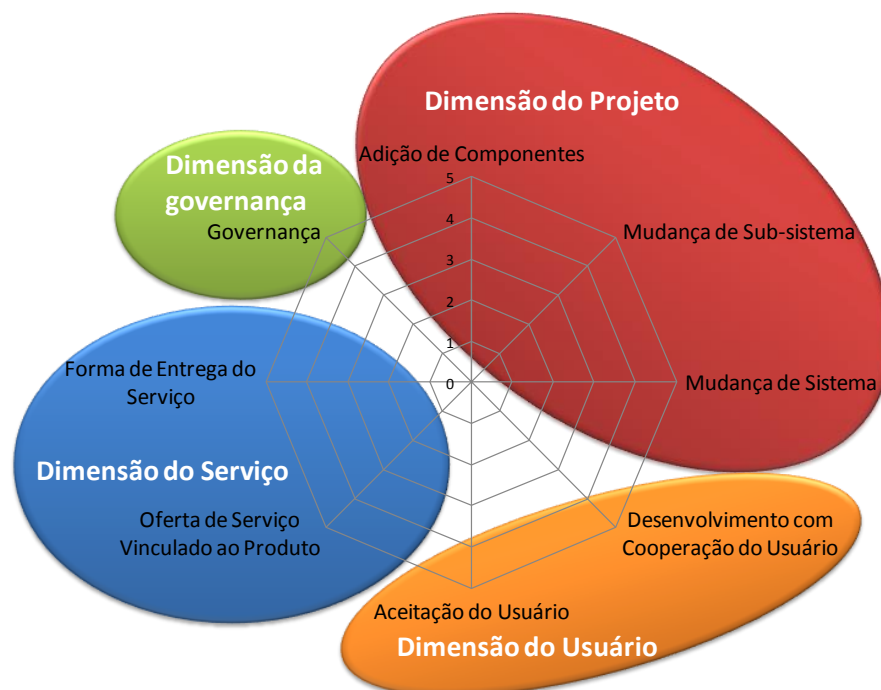
ser analisadas. O estudo da ecoinovação pode-se beneficiar significativamente com análises empíricas que compreendem os detalhes dos tipos de ecoinovação específicas e, em particular, as suas dimensões. Para tal optou-se por procurar exemplos de ecoinovações em produtos, através de análises de casos na literatura, e que caracterizassem o cenário brasileiro.

A abordagem de estudo de caso, é ideal para a geração de conhecimentos teóricos e pragmáticos a partir de observações empíricas, quando pouco se sabe sobre um fenômeno e quando há discordância na literatura (EISENHARDT e GRAEBNER, 2007). Os estudos de casos são capazes de capturar os detalhes de ecoinovações, que são despercebidos em análises quantitativas de agregação. Foram considerados estudos de casos caracterizando os diversos tipos de dimensões em casos práticos, uma vez que os mesmos podem aumentar a validade externa e, por fim, a generalização, dos resultados da investigação.

Foram pesquisados os termos: ecoinovação de produtos, produtos ecológicos, inovação ambiental em produtos. Todos esses casos analisados estão no contexto brasileiro, e as bases consultadas foram: *ScienceDirect*, *SciELO*, *Isi web of knowledge*, Google Acadêmico. Dessa pesquisa resultaram cinco casos.

A fim de melhor caracterizar as ecoinovações e demonstrar essa abordagem, os autores avaliaram as dimensões de ecoinovações selecionadas, usando uma escala *Likert* com cinco níveis de pontuação, com um (1) significando uma mudança incremental, cinco (5) para uma mudança radical e zero (0) representa nenhuma mudança. Quando uma ecoinovação é avaliada em todas as dimensões, utilizando a escala *Likert*, a pontuação pode ser conectada. A área resultante desse gráfico caracteriza a ecoinovação específica que está sendo avaliada. Na Figura 4, podem-se observar como essas dimensões dos casos escolhidos serão avaliadas.

Figura 4 – Representação da avaliação dimensões e das subdimensões da ecoinovação



Fonte: Primária

#### 4. Estudo de caso

As ecoinovações de produtos, no contexto brasileiro, selecionadas conforme observado na metodologia, são descritas e avaliadas nessa seção com base no método escolhido. Estes cinco (5) casos existentes no Brasil compreendem: um (1), processo de geração de produtos alternativos e quatro (4) produtos ecoinovadores. Todos os casos têm como objetivo de se observar o fenômeno de ecoinovação em toda a sua complexidade e diversidade, como sugerido pela metodologia (EISENHARDT e GRAEBNER, 2007; ELLINGER et al, 2005). Os casos foram escolhidos para descrever a diversidade de ecoinovações e não como os melhores exemplos de boas práticas.

##### 4.1. Caso 1: Comunidade de Palmares do Sul

A cidade de Palmares do Sul, no estado do Rio Grande do Sul (RS), é uma dos primeiros casos práticos de aplicação do modelo de gestão para geração de produtos alternativos, com foco na sustentabilidade no Brasil (GUIMARÃES, 2012).

Em países em desenvolvimento, questões sócio econômicas, como saneamento, transporte público e oportunidades de trabalho estão entre as questões prévias a serem abordadas pelos gestores (GUIMARÃES, 2012), enquanto que no Brasil isso faz parte de um plano secundário. A proposta foi desenvolvida para atender as necessidades básicas da população da cidade, desenvolvendo soluções ecoinovadoras utilizando os recursos residuais como matéria prima para a geração de energia, purificação de água, saneamento, alimentação, vestuário, transporte entre outras aplicações. Refeições, vestuários e objetos em geral são produzidos em cooperativas sustentáveis com base nos materiais reciclados recolhidos em escolas da rede pública local, ou seja, são construídos com base em parâmetros verdes e na inclusão social (GUIMARÃES, 2012). O resíduo não aproveitado é devidamente separado e revendido para empresas de reciclagem gerando renda para o funcionamento das cooperativas. Alunos da rede pública são ensinados a reciclar e atuam como agentes de conscientização em suas famílias sobre a importância da reciclagem além de serem instruídos a gerar novas soluções e produtos com base no material coletado em suas escolas.

#### **Avaliação do caso da comunidade de Palmares do Sul:**

*Adição de Componentes:* (1) A comunidade tem com foco a criação de novos produtos com base na matéria prima reaproveitada e como a cidade não concentra a maioria das indústrias que geram esses resíduos reaproveitados são poucas as oportunidades para serem adicionadas tecnologias do tipo “*end-of-pipe*”.

*Mudança de Subsistema:* (4) Há uma considerável redução dos impactos negativos através da criação de mais bens e serviços utilizando-se de resíduos recicláveis.

*Mudança de Sistema:* (5) Há uma alteração no sistema onde os usuários compreendem que ao fim do ciclo de vida dos produtos ele não deve ser descartado e sim reaproveitado como recurso para um novo produto.

*Desenvolvimento com Cooperação do Usuário:* (5) A participação na criação de novos produtos e novos serviços por parte dos colaboradores das cooperativas e pelo desenvolvimento de uma consciência mais ecológica nas escolas municipais cria uma sociedade na cidade de Palmares do Sul muito engajada na preservação do meio ambiente.

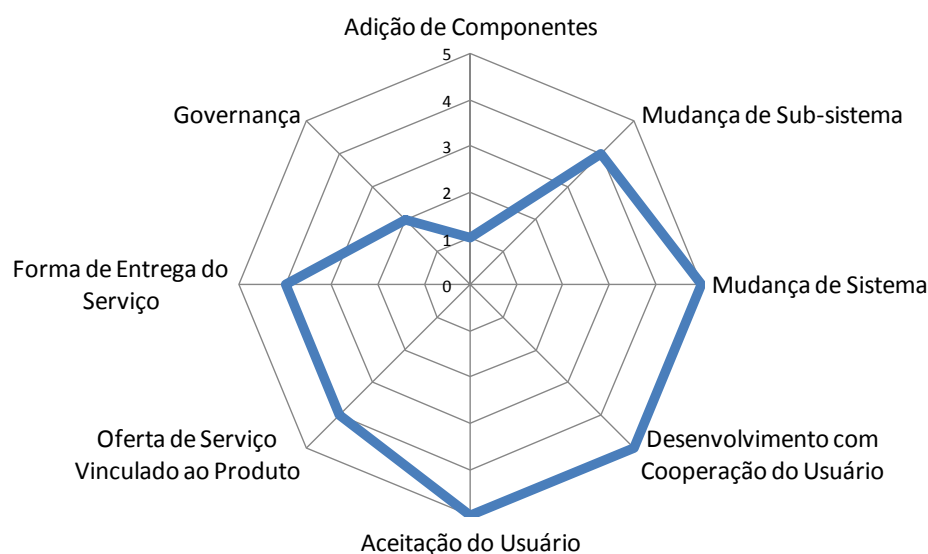
*Aceitação do Usuário:* (5) A maioria da comunidade está engajada em todo esse ciclo não hesita em separar seus resíduos e pensar no que pode ser gerado com base nele.

*Oferta de Serviço Vinculado ao Produto:* (4) Postos de recolhimento, unidades de triagem, distribuição dessas matérias formam uma cadeia de fornecimento que no município não havia gerando uma oferta de serviços para os novos produtos a serem desenvolvidos.

*Forma de Entrega do Serviço:* (4) Por mais que a maneira como o serviço de separação e recolhimento dos resíduos é feita de maneira artesanal, todos integrantes percebem que a rede de valor é incrementada.

*Governança:* (2) Do ponto de vista da governança público/privada percebe-se claramente que há um grande apoio por partes dos cooperados na consolidação do projeto de um município sustentável enquanto que da parte pública apenas o interesse verbal que não se transforma em ação no município. Os representantes políticos que deveriam mostrar para a sociedade do município o grande valor que essas ações podem despertar, não acabam realizando, o que pode resultar num baixo rendimento na proposta de se tornar um município sustentável.

Figura 5 – Representação da avaliação da ecoinovação da comunidade de Palmares do Sul



Fonte: Primária

## 4.2. Caso 2: Areia Artificial

A areia artificial foi desenvolvida no início dos anos 2000 em pesquisas financiadas pelo centro de tecnologia mineral entidade subordinada ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) brasileiro e hoje é comercializada por diversas empresas no Brasil. O grande crescimento do setor de construção civil brasileiro enfrenta uma grande dificuldade na obtenção de areia natural para o seu desenvolvimento. No cenário brasileiro, 90% da produção de areia são realizadas através da extração em leitos de rios (ALMEIDA e PEREIRA, 2004). Entretanto, a restrição destas atividades impostas pelo órgão responsável pelo meio ambiente tem afastado as empresas de construção e elevando os custos. A produção da areia artificial é realizada através da moagem dos finos de pedreiras que antes eram descartados sem utilização. Logo o projeto se propõe a solucionar dois problemas: o primeiro com relação aos impactos ambientais no qual é reduzida a extração de areia natural dos leitos dos rios e do resíduo das pedreiras e o segundo de ordem econômica, pois a areia artificial pode ser produzida próxima aos centros de consumo.

### **Avaliação do caso da areia artificial:**

*Adição de Componentes:* (4) A moagem dos finos de pedreiras é realizada por novos componentes no processo de extração de pedras e de gestão de resíduos.

*Mudança de Subsistema:* (4) Proporciona melhor eficiência na produção de areia próximo a grandes centros urbanos e auxilia nos sistemas de gestão de resíduos.

*Mudança de Sistema:* (2) Apesar de apresentar até melhor qualidade do que a areia extraída dos leitos de rios o processo envolve um custo de operação de maquinário ainda elevado para os padrões brasileiros.

*Desenvolvimento com Cooperação do Usuário:* (3) O processo de obtenção da areia artificial foi uma pesquisa realizada e financiada através de verbas de fomento de setores públicos brasileiros.

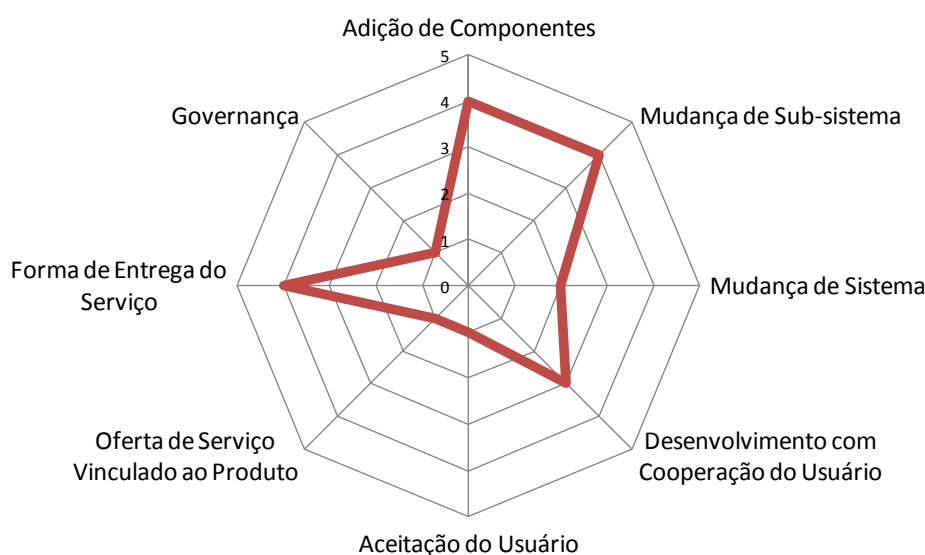
*Aceitação do Usuário:* (1) O setor de construção civil é muito conservador e em mais de 90% do mercado ainda se utiliza de areias com base na extração em rios. A geração de demanda para a areia artificial é a principal barreira para o pleno uso dessa alternativa.

*Oferta de Serviço Vinculado ao Produto:* (1) Há uma percepção de alteração de serviço por parte do usuário final (construtoras) muito pequena.

*Forma de Entrega do Serviço:* (4) Em relação à areia natural, a nova cadeia de valor inclui coleta de resíduos e moagem dos finos de pedreiras.

*Governança:* (1) As autoridades brasileiras que participaram no desenvolvimento de tal solução para o meio ambiente pouco têm agido para que a solução se popularize no mercado brasileiro. Uma forma de incentivar esse produto seria através da obrigação do uso de uma parcela nas obras públicas a serem licitadas.

Figura 6 – Representação da avaliação daecoinovação areia artificial



Fonte: Primária

### 4.3. Caso 3: Madeira Plástica

Madeira plástica ou IMAWOOD é o nome dado ao resultado de inúmeras pesquisas realizadas pelo Instituto de Macromoléculas da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). A quantidade de resíduos plásticos gerados nas cidades chamou a atenção dos pesquisadores do instituto de pesquisa da UFRJ no qual resultou na produção da madeira plástica para diversos fins de utilização. A madeira plástica é composta por 75% de polietileno de baixa densidade e 25% de polietileno

de alta densidade em geral (MARTINS et al., 1999). Isso proporciona um grande reaproveitamento de praticamente todos os tipos de plásticos utilizados no mercado: polietileno, PET, polipropileno (MARTINS et al., 1999). O processo de preparação da matéria prima para a produção da madeira plástica pode ser feito de duas maneiras, mecânica ou química, sendo a primeira mais barata e a segunda, mais refinada, o que pode proporcionar um maior acabamento no desenvolvimento do produto final (MARTINS et al., 1999). A madeira plástica tem sido cada vez mais usada na fabricação de móveis para decoração exterior pela indústria moveleira. Outra característica fundamental é que todo o produto é concebido na filosofia berço-a-berço.

#### **Avaliação do caso da madeira plástica:**

*Adição de Componentes:* (4) É formado por novos componentes, tais como compostos de resinas termoplásticas com uma camada de reforço de fibra de vidro para aumentar a durabilidade dos produtos.

*Mudança de Subsistema:* (4) A melhoria do desempenho ambiental. Graças à tecnologia de extrusão do adesivo são 100% reciclável.

*Mudança de Sistema:* (5) Em comparação com os móveis de madeira tradicionais, o IMAWOOD constituiu um redesign, pois é um produto 100% constituído por materiais reciclados.

*Desenvolvimento com Cooperação do Usuário:* (1) O setor comercial teve pouca participação sobre as fases inovadoras de desenvolvimento do IMAWOOD, nas mudanças de projeto e na construção do sistema de logística reversa.

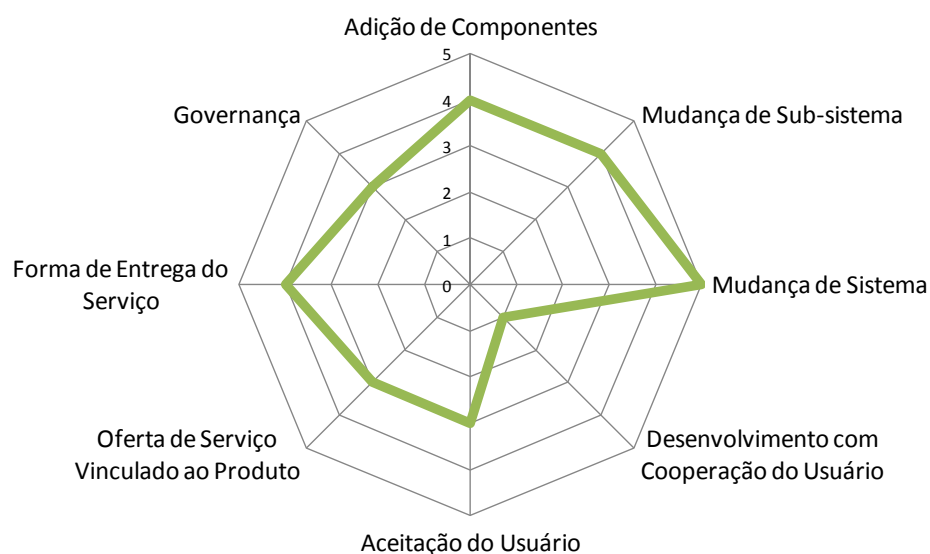
*Aceitação do Usuário:* (3) A absorção rápida da madeira plástica pelos setores de decoração e paisagismo deveu-se aos clientes perceberem que a madeira plástica tem um bom desempenho em termos de seu impacto, funcionalidade e qualidade ambiental.

*Oferta de Serviço Vinculado ao Produto:* (3) O novo produto cria uma opção de lazer e decoração para ambientes externos sem a preocupação da realização de um serviço de manutenção periódica.

*Forma de Entrega do Serviço:* (4) O redesenho da cadeia de valor do produto e a construção do sistema de logística reversa são mudanças radicais no processo de serviço do produto.

*Governança:* (3) Iniciativas legislativas e industrial têm apoiado a implementação de um sistema de logística reversa.

Figura 7 – Representação da avaliação da ecoinovação madeira plástica



Fonte: Primária

#### 4.4. Caso 4: Cera de Carnaúba

A cera de carnaúba surgiu de uma necessidade particular de um morador de um condomínio residencial na cidade de Guarulhos, São Paulo. Cansado de ouvir reclamações sobre o consumo de água utilizado para lavar seu veículo particular esse morador desenvolveu uma pasta específica à base de cera de carnaúba, silicone e tenso ativos que elimina o uso de água para a limpeza de veículos (BUSSOLO, 2013). Em média, uma lavagem comum à base de água utiliza 50 litros enquanto que a lavagem com o novo processo em torno de 200 ml para lavagem do pano utilizado (ECOAMARA, 2013). Com a cera desenvolvida, surgiu um novo serviço chamado ECO LAVAGEM. Este serviço já está consolidado no mercado brasileiro e já se elaboram leis no congresso brasileiro para que as empresas prestadoras de serviços de limpeza automotivas sejam obrigadas a utilizarem a eco lavagem. Além da economia dos recursos hídricos outro aspecto importante é o que se refere ao desuso de produtos não biodegradáveis que podem acabar contaminando lençóis freáticos e outras fontes de água visto que os produtos que compõem a eco lavagem se decompõem naturalmente.



**Avaliação do caso da cera de carnaúba:**

*Adição de Componentes:* (1) Foi necessária a adição silicone e tensos ativos à pasta de carnaúba para a composição da cera.

*Mudança de Subsistema:* (4) O sistema de lavagem através da cera de carnaúba proporciona uma ecoeficiência no uso de água muito grande.

*Mudança de Sistema:* (5) O processo de lavagem com a cera de carnaúba rompe radicalmente com o sistema tradicional no uso da água de forma que a redução do consumo é evidente, bem como na não contaminação dos efluentes no descarte da água utilizada no processo tradicional.

*Desenvolvimento com Cooperação do Usuário:* (1) O sistema foi desenvolvido através de testes e pesquisas próprias do inventor.

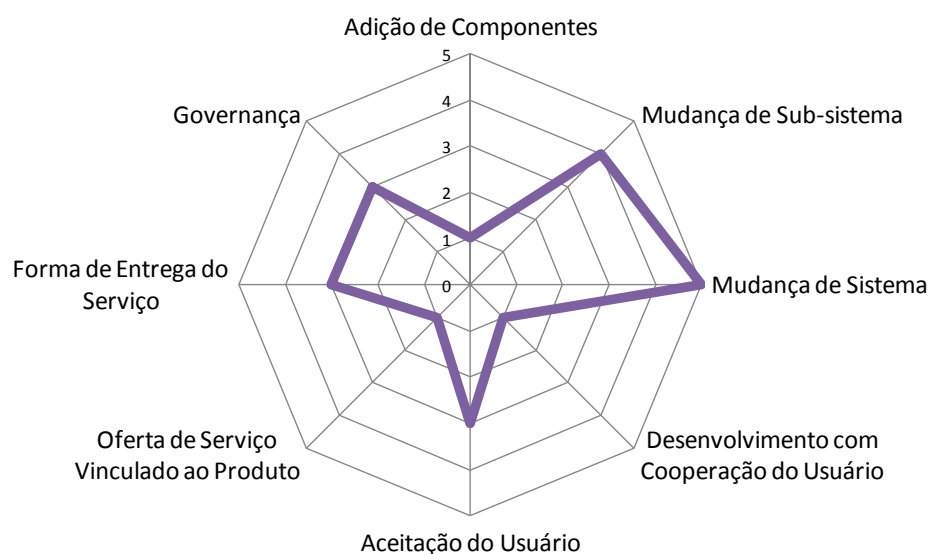
*Aceitação do Usuário:* (3) Com alguns anos já do desenvolvimento o processo de limpeza através dessa cera ainda não é muito comum, mas já se podem ser percebidos nas garagens dos shoppings das grandes cidades brasileiras como mais uma opção de serviços oferecidos enquanto as pessoas frequentam estes estabelecimentos.

*Oferta de Serviço Vinculado ao Produto:* (1) Há pouca alteração na rede de valor entre as empresas que prestam o serviço para com seus clientes.

*Forma de Entrega do Serviço:* (3) Baseia-se radicalmente em diferentes conhecimentos.

*Governança:* (3) O governo federal tem empregado o uso obrigatório desse processo, entretanto essa prática é comum apenas na capital federal do Brasil.

Figura 8 – Representação da avaliação da ecoinovação da cera de carnaúba



Fonte: Primária

#### 4.5. Caso 5: Veículo Híbrido

O veículo híbrido ou HIBRIBUS é um produto desenvolvido no Brasil pela empresa sueca Volvo e foi lançado durante a Conferência das nações unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável a Rio+20 em junho de 2012. O ônibus híbrido possui uma tecnologia inovadora e representa a melhor solução híbrida para transporte público de massa no Brasil (VOLVO, 2012). A fábrica Brasileira é a primeira a produzir veículos fora da Suécia. Muitos desses ônibus produzidos já se encontram em circulação em algumas capitais brasileiras. A Tecnologia desenvolvida permite uma economia de até 35% de combustível e reduz as emissões de gases poluentes comparado aos ônibus em convencionais em circulação. Essa redução é atingida, pois o HIBRIBUS combina um motor a gasolina e um motor elétrico, que são alternados dependendo das condições de condução. Em baixa velocidade o veículo usa o motor elétrico e a partir de 20 km/h, alterna para o motor a combustão. O veículo tem capacidade de gerar energia quando está sendo freado e automaticamente desliga o motor a combustão quando o veículo está parado.

**Avaliação do caso do veículo híbrido:**

*Adição de Componentes:* (5) Alguns novos componentes são necessários no que diz respeito aos carros convencionais. Combinação dos motores a combustão e elétrico.

*Mudança de Subsistema:* (4) Os ganhos significativos de eficiência energética são alcançados, especialmente em condições de trânsito urbano especialmente.

*Mudança de Sistema:* (2) Ele muda alguns aspectos relacionados com o modo de como a mobilidade urbana é executada, mas é apenas uma solução parcial para a mudança radical no sistema de transporte.

*Desenvolvimento com Cooperação do Usuário:* (1) O sistema foi desenvolvido pela Volvo Brasil, entretanto a participação dos usuários foi limitada no seu desenvolvimento inicial comparada com a maior participação em versões posteriores.

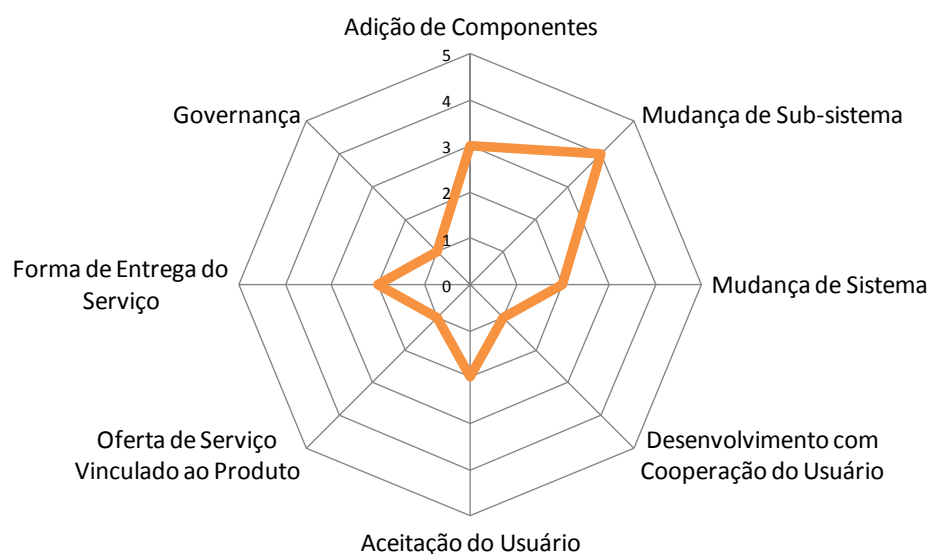
*Aceitação do Usuário:* (2) Algumas mudanças de comportamento de condução são necessárias por parte dos motoristas.

*Oferta de Serviço Vinculado ao Produto:* (1) Há baixas alterações na percepção do cliente com relação ao serviço entregue.

*Forma de Entrega do Serviço:* (2) Algumas mudanças em relação à cadeia de valor.

*Governança:* (1) Há poucos movimentos por parte dos gestores públicos para a substituição da frota atual nas grandes cidades. A cidade de Curitiba no estado do Paraná se destaca no emprego desses veículos com relação às demais capitais estaduais brasileiras.

Figura 9 – Representação da avaliação da ecoinovação veículo híbrido



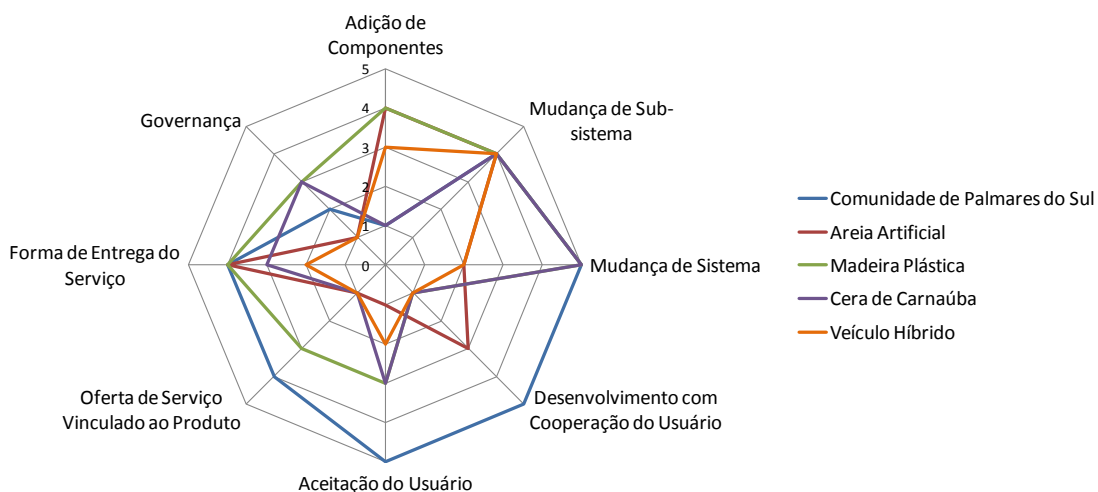
Fonte: Primária

## 5. Análise

A dimensão do projeto destaca a diversidade existente de ambos os produtos e processos ecoinovadores, desde incremental até radicais. Todas as ecoinovações, detalhadas nos estudos de casos, contribuem para a proteção ambiental, embora de maneiras diferentes e em diferentes períodos de tempo. A Figura 10 apresenta o resultado sobreposto de cada caso avaliado. A maioria dessas ecoinovações pontua em maior valor na dimensão de projeto pela adição de componentes, e de uma maneira de menor valor no indicador de mudança do sistema no qual o processo existente pode apresentar melhorias de eficiência e redução de custos, reduzindo simultaneamente os impactos nocivos sobre o ambiente. Com as maiores contribuições para a mudança de sistema podem ser observadas no caso do projeto da cidade de Palmares do Sul que visa o desenvolvimento de novos produtos através do reaproveitamento dos resíduos, da madeira de plástico, que rompe com o processo tradicional de produção de móveis e do uso da cera de carnaúba na limpeza de veículos. O caso da areia artificial não gera uma mudança radical no sistema, mas através da alteração de parte do seu

subsistema proporciona uma redução nos custos de transportes de areia perto dos grandes centros e na redução do assoreamento dos rios.

Figura 10 – Comparação das avaliações dos casos ecoinovadores



Fonte: Primária

Também pode-se perceber que quando os projetos de ecoinovação são avaliados com índices altos na dimensão de mudança de sistema, pode-se afirmar que os mesmos têm o potencial de criar novas alternativas, o que é crucial para a reformulação dos sistemas existentes e o progresso para uma sociedade com foco na sustentabilidade. O caso da madeira plástica, IMAWOOD, é o que mais representa uma remodelação de um produto existente.

Os estudos de casos sobre ecoinovações sugerem que a diversidade é característica da ecoinovação. A diversidade pode desempenhar um papel importante na transição para uma economia mais sustentável, ou seja, necessita-se de ecoinovações que se desenvolvam e se difundam em períodos de curto, médio e longo prazo. Adições de componentes e alterações em subsistemas são susceptíveis de proporcionar efeitos diretos, de curto prazo, melhorando o desempenho ambiental. Apesar de resolver um problema pontual no qual a sociedade tem entendimento que o problema não está solucionado definitivamente, essas ecoinovações podem ser tão importantes, pois contribuem para a transformação dos sistemas existentes em sustentáveis. Como exemplo pode-se

referenciar a contribuição do veículo híbrido e da madeira plástica para a melhoria ecológica do sistema de transporte e da indústria moveleira, respectivamente. No caso do veículo híbrido, o impacto imediato resulta na melhora da eficiência do combustível, o que pode facilitar a introdução de outros veículos elétricos no mercado.

Enquanto algumas dasecoinovações podem ser facilmente adotadas, em determinado momento, outras ecoinovações exigem esforços conjuntos consideráveis nas fases de desenvolvimento e pré-comercialização. Assim duas abordagens, tanto no desenvolvimento de políticas públicas para o uso quanto à gestão, devem ser exploradas para garantir o desempenho incremental e melhorias ambientais no curto prazo, bem como mudanças mais sistêmicas e radicais em longo prazo. Isto obviamente considerando o cenário brasileiro exige um equilíbrio sensato entre a padronização da compra de bens e a manutenção dos mesmos, que permitiria a redução de custos através de economias quando fossem adquiridos os produtos além da redução, em certo grau, de diversidade de produtos adquiridos. Isso deve ser considerado, pois o que pode ser caro no curto prazo (momento da aquisição) pode representar uma perspectiva de custo-benefício em longo prazo (redução dos custos de manutenção de diversos produtos).

Através das perspectivas de desenvolvimento com a participação dos usuários, as ecoinovações estão mais próximas de chegarem aos mercados. Os usuários impulsionam as ecoinovações e àquelas com foco de mercado, têm uma melhor chance de sucesso. Nesse sentido, o caso da cidade de Palmares do Sul representa o melhor exemplo e participação da comunidade tanto na formação da cadeia de suprimento de matérias primas quanto no desenvolvimento de soluções ecoinovadoras. Obviamente que os produtos produzidos nas cooperativas em Palmares do Sul não suprem toda a demanda da comunidade, mas uma consciência ecológica já está presente sobre o produto comprado.

O engajamento do usuário no desenvolvimento das soluções permite a interação e a colaboração no desenvolvimento de novos produtos e a criação de um ciclo fechado entre o desenvolvedor e o usuário. Este ciclo fechado entre desenvolvedor e usuário é compartilhado por muitas ecoinovações de sucesso. Entretanto, os casos da areia artificial, ECOWASH e o HIBRIBUS, demonstram uma participação bem limitada de usuários no desenvolvimento das ecoinovações. Logo

o sucesso dessas soluções dependerá de fatores externos que impulsionem a necessidade por essas soluções.

A fim de facilitar a penetração dasecoinovações no mercado, é importante criar links e *tradeoffs* positivos entre os atributos de proteção ambiental dasecoinovações e outros fatores competitivos críticos de produtos e serviços, tais como o design, o preço e o desempenho, para serem avaliadas pelos clientes e por estudos de avaliação de mercado. Por exemplo, a percepção de que os móveis de madeira plástica têm um bom desempenho em termos de impactos ambientais, durabilidade maior em relação aos móveis de madeira para jardins, resultou numa rápida absorção por parte dos consumidores brasileiros.

Melhorias tecnológicas foi o resultado dos esforços de P&D da Volvo numa tentativa de se adaptar às preferências dos usuários, com base no que a empresa aprendeu com o *feedback* dos usuários do veículo híbrido. As ecoinovações podem ser facilmente incorporadas nas rotinas e estilos de vida do usuário, o que facilita a aceitação pelo mesmo. No entanto, isso nem sempre ocorre, porque a ecoinovação pode exigir mudanças de hábitos e rotinas dos usuários sem benefícios significativos de serem observados pelos mesmos, caso eles não utilizem seus resíduos gerados, como no caso da cidade de Palmares do Sul. Nessa cidade os usuários e empresas têm de mudar a forma de classificar e eliminar seus resíduos para facilitar o processo de criação de novos produtos pelas cooperativas locais.

Em relação às dimensões do serviço, ecoinovações pode oferecer oportunidades para a renovação de conceitos de negócio. O exemplo que melhor retrata esse conceito é o da madeira plástica. Esse projeto que levou à criação de um novo produto, contando com um replanejamento da cadeia de valor do produto e na implementação do sistema de logística reversa, e que envolve mudanças radicais na percepção do usuário para com o produto. O caso da cidade de Palmares do Sul é outro exemplo. Isso requer uma maneira diferente de organizar a triagem e o recolhimento dos resíduos, proporcionando uma melhora do ambiente local através da redução de resíduos, odores e da poluição visual. Todo esse sistema de recolhimento está baseado em diferentes tecnologias, conhecimentos e parceiros em toda a cadeia de valor com relação à coleta de lixo convencional. Em contraste, os outros quatro casos, a areia artificial, cera de carnaúba e o veículo híbrido não envolvem alterações significativas na entrega do serviço e na percepção da relação com cliente.

A governança naecoinovação pode se beneficiar do atual estado de importância recentemente dado à inovação na política e negócios. Todos os estudos de caso destacam o importante papel dos gestores de políticas públicas para o desenvolvimento/adoção deecoinovações. Isso pode assumir diferentes formas: a criação de mecanismos de apoio para a separação total e obrigatória nas cidades dos resíduos como em Palmares do Sul; um envolvimento mais direto no desenvolvimento da tecnologia como no caso da areia artificial que foi desenvolvido pelo centro de pesquisas em minerais do governo brasileiro; como na criação de um quadro político favorável para a substituição da frota atual pelo veículo híbrido; e/ou um papel decisivo na articulação da demanda para o uso da cera de carnaúba em todos os estabelecimentos comerciais de limpeza automotiva do território brasileiro. A exceção seria a madeira plástica onde se percebe que já há demanda comercial para móveis de madeira.

Além disso, o sucesso dasecoinovações é altamente dependente da participação de diversos *stakeholders* no seu desenvolvimento/consumo, ou seja, elas são susceptíveis de resultados da cooperação entre as diferentes unidades e a formação de parcerias entre o setor público, universidades e empresas. O papel dos gestores na criação de políticas públicas e no trabalho como facilitadores desta colaboração multi agentes é altamente relevante.

No entanto, os processos de inovação que conduzem em mudanças na dimensão de projeto também são susceptíveis de emergir em outras dimensões daecoinovação. Portanto, todas as dimensões desempenham um papel significativo na compreensão da natureza multifacetada daecoinovação e na diversidade deecoinovações.

## **6. Conclusão**

Foi analisada nesse artigo uma série de definições sobre o conceito deecoinovação, destacando as principais abordagens conforme o seu entendimento e evolução ao longo dos anos, desde que a consciência ecológica começou a ser despertada como um fator importante para garantir a sustentabilidade no planeta. Ficou evidente que o principal motivo para o surgimento dasecoinovações é a questão de preservação do meio ambiente. No entanto não é possível perceber que aecoinovação está vinculada ao tripé da sustentabilidade (econômico, social,



ambiental). Também mostrou as principais dimensões da ecoinovação descritas nominalmente como projeto, usuário, serviços, e de governança.

Uma análise analítica foi realizada para explorar essas dimensões chaves, identificando as características específicas de diferentes ecoinovações e analisando a sua variedade baseadas em casos brasileiros. Foi observado que as ecoinovações geralmente envolvem uma combinação de elementos que pertencem não somente a uma, mas a várias dimensões simultaneamente. Embora a dimensão projeto seja decisiva para determinar os impactos ambientais da inovação, as outras dimensões também desempenham um papel importante na introdução de ecoinovações de mercado.

A capacidade das ecoinovações em proporcionar novas oportunidades de negócios e contribuir para uma transformação rumo a uma sociedade sustentável depende da interação entre todas essas dimensões e da participação de todas as pessoas no processo de inovação.

As avaliações sobre os casos realizadas neste artigo são subjetivas e podem variar de acordo com a quantidade de informações que se tem desses casos. Obviamente que o uso de uma escala numérica pode resultar em uma ou outra avaliação com certo grau de imprecisão. Entretanto acredita-se que o resultado dos casos avaliados proporciona um bom instrumento para se verificar o quanto essas ecoinovações geram de benefícios para a sociedade e para o planeta.

As ecoinovações que envolvem a combinação dos elementos relativos às dimensões da concepção do produto/serviço, do modelo de negócio, dos usuários além da governança, podem gerar os melhores exemplos de soluções ecoinovadoras.

## Referências

ALMEIDA, S. L. M.; PEREIRA, A. F. R. Obtenção de areia artificial da pedreira Vigné. Comunicação Técnica do XII JIC - **Jornada de Iniciação Científica - CETEM**, 07 e 08 de julho de 2004. Rio de Janeiro: CETEM, 2004.

ANDERSEN, M.M., **Organising interfirm learning - as the market begins to turn Green**. In: de Bruijn, T.J.N.M., Tukker, A. (Eds.), *Partnership and Leadership –*

Building Alliances for a Sustainable Future. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 103-119. 2002.

ARTHUR, W.B., **Increasing Returns and Path Dependence in the Economy**. University of Michigan Press, Ann Arbor. 1994.

AYRES, R.U., AYRES, L.W. (Eds.), **A Handbook of Industrial Ecology**. Edward Elgar, Cheltenham. 2002.

BRAUNGART, M., MCDONOUGH, W., BOLLINGER, A., Cradle-to-cradle design, creating healthy emissions: a strategy for eco-effective product and system design. **Journal of Cleaner Production** 15, 1337-1348. 2007.

BUSSOLO, Gislaíne Lara. "Comparativo de sistemas de lavagem de veículos a seco e a úmido no âmbito da saúde, segurança do trabalhador e meio ambiente." **Monografia de conclusão**, 2013.

CARRILLO-HERMOSILLA, J., A policy approach to the environmental impacts of technological lock-in. **Ecological Economics** 58 (4), 717-742. 2006

CARRILLO-HERMOSILLA, J., DELRÍO, P., KÖNNOLA, T., **Eco-innovation. When Sustainability and Competitiveness Shake Hands**. Palgrave, London. 2009.

CHARTER, M., CLARK, T., **Sustainable Innovation**. The Centre for Sustainable Design. 2007.

DEL RÍO, P., The empirical analysis of the determinants for environmental technological change: a research agenda. **Ecological Economics** 68 (3), 861-878. 2009.

DOSI, G., FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G., SOETE, L. (Eds.), 1988. **Technical Change and Economic Theory**. Pinter, London.

ECOCAMARA, Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/responsabilidade-social/ecocamara/noticias/noticiasAmbientais/o-que-e-a-ecolavagem> Acessado em: (07/04/2013). 2013.

EISENHARDT, K.M., GRAEBNER, M.E., Theory building from cases: opportunities and challenges. **Academy of Management Journal** 50 (1), 25-32. 2007.

ELLINGER, A.D., WATKINS, K.E., MARSICK, V.J., Case study research methods. In: Swanson, A., Holton, E.F. (Eds.), **Research in Organizations: Foundation and Methods of Inquiry**. Berret-Koehler Publishers, San Francisco, pp. 327-350. 2005.

EUROPEAN COMMISSION, **Stimulating technologies for sustainable development: an environmental technologies action plan for the European Union** 2004.

EUROPEAN COMMISSION, **Competitiveness and Innovation Framework Programme (2007 to 2013)** Brussels. 2007

EUROPA INNOVA, Thematic Workshop, **Lead Markets and Innovation**, 29-30th June 2006, Munich, Germany. 2006.

FREEMAN, C., PEREZ, C., **Structural crisis of adjustment, business cycles and investment behaviour**. In: Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G., Soete, L. (Eds.), *Technical Change and Economic Theory*. Pinter Publishers, London, pp. 38-66. 1988

FOXON, T.J., **UK innovation systems for new and renewable energy technologies: drivers, barriers and systems failures**. *Energy Policy* 33 (16), 2123-2137. 2005.

FROSCH, R.A., GALLOPOULOS, N.E., **Strategies for manufacturing**. *Scientific American* 261 (3), 94-102. 1989.

FUSSLER, C., JAMES, P., *Eco-innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability*. Pitman Publishing, London. 1996.

GUIMARÃES, L. B. DE M, Sustainability and cities: a proposal for implementation of a sustainable town. *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, IOS Press. V 41, (1/ 2012), 2160-2168 2012.

HUBER, J., **New Technologies and Environmental Innovation**. Edward Elgar, Cheltenham. 2004

JUNG, C. F. **Metodologia para pesquisa & desenvolvimento: aplicada a novas tecnologias, produtos e processos**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.

KEMP, R., ARUNDEL, A., **Survey indicators for Environmental Innovation. IDEA report.** Step group. Oslo. 1998.

KEMP, R., FOXON, T., **Typology of eco-innovations. Deliverable2.** EU FP6 funded project 044513: 24. Maastricht. 2007

KEMP, R., PEARSON, P. (eds.) **Final report of the project Measuring Eco-Innovation;** Maastricht. 2008.

KLEMMER, P., LEHR, U, **Environmental Innovation.** Incentives and Barriers. German Ministry of Research and Technology (BMBF). Analytica-Verlag, Berlin. 1999.

LINTON, J.D., KLASSEN, R., JAYARAMAN, V., Sustainable supply chains: an introduction. **Journal of Operations Management** 25 (6), 1075-1082. 2007.

LITTLE, ARTHUR D. **How leading companies are using sustainability-driven innovation to win tomorrow's customers.** 2005.

LIFSET, R., Industrial ecology and public policy. **Journal of Industrial Ecology** 9(3), 1-3. 2005.

LUTHJE, C., HERSTATT, C., VON HIPPEL, E., User-innovators and "local" Information: the case of Mountain Biking. **Research Policy** 34, 951-965. 2005.

MARKIDES, C., Disruptive innovation: in need of a better theory. **Journal of Product Innovation Management** 23, 19-25. 2006.

MARTINS, AGNES F.; SUAREZ, JOÃO CARLOS M.MANO, ELOISA B. Produtos poliolefínicos reciclados com desempenho superior aos materiais virgens correspondentes. **Polímeros [online]**.1999, vol.9, n.4, pp. 27-32. ISSN 0104-1428.

MONT, O., Clarifying the concept of product-service system. **Journal of Cleaner Production** 10 (3), 237-245. 2002.

MCDONOUGH, W.,BRAUNGART, M., **Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things.** North Point Press, New York. 2002.

MORAND, F., Developing eco-innovation: opportunities for education and policy integration. **Ecoinnovation network.** 2008.

NELSON, R.R., WINTER, S.G., Evolutionary theorizing in economics. **Journal of Economic Perspectives** 16 (2), 23-46. 2002.

NILL, J., KEMP, R., Evolutionary approaches for sustainable innovation policies: from niche to paradigm. **Research Policy** 38 (4), 668-680. 2009.

OECD, **Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data**, third ed. OECD, Paris. 2005.

OECD, **Sustainable manufacturing and eco-innovation: towards a green economy. Policy**. 2009.

OLTRA, V., SAINT JEAN, M., Sectoral systems of environmental innovation: an application to the French automotive industry. **Technological Forecasting and Social Change** 76, 567-583. 2009

OSTROM, E., *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. **Cambridge University Press**, Cambridge. 1990.

PAAVOLA, J., Institutions and environmental governance: a re-conceptualization. **Ecological Economics** 63, 93-103. 2007.

PUJARI, D., Eco-innovation and new product development: understanding the influences on market performance. *Technovation* 26 (1), 76-85. 2006.

RONDINELLI, D.A., LONDON, T., How corporations and environmental groups cooperate: assessing cross-sector alliances and collaborations. **Academy of Management Executive** 17 (1), 61-76. 2003.

SACHS, W. (ed) **Global ecology: a new arena of political conflict**. London: Zed Books. 1993.

SENGUPTA, N., Common Mistakes about common property. Tenth Biennial **Conference of the International Society for the Study of Common Property**. 9-13 Oaxaca (Mexico). 2004.

STAHEL, W.R., JACKSON, T., **Optimal utilization and durability**. In: Jackson, T. (Ed.), *Clean Production Strategies*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, pp. 261-291. 1993.

SCHMIDHEINY, S., Changing Course: A Global Business Perspective on Development and the Environment. **World Business Council for Sustainable Development**, Geneva. 1992.

SMITH, A., STIRLING, A., BERKHOUT, F., The governance of sustainable socio-technical transitions. **Research Policy** 34, 1491-1510. 2005.

SOCLOW, R. (Ed.), Industrial Ecology and Global Change. **Cambridge University Press**, Cambridge. 1997.

TUKKER, A., BUTTER, M., Governance of sustainable transitions: about the 4(0) ways to change the world. **Journal of Cleaner Production** 15 (1), 94-103. 2007.

UNRUH, G.C., Understanding carbon lock-in. **Energy Policy** 28, 817-830. 2000.

URBAN, G.I., VON HIPPEL, E., Lead user analyses for the development of new industrial products. **Management Science** 34 (5), 569-582. 1988.

VINNOVA Drivers of environmental innovation. VINNOVA Innovation in focus VF 2001:1. **VINNOVA-Swedish Governmental Agency for Innovation Systems**, 66. Stockholm. 2001.

VOLVO, Disponível em: <http://www.volvobuses.com/BUS/BRAZIL/PT-BR/LINHA-PRODUTOS/URBANOS/VOLVO-HIBRIDO/PAGES/DEFAULT>. 2012. Acessado em (10/11/2013).

VON HIPPEL, E., Democratizing Innovation. **MIT Press**. 2005.

WITT, U., What is specific about evolutionary economics? **Journal of Evolutionary Economics**. 2009.

WILLIAMS, A., Product service systems in the automobile industry: contribution to system innovation? **Journal of Cleaner Production** 15, 1093-1103. 2007.

## 2.2 Artigo 2

**SOLUÇÕES ECOINOVADORAS PARA PRODUTOS COM BASE NA FILOSOFIA  
ZERI E NO CONCEITO DE ECOEFICIÊNCIA: UMA PROPOSTA PARA A  
INDÚSTRIA DE SEMIJOIAS**

## **SOLUÇÕES ECOINOVADORAS PARA PRODUTOS COM BASE NO CONCEITO DE ECOEFICIÊNCIA: UMA PROPOSTA PARA A INDÚSTRIA DE SEMIJOIAS**

Autores

Guilherme Petry Breier

Lia Buarque de Macedo Guimarães

Carla Schwengber ten Caten

### **RESUMO**

Este artigo apresenta o desenvolvimento experimental de soluções ecoinovadoras baseadas nos princípios de ecoeficiência, visando a minimização de resíduos sólidos no segmento industrial de artefatos de pedras semipreciosas. Uma das soluções propostas para uma empresa foi a geração de botões a partir dos tarugos residuais dos anéis. A fim de otimizar o aproveitamento de resíduos e fomentar o segmento gaúcho de gemas e joias, foi feita uma proposta de clusterização de várias empresas de 3 cidades próximas, para a produção de novos produtos a partir de lascas e pó de pedras. Dentro da filosofia ZERI, e com base na literatura, a massa residual do polimento pode ser reutilizada em outros processos produtivos como, por exemplo, como componente de massa de cerâmica vermelha para o segmento de revestimentos ou como petrofertilizante para o segmento de fertilizantes químicos. A pesquisa apontou que só considerando os botões, a eficiência do processo pode aumentar em 10,5% e as receitas da empresa estudada podem aumentar de 1003% a 3038% em relação ao valor arrecadado com a venda desses resíduos. A clusterização pode gerar um lucro anual de R\$ 9.185.600,00 sem descontar os impostos a serem cobrados.

**Palavras-chaves:** Ecoinovação; Ecoeficiência; Filosofia ZERI; Cluster; Indústrias de Semijoias; Botões.



## 1. Introdução

Em 2012, completou-se vinte anos da realização da ECO92, evento mundial onde foram discutidas medidas para diminuir a degradação ambiental do planeta, tais como mudanças necessárias aos padrões de consumo, proteção dos recursos naturais e o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis. Neste mesmo ano, a conferência RIO+20, realizada com o objetivo de verificar os resultados alcançados desde 1992, concluiu que muitos processos produtivos evoluíram e deixaram de gerar tanto impacto no meio ambiente, mas, na maioria dos casos, impulsionado por reduções de custos para aumento de lucro e não em prol do desenvolvimento sustentável, conforme acordado na ECO92 (BERKHOUT; MUSKENS; VELTHUIJSEN, 2000; ORDOÑEZ; RAHE, 2013). O conceito de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável não foca apenas os fatores ecológicos e econômicos, mas deve abranger, também, os aspectos locais, sociais e culturais, conforme proposto por, Sachs (1991) no documento que orientou a ECO92. A sobrevivência do sistema econômico, em longo prazo, depende da sua capacidade de criação e manutenção de processos econômicos sustentáveis, os quais não envolvem, em curto prazo, a criação de valor em detrimento da riqueza em longo prazo (WBCSD, 2005).

Na conferência RIO+20, foram tratadas novas políticas de desenvolvimento, como a maior inclusão das questões sociais no desenvolvimento, consumo e descarte dos produtos utilizados. Uma dessas políticas debatidas trata da questão da inovação ecológica para o desenvolvimento de produtos, denominada ecoinovação (BREIER et al., 2012).

A ecoinovação aumenta seu potencial inovador quando amplia seu conceito de inovação em prol do meio ambiente (CARRILLO-HERMOSILLA et al., 2009), para inovação em prol do desenvolvimento sustentável (BREIER et al., 2012). A ecoinovação pode ser ambientalmente motivada, mas também pode ser consequência de outras metas, como a redução dos custos de produção (OECD, 2009) tendo um papel decisivo na otimização dos processos produtivos (DEUTZ, 2013). Na medida em que incorpora outros valores, como a redução de custos sociais, e a inclusão sociocultural, aumenta o número de oportunidades de inovar, tanto no produto, quanto no processo, tornando-se uma ferramenta ainda mais

relevante para o sucesso de uma organização que inova, pois a inovação é a exploração de novas ideias com sucesso (HOLMBERG, 1998).

Exemplos deecoinovação brasileiros em produtos são: a madeira plástica, obtida a partir do resíduo de plástico reciclado (MARTINS et al., 1999); a areia artificial, obtida pela reutilização de resíduos de cascalho e brita (ALMEIDA e PEREIRA, 2004); os veículos híbridos que combinam inovações tecnológicas (motores elétricos e de combustão) para minimizar o consumo de combustíveis fósseis e a emissão de gases poluentes (VOLVO, 2012); e o eco processo de limpeza automotiva, que utiliza a cera de carnaúba, eliminando o uso de água (BUSSOLO, 2013).

Na tentativa de minimizar a geração de resíduos nos processos produtivos, perdas de recursos e dos custos ao longo da cadeia de produção, surgiram os conceitos de: ecoeficiência (VERFAILLIE; BIDWELL, 2000; SCHUTZ; WELFENS, 2000); e da filosofia *Zero Emissions Research Initiative* – ZERI (PAULI, 1996, 1998; ZWIA, 2014), entre outros. Nesse contexto, este artigo tem por objetivo a ecoinovação de produtos e a identificação de oportunidades de utilização de resíduos, industriais, tomando como exemplo uma microempresa que produz artefatos em pedras brasileiras, na localidade de Lajeado – RS. Espera-se, com a ecoinovação a partir de resíduos, contribuir para o desenvolvimento do programa “Arranjos Produtivos de Gemas e Joias do Estado do Rio Grande do Sul” (APLGGJ-RS) e da indústria criativa, tendo como base a experiência com uma microempresa fabricante de artefatos em pedra, no município de Lajeado.

O artigo apresenta, na segunda seção, o referencial teórico sobre ecoeficiência, e na terceira seção, uma breve descrição do setor brasileiro de gemas, joias e bijuterias. Na quarta seção está descrito o método de pesquisa. Na quinta é apresentado o desenvolvimento experimental de uma solução ecoinovadora para utilização de tarugos e sugestões para a utilização dos demais resíduos gerados no processo e uma proposta de clusterização para aproveitamento dos demais resíduos da indústria de gemas e joias gaúcha, cujos resultados são apresentados e discutidos na sexta seção. Por fim, são apresentadas as conclusões e apontamentos que podem impulsionar essas iniciativas em outras aplicações no cenário brasileiro.

## 2. Ecoeficiência

Ecoeficiência é um conceito amplo que foi construído com o passar do tempo por vários grupos de pesquisadores (WBCSD, 2000). Originalmente, foi definida como um processo a ser alcançado através da entrega de produtos com preços competitivos e serviços que satisfaçam as necessidades humanas, proporcionando qualidade de vida além de reduzir, progressivamente, o impacto ecológico e a intensidade de recursos ao longo do ciclo de vida do produto (VERFAILLIE; BIDWELL, 2000). Entre outras várias definições, na prática, o núcleo do conceito da ecoeficiência pode ser entendido como: obter mais com menos; proporcionar mais valor a um produto ou serviço com menos desperdício; produzir produtos com menor uso de recursos ou menor toxicidade (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007).

Cada uma dessas interpretações supõe o fluxo linear de materiais através de sistemas industriais até o momento em que são descartados no destino final. Elas pressupõem um sistema de produção e consumo que inevitavelmente transformam recursos em resíduos, e o meio ambiente em um depósito para tais resíduos (BRAUNGART, 2010).

Em geral, a indústria adota uma abordagem do tipo fim de tubo (*end-of-pipe*), ou seja, tende a tratar a poluição resultante do processo produtivo com a incorporação de novos equipamentos e instalações nos pontos de descarte dos poluentes (OTTO; WOOD, 2001). Esse tipo de tecnologia geralmente resulta na elevação dos custos de produção já que não agregam valor ao produto.

Ainda que possa ser difícil estabelecer uma relação entre as atividades ambientais específicas e o desempenho ambiental da indústria, a ecoinovação foca na consolidação de uma organização preocupada com o desempenho sustentável (SCHUTZ; WELFENS, 2000). Em suma, é certamente mais difícil verificar uma motivação ambiental do que um resultado ambiental, embora este último também possa ser um desafio. Isso não exclui o fato de que podem existir tecnologias destinadas à redução do impacto ambiental nas atividades de produção e consumo, além de tecnologias que produzam ganhos ambientais como um efeito adjuvante.

As estratégias de ecoeficiência preveem as reduções na quantidade, velocidade e toxicidade dos fluxos de resíduos. Estas estratégias calcam-se em (VERFAILLIE; BIDWELL, 2000): (i) – desmaterialização; (ii) – aumento da

produtividade dos recursos e redução de toxicidade dos mesmos; (iii) – aumento da reciclagem (*downcycling*) e prolongamento do ciclo de vida do produto. Estratégias de desmaterialização e aumento da produtividade dos recursos procuram alcançar um nível de produto ou serviço de valor semelhante ou maior com menor consumo de materiais (MARTIN, 2006; BREZET, 1997).

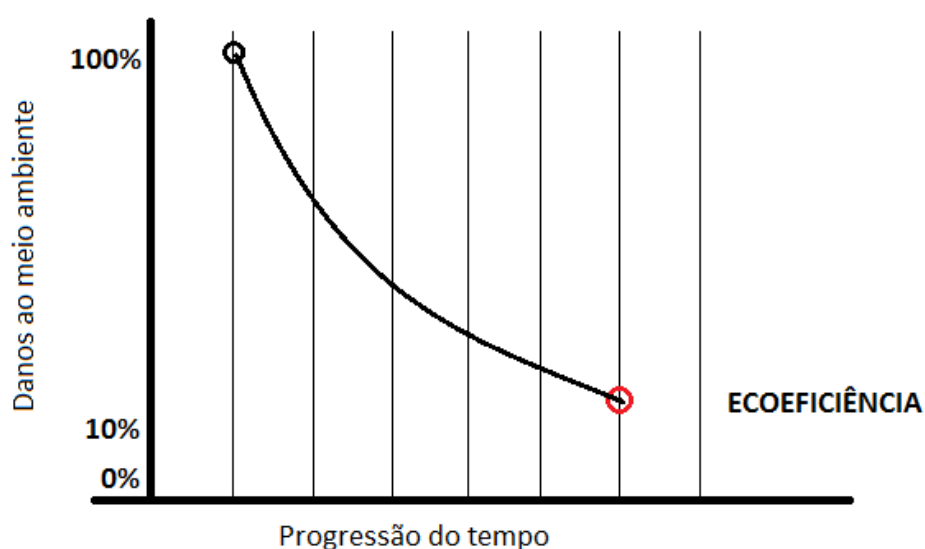
Com o entendimento que os materiais serão descartados em aterros (sanitários ou industriais) num segundo plano, as estratégias ecoeficientes para gerar aumento da reciclagem e extensão da vida útil dos produtos procuram prolongar o período até que os recursos adquiram o status de resíduos (LOUIS; SHIH, 2007; LUDWIG; HELLWEG; STUCKI, 2003). Apesar das aplicações, das estratégias de reciclagem, começarem a se aproximar do resíduo zero, a grande maioria da reciclagem resulta apenas na redução da quantidade (*downcycling*), mas não da qualidade de materiais. Isto porque, no processo de reciclagem, estes resíduos perdem valor quando voltam a recircular nos sistemas industriais (SMITH, 2005), o que os tornam adequados para uso apenas em aplicações de menor valor. Alguns materiais restantes desse processo acabam em aterros ou incineradoras.

Apesar das possibilidades de reutilização de materiais, ainda não foi possível a produção de bens sem a adição de novos recursos aos materiais reciclados. Por exemplo, quando o plástico é reciclado através dos processos de reciclagem atuais, outros elementos são misturados, impossibilitando o mesmo ser reciclado de novo por esse mesmo processo (GRIFFITHS; WILLIAMS; OWEN, 2010). A mistura no processo de reciclagem dilui elementos metálicos nas propriedades do plástico, aumentando o impacto destes materiais reciclados no meio ambiente (BROWN, 2003). Outro fator preocupante é que quando os metais raros e valiosos como o cobre, o níquel e o manganês são misturados no processo de reciclagem, o seu valor discreto é perdido para sempre (BROWN, 2003). A descoberta de novas reservas e a extração destes elementos é economicamente elevada e o impacto ecológico é extremamente alto (BROWN, 2003).

O papel reciclado oferece outro bom exemplo da dificuldade na reciclagem dos produtos. A gama de materiais, incluindo frequentemente metais, plásticos, tintas, corantes e vários aditivos químicos, que estão incluídos nos papéis e embalagens modernas, faz com que a sua reciclagem seja um processo problemático (TIERNEY, 1996).

Fica constatado que a iniciativa da ecoeficiência é principalmente uma estratégia para a gestão de danos. Ela começa com uma suposição de que a indústria é danosa ao meio ambiente, e prossegue com o objetivo de tentar torná-la menos danosa com o passar do tempo, conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – A ecoeficiência se esforça para minimizar os danos aos sistemas ecológicos



Fonte: Primária

Embora a reutilização de resíduos com a adição de novos componentes possa levar à redução de custos em curto prazo, as oportunidades de melhoria marginal inevitavelmente diminuem à medida que os limites de desmaterialização são atingidos (GRIFFITHS; WILLIAMS; OWEN, 2010; GILLBLOM; TOIVONEN, 2011; NEWCORN, 2014). A posterior manutenção deste sistema de desmaterialização limita as possibilidades de inovação e crescimento (FOUNDATION, 2012; EL HAGGAR, 2010; SMITH, 2005). A inovação fica limitada porque a prioridade para a desmaterialização acaba restringindo abordagens criativas no uso dos materiais e, ao mesmo tempo, conduzindo para a geração de melhorias incrementais (MCDONOUGH e BRAUNGART; 2002).

Apesar de a ecoeficiência possibilitar a redução do consumo de recursos e poluição além de proporcionar uma vantagem econômica temporária em curto prazo, a abordagem carece de uma visão de longo prazo para o estabelecimento de uma relação verdadeiramente positiva entre indústria e o meio ambiente (NEWCORN,

2014; MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002). Estratégias de ecoeficiência não consideram as falhas de projeto presentes na indústria contemporânea. Ao invés de se focar na resolução de problemas na fonte, são estabelecidas metas e práticas que sustentam um sistema com problemas (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002; DEUTZ; NEIGHBOUR; MCGUIRE, 2010). O resultado final é um compromisso superficial, caracterizado como certo, mas que institucionaliza a incompatibilidade entre o meio ambiente e a indústria.

Essa tendência pode ser vista no padrão de uso dos recursos materiais ao longo das décadas recentes, onde as quantidades absolutas de materiais extraídos, resíduos e poluições, dispostas no meio ambiente, continuaram a crescer, apesar das melhorias significativas de eficiência (SIMÕES et al., 2011).

Em um curto prazo, as estratégias de ecoeficiência apresentam um potencial de redução tangível no impacto ambiental das atividades de um negócio e uma oportunidade para (às vezes de forma significativa) redução dos custos (AYRES; SIMONIS, 1994). Em longo prazo, no entanto, são insuficientes para atingir os objetivos econômicos e ambientais em vários aspectos, pois (SMITH, 2005): (i) – é uma abordagem reacionária e que não aborda a necessidade de reformulação fundamental dos fluxos de materiais industriais; (ii) – está inerentemente em desacordo com o crescimento econômico de longo prazo e reduz a possibilidade de inovar radicalmente; (iii) – não trata com efetividade a questão da eliminação da toxicidade.

Embora alguns autores defendam que as emissões zero não podem ser alcançadas através da prática de ecoeficiência (PIRKER et al., 2002), certamente há paralelos entre as estratégias de ecoeficiência e o conceito de emissão zero. Ambas as estratégias se preocupam direta e principalmente com a redução de resíduos, mas nenhuma se concentra na manutenção da qualidade de recursos e produtividade. Um passo adiante foi dado na proposta da filosofia ZERI, que é fundamentada na ideia de obtenção de um rendimento total dos insumos e na identificação e formação de conglomerados industriais, que possam utilizar seus próprios resíduos para a fabricação de outros produtos (PAULI, 1998).

### 3. Setor brasileiro de gemas, joias e bijuterias

O Brasil é responsável por aproximadamente 1/3 do volume de produção mundial de gemas (GLOBO, 2013; SEBRAE 2014) excetuados o diamante, o rubi e a safira (GLOBO, 2013). Detém grande diversidade de pedras, produzindo, em larga escala, citrino, ágata, ametista turmalina, água-marinha, topázio e cristal de quartzo. O Brasil é um dos principais produtores de esmeraldas e o único de topázio imperial e de turmalina paraíba (GLOBO, 2013).

Historicamente, o setor é considerado um grande gerador de divisas, com faturamento anual de US\$ 6,5 bilhões (SEBRAE, 2014). Em 2013, foram exportados US\$ 36.188 em produtos de joalheria (ourivesaria e metais preciosos) e US\$ 27.490 de rubis, safiras e esmeraldas lapidadas (SEBRAE, 2014). No entanto, exportou US\$ 45.429 de pedras preciosas em estado bruto (SEBRAE, 2014).

Cerca de 80% das pedras brasileiras são destinados à exportação, incluindo esmeraldas, turmalinas, ametista, citrino, topázios e, principalmente, os cristais (GLOBO, 2013). Do volume total de exportações brasileiras, 2/3 são pedras lapidadas e 1/3 pedras brutas. Para aumentar a competitividade no mercado nacional, as pedras brutas de menor valor são enviadas para a China e Vietnã, por exemplo, onde o custo da lapidação é menor (GLOBO, 2013). Outras pedras brutas não têm como serem lapidadas, como a drusa ametista (“capelas de ametistas”) (GLOBO, 2013). As pedras de maior valor são lapidadas no Brasil, que tem tanto capacidade como competitividade para lapidar pedras de média e boa qualidade (SEBRAE, 2014). A indústria de bijuterias, de peças menos elaboradas, ou com diamantes, sofre forte concorrência dos países asiáticos, o que impacta o seu desenvolvimento, ao passo que a empresas de joalheria de ouro, folheados e bijuterias mais finas, principalmente as que incorporam a diversidade das pedras brasileiras, são mais competitivas (FIRJAN, 2014).

A cadeia de gemas, joias e bijuterias compreende cerca de 3.900 empresas (SEBRAE, 2014) de extração mineral, lapidação, artefatos de pedras, joalheria, folheados e bijuterias. De acordo com a última Pesquisa Industrial Anual – PIA, em 2012, o setor de fabricação de artigos de joalheria, bijuteria e semelhantes gerou 23.993 empregos, em 1.211 estabelecimentos (IBGE, 2014) localizados, principalmente, em Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Bahia, Goiás, Pará, Tocantins, São Paulo e Rio de Janeiro. Estima-se que 99% destas empresas são pequenos

negócios (SEBRAE 2014) com gestão familiar, sendo muitas de “fundo de quintal” e operando com mão de obra informal ou terceirizada (FIRJAN, 2014).

Desde a Industrialização até a comercialização, a distribuição é feita de forma pulverizada, por pequenos estabelecimentos e indivíduos, nas mais diversas regiões do país, com fiscalização difícil e onerosa. A informalidade é atribuída às altas cargas tributárias incidentes sobre o setor (FIRJAN, 2014). Existem poucas indústrias integradas, para garantir qualidade, prazos e tipos diferenciados de lapidação (FIRJAN, 2014).

O potencial para exportação da indústria joalheira de produtos industrializados (gemas lapidadas, joias e folheados) do Brasil é crescente (SEBRAE, 2014), mas para crescer e se tornar mais competitivo, interna e externamente, é preciso apostar em inovação em toda a cadeia produtiva do setor (GLOBO, 2013). Para tanto, em 2013, o Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos (IBGM) em parceria com o SEBRAE lançaram o “projeto de estímulo à inovação, competitividade e desenvolvimento integrado da cadeia produtiva de joias, gemas e bijuterias”. Ele envolve ações para qualificação e aperfeiçoamento da fabricação, distribuição e venda dos produtos de gemas e joias, e de incentivo à inovação em produtos (desde o desenvolvimento de produtos, processos de gestão do processo criativo ou do negócio) (IBGM, 2014). Uma das cinco etapas deste projeto é o projeto “Brasil Criativo” (IBGM, 2013) em parceria com o SEBRAE, para promover a criação, fabricação, distribuição e venda ao consumidor de produtos que incorporem os valores da sustentabilidade (econômico, ambiental, social e cultural) e que expressem os conceitos de brasilidade para atender as oportunidades geradas pela realização de grandes eventos no Brasil, como também os mercados turísticos e de exportação (IBGM, 2013). A expectativa do projeto é de acrescentar 15% às receitas das indústrias que está atendendo, além de 25% nas vendas para turistas e mercado externo (SEBRAE, 2014).

O setor de joias/bijuterias é classificado como indústria criativa, porque tem “origem na criatividade, na perícia e no talento individual e tem potencial para a criação de riqueza e empregos através da geração da exploração de propriedade intelectual” (FIRJAN, 2014).

Além de propostas de reutilização de resíduos como componente em outros processos produtivos, não foram encontradas referências quanto o desenvolvimento de produtos a partir dos resíduos das indústrias do setor. Além disso, a



informalidade e deficiências técnicas da maioria das empresas “de fundo de quintal” apontam para a necessidade de se considerar a inovação e a criatividade no desenvolvimento de produtos focando a sustentabilidade.

Em 2004, teve início o programa “Arranjos Produtivos de Gemas e Joias do Estado do Rio Grande do Sul” (APLGJ-RS), que envolve o governo federal, estadual, SEBRAE, SENAI, universidades da região, associações e entidades de classe, cooperativas, instituições financeiras e as indústrias. Um Arranjo Produtivo Local (APL) se caracteriza por um número significativo de empreendimentos e de indivíduos que atuam em torno de uma atividade produtiva predominante, e que compartilhem formas percebidas de cooperação e algum mecanismo de governança, e pode incluir pequenas, médias e grandes empresas. O objetivo da adoção de ações integradas de políticas públicas para arranjos produtivos locais é estimular processos locais de desenvolvimento, através da promoção da competitividade e da sustentabilidade dos empreendimentos no território onde o APL está inserido. Busca-se: o desenvolvimento econômico; a redução das desigualdades sociais e regionais; a inovação tecnológica; a expansão e a modernização da base produtiva; o crescimento do nível de emprego e renda; a redução da taxa de mortalidade de micro e pequenas empresas; o aumento da escolaridade e da capacitação; o aumento da produtividade e competitividade; o aumento das exportações (BRASIL, 2004).

O objetivo do programa APLGJ-RS é a modernização e fortalecimento do setor para aumentar a competitividade de toda a cadeia produtiva, mediante a introdução das melhores práticas. A época, o setor gaúcho foi assim caracterizado (BRASIL, 2005): concentra as maiores jazidas mundiais de ágata e ametista; possui um parque industrial de lapidação e joalheria, integrado por mais de 600 empresas de pequeno porte e com possibilidades de ampliação; responde por 20% das exportações brasileiras de gemas e joias, detendo expressivo potencial de crescimento com a agregação de valor às gemas brutas; possibilita elevada geração de emprego por unidade de investimento; conta com entidades representativas da cadeia produtiva, com potencial de fortalecerem a atuação conjugada entre si; tem proximidade geográfica com países parceiros do MERCOSUL que, além de serem centros consumidores, também possuem jazidas. No entanto, apresenta elevado nível predatório a ser corrigido. O APLGJ-RS, considerado um dos cinco principais aglomerados do setor de gemas e joias do Brasil (BATISTI; TATSCH, 2012;

ZANATTA, 2014) é formado pelos municípios de: Quaraí, Salto do Jacuí e Ametista do Sul (onde se concentra a maior parte das áreas de extração de pedras preciosas no RS), Soledade (principal centro de comercialização de pedras do RS), Lajeado (lapidação de gemas e produção de artefatos de pedra) e Guaporé (produção de joias em prata e ouro, joias folheadas e bijuterias).

Entre os objetivos específicos do programa APLGJ-RS (BRASIL, 2005), destacam-se alguns que estão alinhados com os objetivos deste estudo: elevar o valor agregado e a diversificação de produtos; desenvolver processos de melhoria da qualidade, inovação tecnológica, design e marketing; promover a geração e o crescimento de renda e emprego; melhorar as condições de segurança e saúde no trabalho; reduzir os impactos ambientais em todas as atividades industriais e de garimpo.

#### **4. Método**

Este estudo, de caráter exploratório com abordagem qualitativa, focou o desenvolvimento de produto a partir dos resíduos da produção de artefatos de pedra que são descartados em aterro industrial, sem nenhum aproveitamento.

O estudo foi feito em uma microempresa (com três funcionários), localizada no município de Lajeado que concentra cerca de 250 micros e pequenas indústrias, operando no segmento de lapidação, artefatos de pedras, e de máquinas e equipamentos (BRASIL, 2005).

A empresa produz artefatos (anéis, colares, pingentes entre outros), em pedras semipreciosas provenientes de municípios da região norte do estado do Rio Grande do Sul e beneficiados no município de Soledade. Foi analisado o processo produtivo desses artefatos e coletadas informações sobre a qualidade e o volume de resíduos gerado pela indústria. Com os dados coletados, foi proposta a criação de um produto ecoinovador a partir de tarugos residuais de anéis.

Após o desenvolvimento da solução para os tarugos dos anéis, as amostras foram submetidas a testes de resistência mecânica no Laboratório de Inovação e Otimização de Produtos e Processos do Curso de Engenharia de Produção, das Faculdades de Taquara (FACCAT), em uma máquina de ensaios de compressão do tipo EMIC com célula de carga TRD24. Esta análise é importante para garantir a confiabilidade do produto ecoinovador (botões a partir dos tarugos) perante a

indústria de confecção, que seria o segmento comercial “cliente”. Os testes avaliam se os botões irão quebrar com o uso e/ou limpeza das peças de vestuários a que se destina.

Tendo em vista que os tarugos representam apenas 10% dos resíduos da empresa, foi feita uma proposta de clusterização para o aproveitamento dos demais resíduos sólidos de várias empresas, e uma revisão de literatura quanto o aproveitamento de resíduos tóxicos (pasta do polimento de pedras).

## 5. Análise do processo produtivo e desenvolvimento de soluções para resíduos de pedras semipreciosas

A Figura 2 mostra algumas das pedras semipreciosas (ametista, calcita, selenita e ágata) usadas em semijoias (exemplo na Figura 5) produzidas na indústria em estudo.

Figura 2 – Pedras semipreciosas usadas para fabricação de semijoias

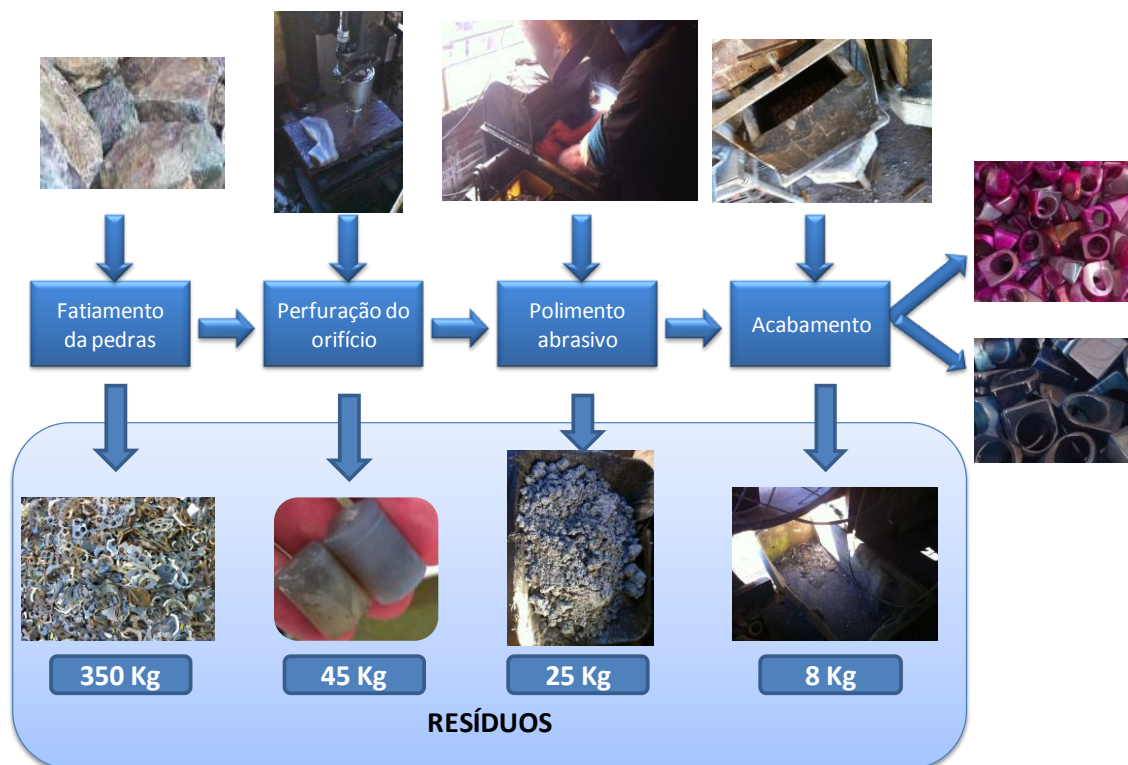


Fonte: Primária

A empresa adquire em média 600 kg de pedras brutas/mês, mas em torno de 52 kg não é aproveitado na triagem inicial porque chegam sem condição de uso (material quebrado, com cascalho e terra). Dos 548 kg de matéria-prima a ser trabalhada, gera-se um volume médio mensal de resíduos de aproximadamente 428 Kg (78,1% da matéria prima), composto por: 350 kg de retalhos do processo de fatiamento das pedras e corte das peças para fazer os anéis e produtos com imperfeições; 45 kg de miolos (tarugos) de anéis; 8 kg do pó resultante do polimento final quando é feito o acabamento; e 25 kg de pasta que é formada no processo de polimento abrasivo. Portanto, a empresa produz 120 kg de peças que significa uma eficiência do processo atual de 22%. A Figura 3 apresenta um resumo da análise

dos resíduos em várias fases do processo de fabricação de anéis, que subsidiou a proposição de soluções ecoinovadoras.

Figura 3 – Análise do tipo de resíduos do processo produtivo de semijoias



Fonte: Primária

### 5.1. Proposta para os tarugos

No processo de produção de anéis (Figura 4), a área central é perfurada para formar o espaço vazio para passagem do dedo (Figura 5). O cilindro restante, denominado tarugo, é considerado resíduo, sendo descartado, junto com os demais resíduos do processo, em aterro industrial.

Figura 4 – Amostras de semijoias produzidas



Fonte: Primária

Figura 5 – (a) Anel em processo de produção e (b) Anel produzido separado de seu resíduo



(a)



(b)

Fonte: Primária

Após o corte, os anéis, geralmente ainda em estado bruto, passam por um processo de polimento para ressaltar a cor e reduzir a rugosidade do material. O polimento é feito com uma lixadeira do tipo esmeril com lubrificação a base de água (Figura 6) para se evitar doenças pulmonares secundárias à inalação da poeira (pneumoconioses). Isto resulta na formação de mais um novo tipo de resíduo, uma pasta composta de poeira da pedra, água e óleo lubrificante da máquina que acaba se diluindo nesse processo.



Figura 6 – Processo de polimento dos anéis



Fonte: Primária

Com o anel pré-polido, é possível verificar se o mesmo não apresenta, em alguma de suas faces, ranhuras que comprometam o seu aspecto estético. Se for detectada alguma imperfeição, o anel é descartado junto aos resíduos do fatiamento das pedras. Caso não apresente imperfeições, o mesmo segue para o processo de acabamento em uma máquina de alta vibração com micro retalhos coletado ao longo de todo o processo, conforme Figuras 7a e 7b. Esse polimento final é responsável pelo brilho das peças.

Figura 7 – (a) Máquina de polimento final; (b) Resíduos utilizados no polimento final



(a)



(b)

Fonte: Primária

Os tarugos (Figura 8) variam de 16 mm a 20 mm de diâmetro, de acordo com o tamanho do anel, sendo descartados em média 4 mil tarugos/mês, ou seja 45 kg de resíduo/mês (10,5% do volume total de resíduos). Com base na análise do

processo e do tipo de resíduo gerado, uma sugestão ecoeficiente, utilizando um mínimo de recursos (corte, furação, trabalho humano e energia) e nenhum insumo, ferramenta ou conhecimentos alheios ao processo, foi que os tarugos fossem cortados transversalmente, em peças de aproximadamente 1,5 mm ou de 3,0 mm de espessura. Em seguida, as peças mais finas são perfuradas (Figura 9), transformando-se em botões semipreciosos para peças de vestuário.

Figura 8 – Amostras de tarugos selecionadas



Fonte: Primária

Figura 9 – Botãoecoinovador perfurado



Fonte: Primária

Por fim, assim como é feito o acabamento final dos artefatos produzidos na empresa, os botões propostos são submetidos ao polimento, junto com os demais artefatos para minimizar os custos de produção. A Figura 10 mostra os botões já polidos que foram cortados e ranhurados lateralmente enquanto a Figura 11 mostra os botões tradicionais com dois furos centrais.

Figura 10 – Botões com ranhura laterais já polidos



Fonte: Primária

Figura 11 – Botões tradicionais já perfurados



Fonte: Primária

Depois de fabricados, os botões foram submetidos a ensaios de compressão longitudinal (Figuras 12 e 13) para determinação da sua resistência mecânica.

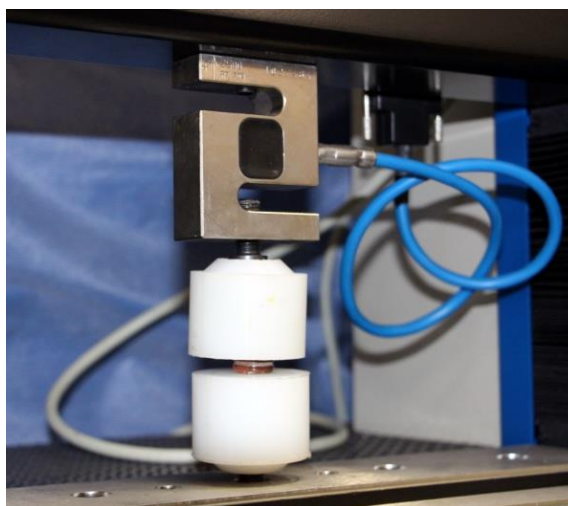


Figura 12 – Amostra sendo preparada para ensaio mecânico



Fonte: Primária

Figura 13 – Amostra do botão colocada na máquina para ensaio de compressão



Fonte: Primária

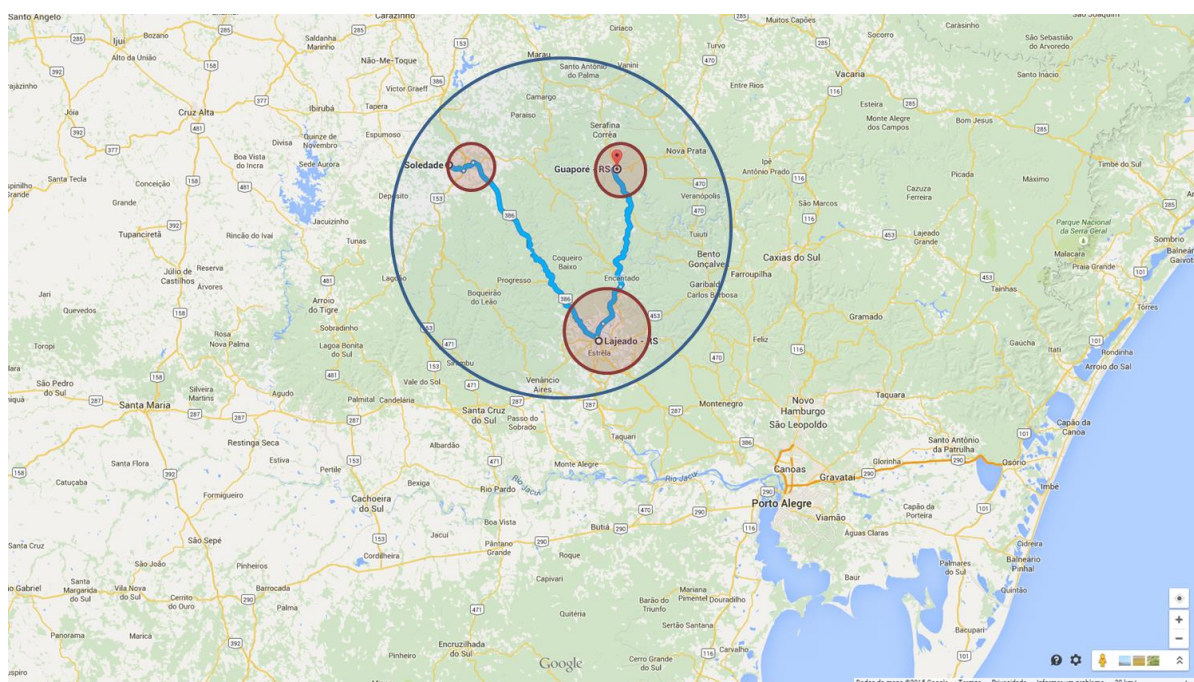
## 5.2. Sugestões para os demais resíduos

No caso dos botões, as empresas tem condição de processar os tarugos, com lucro, e sem qualquer equipamento exógeno ao processo atual. O mesmo não acontece com os demais resíduos sólidos, e por isso o destino seria o descarte. Portanto, ao invés de focar os resíduos de uma empresa, e alterar sobremaneira seus processos produtivos para reprocessamento deste material, o melhor é focar os resíduos de um sistema, como é uma APL. Isto porque ganha-se em escala, e dividem-se os custos e benefícios. Deve-se considerar que além das empresas, as prefeituras também estão envolvidas com a questão dos resíduos, tem o custo de descarte, ou seja, emprega pessoal, caminhão, combustível, além do custo de

ocupação da área de aterro, para recolher e armazenar os resíduos. Se a prefeitura, ou um consórcio de várias prefeituras e empresas próximas, se organizarem em um cluster de resíduos, o material descartado de várias empresas (micros, pequenas, médias ou grandes), somam um montante de matéria-prima que pode vir a compensar os custos de instalações e equipamentos para reaproveitamento deste resíduo.

Pelo mapa da Figura 14, é possível verificar a distribuição geográfica das indústrias do setor gaúcho de gemas e joias. Existem pelo menos 490 empresas (120 em Guaporé, 250 em Lajeado e região, mais 120 em Soledade) em um raio de 100 km. O mapa também mostra a rota possível e de menor percurso entre as 3 cidades produtoras de artefatos, tendo em vista as condições das estradas para transporte de cargas pesadas. O percurso mais eficiente seria sair de Soledade, pegar os resíduos em Lajeado e depois em Guaporé, onde deve, portanto, ficar sediada a fábrica de processamento de resíduos. Este mesmo caminhão pode, também, levar pedras beneficiadas e outros insumos necessários, de Soledade para Lajeado e de Lajeado para Guaporé.

Figura 14 – Mapa com a ligação mais viável entre as 3 cidades que abrigam indústrias de artefatos de pedras no APLGJ-RS, e que podem formar o cluster de resíduos



Fonte: Primária

Considerando o montante de 383 kg (89,5%) de resíduos que não os tarugos (retalhos, pó e pasta) em uma única empresa, o cluster teria uma produção de 1,87 toneladas de resíduos/mês, que não precisam ser descartados. Tendo em vista os ganhos em escala, o aproveitamento destes resíduos, detalhado a seguir, foi considerado, então, dentro de um aglomerado de empresas e prefeituras. Nota-se que não estão sendo considerados os 52 kg descartados já na triagem.

### **5.2.1. Resíduos secos**

Os resíduos secos da empresa estudada (83,6% do montante total) são compostos por 350 kg de retalhos do processo de fatiamento das pedras e corte das peças para fazer os anéis e produtos com imperfeições + 8 kg do pó resultante do polimento final quando é feito o acabamento. Se todas as 490 empresas tiverem, em média, esta mesma quantidade de resíduos, o montante mensal deste cluster seria de 175,42 toneladas de resíduos de retalhos de pedras (sem os 25 kg de pasta com óleo/fábrica/mês).

Foram testadas 3 alternativas para aproveitamento dos resíduos sólidos que não os tarugos.

Na primeira proposta, eles foram picados e colocados em forno a 1.500 graus, gerando uma pasta branca que pode ser moldada de acordo com moldes desenvolvidos. As peças geradas apresentaram a cor branca e uma baixa resistência mecânica. Há uma possibilidade de se usar um aditivo a essa mistura pura e gerar peças mais resistentes.

Na segunda proposta, eles foram misturados com vidro da coleta seletiva para a geração de outros artefatos mais refinados. Entretanto o ponto de resfriamento do vidro é diferente do da pedra e a ligação entre as moléculas de vidro e pó não foi possibilitado. Há a possibilidade ainda da geração de cristais com algumas partículas de pedra bem finas.

Na terceira proposta, os cacos foram usados como base e os vidros/cristais foram moldados sobre eles.

### 5.2.2. Pasta oleosa

5,8% dos resíduos totais da empresa estudada são compostos pelos 25 kg de pasta formada por pó das pedras e óleo diesel marítimo usado para lubrificar a serra de corte e máquina de polimento. O cluster teria, então, uma produção de 12.250 kg de pasta para processamento. Esta pasta é o único resíduo contaminado e perigoso, pois pela norma de classificação de resíduos sólidos (ABNT, 2004) o pó de gemas é classificado como resíduo de mineral não metálico e não perigoso, mas o óleo é classificado como resíduo tóxico, de fonte não específica.

Apesar de a pasta ter elevado teor de quartzo (95%) e, portanto ser própria para utilização como matéria-prima no setor de gemas (BRUXEL et al., 2012), estudos tem focado o aproveitamento deste resíduo em outros processos, dentro, portanto, da filosofia ZERI de produção. Algumas propostas ecoeficientes (SINDELAR et al., 2013; BRUXEL et al., 2012), partem do princípio de que o óleo misturado no processo de lixamento (conforme pode ser observado na Figura 15) deve ser separado dos resíduos para posteriormente serem reutilizados em outro processo produtivo.

Bedim (2014) propõe a separação do lodo oleoso (óleo diesel e pó de pedra) por meio de uma prensa hidráulica através da variação de pressão e temperatura. Já em Sindelar et al. (2013), é proposta a separação do lodo oleoso através da inserção de éter de petróleo (solvente). Após a inserção da substância, por um sistema de vibração e filtragem, o resíduo sólido (pó de pedra) é separado do líquido (éter mais óleo). Esta mistura líquida é separada por um processo de destilação e fica disponível para o reuso.

Figura 15 - Separação de substâncias químicas dos resíduos



Fonte: Primária

Na primeira alternativa, Bruxel et al. (2012) e Bedin (2013) indicam que os resíduos, sem o óleo, podem ser destinados à indústria de cerâmica. No processo de produção da massa de cerâmica vermelha, o resíduo pode ser incorporado em virtude da presença de sílica, contanto que sua porcentagem não exceda 5% da massa do produto. No estudo de Bruxel et al. (2012), a concentração de óleo na pasta era pequena porque ele é recuperado na empresa para reutilização no processamento de gemas.

Na segunda alternativa ecoeficiente, ABREU et al. (2014) indicam a viabilidade de utilização dos resíduos da indústria de semijoias, como petrofertilizante, visto que este resíduo de gema apresenta argilominerais. Reduzindo todos esses resíduos a pó, eles podem ser misturados com outros nutrientes podendo, assim, ser colocado em uso em práticas de rochagem de solo.

Estas duas alternativas estão de acordo com a filosofia ZERI. Portanto, o resíduo de pasta oleosa pode ser comercializado com empresas especializadas que têm tecnologia para reciclá-lo na indústria de cerâmica (como na primeira alternativa) ou na indústria de fertilizantes (como na segunda alternativa) e inclusive recuperar o óleo como lubrificante.

## 6. Resultados e discussão

Sob o ponto de vista técnico, os resultados dos ensaios mostraram que os botões suportam uma força de no mínimo 200 N o que equivale a afirmar que podem ser submetidos a uma massa de 20 kg sem apresentar rupturas, conforme observado na Figura 16. Um botão comum, sintético, com as mesmas dimensões, suporta entre 150 N e 200 N conforme especificações ABNT NBR 16365:2015. Portanto, possuem resistência para o manuseio operacional e fixação em peças de vestuário. A durabilidade mecânica dos botões permite que as peças de vestuário sejam inseridas em processos de limpeza manuais ou mecânicas sem comprometimento da sua qualidade.

Cabe ressaltar que este novo produto consiste em uma alternativa ecoeficiente, com apelo estético-simbólico superior aos botões de dimensões similares fabricados a partir de materiais sintéticos, disponíveis no mercado a preços que variam de R\$ 0,05 a R\$ 0,50. A qualidade do botão em pedra semipreciosa contribui na agregação de valor das peças de vestuário. Uma iniciativa com uma fabricante de saídas de praia mostrou que a utilização do botão “semijoias” a um custo na média de um sintético, aumentou o valor do produto em 60%. Elas foram vendidas por R\$ 80,00, enquanto as peças com botões sintéticos comuns eram vendidas a R\$ 50,00.





óleo, água), com expectativa de venda a R\$ 0,50 a unidade, gerando uma receita de R\$ 12.150,00/mês.

A empresa já vende, sob demanda, a R\$ 0,33 a unidade, uma peça de adorno na confecção de bijuteria, que chamam de “botão ranhurado”. Esta peça tem o dobro da espessura do botão perfurado proposto, porque a ranhura na espessura do botão é que serve para passar o fio do colar, brincos, pulseira etc. Portanto, um tarugo gera três (3) unidades de botão ranhurado, que é a metade da produção de botão perfurado para a indústria de moda (já que o botão proposto é mais fino que o ranhurado). Se o botão perfurado fosse vendido a R\$ 0,33 a unidade, a empresa teria uma receita de R\$ 8.020,00/mês.

Tabela 1 – Receitas obtidas pelo processo de reuso do resíduo de tarugos de pedras semipreciosas, considerando a média de 45 kg de resíduo/mês

	Valor/unidade (R\$)	Valor/Kg (R\$)	Quantidade	Valor Total/mês*
				R\$
<b>Resíduo (tarugo)</b>	-	9,00	45 kg	400,00
<b>Botão ranhurado</b>	0,33	89,10	270 unid/kg	4.010,00
<b>Botão perfurado</b>	0,33	178,20	540 unid/kg	8.020,00
<b>Botão perfurado</b>	0,50	270,00	540 unid/kg	12.150,00

\* considerando a quantidade de resíduos (tarugos) gerados na empresa

Fonte: Primária

Comparando os resultados, na Tabela 1, conclui-se que é possível obter um aumento nas receitas da empresa de no mínimo 1003% a no máximo 3038% em relação à receita obtida quando o tarugo é comercializado como resíduo.

Sob o ponto de vista ambiental, a solução de transformação de tarugo residual em um novo produto destinado à indústria de vestuário, reduz o volume de resíduos em aproximadamente 10% do montante da empresa estudada. Mais importante, a utilização do tarugo para a fabricação de um novo artefato valoriza o uso de uma matéria-prima que estava sendo tratada como resíduo (ou seja, ele não é resíduo, mas sim matéria-prima que estava sendo desperdiçada), além de ampliar o portfólio de produtos da empresa.

Além dos ganhos econômicos e ambientais, podem ser acrescentados ganhos sociais pelas iniciativas ecoinovadoras. Os botões podem ser produzidos pelos



mesmos funcionários da empresa, que teriam um aumento da jornada de trabalho de 6 horas para até 8 horas diárias, dependendo do montante de tarugos produzidos no dia e, conseqüentemente, aumento de suas rendas. As atividades de produção dos botões envolvem o mesmo processo produtivo das semijoias e podem ser realizadas complementarmente após a fabricação das mesmas.

O processamento dos botões não teve boa acolhida pelo dono da empresa, mas foi imediatamente aceito pelo filho, que foi quem fabricou as amostras. Ele ouviu atentamente a proposta, viu o potencial da ideia e dos ganhos que teria com o produto, e disse que iria começar a fabricar: “Afiml, é só cortar e furar. Muito simples. Não sei como nunca pensei nisto antes”.

A Tabela 2 apresenta uma estimativa de custos e benefícios considerando os resíduos das 490 empresas de Soledade, Lajeado e Guaporé que compõem o APLGJ-RS e comporiam também um cluster de resíduos.

O custo de implantação da beneficiadora que processaria os resíduos de pedras foi estimado em R\$ 325.850,00. O volume de 4,29 toneladas de resíduos de retalhos de pedras gera uma receita de R\$ 21.500,00/ano para cada empresa, portanto, a receita do cluster seria de R\$ 10.525.200,00/ano. Desta forma, a instalação da fábrica pagar-se-ia em 4 meses. Nota-se que o cálculo não considerou o custo de aquisição e/ou construção de prédio, na expectativa de se utilizar algum que esteja fechado e possa ser disponibilizado pela prefeitura. Também não foi calculado nenhum imposto, por se considerar que a isenção deve ser um incentivo municipal, estadual e federal para as empresas que transformem resíduos em produtos que geram trabalho e renda e minimizam impactos ambientais.

O foco deste artigo foi uma solução para os resíduos secos, de tarugos, pó e retalhos, mas foi feita uma prospecção, com base na literatura, quanto a reutilização da pasta como matéria-prima em outras cadeias produtivas, de acordo com a filosofia ZERI. Sem dúvida, um estudo mais detalhado pode chegar a propostas mais interessantes, tanto ambientais, como economicamente, pois a pasta poderia também ser reprocessada no cluster. Como esta alternativa não foi testada, uma avaliação inicial de custos e benefícios da venda, para outros setores, de 12,25 toneladas de pasta geradas nas três cidades, é apresentada na sequência.

Tendo em vista que não se sabe o valor de venda deste resíduo, tomou-se como base o custo do descarte legal, dentro do município, que é de R\$ 4,96/kg.

Assim, assumindo um valor de aproximadamente R\$ 5,00/kg, as empresas não teriam lucro com a venda, mas tampouco teriam custo com o descarte.

Assumindo um preço de venda médio de R\$ 5,00/Kg, para os dois setores aventados para utilização (indústria de cerâmica ou indústria de fertilizantes), a receita com a venda desses resíduos pode ser de R\$ 61.250,00/mês para as empresas e prefeituras envolvidas. Não está incluído o valor de venda do óleo residual (geralmente comercializado a R\$ 0,30/litro) tendo em vista não ter sido avaliado o percentual do mesmo na composição da pasta residual. Outra possibilidade que não foi testada, e deve ser, é o uso da pasta, sem o óleo, junto com os demais resíduos sólidos. Se o cluster separar o óleo, ele pode ser distribuído para as empresas utilizarem no processo de lixamento, minimizando o custo de aquisição de óleo.

Tabela 2 - Análise para a instalação de um cluster para atender a APL

	Valores (R\$/ano)
Aquisição de máquina moedora	-25.850,00
Aquisição e instalação de forno de fundição	-300.000,00
<b>Custo de Instalação</b>	<b>-325.850,00</b>
Custo de armazenamento (caçambas)	-52.000,00
Energia	-570.000,00
Mão de obra (~3 trabalhadores/ano)	-115.000,00
<b>Custos de Produção</b>	<b>-737.000,00</b>
Custo de transporte	-338.000,00
<b>Custo de Transporte</b>	<b>-338.000,00</b>
Receita pela eliminação do descarte do montante estimado (175,42 toneladas/mês)	10.525.200,00
Receita pela eliminação da pasta (12,25 toneladas/mês)	61.250,00
<b>Total das receitas geradas</b>	<b>10.586.450,00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>9.185.600,00</b>

Fonte: Primária

Nesta proposta para os resíduos que não os tarugos, o cluster para reprocessamento abre novas oportunidades de negócio para a região, mais trabalho e mais renda e, portanto, as comunidades também ganham. Além dos ganhos econômicos e sociais para a empresa, grupos de empresas e prefeituras, o meio

ambiente também lucra, já que os resíduos estariam sendo reaproveitados ao invés de serem descartados em aterro.

Apesar de viável, este tipo de proposta pode não ter a inserção que deveria talvez por ser “inovadora”, ou talvez por exigir um esforço de união entre o setor privado (empresas) e governamental (prefeituras), que não é usual. No entanto, o momento atual é propício para inovação não só em produtos como também na esfera política, pois iniciativas como estas apresentadas atendem a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, regulamentada pela Lei nº 12.305/10, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010). Ela incentiva as empresas e prefeituras a darem um destino “ambientalmente correto” a tudo que é gerado como resíduo, e no caso do setor de gemas e joias, estas iniciativas podem contribuir, também, para minimizar o caráter predatório do setor. Uma lição aprendida foi que, principalmente as microempresas (as de “fundo de quintal”), que não têm pessoal dedicado a desenvolvimento de produtos e processos, mantém o mesmo portfólio de produtos, produzidos no mesmo processo, sem melhorias substanciais, ano após ano, têm necessidade de auxílio para inovar, tanto o processo quanto os produtos.

O SEBRAE e o SENAI, que já vêm investindo na formação de mão de obra local, podem e devem dar este apoio a estas empresas. No entanto, o que vem sendo mais difundido, por estes órgãos, foca a forma dos produtos (ao que chamam “design”). Não há informação suficiente quanto à qualidade e quantidade dos resíduos gerados, impactos ambientais do processo etc. nos documentos disponibilizados por estes órgãos setoriais e de fomento, e também pela academia, o que, além de ter inviabilizado uma análise consistente sobre os resíduos do setor e outras propostas de ecoinovação, deixa uma pergunta em aberto: será que o setor de gemas e joias, ainda não despertou para o potencial do *ecodesign* e da ecoinovação como impulsionador da indústria criativa?

Importante ressaltar que as soluções apresentadas foram geradas dentro da ideia limitada de ecoeficiência, que foca no resíduo gerado. Alternativas melhores, mais eficazes, poderiam advir da revisão do sistema como um todo, a fim de que não fossem gerados resíduos, ou que eles fossem limitados a um mínimo. Por exemplo, pode-se minimizar a entrega de matéria-prima não aproveitável pela empresa e, principalmente, a quantidade de peças defeituosas fabricadas, com o aprimoramento de máquinas, melhor manutenção etc., o que já vem sendo foco de atenção do governo, universidades e órgãos setoriais.

## 7. Conclusão

Este artigo apresentou um estudo de aproveitamento de resíduos da indústria de artefatos e joias semipreciosas, que são descartados em aterro industrial. Foi feita observação e análise das condições do processo produtivo de uma microempresa de artefatos em pedra, e propostas experimentais de soluções baseadas nos princípios de ecoeficiência (redução de resíduos) que procura reduzir as consequências negativas não intencionais de processos de produção e de consumo.

Uma das soluções propostas foi a geração de botões a partir dos tarugos residuais da fabricação de anéis. Estes tarugos não são resíduos, mas sim matéria-prima para um produto de fácil fabricação e comercialização. A produção de botões pode ser considerada eficiente, pois usa um mínimo de recursos e todo o resíduo (tarugos) de uma determinada etapa do processo produtivo de anéis, reduzindo em 10,5% o montante total de resíduos da empresa estudada.

Nos ensaios mecânicos, os botões apresentaram resistência superior a 200 N, podendo, portanto, ser utilizados em peças de vestuário. Além da qualidade técnica, os botões agregam valor estético-simbólico às peças da indústria de moda. A produção de botões a partir dos tarugos residuais pode aumentar a eficiência do sistema em 10,5% e as receitas desta margem podem aumentar de 1003% a 3038%.

Foi também proposto a criação de um cluster de três cidades para o reaproveitamento de demais resíduos como material para outros tipos de produtos. Ao invés de cada empresa pagar pela retirada do material, e várias prefeituras pagarem pelo aterro, várias empresas e prefeituras estariam pagando para levar, para um único local (que não os aterros), onde seriam reprocessados. Os lucros seriam, então, divididos entre os consorciados e prefeituras.

Neste cluster, os retalhos e pó de pedras seriam reprocessados como novos produtos relacionados a indústria de gemas, joias e bijuterias, ou outras alternativas aqui não aventadas. A clusterização poderia gerar um lucro anual de R\$ 9.185.600,00 sem considerar a cobrança de impostos.

Caso a pasta não possa ser reprocessada no cluster, dentro da filosofia ZERI (utilização de resíduos de uma indústria como matéria prima de outra) existem estudos para a reutilização da pasta oleosa em outras cadeias produtivas como, por

exemplo, como revestimentos cerâmicos na indústria de cerâmica e como petrofertilizante na indústria de fertilizantes. A venda da pasta pode gerar uma receita de R\$ 61.250,00/mês para as empresas e prefeituras envolvidas.

Em síntese, este estudo chama a atenção para uma revisão da postura em relação aos resíduos industriais do setor de gemas, os quais devem ser encarados não como um problema, mas como insumos para novas alternativas de produto e sistema de produção. A pesquisa mostrou que é possível ecoinnovar, criando novos produtos mais eficientes, com matéria prima que era tratada como resíduo, mesmo sem muitos recursos tecnológicos. Os resíduos, que não podem ser utilizados, como matéria-prima na própria empresa, podem ser reaproveitados por um cluster de empresas e em outras cadeias produtivas. Além de impactar positivamente no meio ambiente, e atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, soluções ecoinovadoras têm potencial de geração de emprego e renda nas microempresas das cidades que manufaturam artefatos em pedras e semijoias. Como no caso de Lajeado (RS), estas cidades precisam de estímulo para se desenvolver e podem alcançar este desenvolvimento de forma mais sustentável.

## Referências

ABREU, C. T., KORCHAGIN J., BERGMANN, M, BORTOLUZZI, E. C.; Nutrient Desorption From Basaltic Rock **Technical innovation for a sustainable tropical agriculture : proceedings 16th World Fertilizer Congress of CIEC**, Rio de Janeiro, RJ - Brazil, October 20-24, 2014 / edited by Vinicius de Melo Benites... [et al.]. - Rio de Janeiro: CIEC, 2014.

ALMEIDA, S. L. M.; PEREIRA, A. F. R. Obtenção de areia artificial da pedreira Vigné. Comunicação Técnica do XII JIC - **Jornada de Iniciação Científica - CETEM**, 07 e 08 de julho de 2004. Rio de Janeiro: CETEM, 2004.

AYRES, R. U.; SIMONIS, Udo Ernst (Ed.). **Industrial metabolism: restructuring for sustainable development**. New York: United Nations University Press, 1994.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - **ABNT NBR 10004: Resíduos de minerais não-metálicos - Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos**, Rio de Janeiro, RJ 2004.

BATISTI, V.S.; TATSCH, A.L. **O Arranjo Produtivo Local (APL) gaúcho de gemas e jóias: estruturas produtiva e comercial, arranjos institucional e educacional e relações interorganizacionais**. Ensaios FEE, Porto Alegre, v. 33, n. 2, p. 513-538, nov. 2012.

BEDIN, M. F. M. Remoção da fração líquida (óleo e água) presente no resíduo da serragem de ágatas por prensagem. **Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais**, 2014.

BERKHOUT, P. H. G.; MUSKENS, Jos C.; VELTHUIJSEN, W. J. Defining the rebound effect. **Energy policy**, v. 28, n. 6, p. 425-432, 2000.

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior – MDIC. **Termo de Referência para Política Nacional de Apoio ao Desenvolvimento de Arranjos Produtivos Locais**. Disponível em: [http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl\\_1289322946.pdf](http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1289322946.pdf) [acessado em maio de 2015].

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC. **Políticas e ações para a cadeia produtiva de gemas e jóias, Arranjos Produtivos de Gemas e Jóias do Estado do Rio Grande do Sul** Disponível em: [http://www.aprendendoaexportar.gov.br/gemasejoias/pdf/Polo\\_de\\_Gemas\\_e\\_Joias\\_do\\_Estado\\_do\\_Rio\\_Grande\\_do\\_Sul.pdf](http://www.aprendendoaexportar.gov.br/gemasejoias/pdf/Polo_de_Gemas_e_Joias_do_Estado_do_Rio_Grande_do_Sul.pdf) [acessado em abril de 2015].

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRs, projeto de lei**", Congresso Nacional, Brasília. Disponível em: <[www.camara.gov.br/sileg/integras/501911.pdf](http://www.camara.gov.br/sileg/integras/501911.pdf)>. Acesso em 22 de Abril de 2015.

BRAUNGART, M. **Cradle to Cradle: Transitioning from waste Incineration to beneficial materials**. 2010. Web-page , <http://catalystsdrc.com/2010/02/cradle-to-cradle-transitioning-from-waste-incineration-to-beneficialmaterials/> [acessado em julho de 2014].

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.; BOLLINGER, A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions-a strategy for eco-effective product and system design. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 13, p. 1337-1348, 2007.

BREIER, G. P. ; GUIMARAES, L. B. M. ; TELES, C. D. ; CATEM, C. S. T. ; JUNG, C. F. ; RUCHIVAL, C. B. ; TALMASKY, E. M. ; FORCELLINI, F. A. ; Jose Luis Duarte Ribeiro ; TINOCO, Maria A. C. ; ROSSINI, K CAMPOS FILHO, P. ; MOTA, S. C. ; MOTTA, W. H. . Eco-inovação, fator de sucesso para as empresas sustentáveis.. In: Vandereli Fava de Oliveira; Vagner Cavenaghi; Francisco Soares Másculo. (Org.). **Tópicos emergentes e desafios metodológicos em engenharia de produção: casos, experiências e proposições**. 1ed.Rio de Janeiro: ABEPRO, 2013, v. I, p. 63-94.

BREZET, Han. **Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption**. UNEP, 1997.

BROWN, M. T. Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options. **Resources, Conservation and Recycling** 38, no. 1 (2003): 1-22.

BRUXEL, F. R.. Oliveira, E. C., Stulp, S., Muller, C. S., Etchepare, H. D. Estudo da adição de resíduo (lodo) de gemas na massa cerâmica vermelha. **Cerâmica [online]**. 2012, vol.58, n.346 pp. 211-215.

BUSSOLO, Gislaine Lara. "Comparativo de sistemas de lavagem de veículos a seco e a úmido no âmbito da saúde, segurança do trabalhador e meio ambiente." **Monografia de conclusão**, 2013.

CARRILLO-HERMOSILLA, J., DEL RÍO, P., KÖNNOLA, T., 2009. **Eco-innovation. When sustainability and competitiveness shake hands**. Palgrave, London.

DEUTZ, P; MCGUIRE, M; NEIGHBOUR, G. Eco-design practice in the context of a structured design process: an interdisciplinary empirical study of UK manufacturers. **Journal of Cleaner Production**, v. 39, p. 117-128, 2013.

DEUTZ, P; NEIGHBOUR, G; MCGUIRE, M. Integrating sustainable waste management into product design: sustainability as a functional requirement. **Sustainable Development**, v. 18, n. 4, p. 229-239, 2010.

EL HAGGAR, S. **Sustainable industrial design and waste management: cradle-to-cradle for sustainable development**. Academic Press, 2010.

FIRJAN. **Mapeamento da indústria criativa no Brasil: joias, bijuterias e afins.** Disponível em: [www.firjan.org.br/economiacriativa/](http://www.firjan.org.br/economiacriativa/) . Acessado em 15 de Abril de 2015.

FOUNDATION EM. **Towards the circular economy: economic and business rationale for an accelerated transition**, 2012.

GILLBLOM, D.; TOIVONEN, J. **Designed for recycling: service design in the world of product development.** Gothenburg: Chalmers University of Technology; 2011.

GRIFFITHS, A. J.; WILLIAMS, K. P.; OWEN, N. Engineering value recovery from municipal solid waste. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: **Journal of Mechanical Engineering Science**, v. 224, n. 3, p. 559-570, 2010.

HOLMBERG J. Back casting: a natural step when operationalising sustainable development. **Greener Management International** 1998;23:30-51.

IBGM Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos (2013) **Brasil criativo.** Disponível em: <http://www.projetobrasilcriativo.com/#!/brasilcriativo/ch6q>. Acesso em 15 de Abril de 2015.

IBGM Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos (IBGM) (2014) **Projeto de estímulo a inovação, competitividade e desenvolvimento integrado da cadeia produtiva de jóias, gemas e bijuterias** – SEBRAE. Disponível em: <http://www.ibgm.com.br/acoes/> Acesso em 15 de Abril de 2015.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2014) **Pesquisa Industrial Anual. PIA 2012**, Volume 31, n.1. Empresa. Disponível em: <http://loja.ibge.gov.br/pesquisa-industrial-2012-produto-1.html>. Acesso em 15 de Abril de 2015.

LOUIS, G.; SHIH, J. A flexible inventory model for municipal solid waste recycling. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 41, n. 1, p. 61-89, 2007.



LUDWIG C, HELLWEG S, STUCKI S. **Municipal solid waste management strategies and technologies for sustainable solutions illustrate**. Berlin: University of Michigan ed., Springer; 2003.

MARTIN DJ. **Zero waste: useful target or dangerous delusion?** Disponível em: <http://www.productpolicy.org/assets/resources/DuncanMartin2004ZW.pdf> [acessado em Setembro de 2014].

MARTINS, AGNES F.; SUAREZ, JOÃO CARLOS M.MANO, ELOISA B. Produtos poliolefínicos reciclados com desempenho superior aos materiais virgens correspondentes. **Polímeros [online]**.1999, vol.9, n.4, pp. 27-32. ISSN 0104-1428.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to cradle, Remaking the way we make things**. 2002.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. Design for the triple top line: new tools for sustainable commerce. **Corporate Environmental Strategy**, v. 9, n. 3, p. 251-258, 2002.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **The next industrial revolution. The Atlantic Monthly** 282.4 (1998).

NEWCORN D. **Cradle-to-cradle: the next packaging paradigm?** Packaging World. <http://www.packworld.com/articles/Features/16105.html>; [acessado em agosto de 2014].

OECD, 2009. **Sustainable manufacturing and eco-innovation: towards a Green economy**. Policy Brief June 2009.

ORDOÑEZ, Isabel; RAHE, Ulrike. Collaboration between design and waste management: Can it help close the material loop?. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 72, p. 108-117, 2013.

OTTO KN, WOOD KL. **Product design: techniques in reverse engineering and new product development**. Prentice Hall; 2001.

PAULI, G. **Emissão Zero**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1996.

PAULI, G. **Upsizing: Como gerar mais renda e criar mais postos de trabalho e eliminar a poluição**, 3, Porto Alegre: Fundação Zeri Brasil - L&PM, 1998.

PIRKER U, PSCHERNIG G, GWEHENBERGER G, SCHNITZER H. **Implementation of zero emissions waste technologies. 8th European Roundtable on Cleaner Production Conference**, Oct. 9e11, 2002, Cork, Ireland. [http://zeria.tugraz.at/pics/zeria\\_round\\_table.pdf](http://zeria.tugraz.at/pics/zeria_round_table.pdf) [acessado em setembro de 2014].

SACHS, I. **The Next 40 years: transition strategies to the virtuous green path**. Disponível em: [unesdoc.unesco.org/images/0009/000902/090217eb.pdf](http://unesdoc.unesco.org/images/0009/000902/090217eb.pdf) 1991. [acessado em setembro de 2014].

SCHUTZ H, WELFENS MJ. **Sustainable development by dematerialization in production and consumption e strategy for the new environmental policy in Poland**. In: Wuppertal Institute, No. 103; 2000.

SIMÕES, G. V. B., FERRAZ, J. L., MANCINI, S. D., BONILLA, S. H., BIZZO, W. A. **Coleta seletiva como instrumento de políticas pública: A experiência do município de Sorocaba - SP**. In 3rd Internacional Workshop Advances in Cleaner Production. 2011.

SINDELAR, F. C. W.; BARDEN, J. E.; STULP, S. **Análise da geração de resíduos em uma industria beneficiadora de gemas: Um estudo de caso visando o reuso**. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 4., 2013. Sao Paulo. Anais.

SMITH R. Beyond recycling: manufacturers embrace 'C2C' design. **The Wall Street Journal** Mar 2005; 3:B1e2.

TIERNEY J. **Recycling is garbage**. The New York Times Magazine Junho 1996; 30:2e8.

VERFAILLIE HA, BIDWELL R. **Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance**. World Business Council for Sustainable Development; June 2000.

VOLVO, Disponível em: <http://www.volvobuses.com/BUS/BRAZIL/PT-BR/LINHA-PRODUTOS/URBANOS/VOLVO-HIBRIDO/PAGES/DEFAULT>. 2012. Acessado em (10/11/2013).

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development, editor. **Ecoefficiency** [web page]. 2000. <http://www.wbcSD.ch/templates/TemplateWBCSD5/layout.asp?type¼p> [acessado em outubro de 2014].

ZANATTA, A.L. (2014) **Plano de desenvolvimento com metodologia participativa apl pedras, gemas e jóias**. <http://portalgemas.com.br/PDP.pdf>

ZWIA - Zero Waste International Alliance. Standards [web page]. <http://www.zwia.org/standards.html> [acessado em agosto de 2014].

### **2.3 Artigo 3**

**UMA PROPOSTA DE CRIAÇÃO DE PRODUTOS BASEADO NO PROJETO  
BERÇO-A-BERÇO – DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO PARA OS  
RESÍDUOS DE CASCA DE ARROZ**

## **UMA PROPOSTA DE CRIAÇÃO DE PRODUTOS BASEADO NO PROJETO BERÇO-A-BERÇO E NA FILOSOFIA ZERI: DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO PARA OS RESÍDUOS DE CASCA DE ARROZ**

AUTORES:

Guilherme Petry Breier

Lia Buarque de Macedo Guimarães

Carla Schwengber ten Caten

### **RESUMO**

Este artigo apresenta o desenvolvimento experimental de um produto berço-a-berço (projeto considera o uso fluxo cíclico dos materiais, portanto não há resíduos, só insumos) dentro da filosofia ZERI de produção, pois o resíduo (casca) de uma indústria (rizicultura), é insumo de outra (celulose/embalagem). Uma embalagem berço-a-berço foi projetada para funcionar, em reuso, e sem nenhum processamento, no mínimo em 2 ciclos de vida, completando um terceiro ciclo (ou mais) ou no metabolismo biológico (volta como nutriente para a natureza) ou no técnico (volta para a manufatura). Foram testadas três amostras de papelão, obtidas por três processos distintos: mecânico (97% de rendimento, e sem geração de resíduo), quimomecânico ou soda (58% de rendimento, e resíduo de fácil recuperação) e químico ou Kraft (36% de rendimento, e resíduo de difícil recuperação). A polpa obtida pelo processo quimomecânico é uma alternativa viável para produção de embalagens em larga escala, atendem aos requisitos da ABNT, são resistentes e podem ser reprocessadas no seu fim de vida, sem danos para o ser humano e meio ambiente. A produção anual de casca de arroz no Brasil é superior ao necessário para atender a demanda da Empresa de Correios e Telégrafos - ECT, de grande parte (98%) da produção de embalagens para a indústria calçadista, ou de uma parte (21%) das embalagens de armazenamentos da produção de ovos brasileira. Ficou evidenciado também que há a possibilidade de se atender toda a produção nacional de palmilhas para calçados considerando o processo mecânico e quimomecânico. A celulose de casca de arroz pode atender aproximadamente 1% da demanda de papelão de embalagem do país, reduzindo o abate de aproximadamente 250 mil árvores. Iniciativas como esta podem contribuir, em muito, para o desenvolvimento sustentável das regiões beneficiadoras de arroz.

**Palavras-chaves:** Ecoinovação, Projeto Berço-a-Berço, Filosofia ZERI, Resíduos de Casca de Arroz, Celulose, Embalagens.

## 1. Introdução

O aumento agressivo de substâncias residuais não é o principal problema que o sistema produtivo enfrenta na atualidade. A disponibilidade de recursos e a capacidade de extração de matérias-primas para a geração de novos produtos estão se reduzindo, enquanto que a demanda pelos recursos naturais está aumentando devido ao crescimento econômico (BAKER et al., 2004; HOLMBERG, 1998). Logo, essa incompatibilidade serve de alerta para que a sociedade e os sistemas produtivos encarem os resíduos sólidos como fonte de matéria-prima para o desenvolvimento de novos produtos. A criação de ciclos contínuos de materiais se torna mais importante a cada dia, não só como um meio correto de suprimento das cadeias de produção, mas como uma forma mais sustentável de se lidar com os resíduos (PAULI, 1998; EL-HAGGAR, 2007; BRAUNGART et al., 2012).

Muitos cenários foram criados para compor um sistema de gestão integrada de resíduos, incorporando o conceito dos 3R's (Reduzir, Reutilizar, Reciclar) na tentativa de minimizar os resíduos sólidos gerados por indústrias e até mesmo por consumidores (BAKER et al., 2004; BOURNAY et al., 2006). Entretanto, muitos desses esforços não apresentaram benefícios reais.

O princípio da ecoeficiência (VERFAILLIE; BIDWELL, 2000; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007), por exemplo, supõe um fluxo linear de materiais através de sistemas industriais: (i) matérias-primas são extraídas do meio ambiente; (ii) estas matérias são transformadas em produtos; (iii) os produtos são descartados no meio ambiente ao fim do ciclo de vida dos mesmos. As técnicas de ecoeficiência procuram minimizar o volume, velocidade e toxicidade do sistema de fluxo de material, mas são incapazes de alterar esta progressão linear. Uma solução para minimizar os danos no final do processo do tipo fim de tubo (*end-of-pipe*) é a reciclagem de alguns materiais, mas isso geralmente ocorre com perdas de recursos materiais e financeiros, pois os produtos não foram projetados para serem reprocessados.

O conceito de ecoeficiência evoluiu, então, para o conceito da ecoeficácia. Neste, os resíduos que seriam descartados devem ser reutilizados em outros processos (HOLMBERG, 1998; SCHUTZ; WELFENS, 2000; PIRKER, 2014).

Entretanto, por mais que o resíduo de um processo fosse reutilizado como recurso em outro, a linearidade do sistema continua prevalecendo no processo de desenvolvimento de produtos. Assume-se que o produto tem um fim, mas a qualidade deste fim não é considerada no projeto, como ocorre no projeto berço-a-berço.

O projeto berço-a-berço (MCDONOUGH; BRAUNGART, 1998) propõe estratégias para a concepção de produtos com o princípio do uso cíclico dos materiais, considerando que, no fim do ciclo de uma vida, eles serão reprocessados para iniciar um outro ciclo de vida. Isto pode ocorrer em dois metabolismos (MCDONOUGH; BRAUNGART, 1998): o biológico (quando o material se torna nutriente na natureza) ou o tecnológico (quando é incorporado novamente no sistema fabril). Para tanto, as indústrias devem projetar com este foco e alterar seus sistemas de produção a fim de permitir a recirculação de materiais (NEWCORN, 2003; SMITH, 2005; BRAUNGART et al., 2007).

Estratégias de projeto berço-a-berço são, portanto, mais avançadas do que aquelas da ecoeficiência e da ecoeficácia, que focam na redução dos danos dos resíduos gerados ao final de um processo. No entanto, esta abordagem tem sido pouco aplicada e não há um esforço amplo em se usar o projeto de produto como uma ferramenta para gerenciamento sustentável de materiais (DEUTZ et al., 2010). Isto porque a constante busca da meta de resíduo zero resulta em um casamento difícil entre objetivos ecológicos e econômicos, pois este último geralmente tem prioridade. Isto acontece até mesmo quando as empresas se propõem a adotar estratégias de *Triple-Bottom-Line* (ELKINGTON, 1997): geralmente elas não resultam no equilíbrio entre os objetivos econômicos, ambientais e sociais, porque os primeiros geralmente prevalecem (MARTIN, 2006). Menos ainda tem sido feito pelo desenvolvimento sustentável, que vai além do *Triple-Bottom-Line*, já que ele engloba, também, as dimensões cultural e espacial da sustentabilidade (SACHS, 1991).

Considerando que mudanças são necessárias para avançar rumo ao desenvolvimento sustentável, foi desenvolvido um estudo sobre uma alternativa deecoinovação berço-a-berço com foco em dois setores que impactam sobremaneira o ecossistema Brasileiro: o de celulose, que usa intensivamente as florestas através do manejo florestal sustentável, e o de arroz que, além do uso intensivo de reservas hídricas e agrotóxicos no plantio, gera uma grande quantidade de resíduos (como a

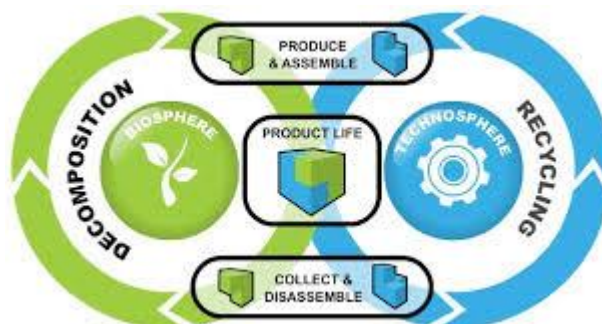
casca) no processo de beneficiamento. Para muitos plantadores de arroz, a queima é uma alternativa, e a casca tem sido usada para aquecimento da água necessária no processo de parbolização. No entanto, há mais resíduo do que o necessário, e em torno de 50-70% deste material, rico em celulose, é descartado como resíduo. Considerando que a casca não deveria ser descartada, mas sim utilizada como insumo em outro processo, está-se atendendo a filosofia ZERI de produção (PAULI, 1998) que considera que a ideia de resíduos não existe, a partir do momento que o que seria descartado por uma indústria (o resíduo) é utilizado por outra como insumo. Projetos de produto berço-a-berço estão geralmente associados a filosofia ZERI de produção.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: na segunda seção são apresentadas as bases do projeto berço-a-berço e filosofia ZERI e, na terceira seção, a proposta deecoinovação berço-a-berço de embalagens a partir de resíduos de casca de arroz, cujo método de desenvolvimento é descrito na quarta seção. Na quinta seção são apresentados os resultados das alternativas desenvolvidas, que são discutidos na seção 6. Por fim, na seção 7, são apresentadas as conclusões.

## 2. A mudança de fluxo linear de recursos para um ciclo fechado: projeto berço-a-berço e filosofia ZERI

O projeto berço-a-berço objetiva a concepção de produtos e processos industriais que transformam materiais em nutrientes, permitindo que seu fluxo se perpetue dentro de um dos dois metabolismos distintos: o metabolismo biológico e o metabolismo técnico (BRAUNGART et al., 2007), conforme Figura 1.

Figura 1 – Projeto berço-a-berço



Fonte: BRAUNGART et al., 2007



O metabolismo biológico inclui processos de extração de recursos, fabricação e uso, e o retorno desses materiais para os sistemas naturais onde podem ser novamente transformados em recursos para a atividade humana (BRAUNGART et al., 2007). Os materiais que fluem no metabolismo biológico, chamados nutrientes biológicos, são materiais biodegradáveis (ou o resultado dos processos de biodegradação) que não representam riscos imediatos ou eventuais aos sistemas vivos e que podem ser devolvidos com segurança para o meio ambiente, alimentando os processos biológicos (BRAUNGART et al., 2007). Nutrientes biológicos são materiais orgânicos, mas também incluem materiais como biopolímeros e outras substâncias potencialmente sintéticas, que são seguros para os seres humanos e para os sistemas naturais (BRAUNGART et al., 2007).

Produtos concebidos como nutrientes biológicos são chamados de produtos de consumo. Estes incluem produtos que podem realmente sofrer degradação física durante sua vida útil, como os têxteis, embalagens para armazenamento e/ou transporte de produtos, etc. Como eles são projetados para serem nutrientes para os sistemas vivos, estes produtos de consumo podem ser devolvidos ao meio ambiente após a utilização, tornando-se nutrientes da natureza, sem a preocupação de contaminação (BRAUNGART et al., 2007).

Um nutriente técnico, por outro lado, é um material frequentemente sintético ou mineral, que tem o potencial para permanecer com segurança no sistema de circuito fechado de fabricação, sendo recuperado através da reutilização ou reciclagem (metabolismo técnico), mantendo seu valor por muitos ciclos de vida dos produtos (BRAUNGART et al., 2007). Produtos concebidos como nutrientes técnicos são considerados como produtos duráveis. Esses produtos, com o passar do tempo, não perdem suas propriedades e, como são duráveis, ao fim do seu ciclo de vida útil são reciclados e transformados em novos produtos sem a perda de valor do seu material (BRAUNGART et al., 2007).

Para que as empresas realizem a transição do modelo linear atual de desenvolvimento de produtos para o modelo de metabolismos do projeto berço-a-berço, é necessário o uso de estratégias e tecnologias adequadas seguindo um framework gradual em cinco etapas (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001a; 2001b; 2001c; 2001d; 2001e), que inicia com a eliminação de substâncias indesejáveis e evolui em direção à definição do uso de materiais de fácil obtenção que não agridem o meio ambiente (etapa 4). Na etapa 5, chamada de reinvenção de produtos, é

reconsiderado como os produtos podem, de forma otimizada, atender a necessidade ou necessidades dos usuários, sendo, ao mesmo tempo, solidários dos sistemas ecológicos e sociais.

## **2.1 Etapa 1: Livre de substâncias indesejáveis ao meio ambiente**

A maioria das empresas, hoje, tem um conhecimento limitado das características toxicológicas das substâncias que compõem os seus produtos, e não tem interesse e/ou a capacidade de compreender e atuar sobre os problemas que eles podem causar ao meio ambiente e a saúde humana (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001a). Um automóvel, por exemplo, pode conter milhares de materiais e produtos químicos de alto impacto. No entanto, essas mesmas empresas têm um conhecimento geral das substâncias mais perigosas em seus produtos (referido como substâncias-X) (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001a).

Para empresas como estas, uma primeira etapa no caminho do projeto berço-a-berço é encontrar materiais alternativos para as substâncias-X (como mercúrio; cádmio; chumbo, entre outros), que são conhecidas ou suspeitas de serem agentes cancerígenos. A remoção das substâncias-X e sua substituição por outro material não impactante é quase sempre um passo fundamental (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001a).

## **2.2 Etapa 2: Preferências pessoais**

Uma vez que as substâncias mais indesejáveis foram removidas de um produto, a próxima etapa é começar a fazer as escolhas sobre quais substâncias devem ser incluídas no produto (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001b). A melhor maneira de se fazer isso, é pelo estudo detalhado dos impactos de cada substância sobre os sistemas ecológicos e humanos ao longo de todo seu ciclo de vida. No entanto, a obtenção do conhecimento detalhado do perfil toxicológico de uma substância durante todo o ciclo de vida de um produto é muitas vezes impraticável ou mesmo impossível (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001b).

Sem um conhecimento científico sobre quais produtos químicos e materiais devem ser usados, é difícil tomar decisões na concepção dos produtos

(BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001b). Com conhecimento incompleto, a tomada de decisões se resume nas preferências pessoais dos desenvolvedores, com base nas melhores informações disponíveis (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001b).

### **2.3 Etapa 3: A lista positiva passiva**

A etapa 3 inclui uma avaliação sistemática de cada elemento em um produto para classificá-lo de acordo com suas características toxicológicas, especialmente a sua capacidade de fluir dentro de metabolismos biológicos e técnicos (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001c). Para os produtos de consumo, os critérios de exame devem incluir, entre outros fatores: toxicidade para seres humanos, persistência e bioacumulação na natureza, potencial de sensibilização, mutagenicidade, carcinogenicidade (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001c). Com base na avaliação de um material ou produto químico de acordo com esses critérios, uma lista positiva passiva pode ser gerada, classificando, cada uma das substâncias, de acordo com a sua adequação ao metabolismo biológico. Esta lista pode ser utilizada para determinar o grau de otimização necessário para um determinado produto ser um verdadeiro produto de consumo.

### **2.4 Etapa 4: A lista positiva ativa**

A etapa 4 inclui a otimização da lista positiva passiva até o ponto que cada componente do produto seja definido positivamente como um nutriente biológico ou técnico (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001d). Considerando a etapa 3, que estabelece o conhecimento do grau em que cada componente de um produto precisa ser otimizado, a etapa 4 implementa essa otimização para o grau máximo (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001d).

Cada componente deve ser selecionado de acordo com a metodologia de classificação positiva EPEA (*Environmental Protection Encouragement Agency*) e por suas características ambientais positivas, e de saúde humana, além da sua correta adequação como um nutriente biológico (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001d). A otimização dos materiais utilizados no produto também tem impacto sobre o perfil ambiental do processo de produção.

Retomando o exemplo do automóvel, ele pode ser projetado para que todos os seus materiais e componentes sejam nutrientes biológicos ou técnicos (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001d). Pastilhas de freios, pneus, estofados, podem ser concebidos como nutrientes biológicos, porque estes são os componentes que provavelmente irão se degradar ao longo do período de utilização do carro. O chassi e a carroceria, por outro lado, podem ser concebidos de forma ótima como nutrientes técnicos, tais como aço e polipropileno, para que eles possam ser recuperados e reciclados como novos componentes para automóveis ou outros produtos, após o período de utilização do carro, sem a sua degradação.

Uma vez que os componentes de materiais e produtos foram positivamente definidos como nutrientes biológicos ou técnicos, a etapa 4 será concluída.

## 2.5 Etapa 5: Reinvenção

Quando na etapa 4 não há evolução no nível de redefinição das substâncias contidas no produto, a etapa 5 envolve uma reinvenção da relação do produto com o cliente (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001e). O conceito de reinvenção aborda a natureza interligada de sistemas ecológicos, sociais e econômicos, impulsionando a ideia dos metabolismos biológicos e técnicos para além dos limites das formas de produtos e serviços existentes (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001e).

Optar por estratégias para visualizar a reinvenção de produtos a partir da perspectiva dos serviços que prestam, e das necessidades que satisfazem os clientes, são confrontadas no contexto mais amplo dos sistemas sociais e ecológicos. O conceito de serviço do produto oferece uma estratégia ideal para isso (BRAUNGART; MCDONOUGH, 2001e).

Geralmente, os projetos de produtos berço-a-berço seguem a filosofia ZERI de produção (PAULI, 1998) inclusive quando em um dos ciclos de vida do produto, ele se torna insumo de outro processo. A proposta ZERI consiste na criação de um elo entre empresas para transformar as saídas (*outputs*) de um processo em entradas (*inputs*) de outro, de forma que a cadeia alcance a emissão zero ao transformar os resíduos em nutrientes para novos fluxos de materiais de outros segmentos industriais (PAULI, 1996). Neste contexto, as finalidades da ZERI são: (i) evitar a geração de resíduos líquidos, gasosos e sólidos; (ii) utilizar todos os

processo em entradas (*inputs*) na produção; e (iii) destinar os resíduos gerados, quando inevitáveis, a outras indústrias para produzir valor agregado.

A filosofia ZERI engloba, portanto, uma análise sistêmica de cadeias produtivas. A finalidade é propor que sejam revistos processos e tecnologias aceitas como terminadas e motivar os empresários e centros de pesquisa a conceberem tecnologias tendo como exemplo o que ocorre nos processos dinâmicos da natureza. Inclui as questões ambientais antes esquecidas pelas empresas, como também visa estimular e possibilitar a criação de empregos e a redução da pobreza, por meio de um sistema sustentável de suprimento das necessidades dos seres humanos como água, alimentação, vestuário, energia, empregos e habitação (PAULI, 1998), ao que se chamou de *upsizing* (PAULI, 1998). A tomada de decisão de uma organização industrial por procurar a emissão zero e a maximização da responsabilidade socioambiental são os objetivos finais, e o *upsizing* é o resultado direto (PAULI, 1998; PAULI, 1996).

Com base nessa proposta do projeto berço-a-berço, de não geração de resíduos, mas, sim, de recursos para o desenvolvimento de novos produtos, o estudo apresentado neste artigo teve como objetivo desenvolver novas soluções para um dos resíduos sólidos da indústria de rizicultura, a casca de arroz, e ao mesmo tempo, minimizar os impactos ambientais de produtos de uso intensivo, embalagens, de um setor com alta demanda deste produto: o de transporte de encomendas. Assim, a proposta deecoinovação, detalhada a seguir, baseia-se no projeto de produtos berço-a-berço, dentro da filosofia ZERI de produção.

### **3 Proposta de ecoinovação**

A proposta do estudo é de ecoinovação de produto berço-a-berço dentro da filosofia de produção ZERI, a partir da utilização de resíduo da rizicultura (casca de arroz) como matéria-prima (polpa de celulose) para produção de embalagens de encomendas. A ideia surgiu do fato do Brasil ser um grande produtor de arroz, desperdiçando a casca que é composta principalmente por celulose. Portanto, há matéria-prima da agroindústria, disponível em abundância, e sem uso, que pode ser aproveitada por outro setor, com alta demanda de celulose.

E difícil estimar a quantidade de embalagens de encomendas utilizadas por empresas transportadoras, mas pode-se esperar que este número seja crescente,

tendo em vista o incremento de negócios e vendas via internet. Para atender mercados cada vez mais distantes em função da globalização, os fornecedores usam embalagens que, além do apelo estético e publicitário, garantam a integridade dos produtos comercializados. 39,07% do total de embalagens produzidas no Brasil são de plástico; 34,30% são celulósicas (18,54% de papelão ondulado, 9,87% de cartolina e papel cartão, e 5,89% de papel); 17,14% são metálicas; 4,81% são em vidro; e 2,59% de madeira (ABRE / FGV, 2015). O plástico é mais usado em alimentos, fármacos, perfumaria, produtos de limpeza/higiene, e bebidas, que ficam nas prateleiras. O papel/papelão, no entanto, é sempre o mais utilizado como contenedores para armazenamento e transporte. O papel é classificado, pela norma ABNT NBR 10004, como resíduo classe II (não perigoso e inerte), e deve ser transportado conforme a norma ABNT 13221 e armazenado conforme a norma ABNT NBR 11174:1990.

Em 2013, a produção brasileira de celulose foi de 15,12 milhões de toneladas, e a de papel foi 10,44 milhões de toneladas (BRACELPA, 2015) sendo 5,36 milhões de toneladas de papel de embalagem (BRACELPA, 2015). A venda de papel de embalagem para o mercado interno foi de 1,81 milhões de toneladas (BRACELPA, 2015).

O papelão é um material de fácil produção e de baixo custo, tem boa resistência mecânica para garantir a contenção/proteção de produtos, pode ser reusado e é facilmente reciclado. Em geral, a fábrica recicladora recebe (principalmente de cooperativas de catadores) o papel coletado já prensado, em fardos de 400 kg. O material entra em um equipamento que funciona como um grande liquidificador, onde é adicionada uma quantidade de água para desagregação do material. Nesta fase, a proporção é de aproximadamente 1% de material e 99% de água. A massa obtida fica armazenada em tanques até seguir para o sistema de tratamento, onde são retiradas todas as impurezas (tais como isopor, areia, metal e demais plásticos). Após, a massa é distribuída em uma mesa que faz a formação do papel suprimindo parte da água, restando aproximadamente 7% de água e 93% de massa. O material segue, então, para um sistema de prensa que retira quase tudo o que restou da água que é eliminada, depois, na seção de secagem. Por fim, o papelão reciclado é colocado em bobinas que formatam a espessura das folhas, ou que fazem a ondulação (pela máquina ondulateira). A

água utilizada nestes sistemas é reaproveitada, pois o processo é fechado, para evitar o desperdício e diminuir os custos da produção.

O papel pode ser reciclado entre cinco a sete vezes (EPA, 2012) antes que a fibra degrade (se torne muito curta), e esta característica de reciclagem é muito importante para se conter o uso da matéria-prima original, ou seja, as árvores. Estima-se que 200 km<sup>2</sup> de florestas (manejo florestal sustentável) são abatidas, a cada dia, sendo 35% para produção de papel (WNO, 2015). Isto impacta tanto no ecossistema quanto no aquecimento global, porque metade do carbono produzido no mundo é armazenada nas florestas, mas ele vai para a atmosfera quando ocorre o desflorestamento. A redução do consumo de papel de escritório, em 10%, evitaria a emissão de 1,6 milhões de toneladas de dióxido de carbono (WNO, 2015). Portanto, por reduzir a emissão de gases, água e energia necessários para produção de novos produtos, a reciclagem de papel é crucial para a preservação do meio-ambiente. A reciclagem de 1 tonelada de papel reduz a emissão de gases em 1 tonelada métrica, elimina a utilização de 26.497 litros de água, 2,52 metros cúbicos de terreno, e salva 17 árvores adultas. A *Environmental Protection Agency* (EPA) concluiu que a reciclagem de papel reduz a poluição de água em 35% e a da atmosfera em 74% (WNO, 2015). A União Europeia recicla aproximadamente 45,5 milhões de toneladas de papel/ano (54% da sua necessidade) e os EUA reciclam 53,5 milhões de toneladas de papel/ano (53,4% da demanda de papel) (WNO, 2015).

Em 2013, o Brasil reciclou 4,78 milhões de toneladas de papel (uma taxa de recuperação de 58,9%) sendo 78,4% papelão (papéis ondulados e Kraft) (CEMPRE, 2015). Segundo os dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2012, da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), o papel, papelão e tetra-pak representam 13,1% do material reciclado no país; 13,5% são plásticos; 2,9% são metais; 2,4% são vidros; 16,7% são outros materiais; e 51,4% do material coletado são matéria orgânica. Estas taxas são baixas, pois 60% dos municípios brasileiros têm alguma iniciativa de coleta seletiva, mas a quantidade de resíduo sólido urbano que de fato retorna à cadeia produtiva não chega a 2% (NITAHARA, 2013). Um estudo da Fundação Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, em 2010, concluiu que o Brasil perde R\$ 8 bilhões/ano por não reciclar, por enterrar insumos que poderiam ser reaproveitados (NITAHARA, 2013). Este é um dado apenas econômico. Entretanto cabe questionar: Quanto

deveria ser acrescido neste montante, se fossem considerados os ganhos ambientais (menos resíduo, menos espaço de aterro e lixões, menos emissão, menos gasto de água e energia, entre outros) e sociais (mais trabalho, mais renda, mais qualidade de vida)?

Além da reciclagem, pode-se obter celulose por outras fontes abundantes no Brasil, que estão sendo descartadas como resíduo. Uma destas fontes é o arroz, produzido principalmente no sul do Brasil, que é o 9º maior produtor mundial (BRASIL, 2015a). A produção brasileira de arroz foi de 12,25 milhões de toneladas em 2014 (IBGE, 2015), tendo industrializado 8,037 milhões de toneladas (IRGA, 2014). Considerando que 20-23 % desse volume é de casca, o beneficiamento de arroz acaba gerando em torno de 1,6 milhões de toneladas de casca. A composição da casca varia em função do solo e tipo de cultura, mas basicamente é (DINIZ, 2005): celulose (32%), hemi-celulose (26%), cinza (18%), lignina (15%), sílica (14%). A casca é abrasiva, tem alta dureza, fibrosidade, boa resistência ao desgaste, mas baixa propriedade nutritiva e imprópria para consumo humano ou animal.

Devido ao seu poder calorífico (aproximadamente 16.720 kJ/kg que corresponde a 50% da capacidade térmica do carvão betuminoso de boa qualidade e a 33% da capacidade térmica do petróleo) a casca tem sido utilizada na substituição da lenha empregada na geração de calor e vapor, necessários para os processos de secagem e parboilização dos grãos (DELLA et al., 2005, 2006). A cinza remanescente pode ser usada como adubo (CHU et al., 2007). Outra possibilidade de uso da casca é a queima e moagem para obtenção de sílica da cinza, para uso em cerâmica (DELLA et al., 2005). A percentagem de sílica aumenta de 13,55% na casca in natura para 72,10% quando queimada (DELLA et al., 2006). No entanto, apenas 30% da casca é utilizada no Brasil. A maior parte é descartada, ocupando grandes áreas a céu aberto (DELLA et al., 2006), e permanecendo inalteradas por longos períodos de tempo, devido à sua lenta biodegradação, o que é um enorme dano ao meio ambiente (DELLA et al., 2005).

Comoecoinovação berço-a-berço, a proposta está na produção de embalagens a partir de casca de arroz em substituição da celulose virgem florestal, mas, também, na proposta de reusar as embalagens o maior número de vezes possível, antes de reciclá-la no metabolismo técnico. Para tanto, a proposta também é de aumentar o número de ciclos de vida da embalagem.



A proposta desta ecoinovação tomou como ponto de partida a Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos - ECT, porque é uma empresa pública federal de transporte, entrega e logística, que vai ao local de entrega e retorna podendo, portanto, dar conta do *take back* (coleta com fim de reaproveitamento).

A fim de que a embalagem tenha pelo menos 2 ciclos de vida sem reprocessamento, no caso da ECT, a impressão (em tinta atóxica) de remetente e destinatário pode ser feita nos dois lados da embalagem. Isto possibilita que, após seu primeiro uso, a embalagem seja desmontada e remontada ao avesso, possibilitando sua reutilização. Assim, quando a embalagem cumprir seu primeiro ciclo (transportar encomendas da ECT, no caso), ela pode:

- 1) ser reusada pelo cliente que recebeu a encomenda: ele desmonta a embalagem, remonta pelo outro lado que não foi usado, e pode usar de novo a embalagem para outro endereçamento. Isto é bom para o cliente que deixa de pagar por uma nova embalagem, e bom para o meio ambiente porque menos embalagens são produzidas e descartadas. Nesta situação, uma mesma embalagem já cumpriu 2 ciclos de vida, pois atendeu dois transportes de encomenda.

- 2) ser devolvida pelo cliente (com apenas 1 ciclo de vida cumprido) para a ECT, a fim de que a embalagem seja remontada pelo outro lado e vendida para outro cliente a um preço menor (por exemplo, 50% menos). A embalagem cumpre, assim os 2 ciclos de vida inicialmente previstos.

- 3) após o cumprimento dos 2 ciclos de vida, a embalagem pode ser reprocessada no metabolismo técnico, como nutriente para uma outra embalagem. Nesta situação, uma mesma embalagem já cumpriria 3 ciclos de vida.

Algumas grandes empresas iniciaram políticas de *take back* como parte de seus programas de sustentabilidade. O “*Reuse a Shoe*” da Nike (2015), por exemplo, desde os anos 1990 coleta sapatos usados em todas as lojas Nike e Converse, e centros comunitários de reciclagem nos EUA, além de postos na Alemanha, Austrália, Canadá, Reino Unido, Holanda, Nova Zelândia. Os sapatos são enviados para uma fábrica de reciclagem nos EUA (que opera desde 1993 no estado de Oregon) ou numa na Bélgica (aberta em 2005). Lá eles são misturados com resíduos de fabricação da Nike, e são transformados em material para o “*Nike Grind*”, um material sintético usado na fabricação de superfícies para a prática de esportes e em outros produtos.

Em 2012, a *Puma* (2015) criou o “*Bring Me Back Program*”, com caixas de coleta de roupas, bolsas e sapatos usados, nas lojas da *Puma* nos EUA. Os produtos recolhidos, de qualquer marca, são enviados para a empresa de reciclagem *I:CO*. Tudo que tem condição de uso é enviado para lojas de segunda mão. Os demais produtos, como fibras de plástico, solas de borracha, são transformados em materiais isolantes, pistas de corrida e tapetes. Os tecidos biodegradáveis são enviados para fábricas de compostagem industrial. Em 2013, a *Puma* criou a linha “*InCycle*” de roupas, sapatos e bolsas projetados para serem processados no metabolismo biológico no fim de seu ciclo de vida (CRADLE TO CRADLE, 2014).

A *Timberland* (2015a) também tem política de *take back* nos EUA, para reusar ou reciclar seus calçados e, em 2014, iniciou o “*Timberland Tires Take Back Program*” junto com a fabricante de pneus *Omni United* e a *Liberty Tire Recycling*. A “*Timberland Tires*” (TIMBERLAND, 2015b) é a primeira linha de pneus projetada berço-a-berço, com borracha apropriada para, no final de seu ciclo, ser usada em sapatos da *Timberland*. A *Liberty Tire Recycling* coleta os pneus, envia para a recicladora que pica e reprocessa a borracha junto com um composto para solados, que será depois usado em novos calçados e botas.

No Brasil, em 2013, a *Adidas*, em parceria com a *RCR Ambiental* (empresa de logística reversa e gestão ambiental) iniciou o primeiro programa voluntário no setor de artigos esportivos, o “*Pegada Sustentável*” (RCRAMBIENTAL, 2013; ADIDAS, 2015) em São Paulo: o cliente leva os tênis, de qualquer marca, sem condições de uso, nas lojas e *outlets* da *Adidas* para que sejam transformados em fonte energética para fornos de cimento. O cliente assina um termo de doação do calçado para reciclagem, e recebe um brinde (RCRAMBIENTAL, 2013). Nos três primeiros meses, o brinde foi um ingresso para visitar o Museu do Futebol e depois passou a ser um desconto nas compras. O programa foi estendido para todas as lojas *Adidas* no Brasil e, após 2 anos, ficou constatado que o sucesso do programa depende do vendedor, pois ele é quem promove, ou não, o interesse do público (ARAÚJO, 2014).

Nos EUA, a maioria dos fabricantes de eletrônicos tem programas de *take back*, e eles estão listados em um site para orientar os consumidores a darem preferência para aqueles que se comprometem com o destino de seus produtos no fim de seu ciclo de vida (ELECTRONICS TAKE BACK COALITION, 2013). Os EUA

também implantaram a “*National Take-Back Initiative*”, que coleta remédios para dar-lhes um destino seguro (US DEPARTMENT OF JUSTICE, 2015). No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, está tentando regulamentar e implantar um sistema de coleta em todos os locais onde o consumidor adquire remédios, para posterior descarte seguro. Remédios de venda controlada devem ser entregues em locais autorizados pela ANVISA, como postos de saúde e das vigilâncias municipais (DUTRA, 2013).

No Brasil, em 2010, foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010 a), regulamentada pela Lei nº 12.305/10, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010b), tendo sido criado o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e, em 2011, o Comitê Orientador para a implantação dos Sistemas de Logística Reversa. O Comitê (formado pelos ministérios do Meio Ambiente, Saúde, Fazenda, Agricultura, Pecuária e Abastecimento, e do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior) tem por finalidade definir as regras para devolução dos resíduos à indústria, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos. Inicialmente, foram identificadas cinco cadeias como prioritárias: descarte de medicamentos; embalagens em geral; embalagens de óleos lubrificantes e seus resíduos; lâmpadas (fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista) e eletroeletrônicos. No entanto, a lei prevê que a logística reversa exista também para as cadeias produtivas de agrotóxicos, pilhas e baterias e pneus (BRASIL, 2015b). Os fabricantes, distribuidores, importadores e comerciantes destes produtos estão obrigados a adotar uma política de *take back* para o retorno, tratamento e destino de produtos e embalagens no final da vida útil, independente do serviço público de limpeza urbana, pois a gestão dos resíduos sólidos é de responsabilidade tanto do governo (federal, estadual, municipal) quanto das empresas e da sociedade.

Um problema para o *take back* no Brasil são os impostos, pois a tributação recai sobre os produtos em forma de resíduos. Por causa disso, a Ericsson, por exemplo, vendia telefones para as operadoras junto com uma nota fiscal do cliente atestando que o equipamento é um ativo em descarte. No fim do ciclo de vida, a operadora vende o equipamento descartado para a Ericsson como sucata (BRAUN, 2010).

Medidas econômicas governamentais são importantes para incentivar políticas de redução de resíduos e reciclagem, que fazem parte da lei dos Resíduos

Sólidos. A lei deveria contribuir para o atingimento de uma das metas do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, que era atingir o índice de reciclagem de resíduos de 20% em 2015 (BRASIL, 2015c).

Uma forma de incentivo fiscal é a aplicação de impostos diferenciados para produtos que consomem menos energia e usam materiais reciclados. O comitê de empresas de eletroeletrônicos criado pelo CEMPRE, em 2009, propôs créditos em IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) para cada tonelada reciclada na produção do material novo. Outra proposta que está sendo discutida “com cautela para evitar uma guerra fiscal ambiental” junto ao Ministério da Fazenda é a redução do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS), especialmente em Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, estados que possuem programas de reciclagem mais estruturados (BRAUN, 2010).

Outro problema que muitas empresas alegam para não adotarem política de *take back* é a dificuldade em mudar a cultura dos clientes, e também, os custos de logística reversa. A questão cultural, no entanto, pode ser moldada se os clientes forem informados da importância do seu papel como usuário para o meio ambiente e, também, se eles forem compensados pela iniciativa. Ao devolver a embalagem usada, o cliente pode receber um cupom com algum tipo de crédito que estimule a devolução. Caso a devolução seja difícil, ou impossível, a embalagem pode ser entregue em postos de reciclagem ou colocada nos contenedores (de cor azul, conforme resolução CONAMA 275/01) da coleta seletiva. Se o cliente não fizer parte dos 13% da população que tem acesso a coleta seletiva (CEMPRE, 2014), ele pode destruí-la, no caso específico da embalagem proposta, para que a mesma, retorne para a natureza, cumprindo um outro ciclo de vida como nutriente biológico. Na pior das hipóteses, a embalagem vai para o lixo, mas o impacto será pequeno, já que a embalagem é basicamente um composto orgânico.

No que tange os problemas de logística reversa, a devolução das embalagens da ECT pode ser feita para o carteiro, nas agências da ECT, ou qualquer outro ponto comercial em parceria com a ECT (por exemplo, supermercados, farmácia, bancos).

O relatório da Administração da ECT 2013 (Correios, 2015a) mostra que a empresa pode ampliar seus programas de responsabilidade socioambiental. O Sistema de Gestão Ambiental dos Correios (SGAC) envolve: Coleta Seletiva Solidária que beneficiou 47 associações e/ou cooperativas de catadores de

materiais recicláveis, com a destinação de 3.147 toneladas de papel para reciclagem, contribuindo, assim, para a não derrubada de 63 mil árvores; Plantio de 1.148 mil mudas de árvores, para contribuir com a reconstituição da biodiversidade brasileira e de compensação de emissão de gás carbônico; Gestão de Resíduos Sólidos Recicláveis, tendo destinado adequada: 3.147 toneladas de papel; 780 toneladas de plástico; 354 toneladas de metal; 20.630 toners; 9 toneladas de vidro; 146 toneladas de paletes de madeira; Aporte de nova tecnologia para veículos elétricos, tendo sido testadas motos movidas por bateria para avaliar a eficiência dos veículos na operação de distribuição de cartas e encomendas.

No entanto, os programas da ECT, que estão mais diretamente relacionados ao bem estar da sociedade, não tem foco na sociedade como um todo, mas sim, em nichos, e podem ser ampliados. São eles: Jovem Aprendiz, Começar de Novo (para presidiários), Pró-Equidade de Gênero e Raça, Pessoa com Deficiência, Incentivo ao Estágio Supervisionado, Papai Noel dos Correios, Concurso Internacional de Redação de Cartas, Centro Vocacional e Tecnológico Correios, Eco postal (doação de uniformes usados).

## **4 Método**

O polpeamento e produção de folhas de papel a partir da celulose de casca de arroz foi feito pelo setor de serviços tecnológicos e inovação em celulose e papel do Senai de Telêmaco Borba, no estado do Paraná.

### **4.1 Desenvolvimento de polpa de celulose para produção de embalagens de papelão a partir da casca de arroz**

Antes de iniciar o polpeamento, as amostras de cascas de arroz (Figura 2) passaram por um tratamento para separação de impurezas (pedras e areia grossa) para, então, serem polpeadas por três processos distintos: o mecânico, o quimomecânico e o químico. Em cada um desses processos, foram respeitados fluxos de produção de celulose tradicionais similares ao processo de produção de celulose florestal.

Figura 2 – Cascas de arroz in natura utilizadas nos experimentos



Fonte: Primária

No processo mecânico, chamado processo de desfibramento e refinação, foi utilizado um equipamento para refinação em escala laboratorial Moinho Bauer, equipado com discos especiais para desfibramento de material fibroso. Neste processo, não são adicionados produtos químicos, e o desfibramento ocorre em temperatura ambiente (25 °C). A polpa obtida possui alto rendimento (Figura 3), pois não há separação da lignina que compõe o material fibroso. A polpa obtida foi estocada para posterior utilização.

Figura 3 – Pasta mecânica de casca de arroz obtida em refinador Bauer



Fonte: Primária

No processo quimomecânico, foi utilizado vaso digestor rotativo, com 4 câmaras, seguido de desfibramento em moinho de discos Bauer. Neste processo, as amostras fibrosas são submetidas a um tratamento químico (processo soda), por 60 min, na temperatura de 170 °C, com licor de cozimento a base de hidróxido de sódio

(NaOH), na proporção de 14% sobre o material equivalente seco que entrou no digestor.

Após o tratamento térmico, o material foi descarregado do digestor e enviado ao desfibrador Bauer, onde foi desfibrado até a individualização das fibras. Esse processo consiste em passar as fibras por discos providos de barras para desfibramento, sendo um dos discos rotativos e outro disco estático, promovendo, assim, desfibramento mecânico, que gera o que se denomina pasta de alto rendimento. Esse tratamento mecânico dado às fibras tem o objetivo de aumentar as propriedades físico-mecânicas do papel.

Em seguida, o material foi descarregado sobre uma peneira de 200 mesh para retenção das fibras. A seguir, a polpa foi lavada com água corrente, até sua neutralização (pH próximo a 7). A polpa obtida pode ser observada na Figura 4.

Figura 4 – Polpa de casca de arroz obtida por processo quimomecânico



Fonte: Primária

No processo químico, foi utilizado vaso digestor rotativo, com 4 câmaras. Neste processo, as amostras fibrosas são submetidas a um tratamento químico (processo sulfato ou Kraft), por 180 minutos, na temperatura de 170 °C, com licor de cozimento a base de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S), na proporção de 14% sobre o material equivalente seco que entrou no digestor.

Em seguida, o material foi descarregado sobre uma peneira de 200 mesh para retenção das fibras. A seguir, a polpa foi lavada com água corrente, até sua neutralização (pH próximo a 7). A polpa obtida pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 – Polpa de casca de arroz obtida por processo químico tipo sulfato



Fonte: Primária

Após a lavagem, foi feita a depuração da polpa obtida. Esse processo consiste em passar as fibras através de peneira ranhurada, onde o material não cozido ou partículas de areia ou outro contaminante são separados.

Tanto no processo quimomecânico quanto no químico, onde foram usados elementos químicos para auxiliar na desfibrilação das fibras de celulose das cascas de arroz, ocorreu a produção de licor preto. Licor preto é o nome dado ao licor branco (composto por NaOH ou NaOH/Na<sub>2</sub>S) no final do processo de produção da celulose, pois em ambos os processos, a pasta é lavada com água para neutralizar o pH com compósito. Em produção industrial, o licor preto resultante é coletado, tratado, separado e reutilizado no processo novamente.

#### **4.1.1 Produção de folhas a partir das pastas de celulose da casca de arroz**

Para a formação de folhas de papel a partir da pasta de celulose, foi utilizado um equipamento do tipo Tappi. Foram formadas folhas de fibras de polpa quimomecânico (Figura 6) e química (Figura 7).

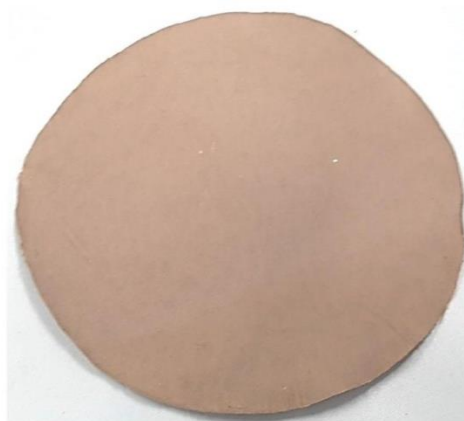


Figura 6 – Folha formada em formador Tappi, de fibras de polpa de casca de arroz pelo processo quimomecânico



Fonte: Primária

Figura 7 – Folha formada em formador Tappi, de fibras de polpa de casca de arroz pelo processo químico



Fonte: Primária

Não foi possível obter folhas com a pasta mecânica, devido à fraca interação entre as fibras, ocasionada pela quantidade elevada de lignina, material hidrofóbico, que serve de cementação entre fibras. A soda, que não foi utilizada no processo mecânico, é a responsável pela remoção de lignina sem a degradação excessiva das fibras do material vegetal (SMOOK, 1994). A fim de obter um compósito mais rígido, que pudesse servir de material para embalagem de papelão, foi adicionada cola branca ((atóxica, que não oferece riscos ao meio ambiente ou ao ser humano,

composta por Poli Acetato de Vinila - PVA e água, sem solvente) (Figura 8), em duas concentrações diferentes 50 g/m<sup>2</sup> e 80 g/m<sup>2</sup>, nas amostras de polpa mecânica. A mistura foi espalhada em uma forma, prensada e secada a 60 °C em estufa, que resultou em chapas de papel mais espessas do que as obtidas pelos outros dois processos. A Figura 9 mostra chapas confeccionadas com a pasta mecânica de fibras de casca de arroz e cola branca.

É importante notar que seria possível utilizar amido ao invés da cola branca, como aglutinador das fibras da polpa mecânica. No entanto, entende-se que amido é alimento, e deve ser utilizado como tal, pois comida é mais importante do que embalagens. Assim, entre o uso da cola branca sintética e o alimento natural, optou-se pela primeira, principalmente tendo em vista a quantidade de amido, da ordem de 11 toneladas, que seria necessária para aglutinar o montante de cascas disponível para a produção.

Figura 8 – Mistura de pasta mecânica de arroz e cola branca



Fonte: Primária

Figura 9 – Chapas de pasta mecânica de casca de arroz

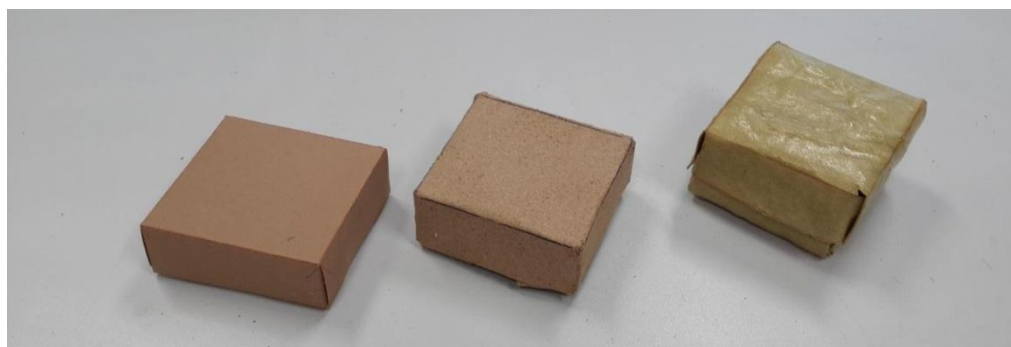


Fonte: Primária

#### 4.1.2 Embalagem de celulose de casca de arroz na concepção berço-a-berço

Após a produção das chapas, o material foi aquecido e moldado, artesanalmente, em protótipos de embalagens. A Figura 10 mostra as três embalagens, sendo a da extrema esquerda a do processo químico, a do centro a do quimomecânico e da extrema direita, a do processo mecânico. Nota-se que, em função da não desagregação das fibras, a aparência da embalagem mecânica é mais rústica que as demais, que têm superfície lisa como os papelões comercializados.

Figura 10 – Protótipos de embalagens construídas com as polpas produzidas por processo químico, quimomecânico e mecânico



Fonte: Primária

Mesmo em produção industrial em larga escala, a polpa, de qualquer um dos três processos, pode ser colocada em formas para produzir qualquer formato desejado, o que é ideal, já que evita cortes e, portanto, resíduos de aparas. No entanto, dependendo dos resultados dos testes com as folhas de polpa de celulose da casca de arroz, as embalagens também podem ser produzidas como as atuais da ECT (com corte e vinco) para não alterar os processos produtivos já em utilização.

#### 4.1.3 Testes das folhas produzidas a partir de celulose da casca de arroz

As polpas produzidas a partir da casca de arroz foram submetidas à análise de gramatura e três ensaios de teste (de espessura, de compressão de coluna e de arrebatamento ou mullen) para avaliar a viabilidade de produção de embalagens de papelão em escala industrial. Foram separadas três amostras de cada material (a

partir do processo mecânico, do quimomecânico e químico) para os ensaios, totalizando nove ensaios, realizados no Laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A análise da gramatura é a medida do peso do papelão, em gramas por metro quadrado. No Brasil, o processo de medição é normatizado pela norma NBR NM-ISO 536:2000. Para a análise, foi utilizada uma balança de precisão AHZ 600.

O teste de espessura foi efetuado para avaliar se a espessura (expressa em milímetros) das folhas produzidas está dentro do especificado. No Brasil, o processo de medição é normatizado pela norma NBR ISO 3034:2011.

No teste de compressão de coluna, é determinada a resistência da coluna do papelão. Este teste é importante porque a resistência mecânica está diretamente relacionada com a principal função que uma embalagem deve exercer, que é a proteção do produto. O teste é realizado aplicando uma força perpendicular a um corpo de amostra com dimensões de 63 mm x 100 mm. No Brasil, o processo de medição é normatizado pela norma NBR 6727:2009. Com o valor indicado da força aplicada, é registrado o valor que proporcionou o colapso do corpo de prova, e então é calculada a resistência à compressão de coluna através da Equação 1.

$$R = \frac{F}{l \times 1000} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

R é a resistência à compressão de coluna, expressa em quilonewtons por metro (kN/m);

F é a força máxima de compressão, expressa em newtons (N);

l é o comprimento do corpo de prova (0,1m), expresso em metros (m).

O teste de arrebentamento ou mullen mede a pressão necessária para romper a chapa de papelão. Esta propriedade é determinada por meio do aparelho “mullen tester”. Com o valor indicado da força aplicada, é registrado o valor que proporcionou o arrebentamento do corpo de prova. O resultado é expresso em quilo pascal por metro quadrado. No Brasil, o processo de medição é normatizado pela norma NBR 2759:2007.

## 5 Resultados

A Tabela 1 apresenta os resultados comparativos entre as amostras de folhas de celulose a partir de casca de arroz, obtidas pelos processos mecânico, quimomecânico e químico.

Tabela 1 – Resultados comparativo dos processos

	Polpa			Unidade
	Mecânica	Quimomecânico	Química	
Tempo reação	-	60	180	min.
Tempo de desfibramento	30	15	-	min.
Temperatura	25	170	170	°C
Licor branco base	-	NaOH	NaOH/Na <sub>2</sub> S	
Álcali ativo	-	14	14	%
Relação licor : material fibroso	16:1	4:1	4:1	
Nº kappa	-	41,39	32,24	-
Desvio padrão nº kappa	-	0,162	0,339	-
Freenes (CSF)	430	450	-	CSF
Grau de drenabilidade SR	-	-	25	°SR
Rendimento bruto	97	58	36	%
Rendimento depurado	97	24	30	%
Teor de rejeitos	0	34	6	%

Fonte: Primária

Os resultados dos corpos de prova ao teste de gramatura, de espessura, de compressão de coluna e de resistência de arrebentamento são apresentados nas Tabelas 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

Tabela 2 – Medidas da gramatura das amostras

Amostras	Peso medido da amostra (valor médio) (g)	Peso médio convertido (g/m <sup>2</sup> )	Desvio padrão
<b>Químico</b>	1,7071	180	0,05
<b>Quimomecânico</b>	6,1571	670	0,12
<b>Mecânico</b>	7,9945	900	0,21

Fonte: Primária

Tabela 3 – Medidas de espessura

Amostra	Medidas de espessura (valor médio) (mm)	Desvio padrão
<b>Químico</b>	0,33	0,01
<b>Quimomecânico</b>	1,45	0,11
<b>Mecânico</b>	1,75	0,17

Fonte: Primária

Tabela 4 – Resultados dos testes de compressão de coluna

Amostra	Resistência à compressão de Coluna (valor médio) (kN/m)	Desvio padrão
Químico	0,00010247	68,23
Quimomecânico	0,00037854	128,25
Mecânico	0,00078458	157,33

23 °C/47%UR

Fonte: Primária

Tabela 5 – Resultados dos testes de resistência de arrebatamento

Amostra	Resistência à compressão de Coluna (valor médio) (kPa/m <sup>2</sup> )	Desvio padrão
Químico	53	3,21
Quimomecânico	324	17,86
Mecânico	1200	41,52

23 °C/47%UR

Fonte: Primária

Para se produzir um papel de embalagem com uma especificação de gramatura de 70 g/m<sup>2</sup>, considerando uma umidade relativa do ar de 30%, são necessárias, em quantidade de casca, o equivalente a 278 g no processo químico, 172 g no quimomecânico e 66 g no processo mecânico. Pelo que pode ser observado na Tabela 1, o rendimento em fibras do processo químico é baixo, cerca de 30%, e envolve vários procedimentos e aditivos, além do uso de energia, que elevam o custo de produção. Com o processo quimomecânico, que é uma mescla dos outros dois, obtém-se maior rendimento de fibras, mas sacrifica-se a resistência do produto. Em termos de produção de polpa, o processo mecânico é melhor, pois o rendimento é maior (97%). Gasta-se menos para produzir a pasta mecânica, mas ela tem resistência física menor, se comparada ao processo quimomecânico e químico. A maneira de elevar essa resistência é com o acréscimo de cola branca à pasta.

O processo químico (processo sulfato, ou Kraft) é o que garante maior resistência física e densidade. Entretanto, necessita um forno a 170 °C, um maior número de soluções químicas, que envolvem hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S), e que demandam um tempo de reação de 180 minutos, gerando um resíduo tóxico que deve ser tratado antes de ser descartado. O sulfeto utilizado no processo Kraft libera compostos orgânicos tóxicos e malcheirosos (tais como metilmercaptanas, dimetilssulfeto, dimetildissulfeto e outros compostos reduzidos de enxofre (SEBEN et al., 2012). Estes efluentes líquidos e as emissões gasosas

altamente tóxicas, podem causar graves danos ao meio-ambiente, no caso de falhas ou vazamentos em alguma das etapas da produção (MIRANDA, 2008).

Assim como o químico, o processo quimomecânico (processo soda) também utiliza forno na temperatura de 170 °C, mas por metade do tempo (60 min), envolve hidróxido de sódio (NaOH) e gera resíduo, em maior quantidade que o químico, mas menos tóxico, e que também deve ser tratado.

### **5.1 Utilização de polpa para caixas de encomendas**

A fim de avaliar se as características das amostras podem atender as demandas de mercado, elas foram comparadas com as especificações das embalagens utilizadas pela ECT. As características técnicas do papelão utilizado nestas embalagens estão na Especificação Técnica número 141078 da ECT. O papelão é um corrugado, composto por uma parte interna (miolo) de papel ondulado de baixa espessura colado entre duas folhas de papel plano (capas), pesando 540 g/m<sup>2</sup>. Os recursos para a produção da capa devem ser de polpa de celulose original, extraídas de árvores, enquanto que o miolo pode ser produzido a partir da reciclagem de papel já usado e descartado.

As amostras testadas foram produzidas com a pasta ou polpa maciça de celulose de casca de arroz, formando uma folha espessa de papelão liso. Portanto, suas características de conformação, densidade, volume e peso diferem do papelão corrugado da ECT. O papelão plano de polpa ou pasta de celulose de casca de arroz é mais pesado, mas também mais denso que o corrugado da ECT, o que aumenta a proteção das mercadorias em seu interior. De qualquer forma, em condições de produção em larga escala, as polpas das três amostras podem ser fabricada como um corrugado, reduzindo, assim, seu peso.

Tendo em mente estas diferenças, os resultados comparativos entre as três amostras e as especificações da ECT são apresentados na Tabela 6. Como a ECT não usa em suas especificações as unidades recomendadas pelas normas, os valores correspondentes aos ensaios, convertidos para a nomenclatura da ECT, estão entre parênteses, ao lado do valor indicado pela norma.

Tabela 6 – Comparativo entre os resultados e os requisitos da embalagem da ECT

	<b>Especificação ECT</b>	<b>Processo Químico (valores médios)</b>	<b>Processo Quimomecânico (valores médios)</b>	<b>Processo Mecânico (valores médios)</b>
<b>Espessura (mm)</b>	1,3 à 1,6	0,3	1,4	1,75
<b>Gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>	450 a 550	180	670	900
<b>Resistência a Coluna (kN/m)</b>	Mínima 5,0 kgf/cm (0,000490335)	0,00010247	0,00037854	0,00078458
<b>Arrebentamento (Mullen teste) (kPa/m<sup>2</sup>)</b>	Mínima 6,0 kgf/cm <sup>2</sup> (588,89)	53	324	1.200

Fonte: Primária

Com base no rendimento da casca nos três processos, foi avaliada a capacidade de produção de embalagens em função da oferta de resíduos de casca de arroz no país. Como é muito difícil precisar a quantidade de embalagens de encomendas produzidas no Brasil, o cálculo da demanda focou em um grande cliente, com potencial para aquisição de embalagens sustentáveis.

A ECT tem, no Brasil, 6.454 agências próprias, 1.513 postos de venda, além de 1.014 agências franqueadas, 4.593 agências comunitárias e 152 agências comerciais (Correios, 2015b). Segundo a pesquisa feita na agência de Botafogo, RJ, em Abril de 2015, todo o estoque mensal de 200 embalagens/mês é vendido, mas a venda seria maior, pois a demanda supera o estoque. Assumindo uma venda média de 2.400 embalagens/ano/agência (média da agência da ECT de Botafogo, RJ), a estimativa de demanda é de 33 milhões de embalagens de encomendas/ano. Os tamanhos vendidos dependem da época do ano. Considerando todos os tamanhos das linhas básicas, convencional e temática vendidas pela ECT, uma embalagem média tem 2.374,58 cm<sup>2</sup>.

No processo químico, que é o de menor rendimento, são necessários 66 g de casca para obtenção de polpa. No quimomecânico, 41 g de casca para obtenção de polpa. No mecânico seriam necessários 16 g de casca mais 25 g de cola branca (o que representa 156% de aditivo em relação à matéria prima) para obtenção de pasta, porque não é obtido polpa pura, mas sim uma pasta.

Considerando 1,6 milhões de toneladas de casca produzidas, e que 60% desse montante estejam disponíveis *in natura*, estão disponíveis 960 mil toneladas de casca para fabricação de embalagens. A Tabela 7 apresenta as estimativas de



produção de embalagens com a polpa de casca de arroz, considerando o rendimento dos três processos, para a produção de 33 milhões de embalagens de encomendas.

Tabela 7 – Estimativa de produção de polpa e de embalagens, considerando os três processos de polpeamento, e a disponibilidade de 960 mil toneladas de casca para fabricação

<b>Tipo de Processo</b>	<b>Rendimento (%)</b>	<b>Quantidade de casca para produção de 1 embalagem com 240 g de polpa (g)</b>	<b>Quantidade de polpa disponível (toneladas)</b>	<b>Produção total de embalagens através da polpa (milhões)</b>	<b>Excedente da produção de 33 milhões de embalagens (milhões de embalagens)</b>	<b>Excedente de polpa (toneladas)</b>
<b>Mecânico</b>	97	16	14.552,38	924,70	891,76	14.033,90
<b>Quimomecânico</b>	58	41	5.593,75	136,63	103,68	4.245,05
<b>Químico</b>	36	66	3.471,98	52,63	19,69	1.299,08

Fonte: Primária

A produção de polpa ou pasta pelos três processos excede a quantidade necessária para atender a demanda de 33 milhões de embalagens estimada para a ECT. Esta demanda pode ser maior, pois foi calculada com base na venda de uma agência, que vende tudo que tem e informa que venderia mais, se houvesse mais para oferecer. De acordo com o levantamento feito no Centro de Distribuição (CDD) da ECT de Botafogo, no Rio de Janeiro, menos de 1% do montante de encomendas processadas são de embalagens padrão oficiais da ECT, a maior parte sendo embalagens comuns de reuso, de qualquer tipo, embrulhadas em papel. A pequena percentagem de embalagens da ECT em circulação, pode ser devida, também, ao estoque limitado de embalagens para venda. A embalagem mais barata da ECT é a menor (16 cm x 11 cm x 6 cm), vendida a R\$ 3,50, e a maior (54 cm x 36 cm x 27 cm) custa R\$ 15,20. Se as embalagens de casca de arroz forem produzidas em larga escala, como a matéria-prima não tem custo, elas serão mais baratas que as de papelão florestal e, portanto, as vendas devem aumentar ainda mais. Isto não invalida, no entanto, a prática de reuso de embalagens comuns pelos clientes.

## 5.2 Utilização de polpa para caixas de sapatos e palmilhas

Considerando os cálculos da Tabela 7, o excedente da polpa não utilizada para as embalagens da ECT pode servir, por exemplo, para embalagens de sapatos, ou palmilhas de montagem de sapatos, que são produtos que podem se beneficiar com a sílica da polpa de casca de arroz que não é destruída no processo de polpeamento.

A sílica absorve umidade, é um importante agente para o combate e a redução de fungos e, por isso, muitas vezes os sapatos são embalados junto com um saquinho de sílica. Usando a embalagem de casca de arroz, que já tem sílica, os saquinhos se tornam dispensáveis.

A mesma ideia de *take back* proposta para a ECT pode ser colocada em prática com as caixas de sapato. Elas são um problema para os lojistas, pois a maioria dos clientes não leva a caixa. Os que levam, geralmente usam apenas para o transporte até em casa. A solução geralmente dada é o descarte, mas ao invés de enviar direto para a reciclagem (ou jogar no lixo comum), o cliente pode ganhar um bônus se devolver a caixa (por exemplo, desconto no próximo par de sapatos, o que também funciona como fidelização). Os lojistas podem encaminhar as caixas para a empresa de calçados, quando esta for entregar os próximos lotes. Caixas em bom estado podem ser reusadas (2º ciclo de vida, como embalagem). Aquelas com defeito podem ser reprocessadas no metabolismo técnico (2º ciclo de vida, como matéria-prima para um novo produto).

A produção da indústria calçadista brasileira foi de 900 milhões de pares em 2013 (SEBRAE, 2014), levando a uma demanda em potencial de 900 milhões de caixas/ano. Uma caixa de sapato tem uma área média de 2.400 cm<sup>2</sup>. Com o excedente de polpa para as embalagens da ECT, poder-se-ia fabricar caixas para quase toda a produção de calçados do país, considerando o processo mecânico de produção (98%), e de parte desse volume considerando o processo quimomecânico (11%) e de um valor pequeno (2%) considerando o processo químico.

A polpa de celulose também pode ser destinada para a produção de palmilhas de sapatos. Considerando uma palmilha com área média de 0,0126 cm<sup>2</sup>, poder-se-ia produzir 535,8 milhões de pares no processo químico, 1.390,76 milhões de pares no processo quimomecânico e 7.235,53 milhões de pares no processo mecânico. Tanto o processo quimomecânico e o mecânico suprem a demanda de

900 milhões de pares anos da indústria calçadista. As palmilhas de montagem de sapatos também se beneficiam dos atributos da sílica, pois podem absorver a umidade dos pés, que é um dos fatores que geram a sensação de desconforto. A palmilha de montagem é uma lâmina feita geralmente à base de celulose (ou couro), do mesmo tamanho da planta da forma. Ela é fixada por cima da sola, e sobre ela é montado o cabedal do sapato. Como estas palmilhas de montagem são internas, e não fazem contato com a pele do usuário, estar-se-ia agregando valor as palmilhas e, portanto, aos sapatos, sem colocar em risco a saúde do usuário. A sílica é abrasiva e pode gerar alergia, por isso não é indicada para uso em produtos que tenham contato direto com a pele. Ao fim do ciclo de vida do sapato, esta palmilha pode ser incorporada ao solo, como nutriente biológico, sem risco para o meio-ambiente.

### **5.3 Utilização de polpa para caixas de ovos**

A pasta ou polpa de celulose de casca de arroz é facilmente moldável, o que abre um leque de outras oportunidades de uso. Uma outra alternativa para a colocação de polpa de celulose no mercado caso houvesse a negativa da ECT e da indústria calçadista seria a indústria alimentícia. Por exemplo, a polpa pode ser utilizada e moldada para embalagem diferenciada de ovos. Diferenciada porque, além da proteção mecânica a quebra, a embalagem com sílica estaria também aumentando a preservação dos ovos, pois, como absorve umidade, estaria prevenindo o crescimento de bactérias e fungos. As embalagens de polpa florestal para ovos são indicadas porque os micro poros da polpa permitem aos ovos respirar, uma vez que proporcionam a circulação de ar. As embalagens de casca de arroz teriam, além deste atributo, o de maior proteção antibacteriana e fungicida.

A qualidade estética é outra vantagem do uso da polpa mecânica de casca de arroz na fabricação de embalagem de ovos, pois a embalagem tradicional em relevos que acompanham o formato dos ovos, já não tem superfície tão lisa como as embalagens de encomenda ou de sapatos. O aspecto mais rústico, como o obtido no protótipo da embalagem com a pasta mecânica (Figura 11), de uma embalagem de ovos conformada, pode ser um diferencial em relação às embalagens produzidas com polpa florestal.

A produção brasileira de ovos é da ordem de 41 bilhões/ano (40.731 milhões em 2011), sendo que o país é o 7º maior produtor do mundo (com 3,34% da produção mundial) (SEAB, 2013), com base no último censo agropecuário do IBGE, em 2006. Só o município de Bastos (a 536 km da capital São Paulo), o maior produtor de ovos do Brasil, produz 14,5 milhões/dia de ovos, em cerca de 70 granjas. Isto representa 45% dos ovos produzidos no Estado de São Paulo e 15% de toda a produção brasileira (AVICULTURA INDUSTRIAL, 2011). A maior empresa do Brasil (e 11ª maior do mundo) é a Granja Mantiqueira, que produz 2 bilhões de ovos/ano em duas unidades (uma em Itanhandu, Minas Gerais, e outra em Primavera do Leste, em Mato Grosso) (LUDERS, 2013). Os estados de maior produção são: São Paulo (25,97%), Minas Gerais (10,80%), Paraná (11,45%), Rio Grande do Sul (9,30%) e Santa Catarina (6,54%) (SEAB, 2013).

As embalagens podem ser feitas nos dois formatos mais usuais: as bandejas, usadas para acondicionar mais de 1 dúzia de ovos, geralmente adquiridas por estabelecimentos comerciais (restaurantes, etc.) e as embalagens de ½ ou 1 dúzia de ovos, geralmente vendidas no varejo (em supermercados, armazéns etc.) sendo, atualmente, a mais comum, a embalagem integrada de uma base e uma tampa com fecho com dente de bloqueio. Esta embalagem foi desenvolvida nos anos 60, e pesa em torno de 600 g/m<sup>2</sup> (cerca de 1,5 mm de espessura) (EMFA, 2008).

No caso de uma destinação de todo esse volume de resíduos para a produção de embalagens para armazenamento dos ovos, em caixas de 12 unidades, por exemplo, com área média de 0,052 m<sup>2</sup> e considerando a produção brasileira, seriam necessárias 3,47 bilhões de caixas. Neste cenário seriam fabricadas através do processo mecânico 21% dessa demanda, no processo quimomecânico 7%, e no processo químico 3% de embalagens de polpa moldada. Da mesma forma como foram propostas para as embalagens de encomendas da ECT e dos sapatos, as embalagens de ovos devem retornar para o fabricante, para serem reusadas ou recicladas (no metabolismo técnico ou biológico). O consumidor pode retornar a embalagem no estabelecimento onde comprou os ovos obter um desconto, mesmo que de poucos centavos, na próxima dúzia comprada. Quando o fornecedor chegar para abastecer o estabelecimento, ele recolhe as embalagens devolvidas, e encaminha para o fabricante.

## 6 Discussão

Tendo em vista seu valor econômico, a sílica da casca de arroz e das cinzas da casca de arroz após a queima tem sido o foco da maioria das pesquisas para aproveitamento de casca de arroz. No entanto, esta extração envolve custos elevados, equipamentos especiais de laboratório e exige pessoal qualificado. A literatura não enfatiza o aproveitamento da celulose, apesar dela ser o componente de maior percentual na casca. Desta forma, aecoinovação em produto está na utilização da casca para fabricação de papel de embalagem, como alternativa para eliminação de resíduo e redução do número de árvores abatidas, mesmo que estas sejam plantadas para produção de celulose. Apesar de o papel ser fabricado a partir de pinus ou eucaliptos cultivados, menos árvores seriam derrubadas se o corte fosse limitado à produção de papel branco, e o papel de embalagem fosse produzido a partir de um resíduo abundante e com pouco uso industrial.

Este estudo mostra que o polpeamento de casca de arroz é ecoeficaz, atende a filosofia ZERI e projeto berço-a-berço. O processamento da pasta ou polpa não é complexo, e se dá com tecnologia conhecida no Brasil. É necessário, no entanto, atentar para a qualidade dos resíduos, pois a presença de contaminantes, como areia e pedras, podem inviabilizar o processo de produção, caso não sejam retiradas antes de entrar nos equipamentos. A casca pode ser utilizada *in natura*, sendo necessária apenas a lavagem para retirada de impurezas (pedras, areia etc.), moagem, polpeamento em tanques e prensagem, da forma como é feita a reciclagem de papéis,

O processo mecânico fornece 931.200 toneladas de polpa da casca de arroz; o quimomecânico, 556.800 toneladas; e o químico, 345.600 toneladas de polpa para papelão de embalagem. Esta produção de papel atenderia a demanda da ECT, do setor calçadista e de produção de ovos, e ainda sobraria matéria-prima. Sem focar em nenhum cliente, e considerando que a venda de papel de embalagem para o mercado interno foi de 1,81 milhão de toneladas em 2013, a produção pelo processo mecânico atenderia 0,8% desta demanda, o quimomecânico 0,04%, e o químico 0,02% da demanda do mercado brasileiro por papel de embalagem reduzindo, respectivamente, o abate de 250 mil, 95 mil, e 60 mil árvores plantadas de acordo com o manejo florestal sustentável.

As características de alta dureza, fibrosidade e boa resistência ao desgaste, mencionadas na literatura como fatores dificultadores para encontrar uma solução de uso, fazem da casca uma matéria-prima propícia para embalagens. Além disso, a casca de arroz contém sílica, conhecida por seu poder de absorver umidade e prolongar a vida útil dos objetos, portanto, um componente valioso para as embalagens, e que não está presente na polpa de celulose florestal.

O processo químico, Kraft, mais complexo e mais caro que o processo mecânico e o quimomecânico, tem sido mais difundido do que o mecânico ou soda, sendo o mais utilizado nas indústrias de papel e celulose, pela melhor qualidade conferida à polpa (SEBEN et al., 2012; Miranda, 2008) por ser mais adaptável a vários tipos distintos de matéria-prima (SEBEN et al., 2012). No entanto, o processo Kraft é o que tem menor rendimento, pois consome mais matéria-prima, além de energia, água e insumos químicos, e o que mais geram resíduos (MIRANDA, 2008). Esses resíduos são, em grande maioria, recuperáveis para a formação do licor de cozimento e geração de energia, são passíveis de reaproveitamento na compostagem, corretivo da acidez do solo, etc., mas a parte não reaproveitável vai para o aterro industrial. Os resíduos sólidos tem alto teor de matéria orgânica e não são considerados tóxicos pela legislação, mas são problemáticos tendo em vista a grande quantidade acumulada (MIRANDA, 2008).

Com todos estes problemas que gera, o processo Kraft é geralmente usado em celulose florestal, e não é considerado o mais adequado para o polpeamento de casca de arroz. O processo soda é que vem sendo recomendado na produção de celulose a partir de palhas, bagaços e outros resíduos agrícolas (SEBEN, 2012). Este estudo corrobora esta recomendação, pois o processo quimomecânico é o que se mostrou o mais adequado para polpeamento de casca de arroz. O resíduo do processo quimomecânico pode ser recuperado e reutilizado em novos processos de cozimento. A soda utilizada no processo, e que possa remanescer no papelão produzido, não inviabiliza sua deposição no solo, quando for descartada no metabolismo biológico. No processo de polpeamento mecânico, a exigência de adição de cola branca em grande quantidade (mais do que a metade da quantidade de casca), acaba por inviabilizar o processo. Não foi proposto amido como aglutinante, para não desviar um recurso do seu destino correto, que é alimentar a população.

Mesmo considerando a inconveniência da adição de cola branca, foi feita uma estimativa do investimento necessário para o polpeamento quimomecânico e mecânico.

A Tabela 8 apresenta as estimativas para implantação de uma fábrica de polpeamento de arroz, considerando os custos de produção e de *mark-ups* padronizados. A planta industrial para a produção por processo mecânico conta com: desfibradoras – ensiladora desagregadora; digestores, prensas hidráulicas; uma unidade de tratamento da água; outros (motores, tubulações, válvulas). Para o processo quimomecânico além desses equipamentos, há necessidade de caldeiras para a produção da polpa.

Não foram considerados os valores da construção de um prédio para abrigar essa fábrica. Presume-se que as beneficiadoras, que geralmente processam arroz de vários produtores, forneça essa estrutura para instalação de equipamentos e operação.

Tabela 8 – Estimativa para instalação de uma unidade para a produção da polpa

	Mecânico (R\$)	Quimomecânico (R\$)
Equipamentos	1.985.850,00	3.335.850,00
<b>Custo de Instalação</b>	<b>1.985.850,00</b>	<b>3.335.850,00</b>
Água	398.250,00	398.250,00
Energia	594.000,00	702.000,00
Insumos químicos	297.000,00	34.850,00
	(Cola Branca)	(Soda)
Mão de obra (~50 trabalhadores/ano)	2.490.000,00	2.490.000,00
<b>Custos de Produção</b>	<b>3.779.250,00</b>	<b>3.625.100,00</b>
ICMS (residual) de 5,1% a 9,5% conforme regime tributário (considerando o valor médio cobrado por tonelada e a capacidade máxima de produção por processo)	556.626,55 (min.) a 1.036.853,37 (máx.)	213.961,01 (min.) a 398.554,83 (máx.)
Movimentação despacho 0,2% custo FOB	21.828,49	8.390,63
Lucro FOB fábrica 20% custo FOB	2.182.849,20	839.062,80
	<b>2.761.304,24 (min.) a</b>	<b>1.061.414,44 (min.)</b>
<b>Mark-up FOB</b>	<b>3.241.531,06 (máx.)</b>	<b>1.246.008,26 (máx.)</b>
Transporte e logística (4 a 50% do preço total)	436.569,84 (min.) a 5.457.123,00 (máx.)	167.812,56 (min.) a 2.097.657,00 (máx.)
<b>Mark-up CIF</b>	<b>436.569,84 (min.) a 5.457.123,00 (máx.)</b>	<b>167.812,56 (min.) a 2.097.657,00 (máx.)</b>
<b>TOTAL</b>	<b>8.962.974,08 (min.) a 12.280.904,86 (máx.)</b>	<b>8.190.177,00 (min.) a 9.465.552,46 (máx.)</b>

Fonte: Primária

Assumindo um custo de implantação de R\$ 1.985.850,00 para o processo mecânico e R\$ 3.335.850,00 para o processo quimomecânico, ele estaria sendo compensado em 11 meses dependendo dos cenários para o processo mecânico e 47 meses para o processo quimomecânico com a venda de polpa de celulose com fibra longa considerando o preço médio de R\$ 700,00/ton. Uma vez implantada a fábrica, os custos de produção do polpamento quimomecânico ou soda é mais vantajoso, pois apesar de ter custo de energia maior, tem custo de insumos bem menor que o mecânico, em virtude da quantidade de cola branca necessária no processo mecânico.

Este estudo aponta, portanto, o processo quimomecânico ou soda como o mais eficaz para polpamento de casca de arroz. Ele pode e deve ser feito na mesma fábrica de beneficiamento do arroz, para evitar o transporte e gerar trabalho e renda para as comunidades locais. O transporte de casca, assim como das cinzas remanescentes de sua queima, tem sido responsabilizado pelo fato dos beneficiadores de arroz queimarem ou depositarem estes resíduos a céu aberto nas proximidades das indústrias.

A literatura informa que apenas 30% de casca é queimada para geração de calor. No presente estudo, a pesquisa feita no município de Palmares do Sul (RS), região litorânea do estado do Rio Grande do Sul, grande produtora e beneficiadora de arroz (através de suas cooperativas) mostrou que em torno de 40% das cascas são queimadas, e que o excesso de geração de resíduos da cinza e os 60% de cascas *in natura* excedentes são um problema difícil de ser enfrentado, e que eles acatariam uma solução simples para uso deste resíduo, inclusive disponibilizariam espaço para seu processamento. De imediato, eles poderiam instalar a fábrica de polpamento. As cinzas podem ser vendidas como adubo, até que possam se estruturar para implantar uma fábrica de processamento de sílica a partir das cinzas.

Este modelo pode ser adotado em todas as regiões beneficiadoras de arroz, pois o problema de resíduo é o mesmo. Ao instalar fábricas de polpa de papelão em cada uma das fábricas beneficiadoras, não haveria o problema de transporte e deposição da maior parte de resíduos, pois a produção de arroz é bastante concentrada. Uma pesquisa do IRGA (2014) mostrou que das 8.037 milhões de toneladas do arroz industrializadas no país, 63% é feito em 50 empresas no estado do Rio Grande do Sul (maior produtor do Brasil) as quais beneficiam 82,98% do arroz no estado, principalmente nos municípios de Pelotas (14,5%); Itaquí (12,4%),



Camaquã (9,8%), São Borja (9,7%) e Alegrete (5,1%). Estes municípios respondem por 51,4% do total beneficiado no Rio Grande do Sul.

Cabe ressaltar que é possível ainda aumentar os ganhos da empresa caso ela opte por produzir as próprias caixas, além do polpamento da casca. Entretanto, não foi possível prever o custo dessa produção em larga escala, pois não foi encontrada no mercado uma máquina que produza as caixas a partir de moldes em larga escala.

Como ganhos intangíveis pode-se listar o Atendimento a PNRS e a Imagem da empresa. A Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, regulamentada pela Lei nº 12.305/10, de 2 de agosto de 2010 (Brasil, 2010), incentiva as empresas e prefeituras a darem um destino “ambientalmente correto” a tudo que é gerado como resíduo. Queimar e enterrar são práticas mais fáceis, mas são ambiental e economicamente custosas. Quando se propõe uma alternativa ZERI, é comum que os empresários relutem, porque a “venda” de material de uma cadeia para outra tem custo já que, no Brasil, os impostos re incidem sobre material descartado. No entanto, isto vai na contramão da PNRS, e se o país realmente almeja que esta política dê certo, é imperativo que estes impostos não sejam cobrados. Pelo contrário, apoiado na PNRS, deveria haver incentivo fiscal (isenção de ICMS, créditos em IPI, etc.) para que esta comercialização ocorra intensamente.

Para uma empresa, como a ECT, por exemplo, a adoção de embalagens de material residual como a casca de arroz, com uma política de *take back*, pode trazer ganhos não só econômicos (aquisição de embalagens com menor custo) como também para a sua imagem, já que estaria contribuindo para a PNRS, atendendo as demandas do Comitê Orientador para a implantação dos Sistemas de Logística Reversa. Como a embalagem é uma das cinco prioridades da PNRS, a ECT estaria se posicionando nacionalmente como empresa preocupada com questões de sustentabilidade.

Além da questão ambiental, e ganhos econômicos, estas empresas estariam contribuindo para o desenvolvimento das regiões onde se inserem, pois estariam gerando mais trabalho e renda. Esta questão social é muito importante, pois a mecanização da lavoura expulsou os jovens do campo, que migram para os grandes centros em busca de oportunidades. Iniciativas como esta estariam fixando a mão-de-obra local, que geralmente não quer abandonar seus familiares e suas cidades.

Neste sentido, as dimensões cultural e espacial da sustentabilidade também estariam sendo atendidas e, portanto, o desenvolvimento sustentável.

## **7 Conclusão**

Este artigo apresentou o desenvolvimento de um produto a partir de um resíduo da agroindústria: a casca de arroz, que em parte é usada como insumo energético para o próprio beneficiamento do arroz, mas outra parte é descartada como resíduo. O conceito de projeto adotado foi o berço-a-berço, que considera que o resultado de um processo não pode ser um resíduo a ser tratado, mas sim um fluxo de materiais que são nutrientes biológicos (insumos para a natureza) ou técnicos (insumos a serem reusados no processo). Com base nesta abordagem, foi desenvolvida uma pasta de celulose à base de casca de arroz para uso na fabricação de embalagens, seguindo assim, a filosofia ZERI de produção (resíduos de uma indústria e insumo de outra).

Foram desenvolvidas folhas de papel por polpeamento mecânico, quimomecânico e químico, que foram submetidas a medições e a ensaios mecânicos para avaliar a conformidade com as normas vigentes da ABNT. Quanto às características técnicas da polpa de celulose, os testes mostraram que as fibras obtidas são de boa qualidade e servem para fazer embalagens de armazenamento e transporte de produtos. As fibras obtidas por processo mecânico são mais frágeis do que as obtidas por processo quimomecânico e químico, mas não geram resíduos. O processo quimomecânico é mais resistente, mas gera resíduos que, embora em maior volume que o químico, é menos tóxico, sendo, portanto, mais fácil e menos oneroso de tratar. Apesar de gerar as fibras mais resistentes, o processo químico gera efluentes que dependem de tratamento especial, e mais caro, para recuperação da química utilizada.

Este estudo aponta que o processo quimomecânico ou soda, é a alternativa mais viável de transformação de casca de arroz em polpa de celulose em larga escala. Apesar de gerar resíduos, eles são menos nocivos que o processo químico (Kraft), e podem ser tratados com certa facilidade. O processo mecânico tem maior rendimento, não usa soda que é responsável pela aglutinação das fibras e, portanto, requer a adição de grande quantidade de cola branca, o que acaba por inviabilizar o processo. Por ser de baixa complexidade, e depender de tecnologia conhecida no

Brasil, o polpimento quimomecânico ou soda pode ser feito nas beneficiadoras de arroz para eliminar transporte, e ao mesmo tempo gerar emprego e renda para as comunidades locais.

Foi feita uma prospecção de possíveis clientes destas embalagens, tendo-se focado nas exigências da Empresa de Correios brasileiros (ECT), embora possam ser usadas no setor calçadista (em caixas e palmilhas de montagem), no de produção de ovos e outros. A amostra obtida pelo processo mecânico, que é mais simples e, portanto, mais barato, é uma alternativa ecoinovadora para a ECT. O papelão plano obtido é mais pesado, mas tem resistências superiores as especificações exigidas pela ECT. Se ele for fabricado como corrugado, as embalagens ficarão mais leves, atendendo as necessidades da empresa e dos clientes.

De acordo com o projeto berço-a-berço, as embalagens propostas foram desenvolvidas para funcionar no mínimo em 2 ciclos de vida, em reuso, sem nenhum processamento, completando um terceiro ciclo ou no metabolismo biológico (incorporando ao solo) ou no técnico (reprocessada como nova embalagem ou outro produto a base de celulose). A mesma ideia pode ser colocada em prática com relação as caixas de sapato, palmilhas de montagem de sapatos e embalagens de ovo. Os atributos antibactericida e fungicida da sílica cumprem melhor a função de preservação de produtos (principalmente sapatos e ovos), quando se compara com as embalagens tradicionais de celulose florestal.

Ficou evidenciado que é possível transformar resíduos em nutrientes para novos fluxos de materiais de outros segmentos industriais. Não importando quem seria o cliente, a quantidade de casca, descartada como resíduos, pode ser utilizada para a fabricação de até 1% da demanda interna nacional por papel de embalagem.

Por mais que pareça difícil colocar em prática algumas propostas, por serem inovadoras demais, e fora da “vocalção” das empresas e municípios, é importante chamar a atenção para o fato de que o “novo” pode assustar, mas ao mesmo tempo, resíduos são gerados, resíduos representam custos, mas podem deixar de sê-los, se for considerado que, se o material residual não serve para uma determinada cadeia, pode servir para outra, o que é o mote da iniciativa ZERI. É preciso que tanto o governo quanto o empresariado entendam que para otimizar seus municípios, suas cidades, suas empresas, é necessário investir, já que sem investimento, não há retorno.

A ecoinovação da embalagem em papelão a partir de casca de arroz atende a dimensão ambiental, pois reduz o impacto de um resíduo da agroindústria (casca de arroz) e reduz o abate de árvores. Além disso, se adotada por grandes empresas com política de *take back*, o reuso e reciclagem das embalagens configura-se como um projeto berço-a-berço. A dimensão social da sustentabilidade também é atendida, pois a atividade de processamento da casca e fabricação de embalagens irá gerar emprego e renda em comunidades produtoras de arroz. As dimensões cultural e espacial também são atendidas, pois fixa-se as pessoas no campo. É necessário um estudo mais detalhado para avaliar o impacto econômico.

Tendo em vista a importância das empresas de arroz para o país, e de grandes empresas clientes em potencial, a adoção desta proposta pela ECT, por exemplo, pode ser um marco importante para a disseminação de projetos de produtos e cadeias sustentáveis no Brasil.

## Referências

ADIDAS (2015) End-of-Life. Disponível em: <http://www.adidas-group.com/en/sustainability/products/end-life/> Acesso em 20 de Abril de 2015.

ARAÚJO, A. (2014) Adidas Group Blog. How taking back sports shoes is part of the Brazilian mentality. Disponível em: <http://blog.adidas-group.com/2014/03/how-taking-back-sports-shoes-is-part-of-the-brazilian-mentality/> Acesso em 20 de Abril de 2015.

ABRAE/FGV - Associação Brasileira de Embalagem - (2015) ESTUDO MACROECONÔMICO DA EMBALAGEM ABRE/ FGV. Disponível em: <http://www.abre.org.br/setor/dados-de-mercado/> Acesso em 20 de Abril de 2015.

BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel –(2015 ) Disponível em: <http://bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/conjuntura/CB-064.pdf> Acesso em 20 de Abril de 2015.

AVICULTURA INDUSTRIAL (2011) Bastos produz 166 ovos por segundo. Disponível em: [http://www.aviculturaindustrial.com.br/noticia/bastos-produz-166-ovos-por-segundo/20110715081920\\_Q\\_881](http://www.aviculturaindustrial.com.br/noticia/bastos-produz-166-ovos-por-segundo/20110715081920_Q_881) Acesso em 20 de Abril de 2015.

AYRES, Robert U.; SIMONIS, Udo Ernst (Ed.) (1994) **Industrial metabolism: restructuring for sustainable development**. New York: United Nations University Press.

BAKER E, BOURNAY E, HARAYAMA A, REKACEWICZ P. (2004) **Vital waste graphics**. UNEP, Basel Convention, GRID Arendal, DEWA Europe,.

BERKHOUT, Peter HG; MUSKENS, Jos C.; W VELTHUIJSEN, Jan. (2000) Defining the rebound effect. **Energy policy**, v. 28, n. 6, p. 425-432.

BRASIL (2010a). Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, projeto de lei"**, Congresso Nacional, Brasília. Disponível em: <[www.camara.gov.br/sileg/integras/501911.pdf](http://www.camara.gov.br/sileg/integras/501911.pdf)>. Acesso em 22 de Abril de 2015.

BRASIL (2010b) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. **Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências"**, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 23 dez. 2010c. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm) Acesso em 20 de Abril de 2015.

BRASIL (2015a), Ministério da Agricultura MAPA Arroz. **Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz>** Acesso em 20 de Abril de 2015.

BRASIL (2015b) Ministério do Meio Ambiente. **Logística Reversa**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/instrumentos-da-politica-de-residuos/comite-orientador-logistica-reversa>. Acesso em 20 de Abril de 2015

BRASIL (2015c) Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%ADduos> Acesso em 20 de Abril de 2015.

BRAUN, D. (2010) **Lei de reciclagem pressiona mudança de hábitos de empresas e consumidores.** Disponível em:

[http://www.stancebrasil.com.br/noticias.asp?cod\\_site=0&id\\_noticia=41&keyword=Lei\\_de\\_reciclagem\\_pressiona\\_mudanca\\_de\\_habitos\\_de\\_empresas\\_e\\_consumidores](http://www.stancebrasil.com.br/noticias.asp?cod_site=0&id_noticia=41&keyword=Lei_de_reciclagem_pressiona_mudanca_de_habitos_de_empresas_e_consumidores)

Acesso em 20 de Abril de 2015.

BRAUNGART, Michael; MCDONOUGH, William; BOLLINGER, Andrew. (2007) Cradle-to- cradle design: creating healthy emissions-a strategy for eco-effective product and system design. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 13, p. 1337-1348,.

BREZET, Han. (1997) **Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption.** UNEP,.

CHU, E.Y., DUARTE, M.L.R., TREMACOLDI, C.R.. **Uso da casca de arroz carbonizada como substrato para micorrização de mudas de três cultivares de pimenteira-do-reino.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 66.Embrapa Amazônia Oriental. 2007.

CEMPRE (2014) Compromisso Empresarial com a Reciclagem – **Ciclosoft. Radiografando a coleta seletiva: 20 anos de pesquisa.** Disponível em: <http://cempre.org.br/ciclosoft/id/2> Acesso em 20 de Abril de 2015.

CEMPRE (2015) Compromisso Empresarial com a Reciclagem – **A reciclagem de papel no Brasil.** Disponível em: <http://cempre.org.br/cempre-informa/id/30/a-reciclagem-de-papel-no-brasil>. Acesso em 20 de Abril de 2015.

CONAMA N° 275/01. **Resolução.** 25 de Abril 2001

CORREIOS (2015a) **relatório da administração da ect - exercício 2013.** Disponível em: [http://www.correios.com.br/sobre-correios/a-empresa/publicacoes/relatorios/relatorios-de-administracao/pdf/RelatorioAdministracao\\_2013.pdf](http://www.correios.com.br/sobre-correios/a-empresa/publicacoes/relatorios/relatorios-de-administracao/pdf/RelatorioAdministracao_2013.pdf) Acesso em 20 de Abril de 2015.

CORREIOS (2015b) Disponível em: <http://www.correios.com.br/sobre-correios/a-empresa/quem-somos/principais-numeros> Acesso em 20 de Abril de 2015.

CORREIOS (2015c) **Embalagens**. Disponível em: [http://www.correios.com.br/para-voce/consultas-e-solicitacoes/precos-e-prazos/servicos-nacionais\\_pasta/embalagens](http://www.correios.com.br/para-voce/consultas-e-solicitacoes/precos-e-prazos/servicos-nacionais_pasta/embalagens)  
Acesso em 20 de Abril de 2015.

CRADLE TO CRADLE PRODUCTS INNOVATION INSTITUTE (2014) **Challenging Ourselves and the industry**. PUMA. Disponível em: <http://www.c2ccertified.org/innovation-stories/puma> Acesso em 21 de Abril de 2015.

DELLA, V.P., HOTZA, D., JUNKES, J.A., OLIVEIRA, A.P.N. **Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz**. 2006.

DELLA, V.P., KUHN, I., HOTZA, D. Reciclagem de Resíduos Agro-Industriais: Cinza de Casca de Arroz como Fonte Alternativa de Sílica. **Cerâmica Industrial**, 10(2):21-25. 2005.

DINIZ, J. Conversão Térmica De Casca De Arroz À Baixa Temperatura: Produção De Bioóleo E Resíduo Sílico-Carbonoso Adsorvente. **Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS)**. 2005.

DUTRA, C.Y. (2013) **Resíduos de Medicamentos: Responsabilidade compartilhada, sustentabilidade e uso racional de medicamentos. Núcleo de Regulação e Boas Práticas Regulatórias** – Nureg Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=0CGQQFjAH&url=http%3A%2F%2Fwww.vigilanciasanitaria.sc.gov.br%2Findex.php%2Fdownload%2Fcategory%2F224-curso-pgrss-2013%3Fdownload%3D1133%3Aresiduos-de-medicamentos&ei=x3A8VejlKoe6ggSq-YHwCw&usg=AFQjCNF75iKpKKm9PS6QHn3ENpqY2peEBQ&sig2=8Hjl-ROHIRiQELEqd8lbgA> Acesso em 26 de Abril de 2015.

ELETRONICS TAKE BACK COALITION (2013) **Manufacturer Takeback Programs in the U.S.** Disponível em: <http://www.electronicstakeback.com/how-to-recycle-electronics/manufacture-takeback-programs/> Acesso em 20 de Abril de 2015.

EL HAGGAR, S. **Sustainable industrial design and waste management: cradle-to-cradle for sustainable development.** Academic Press. 2010

ELKINGTON, J. **Cannibals with Forks: Triple Bottom Line of 21st Century Business.** Oxford: Capstone Publishing Ltd. 1997.

EMFA - European Moulded Association (2008). **A historia da celulose moldada.** Disponível em: <http://www.emfa.eu/index.php?section=10&lang=pt> Acesso em 20 de Abril de 2015.

EPA (2012) **US Environmental Protection Agency - Paper Making and Recycling.** Disponível em: <http://www.epa.gov/osw/conservation/materials/paper/basics/papermaking.htm> Acesso em 20 de Abril de 2015.

GILLBLOM D, TOIVONEN J. **Designed for recycling: service design in the world of product development.** Gothenburg: Chalmers University of Technology. 2011.

HOLMBERG J. (1998) Backcasting: a natural step when operationalising sustainable development. **Greener Management International**;23:30-51.

IBGE (2015) **IBGE confirma safra recorde em 2013 e prevê produção ainda maior em 2014.** Disponível em: <http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=2561> Acesso em 20 de Abril de 2015.

IRGA (2014) Instituto Rio Grandense do Arroz - **Irga divulga o ranking das 50 maiores indústrias de arroz do RS.** Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4669/irga-divulga-o-ranking-das-50-maiores-industrias-de-arroz-do-rs> Acesso em 21 de Abril de 2015.

LUDERS, G. (2013) Revista Exame. **Granja Mantiqueira produz dois bilhões de ovos por ano.** Disponível em: <http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/1033/noticias/granja-mantiqueira-produz-dois-bilhoes-de-ovos-por-ano> Acesso em 20 de Abril de 2015.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART M. **Cradle to cradle, Remaking the way we make things.** 2002.



MIRANDA, R.E.S. Impactos Ambientais Decorrentes Dos Resíduos Gerados Na Produção De Papel E Celulose. **Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal**, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2008.

NEWCORN D. **Cradle-to-cradle: the next packaging paradigm?** Packaging World. <http://www.packworld.com/articles/Features/16105.html>; [acessado em agosto de 2014].

Nike (2015) **Reuse-a-Shoe**. Disponível em: [http://help-en-eu.nike.com/app/answers/detail/a\\_id/39600/p/3897](http://help-en-eu.nike.com/app/answers/detail/a_id/39600/p/3897) Acesso em 20 de Abril de 2015.

Nitahara, A. (2013) **Agencia Brasil. Menos de 2% dos resíduos sólidos são reciclados**. Disponível em: <http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2013-09-08/menos-de-2-dos-residuos-solidos-sao-reciclados>. Acesso em 20 de Abril de 2015.

OTTO KN, WOOD KL. **Product design: techniques in reverse engineering and new product development**. Prentice Hall. 2001.

PAULI, G. (1996) **Emissão Zero**. Porto Alegre: EDIPUCRS.

PAULI, G. (1998) **Upsizing: Como gerar mais renda e criar mais postos de trabalho e eliminar a poluição**, 3, Porto Alegre: Fundação Zeri Brasil - L&PM.

PIRKER U, PSCHERNIG G, GWEHENBERGER G, SCHNITZER H. (2002) Implementation of zero emissions waste technologies. 8th **European Roundtable on Cleaner Production Conference**, Oct. 9e11, 2002, Cork, Ireland. [http://zeria.tugraz.at/pics/zeria\\_round\\_table.pdf](http://zeria.tugraz.at/pics/zeria_round_table.pdf) [acessado em setembro de 2014].

PUMA (2015) **Bring me back Program**. Disponível em: <http://about.puma.com/en/sustainability/products/bring-me-back-program> Acesso em 21 de Abril de 2015.

RCRAMBIENTAL (2013) **ADIDAS E RCR JUNTAS NO PROGRAMA PEGADA SUSTENTÁVEL**. Disponível em: <http://rcrambiental.com.br/adidas-lanca-o-programa-pegada-sustentavel/> Acesso em 21 de Abril de 2015.

SACHS, I. **The Next 40 years: transition strategies to the virtuous green path.** Disponível em: [unesdoc.unesco.org/images/0009/000902/090217eb.pdf](http://unesdoc.unesco.org/images/0009/000902/090217eb.pdf) 1991. [acessado em setembro de 2014].

SCHUTZ H, WELFENS MJ. (2000) Sustainable development by dematerialization in production and consumption e strategy for the new environmental policy in Poland. In: Wuppertal Institute, No. 103.

SEAB (2014) Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento - **análise de conjuntura agropecuária avicultura de postura 2012/2013** (2015) Disponível em: [http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/avicultura\\_postura\\_2012\\_13.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/avicultura_postura_2012_13.pdf) Acesso em 21 de Abril de 2015.

SEBEN, L., PAULA, I.C., VIANA, S.G. (2012) **seleção de processo de polpeamento de celulose flexível a diferentes materiais vegetais frente a critérios ambientais e econômicos da sustentabilidade.** VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão.

SEBRAE (2014) **Produção De Calçados Cresce No Brasil.** Disponível em: <http://www.sebraemercados.com.br/producao-de-calcados-cresce-no-brasil/> Acesso em 21 de Abril de 2015.

SMOOK, G. A. (1994) **Handbook for pulp & paper technologists.** Vancouver: Angus Wide Publications,. 419 p.

Timberland (2015a) Disponível em: <http://community.timberland.com/Earthkeepers-20-Collection>. Acesso em 20 de Abril de 2015.

Timberland (2015b) Disponível em: <https://www.timberlandtires.com/our-story/> Acesso em 20 de Abril de 2015.

US Department of Justice (2015) **Drug Enforcement Administration, Office of Diversion Control. National Take-Back Initiative.** Disponível em: [http://www.deadiversion.usdoj.gov/drug\\_disposal/takeback/](http://www.deadiversion.usdoj.gov/drug_disposal/takeback/) Acesso em 20 de Abril de 201

VERFAILLIE HA, BIDWELL R. (2000) **Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance**. World Business Council for Sustainable Development; June 2000.

WORLD NATURE ORGANIZATION – WNO (2015). **Paper**. Disponível em: <http://www.wno.org/paper>. Acesso em 20 de Abril de 2015.

## **2.4 Artigo 4**

**ANÁLISE DE UM MATERIAL COMPÓSITO ECOINOVADOR COMO  
ALTERNATIVA PARA CONSTRUÇÃO DE ABSORVEDORES DE RADIAÇÕES  
ELETROMAGNÉTICAS**

## **ANÁLISE DE UM MATERIAL COMPÓSITO ECOINOVADOR COMO ALTERNATIVA PARA CONSTRUÇÃO DE ABSORVEDORES DE RADIAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS**

Autores

Guilherme Petry Breier

Carlos Fernando Jung

Carla Schwengber ten Caten

### **Resumo**

Este artigo apresenta uma análise físico-química de um compósito ecoinovador desenvolvido através de resíduos da indústria alimentícia e da indústria moveleira através de conceitos ecoeficazes. A ecoeficácia rompe com conceitos tradicionais que as indústrias empregam em seus sistemas produtivos. De um fluxo linear de utilização dos materiais desde a sua extração, produção, utilização até o descarte no meio ambiente, a ecoeficácia introduz o conceito de reutilização dos materiais no seu fim de ciclo de vida em novos recursos para outros fluxos produtivos. Desse novo paradigma muitas indústrias se beneficiam com o reaproveitamento de matérias, que antes precisavam ser extraídos do meio ambiente e então beneficiados para serem utilizados, bem como do surgimento de novos compósitos ou materiais como alternativas para a substituição dos mesmos. Neste contexto, é exposta neste artigo, uma análise de características físico-químicas de um compósito para utilização como absorvedor de radiações eletromagnéticas, visto a demanda crescente de testes para aplicações de RFID no mercado nacional. Os resultados das análises físico-químicas demonstram que o novo compósito pode ser utilizado como um material alternativo aos atuais utilizados no mercado visando à redução do custo, a diminuição de um impacto ambiental colaborando com a sustentabilidade.

**Palavras-chaves:** Ecoinovação; Ecoeficácia; Análises físico-químicas; Compósito Sustentável para Absorvedor de Radiações; Sustentabilidade.

## 1. Introdução

Em contraste com a ecoeficiência, que começa com uma suposição linear do uso e fluxo dos materiais e cujos resíduos ao final desse fluxo são dispensados no meio ambiente, a ecoeficácia engloba um conjunto de estratégias para a geração de novos fluxos de materiais. A utilização do termo, novos fluxos de materiais, neste caso, é um indicativo de uma similaridade entre os sistemas de fluxo de materiais fechado (BAKER et al., 2004; GILLBLOM, 2011; OTTO; WOOD, 2001). O fechamento da cadeia indica que, os recursos que não são aproveitados no processo (resíduos) ou os produtos que não foram concebidos inicialmente para serem reciclados ou reaproveitados, possam ser reutilizados, abastecendo outras cadeias produtivas (HOLMBERG, 1998; SCHUTZ; WELFENS, 2000; PIRKER, 2014).

Neste contexto, de reabastecimento de cadeias e cooperação entre empresas por recursos, surge uma técnica de grande significância no mundo contemporâneo que é a criação de novos materiais inteligentes ou IMP (*Intelligent Materials Pooling*) (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007). O IMP é uma abordagem colaborativa *business-to-business* para a gestão do metabolismo industrial (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002a; EL HAGGAR, 2010). Parceiros da metodologia IMP concordam em compartilhar o acesso a um recurso comum de uma determinada matéria prima, de um recurso que é descartado sem maiores utilizações para gerar um sistema saudável de fluxos de materiais em circuito fechado colaborando para diminuir o impacto ambiental de suas atividades (BOURNAY et al., 2006). Como o conhecimento e os recursos parceiros a disposição, eles desenvolvem um compromisso compartilhado com a utilização com menor impacto ambiental, materiais de alta qualidade em todos os seus produtos (BREZET, 1997; DEUTZ, 2010; DEUTZ, 2013). Juntos, eles formam uma comunidade de negócios baseada em valor focada na eliminação do conceito de resíduos provenientes de ciclos de fabricação (SMITH, 2005).

A expansão do mercado de RFID (*Radio Frequency IDentification*) baseados na facilidade de identificação de objetos eletronicamente e pelo surgimento do conceito da internet das coisas ou IoT (*Internet of Things*), faz com que a demanda por materiais e equipamentos para testes cresça. Logo pelo excesso de radiações emitidas por celulares, antenas de RFID entre outros dispositivos eletrônicos há a

necessidade de se isolar eletricamente determinados locais para a execução de testes de forma que a aplicação reproduza as condições perfeitas para qual foi simulada (KUESTER; HOLLOWAY, 1990).

Para isso, são utilizados absorventes de radiações eletromagnéticas internamente em câmaras anecóicas ou no revestimento de salas para a realização dos testes. Os absorvedores são um dos principais componentes de uma câmara anecóica e são usados para eliminar ondas eletromagnéticas refletidas internamente (KUESTER; HOLLOWAY, 1990). Materiais eletromagnéticos absorventes são muito importantes para garantir a precisão da performance de testes de RF (Radiofrequência). Existem muitas tecnologias de absorção disponível no mercado, entretanto o seu valor é bem elevado.

Com o objetivo de criar uma alternativa para as tradicionais “espumas” absorvedoras de radiações compostas por polímeros este trabalho busca caracterizar e analisar uma solução baseada criação de um compósito ecoinovador formado por resíduos da indústria alimentícia e indústria moveleira do Vale do Paranhana do estado do Rio Grande do Sul.

Este artigo está organizado da seguinte maneira: na sessão dois, é discutido o conceito da ecoeficácia e como é possível sua implementação. Na sessão três são apresentadas características físico-químicas para materiais absorvedores de radiações eletromagnéticas. Na quarta sessão é apresentada a metodologia do trabalho e na quinta sessão são expostos os ensaios realizados e a análise dos resultados obtidos. Por fim na sessão de conclusão são apresentadas as considerações sobre o compósito ecoinovador desenvolvido.

## **2. Ecoeficácia**

O conceito de ecoeficácia parte do pressuposto que o sistema produtivo precisa possuir uma suposição circular de recursos ao longo de um ou mais ciclos de vida dos produtos ao contrário da ecoeficiência que tenta minimizar o impacto ambiental de um processo linear de uso e fluxo de materiais (BAKER et al., 2004; GILLBLOM, 2011). A ecoeficácia engloba um conjunto de estratégias para a geração de metabolismos de fluxo de recursos e matérias. A utilização do termo metabolismo, neste caso, é um indicativo de uma similaridade entre os sistemas de fluxo de materiais do projeto berço-a-berço. Ayres e Simonis (1994) ressaltam as

semelhanças entre os organismos biológicos e as atividades industriais em vários níveis. Assim como o metabolismo dos organismos biológicos inclui a síntese e quebra de substâncias para a manutenção da vida, os sistemas metabólicos de sistemas de fluxo de materiais ecoeficaz incluem em síntese, a quebra de produtos ou resíduos gerados nos processos produtivos, para a manutenção de uma economia saudável e suprimento das necessidades humanas (HOLMBERG, 1998; SCHUTZ; WELFENS, 2000; PIRKER, 2014).

Na natureza, todas as saídas de um processo tornam-se insumos para outro. Enquanto tais materiais, que entram nos sistemas industriais são permanentemente mantidos no estado de recursos, o sistema é perfeitamente eficaz e nenhum desperdício é produzido (BERKHOUT et al., 2000).

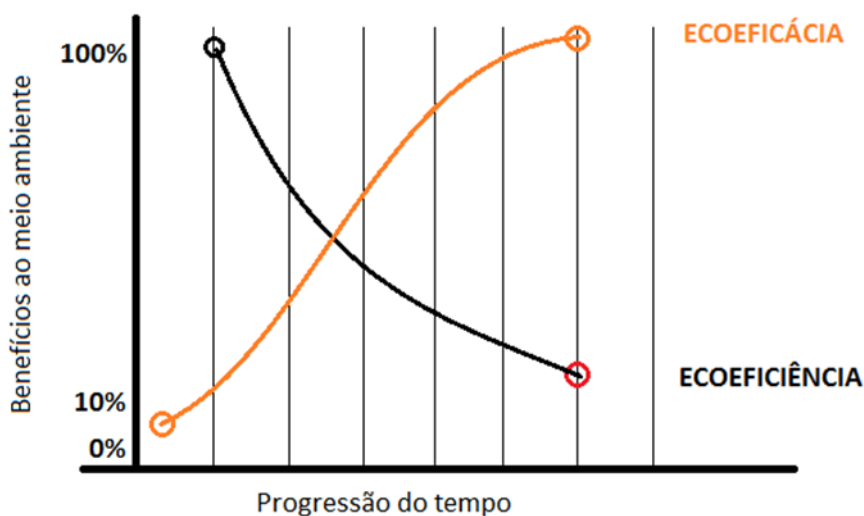
Eficiência e eficácia podem ser estratégias complementares. A eficiência consiste em fazer certas as coisas, e geralmente está ligada ao nível operacional. Já a eficácia consiste em fazer as coisas certas (DRUCKER, 2002).

Onde ecoeficiência começa com um pressuposto de uma indústria que é absolutamente ruim, ecoeficácia começa com uma visão de uma indústria, que é absolutamente boa, que apoia e regenera os sistemas ecológicos e permite que exista prosperidade econômica em longo prazo conforme observado na Figura 1. Esta perspectiva é a base para o conceito do *triple-top-line* (MCDONOUGH e BRAUNGART, 2002b).

Entre os objetivos do *triple-bottom-line* está a conscientização dentro das empresas dos impactos ambientais e sociais de suas atividades e é uma alternativa para minimizar a pegada ecológica (MCDONOUGH e BRAUNGART, 2002a). Em contraste com isso, a busca do crescimento *triple-top-line* começa com o reconhecimento do valor do negócio inerente ao capital natural e social (MCDONOUGH e BRAUNGART, 2002b), e promove uma celebração das sinergias potenciais entre os objetivos: econômicos; ambientais; sociais, das organizações, ver Figura 1.



Figura 1 – Ecoeficácia se esforça para gerar um impacto inteiramente benéfico sobre os sistemas ecológicos



Fonte: Primária – adaptado de MCDONOUGH e BRAUNGART, 2002b

A abordagem ecoeficaz contrasta com as estratégias de emissão zero uma vez que esta lida diretamente com a questão da manutenção (ou atualização) da qualidade dos recursos e da produtividade através de muitos ciclos de uso, ao invés de focar no descarte e desperdício (NEWCORN, 2014).

A característica de desperdício zero (sem produção de resíduos secundários negativos) surge como um efeito natural de esforços para manter o status dos materiais como recursos, o que não é o foco das estratégias de ecoeficácia (ZWNZ, 2014).

A manutenção de um elevado nível de qualidade dos recursos é necessariamente um efeito colateral de abordagens resíduos zero.

Esta diferença de foco entre os conceitos de desperdício zero e ecoeficácia se reflete na variedade de estratégias que elas empregam. O conceito de desperdício zero abrange uma ampla gama de estratégias que incluem a minimização de volume, redução do consumo, criação para a durabilidade e o projeto para reciclagem além da redução da toxicidade (ZWIA, 2006). A ecoeficácia enfatiza estratégias, tais como projeto berço-a-berço e a criação de novos compósitos e emprego desses novos materiais, que remetem diretamente a questão da manutenção ou melhoria da qualidade e produtividade dos recursos (MCDONOUGH e BRAUNGART, 2002b).

Deve ficar claro que a ecoeficácia não foca a minimização do uso de materiais ou o prolongamento da vida útil destes (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002a; EL HAGGAR, 2010). Na verdade, ela enfatiza a aplicação criativa e avançada dos materiais, permitindo que as expectativas de vida dos recursos mantenham o seu estado como recursos produtivos. Mesmo a utilização de materiais tóxicos é aceitável, contanto que ocorra no contexto de um sistema fechado de fluxos de material e que a qualidade do material seja mantida. Neste contexto da ecoeficácia, as estratégias de redução e minimização não representam a direção certa, a menos que contribuam para o objetivo final de alcançar sistemas de fluxo de materiais cíclicos mantendo a qualidade do material e produtividade ao longo do tempo (VERFAILLIE; BIDWELL, 2000).

### **3. Composição e caracterização de materiais para absorvedores de radiação eletromagnética**

Absorvedores são componentes usados para eliminar sinais refletidos por antenas ou outros dispositivos eletroeletrônicos em um determinado ambiente. Existem muitas tecnologias para a construção dos absorvedores comerciais disponíveis no mercado, bem como, muitas geometrias com as quais estes podem ser fabricados como, por exemplo: piramidal, piramidal truncada, cunha, plano, oblíquo entre outros (KHAJEHPOUR; MIRTAHERI, 2008; WANG et al, 2009).

Mais especificadamente, os materiais absorvedores de radiação são usados para absorver a energia das ondas eletromagnéticas refletidas em determinados locais controlados. Estes diferentes materiais de absorção são utilizados em equipamentos de laboratório, para a gama de frequências UHF (*Ultra High Frequency*) e SHF (*Sort Higt Frequency*) (KUESTER; HOLLOWAY, 1990). O material mais utilizado como absorvedor para a faixa de frequência de 30 MHz a 1000 MHz é o ferrite combinado com nitrato de zinco (NiZn). Placas de ferrite também são amplamente utilizados em muitas câmaras de ensaios de EMC (*Electromagnetic compatibility*). Na faixa de frequências de 800 MHz a 40 GHz, materiais tais como espuma de poliuretano e poliestireno combinados com outros elementos químicos resistivos, são amplamente utilizados como o absorvedor de radiações (KUESTER; HOLLOWAY, 1990).

Um bom absorvedor de radiações eletromagnéticas deve apresentar boas características em vários parâmetros, tais como: perda de reflexão, a magnitude e fase para determinados ângulos de incidência e diferentes tipos de polarizações (KHAJEHPOUR; MIRTAHERI, 2008 RAZAVI; KHALAJ-AMIRHOSSEINI, 2008; CHUNG; CHUAH et al., 2003; LEON FERNANDEZ et al., 2009).

Entre as características que um absorvedor de radiações eletromagnéticas é avaliado, a perda de reflexão, é a mais importante, pois ela expressa, o quão bom é o desempenho de absorção do material (KUESTER; HOLLOWAY, 1990). Entretanto essa grandeza é estabelecida através da relação entre a permissividade e a permeabilidade do material, além da frequência da onda eletromagnética em uso (ANZAI et al., 1995).

O parâmetro  $\varepsilon'$  representa a permissividade dielétrica absoluta de um material, e é uma medida da energia armazenada eletrostaticamente dentro dele mesmo e, por conseguinte, dependente da sua composição (KUESTER; HOLLOWAY, 1990). A constante dielétrica é equivalente à permissividade relativa  $\varepsilon'_r$  ou a permissividade absoluta  $\varepsilon'$  em relação à permissividade do espaço livre  $\varepsilon_0$  (ABDELAZIZ, 2008).

A constante dielétrica de um material também afeta a velocidade com que a onda eletromagnética se propaga através do material (KUESTER; HOLLOWAY, 1990). Um maior valor de constante dielétrica proporciona, nos sinais de micro-ondas (SHF), por exemplo, uma propagação em velocidades mais lentas (HEBEISH et al., 2008). Uma maior constante dielétrica é obtida através de materiais compostos por material densidade elevada. A tangente de perda dielétrica,  $\tan \delta$ , é a parte imaginária da constante dielétrica, e determina as perdas do meio. A Equação 1 mostra a expressão de tangente de perda, onde  $\varepsilon''_r$  é o fator de perda, da constante dielétrica e permissividade relativa  $\varepsilon'_r$ .

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''_r}{\varepsilon'_r} \quad \text{Equação 1}$$

Logo a soma da parte real junto com a parte imaginária compõe a função complexa dielétrica do material. A função complexa dielétrica tem sua dependência na frequência angular e é influenciada pela temperatura na qual o material está exposto (KUESTER; HOLLOWAY, 1990).

Entenda-se que, quando os sinais são transmitidos eles se propagam em um primeiro meio e chegam num segundo meio. No caso de um equipamento de teste com absorvedores de radiações, o ar é o primeiro meio, enquanto o segundo meio é o absorvedor (KUESTER; HOLLOWAY, 1990). Dependendo da forma como o absorvedor é construído, quando o sinal incide em outro meio com um determinado ângulo, resultará na alteração da velocidade do sinal e faz com que o sinal seja desviado (KUESTER; HOLLOWAY, 1990). Este fenômeno é chamado de refração. O índice de refração,  $\eta$  de um meio é uma medida de quanto à velocidade do sinal de determinada frequência é reduzido no interior do meio. O índice de refração para o ar, por exemplo, é de 1,00029 (NORNIKMAN et al., 2010). Logo o que se espera de um bom índice de refração para um material absorvedor de radiações eletromagnéticas é que ele seja muito superior do que o índice de refração do ar.

#### **4. Método**

Este estudo foi de caráter exploratório com uma abordagem qualitativa e quantitativa tendo por finalidade construir uma alternativa ecoinovadora para desempenhar a função de absorção de radiações eletromagnéticas para o campo de aplicação e ensaios com RFID, que compreendem frequências de UHF na faixa de 800 MHz a 1000 MHz.

O método utilizado para a realização dos testes e parte das análises teve por princípio metodológicos os estudos e experimentos realizados por Nornikman et al. (2010), Malek et al. (2011), Liyana et al. (2012) e Farhany et al. (2012) para a obtenção de materiais sustentáveis a partir de resíduos aplicados à construção de absorvedores.

As cascas de arroz assim como o bagaço de cana estão sendo investigado com elementos que podem ser usados para a criação de absorvedores de radiações.

A Tabela 1 mostra a composição química típica da casca de arroz (VELLUPILAI et al., 1997). É constatado que a casca de arroz é constituída por 35,77% de carbono, o qual é um bom elemento absorvedor de radiações eletromagnéticas. O carbono geralmente é adicionado nos elementos absorvedores de radiações eletromagnéticas para aumentar o desempenho de perda de reflexão dos mesmos.

Entretanto, as cascas de arroz apresentam também, boas propriedades de reflexão por causa da presença de sílica, são altamente porosas e leves, e têm uma área grande de superfície externa. Logo as propriedades absorventes e isolantes casca de arroz são úteis para muitas aplicações (VELLUPILAI et al., 1997).

Outro elemento bastante importante e que colabora para o sinal ser conduzido para onde ele foi projetado é a sílica. A sílica presente em torno de 20% ajuda a conduzir o sinal para a base da estrutura no caso de um absorvedor piramidal tipicamente utilizado comercialmente.

Tabela 1 – Porcentagem dos elementos da casca de arroz

<b>Elemento</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
<b>Dióxido de Silício</b>	22,24
<b>Carbono</b>	35,77
<b>Hidrogênio</b>	5,06
<b>Oxigênio</b>	36,59
<b>Nitrogênio</b>	0,32
<b>Enxofre</b>	0,02

Fonte: Vellupilai et al. (1997)

Os materiais selecionados para a construção do compósito foram obtidos do resíduo da casca de arroz no beneficiamento do mesmo e resíduo da fabricação de móveis em MDF, o qual é fabricado através da aglutinação de fibras de madeiras com resinas sintéticas e outros aditivos. Para não adicionar outro elemento químico a essa mistura, optou-se por adicionar amido de milho diluído em água em temperatura ambiente. A mistura foi composta de uma amostra com 45% de casca de arroz moída, 45% de pó de MDF e 10% de amido. Inicialmente foi misturado os resíduos (250 g de casca de arroz, 250 g de MDF) e após isso foi adicionado o amido (100 g) diluído em água (700 ml). Após essa adição, a mistura foi mexida até apresentar até virar uma pasta para ser moldado o compósito. O compósito moldado foi colocado em secagem natural durante 24 horas em condições de temperatura controlada de 25 °C, caracterizando o reaproveitamento dos materiais sem nenhuma emissão gerada.

A Figura 2 mostra a composição em investigação. A opção de unir eles materiais se deve a algumas propriedades físicas importantes para a construção de um absorvedor. Ambos três materiais são ricos em matéria orgânica com a presença do carbono como elemento principal. O carbono é um elemento resistivo e muito bom absorvedor. A constituição do MDF é basicamente feita por elementos

orgânicos extraídos de árvores unidos através de elementos químicos. Por essa razão seu descarte necessita tratamento. No caso da casca de arroz, que também é composta por matéria orgânica, têm em sua composição outros elementos que são importantes para a construção de absorvedores. Um desses elementos é a sílica que possui boas propriedades de condução elétrica. Essa característica em um absorvedor proporciona uma reflexão, em menor intensidade, do sinal que incide sobre o mesmo. Já o amido, que é um elemento orgânico, é composto basicamente por partículas muito pequenas de glicose que por sua vez são quando submetidas em água penetram na porosidade dos elementos. O amido adicionado em água funciona como um tipo de cola a base d'água. A medida que a água vai evaporando no processo de secagem sua estrutura vai se unindo novamente as demais partículas de amido entre os materiais agindo como um elemento colante no compósito.

Figura 2 – Composição do compósito analisado



Fonte: Primária

Antes de produzir o protótipo, foi realizado um ensaio granulométrico da amostra. O objetivo desse primeiro ensaio é realizar a análise da composição da física da estrutura do compósito através da caracterização do sólido particulado e da previsão de suas características. Um dos parâmetros mais importantes para estudo deste compósito é verificar como é a distribuição granulométrica da amostra. Sua análise é obtida classicamente através de um conjunto de peneiras. O peneiramento é tradicionalmente o método de análise mais utilizado para esta finalidade, uma vez que tanto o equipamento quanto o procedimento analítico e ainda os conceitos envolvidos, são relativamente simples. O método em questão consiste na separação de partículas, levando em consideração apenas o tamanho. No processo, os

componentes do compósito são colocados sobre uma superfície com um determinado tamanho de abertura. As partículas menores, ou finas, passam através das aberturas da peneira; as partículas maiores não. Esta necessidade de separar sólidos está associada a duas finalidades: dividir o sólido granular em frações homogêneas, e, obter frações com partículas de mesmo tamanho.

Na sequência foi analisada a composição físico-química do compósito através de espectroscopia de fluorescência. A espectroscopia de fluorescência é um tipo de espectroscopia eletromagnética a qual analisa a fluorescência de uma amostra. Isto envolve o resultado da absorção de energia radiante e emissão de parte desta energia na forma de luz de baixa energia. Essa emissão de luz se dá pela excitação de elétrons nas moléculas de certos compostos químicos, normalmente usando luz ultravioleta.

Seu princípio teórico é que luz emitida ou fluorescência é proporcional à concentração do composto analisado. A forma de luz emitida tem, quase sempre, comprimento de onda maior de que a luz absorvida de acordo com a lei de Stokes.

Após a análise granulométrica e a espectrografia da amostra adicionou-se a água à mistura e esperou-se a secagem da mesma em condições normais de temperatura.

Com o objeto seco foi realizadas medições e análises microscópicas deste compósito a fim de analisar como ficou sua estrutura após secagem. Essa análise permite verificar também o quão denso o material se apresenta comparado aos materiais comerciais.

Por fim é realizada a medição das propriedades dielétricas do compósito. As propriedades dielétricas incluem a constante dielétrica e tangente de perda do material. Existem muitos métodos que são utilizados para definir as propriedades dielétricas de materiais. Para medida da constante dielétrica e tangente de perda deve ser considerado o estado do material, como por exemplo, líquido, sólido, semissólido ou outras.

Neste trabalho, o método da sonda dielétrico é usado para a medida da constante dielétrica tanto a parte real,  $\epsilon_r'$  quanto à parte imaginária,  $\epsilon_r''$  do compósito baseado na mistura da casca de arroz, resíduo de MDF e amido. Esta medição é um fator importante na caracterização das propriedades físico-químicas que são relacionados com o armazenamento e perda de energia em relação a diferentes tipos de materiais.

## **5. Desenvolvimento de um compósito absorvedor de radiações eletromagnéticas baseado no reaproveitamento de recursos**

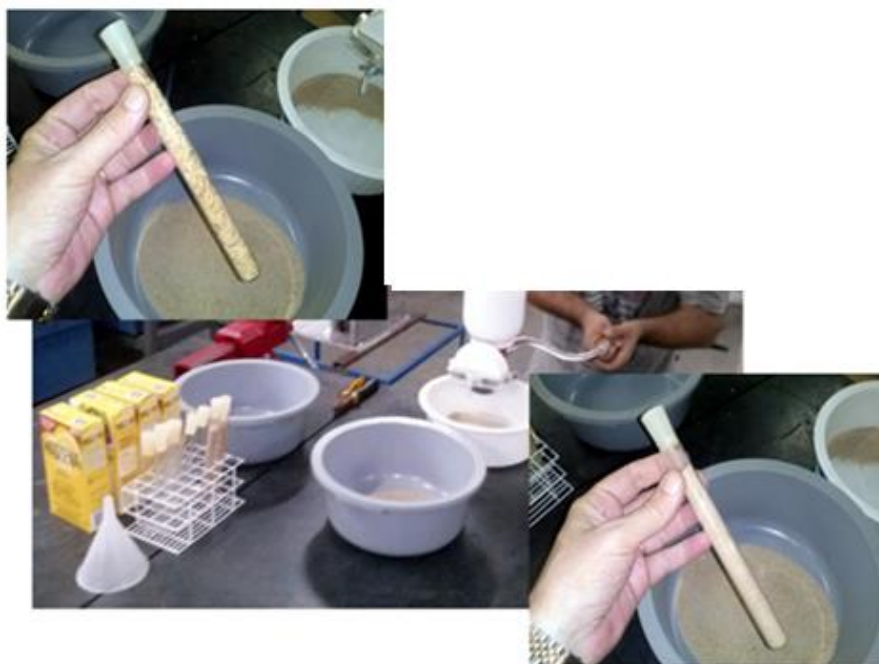
Resíduos agrícolas são compostos orgânicos oriundos de diretamente de plantas, elementos que protegem os alimentos, ou resíduos que já passaram por algum processo de extração ou beneficiamento.

O cultivo do arroz irrigado no Brasil gira em torno de 14 milhões de toneladas por safra. Estima-se que o resíduo gerado apenas pela extração da casca de arroz no seu beneficiamento primário seja de 20% (MAPA, 2015). Para os produtores, o resíduo do beneficiamento não traz nenhuma oportunidade de comercialização visto que não possui boas características para se tornar biomassa em usinas de energia tão pouco para adubar o solo para um novo plantio. Infelizmente esse resíduo tem sido queimado no próprio local de separação ou transportado para outro destino e descartado sem nenhum tipo de preocupação ambiental.

A primeira etapa da pesquisa e desenvolvimento constituiu-se na preparação dos materiais básicos do compósito através da mistura de porções de cascas de arroz e resíduos de MDF e produção dos protótipos. Para tal produção, inicialmente foi realizado um processo de moagem da casca de arroz, ver Figura 3. Foi também adicionado o pó resultante do processo de fabricação industrial do MDF após pesagem dos elementos, ver Figura 4a.



Figura 3 – Preparação dos materiais para construção do compósito



Fonte: Primária

Posteriormente a mistura dos resíduos de casca de arroz moída e do MDF foi adicionado o amido diluído em água, ver Figura 4b, a essa mistura de modo que se obtenha um protótipo de fácil manuseio.

Figura 4 – (a) Pesagem dos materiais; (b) Preparação do amido diluído em água



Fonte: Primária

O compósito resultante para os testes de dielétrico e análise de microscopia pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Protótipo do Compósito



Fonte: Primária

## 6. Resultados

Para a comprovação e definição se o compósito é uma alternativa para a elaboração de um absorvedor de radiações eletromagnéticas foram realizados testes experimentais para determinação das características físico-químicas do compósito ecoinovador.

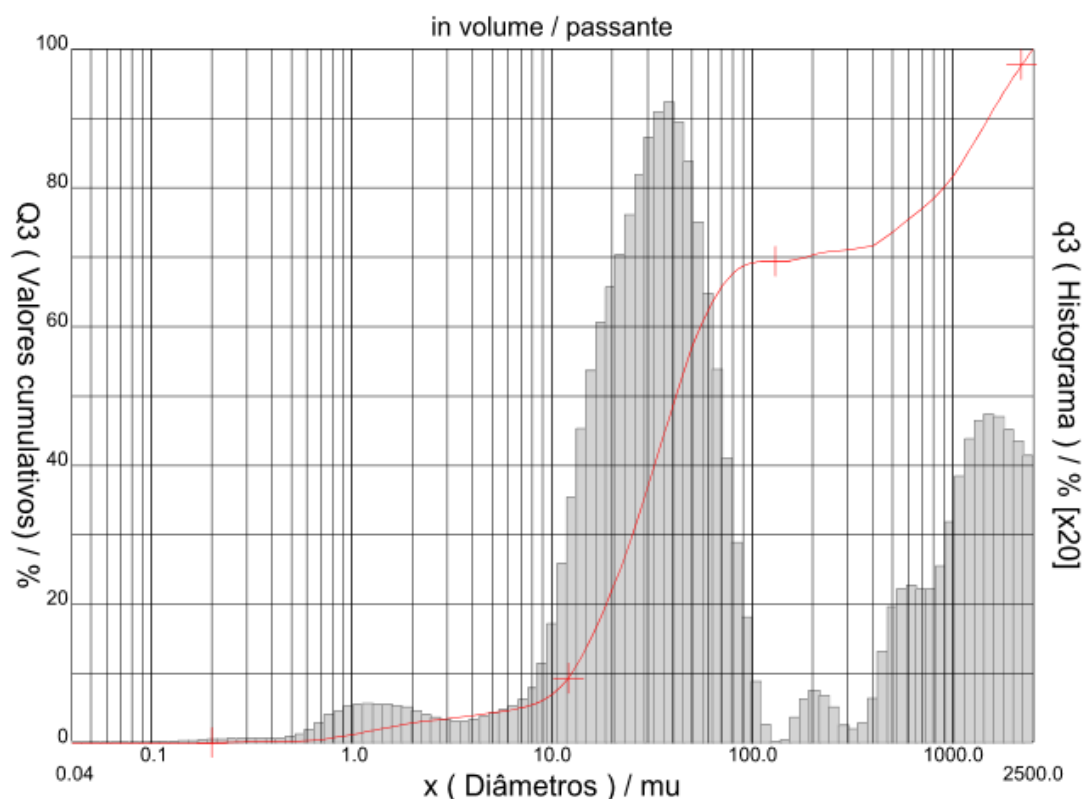
Inicialmente foram realizados testes de análise granulométrica na mistura a fim de se analisar a estrutura física dos elementos usados no processo.

### 6.1. Análise Granulométrica

Foi utilizado para fazer as análises granulométricas das amostras de materiais usados o equipamento granulômetro a laser, marca Cilas, modelo 1800L.

O resultado desta análise pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Análise granulométrica do compósito



Fonte: Primária

Através da análise o diâmetro médio das partículas que compõem a amostra é de 393,27  $\mu\text{m}$ . Entretanto é possível analisar o gráfico e verificar que as três principais regiões passantes do experimento estão demarcadas 1  $\mu\text{m}$  e 2  $\mu\text{m}$  referente às menores partículas de poeira dos três elementos. A segunda concentração entre 10  $\mu\text{m}$  e 100  $\mu\text{m}$  é composta pela presença do amido, os resíduos de MDF e alguma parte composta pelas menores estruturas da casca de arroz moída. Por fim a terceira concentração da amostra entre 900  $\mu\text{m}$  e 2500  $\mu\text{m}$  é composta por resíduos da casca de arroz e uma pequena parte de resíduos de MDF.

Este resultado demonstra que a composição da mistura quando for diluída a água para fazer com que o amido cole os resíduos de casca de arroz e MDF proporcionará um material quase que homogêneo.

## 6.2. Análise de Espectrografia por Fluorescência (FRX)

Na sequência foram realizados ensaios de espectrografia por fluorescência e por difração. Ambas as análises físico-químicas, buscam analisar a composição dos elementos químicos que constituem o compósito.

Na espectrografia por fluorescência (FRX) é indicado os elementos químicos individuais que compõem o compósito, mas não é indicado como os mesmos estão ligados. Para tal análise foi utilizado o espectrômetro de fluorescência de raios X, marca Shimadzu, modelo XRF1800. Os resultados desta análise, ver Tabela 2.

Tabela 2 – Análise espectrográfica por fluorescência do compósito

Elementos	Resultados (%)
SiO <sub>2</sub>	3,5689
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3179
SO <sub>3</sub>	0,2038
K <sub>2</sub> O	0,1369
CaO	0,1201
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1044
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1007
CO <sub>2</sub>	95,4472

Fonte: Primária

Como ficou evidenciado na análise físico-química do compósito, a presença do elemento carbono é muito significativa. Para concluir a análise queimou-se a matéria orgânica eliminando o elemento carbono para fazer uma nova análise dos elementos restantes. Essa nova análise é exposta na Tabela 3.

Tabela 3: Análise espectrográfica por fluorescência do compósito sem a presença do carbono

Elementos	Resultados (%)
SiO <sub>2</sub>	66,3724
SO <sub>3</sub>	7,2805
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,6090
CaO	5,7240
K <sub>2</sub> O	5,5387
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,0148
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,4606

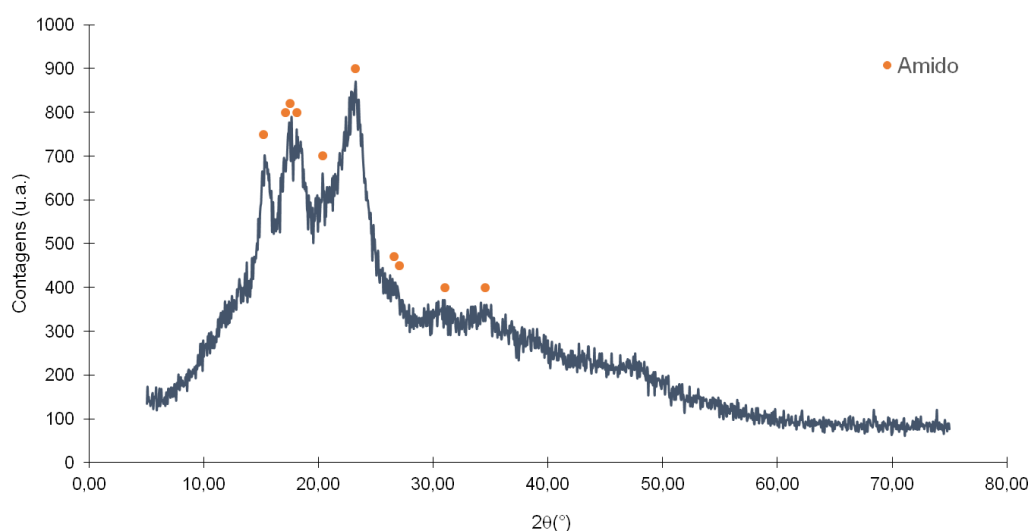
Fonte: Primária

### 6.3. Análise Espectrográfica por Difração de Ondas (DRX)

Com o objetivo de descobrir como os elementos estão unidos entre eles optou-se fazer uma nova análise espectrográfica por difração de ondas (DRX). A espectrografia por difração de ondas permite a separação da radiação secundária através do espalhamento em ângulos distintos permitindo a análise química dos elementos e como eles estão ligados.

Para tal experimento foi utilizado o espectrômetro de difração de raios X, marca PANalytical, modelo X'Pert MRD, ver Figura 7.

Figura 7 – Análise espectrográfica por difração de onda do compósito



Fonte: Primária

Entretanto não foi possível visualizar a fases dos outros elementos em função da alta presença de Carbono na amostra. Foi possível visualizar a fase do amido. A análise espectrográfica de difração de raios X é realizada com sucesso quando a presença de outros elementos é superior a 5% da composição da amostra em análise. É importante salientar também que a fibra da celulose, a própria casca de arroz possuem amido além do amido inserido na amostra para a colagem dos elementos.

#### 6.4. Análise Microscópica das Superfícies

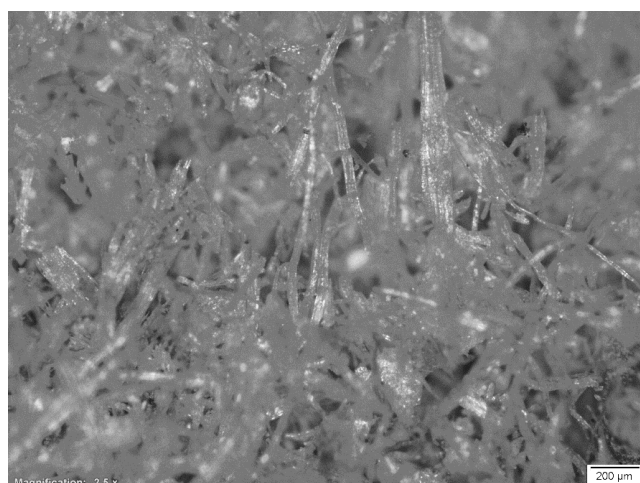
Foi utilizado um microscópio eletrônico da marca Carl Zeiss, modelo Axio Scope.A1, para fazer a análise microscópica das amostras e do compósito. Inicialmente foi analisada a estrutura física da casca de arroz moída, ver Figura 8 e na sequência a estrutura física do resíduo de MDF, ver Figura 9.

Figura 8 – Análise microscópica da casca de arroz moída



Fonte: Primária

Figura 9 – Análise microscópica do resíduo de MDF

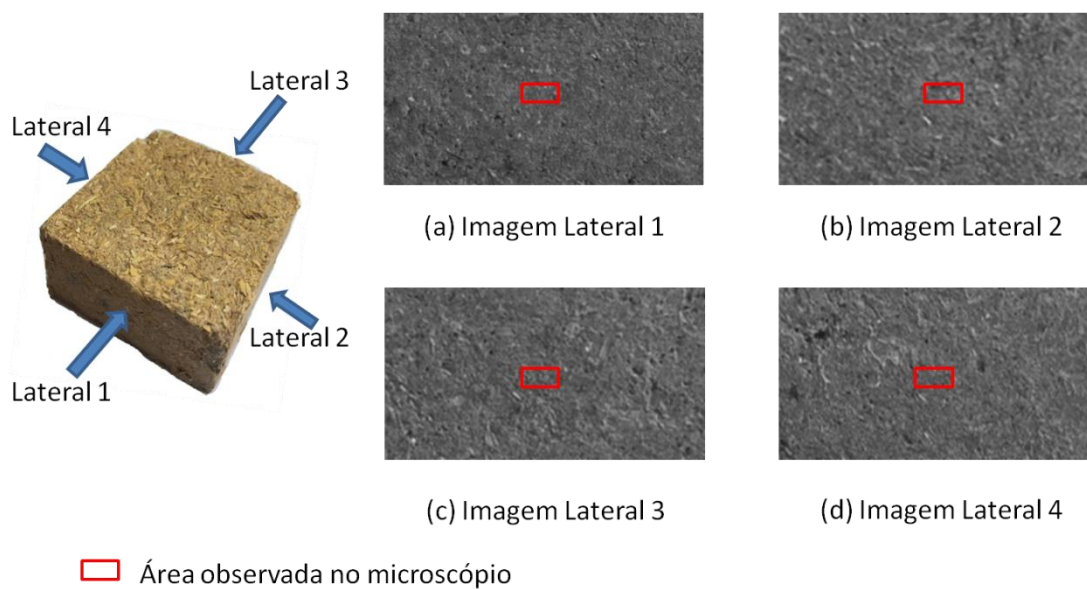


Fonte: Primária

Uma análise microscópica da composição final do material produzido foi realizada para verificar o quão denso ele se apresenta e como esses materiais, que foram analisadas na análise granulométrica e espectrográficas, se foram agrupadas.

Na Figura 10 é possível visualizar onde cada imagem lateral analisada foi obtida junto ao compósito.

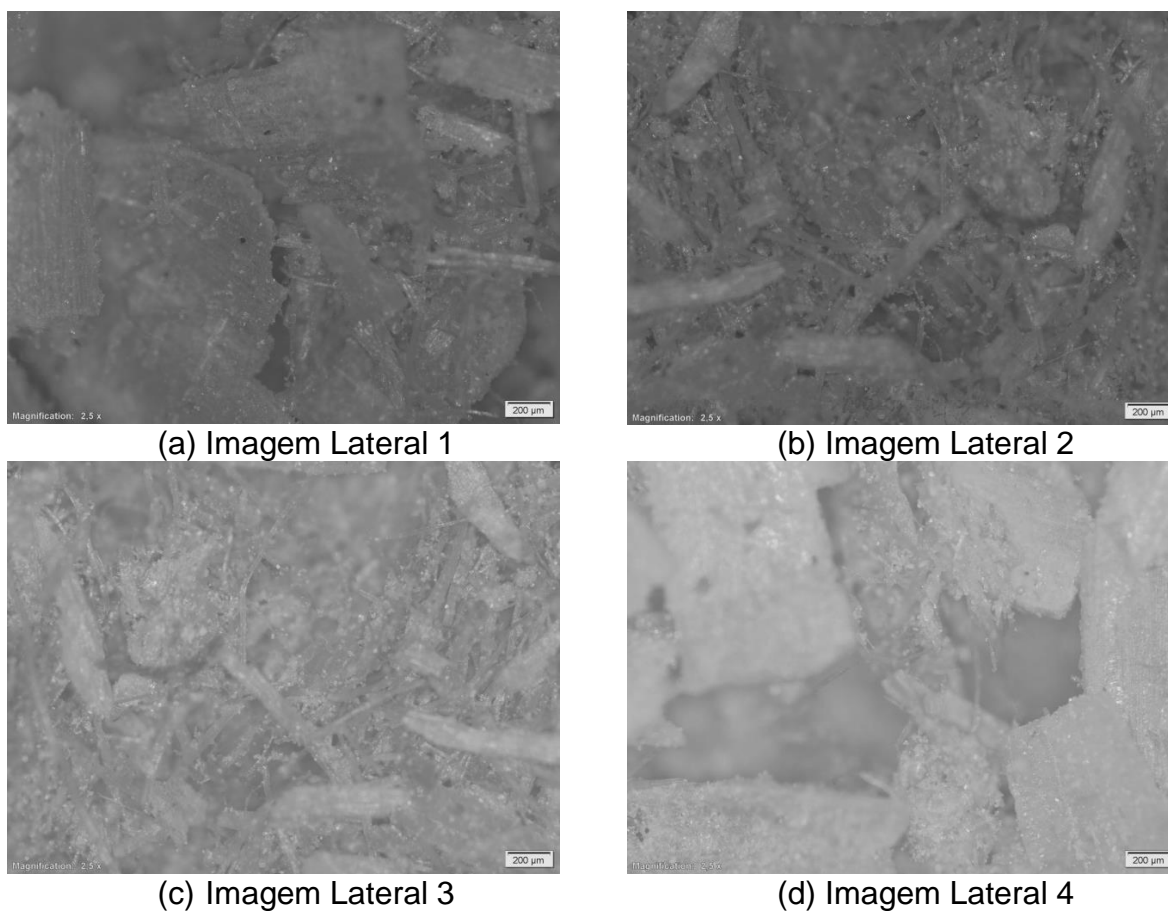
Figura 10 – Indicação das áreas analisadas no microscópio



Fonte: Primária

A análise microscópica de cada área indicada é mostrada na Figura 11.

Figura 11 – Imagens Microscópicas das faces do compósito



Fonte: Primária

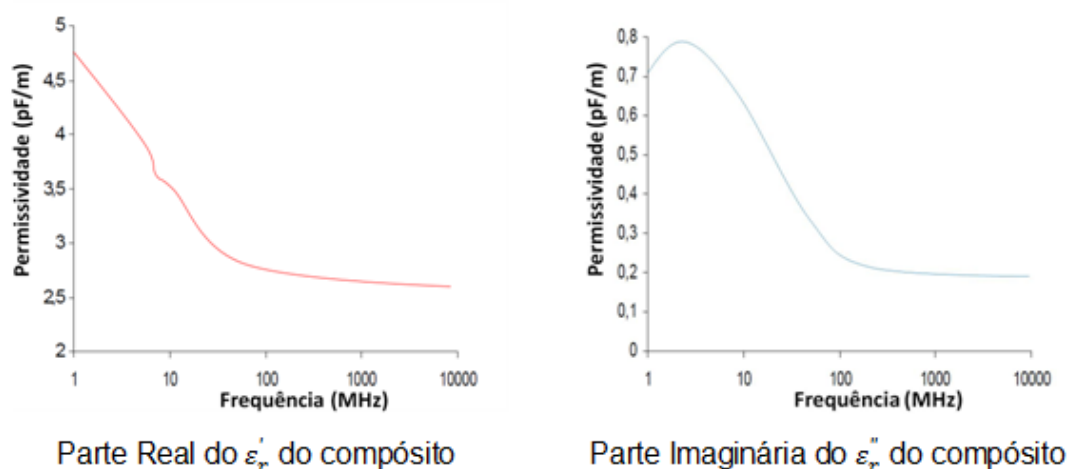
É possível analisar que a estrutura não possui uma homogeneização dos materiais que o compõem, proporcionando uma estrutura bem porosa em suas laterais analisadas. Essa característica se torna importante visto que quando radiações incidirem sobre o absorvedor elas terão caminhos de absorção e reflexão bem diferentes

Para a realização dos ensaios de medição das características do dielétrico do material foi utilizado um analisador de rede da marca Agilent, modelo ENA E5071C com o kit de teste de materiais modelo 16453A para medir frequências de 100 MHz até 1 GHz e depois com uma ponteira dielétrica até 10 GHz modelo 85070E.

A Figura 12 mostra a medição de propriedades dielétricas do compósito ecoinovador obtidas pelo método da sonda dielétrica.



Figura 12 – Propriedades dielétricas do compósito desenvolvido



Fonte: Primária

Analisando a resposta das características dielétricas desse compósito pode-se observar que a parte real da característica dielétrica se mantém constante em 2,6 pF/m para frequências acima de 1.000 Hz. Com relação a parte imaginária o valor se estabiliza em torno de 0,2 pF/m conforme observado a partir de 1.000 Hz.

## 7. Conclusões

Este artigo apresentou os resultados de uma pesquisa exploratório-experimental que teve por finalidade analisar a viabilidade de um compósito ecoinovador para aplicações de absorção de radiações eletromagnéticas a partir da oportunidade de reutilizar os resíduos de segmento de indústria alimentício e moveleiro.

O método utilizado para a realização dos testes e parte das análises teve por princípio metodológicos os estudos e experimentos realizados por Nornikman et al. (2010), Malek et al. (2011), Liyana et al. (2012) e Farhany et al. (2012) para a obtenção de materiais compósitos a partir de resíduos aplicados à construção de absorvedores.

Foram realizados testes e as análises granulométrica, espectrografia fluorescente, espectrografia por difração de ondas, microscópicas de superfície e medições das características dielétricas do compósito ecoinovador. Todos os testes apresentam boas características para a construção de absorvedores de radiações eletromagnéticas conforme as recomendações sugeridas pela norma IEEE Std

1128-1998. A análise granulométrica permitiu observar que a composição média do compósito possui uma dimensão em torno de 350  $\mu\text{m}$  o que proporciona uma característica de boa densidade para o material. As análises de espectrografia permitiram observar que o compósito é basicamente constituído por carbono o que possibilita uma boa característica absorvedora de radiações. Entretanto há elementos que auxiliam na refração das ondas eletromagnéticas como o dióxido de silício. A análise das imagens também permitiu comprovar as características da análise granulométrica bem como comprovar que o amido funcionou perfeitamente como elemento colante dos resíduos. Por fim as medições das características dielétricas do material comprovam que ele apresentará uma performance estável quando submetidos a radiações eletromagnéticas com frequências acima de 1.000 Hz.

O novo compósito consiste numa alternativa ecoinovadora empregando conceitos ecoeficazes, aplicados no desenvolvimento de produtos para absorção de radiações eletromagnéticas, respeitados as limitações e características técnicas a que se destina aos atuais, que são desenvolvidos a partir de materiais sintéticos altamente poluentes. Outra característica importante desse novo compósito é a questão da contribuição para a sustentabilidade visto que colabora na redução de resíduos gerados por empresas as quais podem se unir e desenvolver juntas, novos produtos a partir dos seus próprios resíduos.

## Referências

ABDELAZIZ, A. A., A novel technique for improving the performance of salisbury screen, **Progress In Electromagnetics Research Letters**, Vol. 1, 1-8, 2008.

ANZAI, H., M. SAIKAWA, Y. NAITO, AND T. MIZUMOTO, The equivalent representation of pyramidal absorbers at its application to the analysis of electromagnetic wave absorber's characteristic, **IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility**, 1995.

AYRES, ROBERT U.; SIMONIS, UDO ERNST (ED.). **Industrial metabolism: restructuring for sustainable development**. New York: United Nations University Press, 1994.

BAKER E, BOURNAY E, HARAYAMA A, REKACEWICZ P. **Vital waste graphics**. UNEP, Basel Convention, GRID Arendal, DEWA Europe, 2004.

BERKHOUT, PETER HG; MUSKENS, JOS C.; W VELTHUIJSEN, JAN. Defining the rebound effect. **Energy policy**, v. 28, n. 6, p. 425-432, 2000.

BOURNAY E, HEBERLEIN C, BOVET P, REKACEWICZ P, RIZZOLIO D, MARIN C, DAWE N. **Vital waste graphics 2**. UNEP, Basel Convention, GRID Arendal, DEWA Europe, 2006.

BRAUNGART, MICHAEL; MCDONOUGH, WILLIAM; BOLLINGER, ANDREW. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions—a strategy for eco-effective product and system design. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, n. 13, p. 1337-1348, 2007.

BREZET, HAN. **Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption**. UNEP, 1997.

CHUNG, B.-K. H.-T. CHUAH, Modelling of RF absorber for application in the design of anechoic chamber, Progress In **Electromagnetic Research**, PIER 43, 273-285, 2003.

DEUTZ, PAULINE; MCGUIRE, MICHAEL; NEIGHBOUR, GARETH. Eco-design practice in the context of a structured design process: an interdisciplinary empirical study of UK manufacturers. **Journal of Cleaner Production**, v. 39, p. 117-128, 2013.

DEUTZ, PAULINE; NEIGHBOUR, GARETH; MCGUIRE, MICHAEL. Integrating sustainable waste management into product design: sustainability as a functional requirement. **Sustainable Development**, v. 18, n. 4, p. 229-239, 2010.

DRUCKER, F.E. **The effective executive**. 4th ed. New York: HarperCollins; 2002.

EL HAGGAR, SALAH. **Sustainable industrial design and waste management: cradle-to-cradle for sustainable development**. Academic Press, 2010.

FARHANY, Z. S., MALEK, F., NORNIKMAN, H., MOHD, N. A., AFFENDI, L., MOHAMED, N. & SAUDIN, A. A. Ali. Potential of Dried Banana Leaves for Pyramidal Microwave Absorber Design. **IEEE Symposium on Wireless Technology and Applications (ISWTA)**, September 23-26, Bandung, Indonesia, 2012.

GENTIL, EMMANUEL C.; GALLO, DANIELE; CHRISTENSEN, THOMAS H. Environmental evaluation of municipal waste prevention. **Waste management**, v. 31, n. 12, p. 2371-2379, 2011.

GILLBLOM D, TOIVONEN J. **Designed for recycling: service design in the world of product development**. Gothenburg: Chalmers University of Technology; 2011.

HEBEISH A. A., ELGAMEL M. A., ABDELHADY R. A., ABDELAZIZ A. A., Factor affecting the performance of the radar absorbant textile materials of different types and structures, **Progress In Electromagnetics Research B**, Vol. 3, 219{226, 2008.

HOLMBERG J. Backcasting: a natural step when operationalising sustainable development. **Greener Management International** 1998;23:30–51.

IEEE Std 1128-1998 IEEE Recommended Practice for RF Absorber Evaluation in the Range of 30 MHz to 5 GHz, **IEEE Standards Board**, New York, 1998, pp. 2-3.

KHAJEHPOUR, A.. MIRTAHERI S. A, Analysis of pyramid EM wave absorber by FDTD method and comparing with capacitance and homogenization methods, **Progress In Electromagnetics Research Letters**, Vol. 3, 123-131, 2008.

KUESTER, E.F. HOLLOWAY, C.L. **Electromagnetic pyramidal cone absorber with improved low frequency design** <http://www.google.com/patents/US5016185> 1991.

LEON FERNANDEZ, G., S. LOREDO, S. ZAPATERO, F. LAS-HERAS, Radiation pattern retrieval in non-anechoic chambers using the matrix pencil algorithm, **Progress In Electromagnetics Research Letters**, Vol. 9, 119-127, 2009.

LIYANA, Z., MALEK, F., NORNIKMAN, H., MOHD AFFENDI, N. A., MOHAMED, L., SAUDIN, N. & ALI, A. A. Investigation of Sugar Cane Bagasse as Alternative Material for Pyramidal Microwave Absorber Design. **IEEE Symposium on Wireless Technology and Applications (ISWTA)**, September 23-26, Bandung, Indonesia, 2012.

MALEK, F., CHENG, E. M., NADIAH, O., NORNIKMAN, H., AHMED, M. Z. A., ABD AZIZ, M. Z. A., AZREMI, A. R., OSMAN, P. J., SOH, P. J., AZREMI, A. A. H., HASNAIN, A. & TAIB, M. N. 2011. Rubber Tire Dust-Rice Husk Pyramidal Microwave Absorber. **Progress In Electromagnetics Research**, Vol. 117, 449-477, 2011.

MAPA, ministério de agricultura brasileiro. 2015 <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/arroz> [acessado em março de 2015].

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART M., **Cradle to cradle, Remaking the way we make things.** 2002a.

\_\_\_\_\_, Design for the triple top line: new tools for sustainable commerce. **Corporate Environmental Strategy**, v. 9, n. 3, p. 251-258, 2002b.

Newcorn D. **Cradle-to-cradle: the next packaging paradigm? Packaging World.** <http://www.packworld.com/articles/Features/16105.html>; [acessado em agosto de 2014].

NORNIKMAN, H., MALEK. F., SOH, P. J., AZREMI, A. A. H.; WEE, F. H. & HASNAIN, A. Parametric Studies of the Pyramidal Microwave Absorber Using Rice Husk. **Progress In Electromagnetics Research**, PIER 104, 145-166, 2010.

ORDOÑEZ, Isabel; RAHE, Ulrike. Collaboration between design and waste management: Can it help close the material loop?. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 72, p. 108-117, 2013.

OTTO KN, WOOD KL. Product design: techniques in reverse engineering and new product development. Prentice Hall; 2001.

PIRKER U, PSCHERNIG G, GWEHENBERGER G, SCHNITZER H. Implementation of zero emissions waste technologies. **8th European Roundtable on Cleaner Production Conference, Oct. 9e11, 2002, Cork, Ireland.** [http://zeria.tugraz.at/pics/zeria\\_round\\_table.pdf](http://zeria.tugraz.at/pics/zeria_round_table.pdf) [acessado em setembro de 2014].

RAZAVI, S. M. KHALAJ-AMIRHOSSEINI J. M., Optimization an anechoic chamber with ray-tracing and genetic algorithms **Progress In Electromagnetics Research B**, Vol. 9, 53{68, 2008.

SCHUTZ H, WELFENS MJ. **Sustainable development by dematerialization in production and consumption e strategy for the new environmental policy in Poland.** In: Wuppertal Institute, No. 103; 2000.

SMITH R. Beyond recycling: manufacturers embrace 'C2C' design. **The Wall Street Journal** 2005; 3:B1e2.

VELLUPILAI, L., MAHIN D. B, WARSHAW J. W., WAILES E. J., **A study of the market for rice-husk-to energy system and equipment**, Louisiana State University Agricultural Center, USA, 1997.

VERFAILLIE HA, Bidwell R. **Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance**. World Business Council for Sustainable Development; June 2000.

VILHENA, Andre; POLITI, Elie. **Reduzindo, reutilizando, reciclando: a indústria ecoeficiente**. Sao Paulo; CEMPRES/SENAI; 2000.

WANG, J., S. QU, Z. FU, H. MA, Y. YANG, X. WU, and M. HAO, Three-dimensional metamaterial microwave absorber compared of coplanar magnetic and electric resonator, **Progress In Electromagnetics Research Letters**, Vol. 7, 15-24, 2009.

ZWIA – Zero Waste International Alliance. **Standards [web page]**. <http://www.zwia.org/standards.html> [acessado em agosto de 2014].

ZWNZ – Zero Waste New Zealand Trust. **The end of waste**. [http://www.zerowaste.co.nz/assets/Reports/The End of Waste.pdf](http://www.zerowaste.co.nz/assets/Reports/The_End_of_Waste.pdf) [acessado em setembro de 2014].

## **2.5 Artigo 5**

### **DESENVOLVIMENTO DE ABSORVEDOR DE RADIAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS A PARTIR DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS: UMA ALTERNATIVA ECOINOVADORA**

## DESENVOLVIMENTO DE ABSORVEDOR DE RADIAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS A PARTIR DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS: UMA ALTERNATIVA ECOINOVADORA

Autores

Guilherme Petry Breier

Carlos Fernando Jung

Fabiano Philippsen da Rosa

Carlos Eduardo Apollo Unterleider

Frederico Sporket

Flávio Lucas da Rosa

Carla Schwengber ten Caten

### Resumo

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa exploratório-experimental que teve por finalidade desenvolver um absorvedor piramidal de radiações eletromagnéticas. O estudo contempla o desenvolvimento de um novo produto a partir do uso de resíduos de indústrias alimentícias e moveleiras. Os materiais selecionados para a construção do absorvedor piramidal foram a casca de arroz e os resíduos de MDF (*Medium-Density Fiberboard*). Estes resíduos de MDF representam um importante problema quando do descarte e destinação por indústrias moveleiras. O método foi baseado na análise de estudos e experimentos anteriores realizados para a obtenção de materiais compósitos a partir de resíduos aplicados à construção de absorvedores piramidais. O novo produto consiste em uma alternativa, respeitadas as limitações e características técnicas a que se destina aos atuais existentes no mercado que são fabricados a partir de materiais sintéticos e contribui para a sustentabilidade.

**Palavras-chaves:** Absorvedor Piramidal; Radiações Eletromagnéticas; Produto Ecoinovador; Sustentabilidade.



## 1. Introdução

Existem propostas e métodos para a sustentabilidade e soluções de problemas ambientais desde os tratamentos da poluição que visam reduzir os efeitos ambientais negativos gerados pelas atividades industriais à atuação nos processos de produção que geram a poluição (utilização de tecnologias limpas) até o desenvolvimento de novos produtos a partir da utilização de resíduos industriais (MANZINI; VEZZOLI, 2008). Enfim, a conscientização ambiental levou a discussão e proposição de novos métodos, abordagens e desenvolvimentos para minimizar a degradação ambiental.

A progressiva deterioração, redução e a perspectiva de uma futura escassez dos recursos naturais pelo uso de inadequadas tecnologias de produção, despertaram a consciência e responsabilidade ambiental nas mais diferentes esferas das atividades humanas e tem encontrado satisfatório apoio para a implementação de ações sustentáveis (SILVA; HEEMANN, 2000). Este fato ao longo dos anos vem estimulando cientistas, engenheiros e técnicos a buscar novas alternativas tecnológicas para a sustentabilidade econômica e ambiental, através da proposição de projetos em programas governamentais de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) (SOUZA, 2006).

Os conceitos da ecoeficiência e ecoeficácia têm por finalidade reduzir progressivamente o impacto ambiental e a exploração de reservas naturais, para um nível suportável pela capacidade estimada do planeta, através da produção de bens e serviços de forma eficiente e a preços competitivos (WBCDS, 2002).

Na prática isto significa: (i) reduzir a quantidade de matéria prima em bens e serviços, (ii) reduzir a quantidade de energia em bens e serviços, (iii) reduzir a dispersão de material tóxico, (iv) aumentar a reciclagem de material, (v) maximizar o uso de fontes renováveis, (vi) aumentar a durabilidade dos produtos, e (vii) aumentar a quantidade de bens e serviços (KEFFER; SHIMP; LEHNI, 1999).

Um produto ecoinovador, pode ser também todo aquele que seja produzido de forma artesanal ou industrial, para uso pessoal, alimentar, residencial, comercial, agrícola e industrial que contribui para o desenvolvimento de um modelo econômico e social sustentável através do reaproveitamento ou reciclagem de resíduos que tenham por origem processos de industrialização (ARAÚJO, 2011).

Os satisfatórios resultados das análises físico-químicas do compósito obtido em ensaios laboratoriais, além da existência de volumes de resíduos de casca de arroz e de MDF (*Medium Density Fiberboard*) que atualmente, consiste em um importante problema quando do descarte e destinação pelas indústrias moveleiras do Vale do Paranhana, estimulou o desenvolvimento de um novo produto a partir da utilização de resíduos provenientes de indústrias alimentícias e moveleiras.

Assim, o objetivo desta pesquisa é o desenvolvimento de um novo produto a partir do aproveitamento destes tipos de resíduos como matéria prima para a elaboração de um material compósito. Este novo produto, consiste em um “Absorvedor Piramidal de Radiação Eletromagnética” que é amplamente utilizado para revestir o interior de câmaras anecóicas para inibir a reflexão ou transmissão de radiações eletromagnéticas em determinada faixa de comprimento de onda.

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa exploratória e experimental que teve por finalidade desenvolver um absorvedor piramidal de radiações eletromagnéticas. O estudo contempla o desenvolvimento de um novo produto a partir do uso de resíduos de indústrias alimentícias e moveleiras. O método baseia-se na análise de estudos e experimentos anteriores realizados para a obtenção de materiais compósitos aplicados à construção de absorvedores piramidais a partir de resíduos. O novo produto consiste em uma alternativa, respeitadas as limitações e características técnicas a que se destina, aos atuais existentes no mercado, que são fabricados a partir de materiais sintéticos, e contribui para a sustentabilidade.

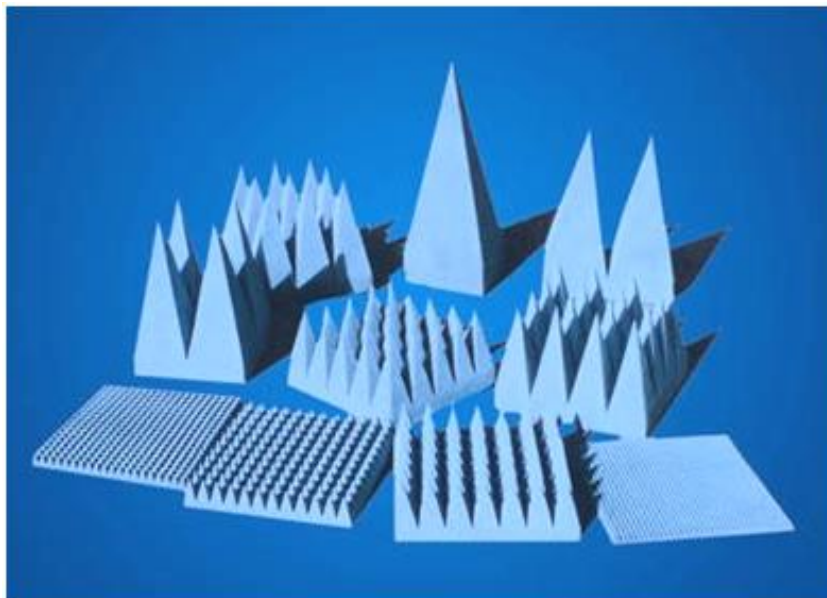
O trabalho possui a seguinte estrutura: na seção 2 é apresentado o referencial teórico, na seção 3 o desenvolvimento, na seção 4 os resultados e a seção 5 traz as conclusões do estudo.

## **2. Absorvedores de radiações eletromagnéticas**

Segundo Migliano, Freitas e Melo (2002) absorvedores de radiações eletromagnéticas são utilizados para o revestimento de câmaras anecóicas onde são realizados ensaios eletromagnéticos e, também, para atenuar e/ou blindar ambientes sujeitos a fontes intensas de rádio frequências danosas aos seres humanos, ver Figura 1.

As câmaras anecóicas destinam-se a análise de novas antenas e interferências eletromagnéticas, testes de compatibilidade eletromagnética em veículos terrestres, aeronaves e eletrônicos de consumo.

Figura 1 – Placas e absorvedores piramidais de radiações eletromagnéticas



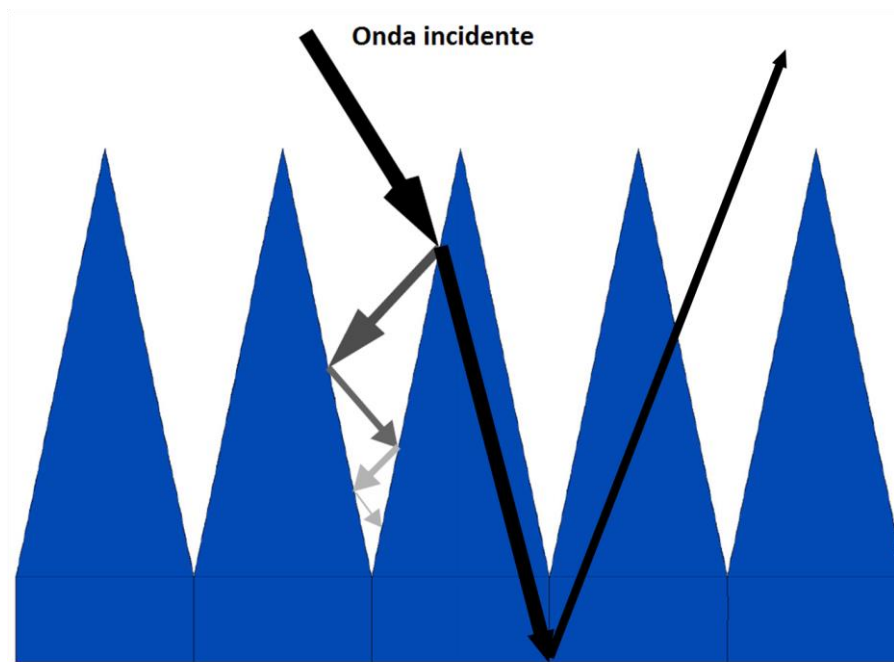
Fonte: DONGSHIN MICROWAVE (2014)

Folgueras e Rezende (2006) afirmam que os componentes que existem em um material absorvedor para atenuar a energia de uma onda eletromagnética são complexos. Estes materiais absorvedores de radiação eletromagnética promovem a troca de energia da radiação eletromagnética pela energia térmica, devido às características intrínsecas de determinados componentes. Absorvedores quando atingidos por uma onda eletromagnética têm a estrutura molecular excitada e a energia incidente é convertida em calor proporcionando uma baixa reflexão da onda incidente (SCHLEDER, 1999).

Quando utilizadas em câmaras anecóica os absorvedores são colocados um ao lado do outro de modo que todo o espaço interno seja revestido por eles. Isso permite que quando uma onda eletromagnética incide em uma das estruturas, uma parte dessa energia é absorvida pelo elemento e outras pequenas reflexões são projetadas de acordo com o ângulo de incidência original (KUESTER; HOLLOWAY, 1990). A forma como o absorvedor é construído permite que esse sinal seja transmitido para outro absorvedor nas proximidades. Após muitas reflexões e

transmissões, a amplitude da onda é reduzida significativamente até atingir a base do absorvedor (KUESTER; HOLLOWAY, 1990), ver Figura 2.

Figura 2 – Comportamento simplificado de um absorvedor submetido a uma onda eletromagnética



Fonte: Primária – adaptado de KUESTER; HOLLOWAY, 1990

A elaboração e produção de um material absorvedor de radiação eletromagnética (MARE) tem por princípio fundamental a composição e síntese dos materiais construtivos, através do arranjo de materiais dielétricos e magnéticos que proporcionarão o perfil de impedância para determinada onda eletromagnética incidente (MIGLIANO; REIS DE FREITAS; MELO, 2002).

A evolução da tecnologia para obtenção desses materiais absorvedores está diretamente relacionada com estudos que envolvem experimentos com a elaboração de novos materiais, em especial, compósitos e o desenvolvimento de métodos e técnicas para a obtenção de revestimentos de melhor qualidade e faixa de absorção cada vez mais ampla (CHUNG; CHUA, 2004).

Existem muitos tipos de absorvedores de radiação no mercado. Segundo Malek et al. (2011), este tipo de produto ainda é fabricado com materiais que exigem o uso de matérias primas não renováveis e componentes sintéticos. Os absorventes são tipicamente fabricados pela adição de carbono em um meio de espuma de

plástico poliuretano e poliestireno e cobertos no processo de acabamento por uma tinta resistiva.

## 2.1. Estudos correlatos

Estudos realizados por: Nornikman et al. (2010) *Parametric Studies of the Pyramidal Microwave Absorber Using Rice Husk*; Nornikman et al. (2011) *Setup and Results of Pyramidal Microwave Absorbers Using Rice Husks*; Malek et al. (2011) *Rubber Tire Dust-Rice Husk Pyramidal Microwave Absorber*; Farhany et al. (2012) *Potential of Dried Banana Leaves for Pyramidal Microwave Absorber Design*; e Liyana et al. (2012) *Investigation of Sugar Cane Bagasse as Alternative Material for Pyramidal Microwave Absorber Design*, demonstraram ser viável a utilização de resíduos de materiais sintéticos e de alimentos para a construção de absorvedores de radiações eletromagnéticas.

Nornikman et al. (2011) afirmam que os resíduos agrícolas não são considerados muitas vezes úteis e são comumente descartados ou queimados após a colheita das culturas. Cascas resultantes do arroz são exemplos de resíduos agrícolas. A casca de arroz tem sido investigada como um material para ser utilizado na construção de absorvedores piramidais para R.F. (Rádio frequências). Estes autores utilizaram uma mistura de casca de arroz e resíduos de poliéster. Os experimentos mostraram que a perda por reflexão (*Reflection Loss*) obtida pelo uso do compósito proposto foi significativa, sendo melhor que -30 dB. Nornikman et al. (2011) realizaram os ensaios na faixa de micro-ondas de 7 a 13 GHz. Micro-ondas são ondas eletromagnéticas que possuem comprimentos de onda entre 29,97 cm a 0,99 mm, correspondendo a frequências entre 1 GHz a 300 GHz respectivamente (CHAMBERS, 1999).

Os experimentos realizados por Nornikman et al. (2010; 2011) mostraram a necessidade de serem realizadas novas pesquisas para investigar o desempenho de cascas de arroz para a construção de absorvedores devido a influência da temperatura, umidade e outros parâmetros ambientais. Estes autores referem que isto é importante para garantir a viabilidade e robustez deste compósito para atender várias normas internacionais antes da comercialização. Os resultados desta pesquisa evidenciaram que a casca de arroz tem grande potencial para ser usada como material para a construção de absorventes piramidais para radio frequências.

Malek et al. (2011) utilizaram resíduos de borracha de pneus e pó de casca de arroz como materiais alternativos para desenvolver absorvedores piramidais. Estes autores também investigaram e determinaram refletividade e o desempenho da perda por reflexão (*Reflection Loss*) a partir da elaboração deste compósito. Os resultados indicaram que o pó de borracha de pneu tem potencial para ser usado como um material alternativo na concepção de absorvedores piramidais. A perda por reflexão obtida para o pó de borracha de pneus misturados com cascas de arroz foi considerada importante e, também, apresentou resultado melhor que -30 dB.

Liyana et al. (2012) construíram um absorvedor piramidal a partir do uso de bagaço de cana-de-açúcar. Os autores consideraram este resíduo agrícola como uma alternativa benéfica aos atualmente fabricados com produtos químicos. Após a pesquisa foi possível constatar que este produto pode ser aplicado como absorvedor piramidal de micro-ondas para câmaras anecóicas. Neste trabalho, foram realizados experimentos para testar as características do dielétrico do bagaço da cana-de-açúcar (constante dielétrica e da tangente de perdas ( $\tan\delta$ )). Este absorvedor piramidal pode ser utilizado em uma faixa de frequências entre 0,1 GHz a 20 GHz. Os resultados mostram que este material obteve uma perda por reflexão melhor que -30 dB em determinadas frequências.

Farhany et al. (2012) realizaram uma experiência para construção de absorvedores piramidais através da elaboração de um material compósito obtido pela mistura de folhas de bananeira com poliéster e resina metil-etil-cetona (MEKP) como agente endurecedor. Farhany et al. (2012) analisaram as pesquisas anteriores realizadas com cascas de arroz que mostraram uma perda por reflexão melhor que -30 dB em uma faixa de frequências de 1,89 a 20 GHz. O absorvedor piramidal desenvolvido com o uso das folhas de bananeira mostrou ser melhor do que -97,59 dB em uma faixa de 0,504 a 14,933 GHz. Estes autores referem que o absorvedor piramidal usando casca de arroz teve o melhor desempenho de perda por reflexão na faixa entre 5 a 10 GHz com -46,17 dB. O pior desempenho foi alcançado entre 0,01 e 1 GHz com uma perda por reflexão de -16,031 dB para casca de arroz. Na mesma faixa, utilizando as folhas de bananeira o melhor desempenho foi de -63,28 dB. A frequência onde obtiveram um resultado excelente chegando a uma perda de reflexão de 123,47 dB foi em 4 GHz.

### 3. Construção de absorvedor de radiação eletromagnética ecoinovador

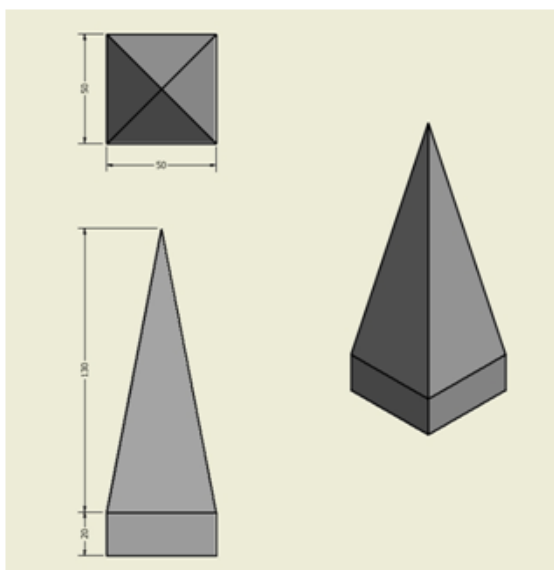
O método para a pesquisa e o desenvolvimento proposto foi baseado nos procedimentos metodológicos de Nornikman et al. (2011), Malek et al. (2011), Liyana et al. (2012) e Farhany et al. (2012).

Os materiais selecionados para a construção do absorvedor piramidal foram a casca de arroz e os resíduos de MDF (*Medium-Density Fiberboard*) que é fabricado através da aglutinação de fibras de madeira com resinas sintéticas e outros aditivos. Os resíduos de MDF representam um importante problema quando do descarte e destinação pelas indústrias moveleiras do Vale do Paranhana. A opção pelo desenvolvimento do absorvedor piramidal a base desses resíduos foi essencialmente devido às características físico-químicas e eletromagnéticas dos materiais resultantes deste compósito, obtido a partir de cascas de arroz e resíduos de MDF.

A faixa de frequências selecionada para as radiações eletromagnéticas serem atenuadas pelo absorvedor piramidal em desenvolvimento foi de 600 MHz a 6 GHz. Esta faixa foi determinada em função da ampla aplicação da tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*) em sistemas de produção que utilizam a faixa de UHF (*Ultra High Frequency*), em especial, na frequência nominal de 915 MHz. No cenário internacional, a tecnologia RFID é objeto de várias pesquisas e investimentos por parte da indústria e comunidade científica, com taxas de crescimento contínuas no uso destes dispositivos nos últimos anos, além de cobrirem as faixas de norma IEEE 802.11.

Na primeira parte da pesquisa, foi necessário determinar o modelo conceitual do absorvedor para construção e uma matriz para a produção experimental do protótipo. As dimensões do modelo foram baseadas nos estudos de Nornikman et al. (2010; 2011), Malek et al. (2011), Liyana et al. (2012), e Farhany et al. (2012). Os modelos icônicos bi e tridimensional obtido para construção da matriz, ver Figura 3.

Figura 3 – Modelos icônicos bi e tridimensional do absorvedor piramidal para construção da matriz



Fonte: Primária

A partir do modelo icônico tridimensional do absorvedor piramidal foi possível construir a matriz para obtenção dos protótipos, ver Figura 4. A matriz foi desenvolvida com quatro cavidades para ser possível à modelagem de quatro absorvedores piramidais em cada operação realizada. Esta configuração aumentou a capacidade de produção da matriz em relação àquelas desenvolvidas por Nornikman et al. (2011) e Liyana et al. (2012) que possuem apenas uma cavidade.

Figura 4 – Vista superior do protótipo do molde desenvolvido para obtenção dos absorvedores piramidais



Fonte: Primária



A matriz utilizada para a produção dos absorvedores piramidais por Nornikman et al. (2011) além de possuir uma cavidade necessitava que em cada operação fossem colocados e retirados parafusos para a abertura e fechamento da matriz.

Assim, foi implantado um dispositivo (alavanca com trava) na parte lateral esquerda da matriz para realizar o travamento do sistema quando fechada a matriz. Na parte lateral direita foi colocada uma dobradiça para facilitar a movimentação e sustentação da parte frontal quando da abertura da matriz. A eficiência e precisão do processo de abertura e fechamento da matriz se tornou importante devido à cavidade que moldou o absorvedor piramidal ter necessitado uma uniformidade entre as duas partes.

A cavidade possui em sua parte inferior um canal para escoamento do líquido resultante da compressão do material compósito em seu interior. A água em estado líquido foi utilizada na mistura dos materiais, casca de arroz e resíduos de MDF, além do amido que foi empregado como elemento para agregação (pasta visco-elástica).

Para serem obtidos oito absorvedores piramidais é necessário: 250 g de cascas de arroz moídas, 250 g de pó de MDF, 100 g de amido e 700 ml de água. Após a mistura dos materiais foi realizada a colocação do compósito nas cavidades da matriz, ver Figura 5.

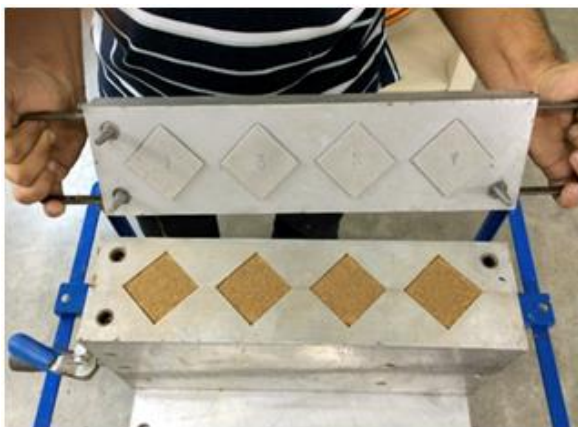
Figura 5 – Colocação do material compósito nas cavidades da matriz



Fonte: Primária

Na Figura 6 pode ser observada a matriz com o material no interior das quatro cavidades e pronta para a colocação da tampa superior para posterior prensagem.

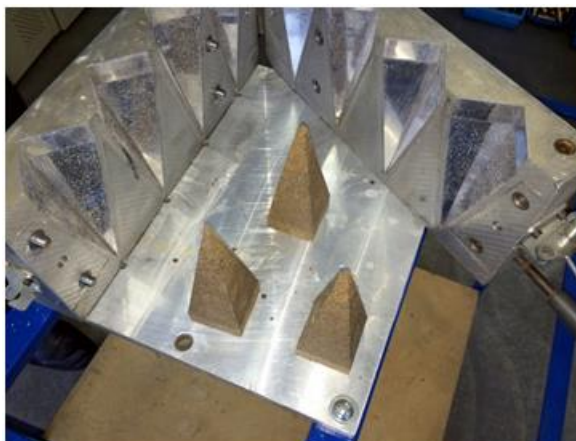
Figura 6 – Aspecto da matriz com as cavidades preenchidas com o material compósito



Fonte: Primária

Após a prensagem do material pela tampa superior, a matriz é aberta e os protótipos dos absorvedores piramidais podem ser retirados, ver Figura 7.

Figura 7 – Aspecto da matriz aberta e com os protótipos já retirados das cavidades



Fonte: Primária

A segunda fase, da pesquisa e desenvolvimento, viabilizou a obtenção dos protótipos dos absorvedores piramidais de radiação eletromagnética, ver Figura 8, para na sequência serem submetidos aos testes experimentais.

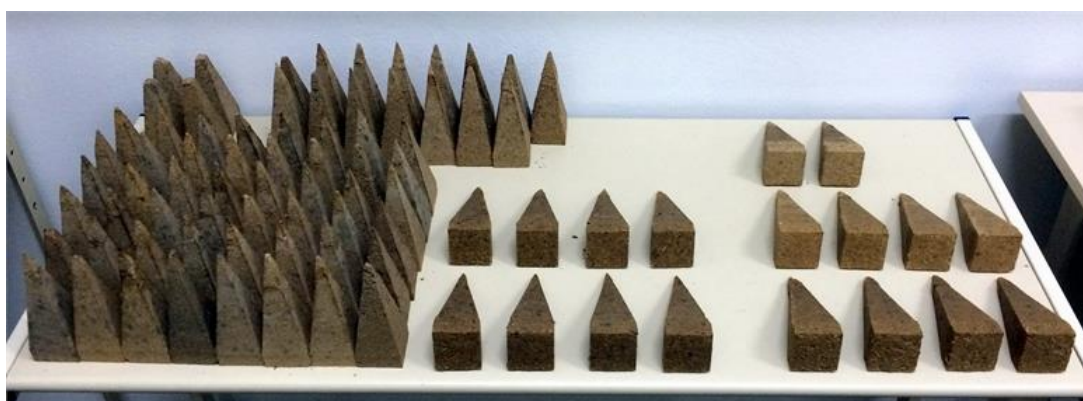
Figura 8 – Protótipo do absorvedor piramidal obtido a partir de um compósito de cascas de arroz moídas e pó de resíduos de MDF



Fonte: Primária

Nornikman et al. (2011) e Malek et al. (2011) utilizaram quatro conjuntos, com dezesseis absorvedores, em cada bloco para os testes experimentais. Cada conjunto com dezesseis absorvedores foi colocado sob uma chapa de 0,2 x 20 x 20 cm. Foi necessária a produção de sessenta e quatro absorvedores piramidais para serem realizados os testes, ver Figura 9.

Figura 9 – Absorvedores piramidais prontos para os testes experimentais



Fonte Primária

#### 4. Resultados

A terceira fase, da pesquisa e desenvolvimento, consistiu na realização de testes experimentais para determinação das características mecânicas e eletromagnéticas dos absorvedores piramidais.

Foram realizados ensaios de compressão transversal e longitudinal nos absorvedores piramidais para serem determinadas as resistências mecânicas. As amostras foram testadas em uma máquina para ensaios de compressão e tração EMIC com Célula TRD24, ver Figura 10.

Figura 10 – Amostra do absorvedor piramidal colocada na máquina para ensaio de compressão



Fonte: Primária

Os resultados dos ensaios foram satisfatórios e demonstraram que possuem resistência adequada para o manuseio operacional e fixação em superfícies de câmaras anecóicas. Os relatórios com os respectivos gráficos, ver Figuras 11 e 12.





Na sequência, foi realizada uma série de ensaios para análise e determinação da perda por refletividade, eficiência de absorção, dos absorvedores piramidais em relação a uma superfície refletora de metal. Esta superfície consistia em quatro chapas de metal (cobre) com dimensões de 20 x 20 cm. Foi determinada assim a área de incidência e reflexão (40 x 40 cm), ver Figura 13.

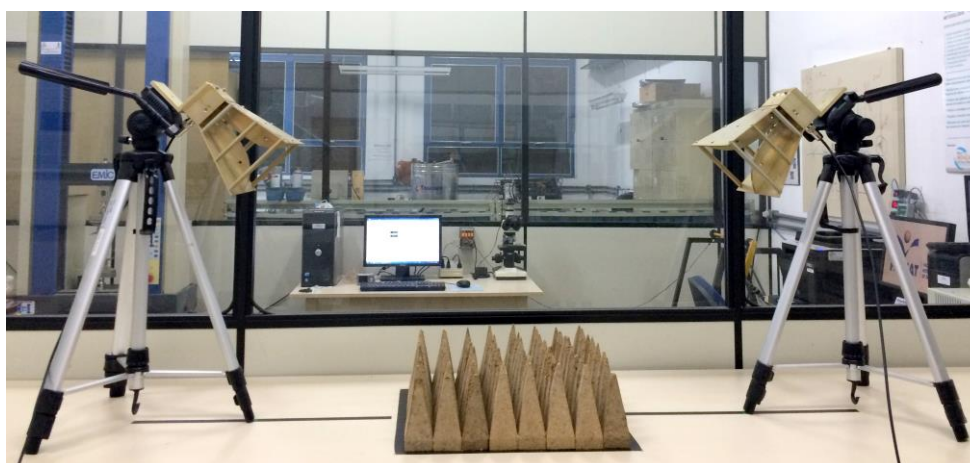
Figura 13 – Aspecto da área de testes com o conjunto de placas refletoras no centro



Fonte: Primária

Esta área foi demarcada em uma bancada de testes. No lado esquerdo foi colocada uma antena do tipo Horn (transmissora) e no lado direito outra antena tipo Horn (receptora). As antenas possuíam um ângulo de radiação de  $45^\circ$  em relação ao centro do plano onde estava à área de testes, ver Figura 14.

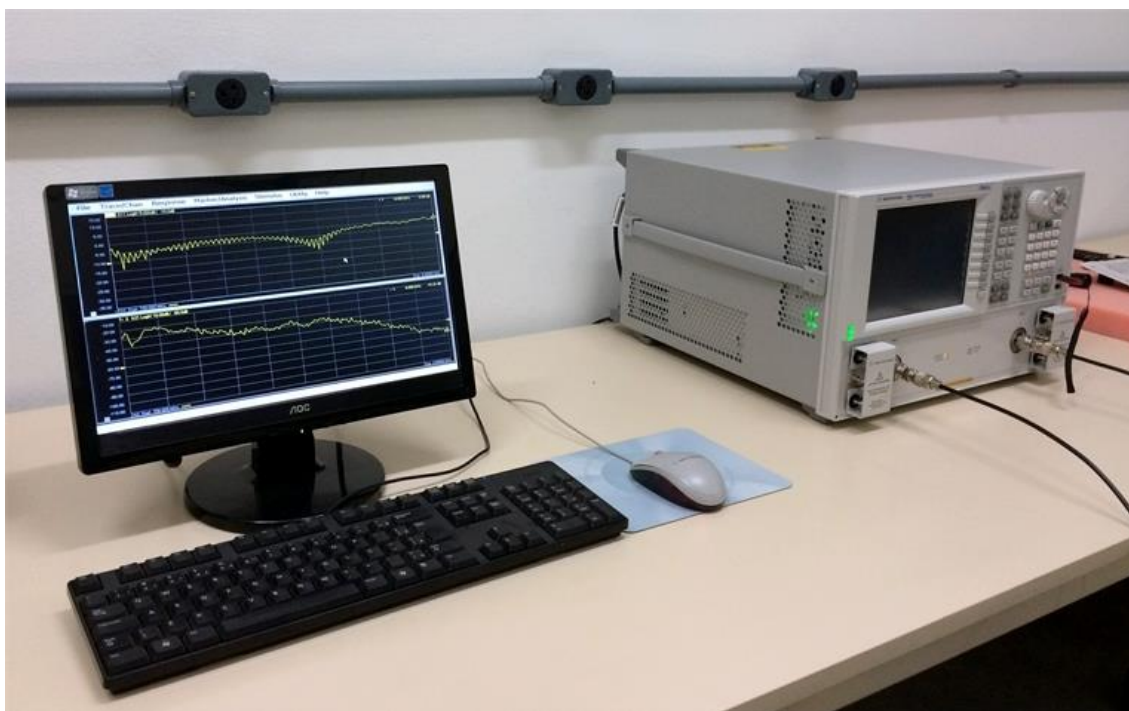
Figura 14 – Aspecto da área de testes com o conjunto de absorvedores piramidais no centro



Fonte: Primária

Todos os testes experimentais foram realizados com a utilização de um analisador vetorial de rede, marca: Agilent, modelo: N5230C (300 KHz a 13,5 GHz), ver Figura 15.

Figura 15 – Conjunto de medição para testes experimentais com o Network Analyzer da Agilent, N5230C



Fonte: Primária

Os testes experimentais seguiram o método utilizado por Nornikman et al. (2011), em espaço aberto. Desta forma, não foram realizados em câmara anecóica. Assim, todas as possíveis variáveis que pudessem interferir foram mantidas constantes tanto nos testes aplicados à chapa refletora com superfície de cobre como naqueles aplicados ao conjunto de absorvedores.

A primeira série de testes teve por finalidade determinar a perda por reflexão obtida considerando a radiação aplicada à placa de metal (cobre) posicionada no centro e a respectiva recepção. A segunda série teve a mesma finalidade, mas agora com o conjunto de absorvedores posicionados no centro sem a chapa de metal.

As duas séries de testes de emissão e recepção foram realizadas nas seguintes frequências: 600 MHz; 700 MHz; 800 MHz; 868 MHz; 915 MHz; 1 GHz; 2 GHz; 2,45 GHz; 3 GHz; 4 GHz; 5 GHz; 5,8 GHz e 6 GHz. As frequências de 868 e

915 MHz, bem como, as de 2,45 e 5,8 GHz foram inseridas nos testes, devido serem utilizadas nominalmente em sistemas que utilizam a tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*).

Com o objetivo de analisar o comportamento do absorvedor com uma nova geometria (piramidal truncada), foi cortada a estrutura superior dos mesmos, resultando num absorvedor piramidal modificado conforme Figura 16.

Figura 16 – Protótipo do absorvedor piramidal modificado



Fonte: Primária

Assim como foram realizados os testes com os protótipos dos cones piramidais foi repetido o experimento de medição agora com os cones piramidais truncados conforme Figura 17.

Figura 17 – Aspecto da área de testes com o conjunto de absorvedores piramidais modificados no centro



Fonte: Primária



Após cada teste experimental realizado, em cada frequência, na chapa refletora de metal primeiramente, no conjunto de absorvedores piramidais e por fim no conjunto de absorvedores piramidais modificados.

Tabela 1 – Resultados obtidos com as séries de testes experimentais

Test Frequencies (GHz) *Level 10 dBm	Metal Plate Material A *Ground (RL dB)	Pyramidal Absorbers Material B (RL dB)	Absorption Material B Relative to Material A (dB)	Absorbers Modified Material C (RL dB)	Absorption Material C Relative to Material A (dB)	Absorption Material B Relative to Material C (dB)
600 MHz	-39,61	-49,66	10,05	-41,02	1,41	8,64
700 MHz	-22,24	-34,74	12,50	-23,84	1,60	10,90
800 MHz	-15,39	-28,52	13,13	-19,53	4,14	8,99
868 MHz	-10,91	-25,92	15,01	-13,51	2,60	12,41
915 MHz	-9,83	-28,09	18,16	-13,14	3,31	14,85
1 GHz	-12,89	-29,92	17,03	-17,16	4,27	12,76
2 GHz	-21,45	-47,37	25,92	-30,48	9,03	16,89
2,45 GHz	-23,79	-54,82	31,03	-34,14	10,35	20,68
3 GHz	-27,07	-49,80	22,73	-35,29	8,22	14,51
4 GHz	-26,45	-55,20	28,75	-41,00	14,55	14,20
5 GHz	-38,51	-72,70	34,19	-62,22	23,71	10,48
5,8 GHz	-42,78	-83,58	40,80	-52,62	9,84	30,96
6 GHz	-44,44	-84,02	39,58	-55,26	11,82	27,76

Fonte: Primária

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos com as duas séries de testes experimentais aplicados na placa refletora de metal (Material A) e no conjunto de absorvedores piramidais desenvolvidos (Material B) bem como no conjunto de absorvedores piramidais modificados – piramidal truncado (Material C).

Os dados mostram que os absorvedores piramidais desenvolvidos atenuam as ondas eletromagnéticas incidentes em toda faixa de frequências propostas na pesquisa (600 MHz a 6 GHz) pois os seus resultados estão acima de -10 dB. Ressalta-se que os absorvedores são mais eficientes na faixa frequências de 2 GHz a 6 GHz. Os resultados das medições realizadas no compósito elaborado a partir de cascas de arroz moídas e os resíduos de pó de MDF possuem potencial para serem utilizados em aplicações comerciais específicas como: RFID's, WI-FI, e 4G, ver coluna 4 da Tabela 1.

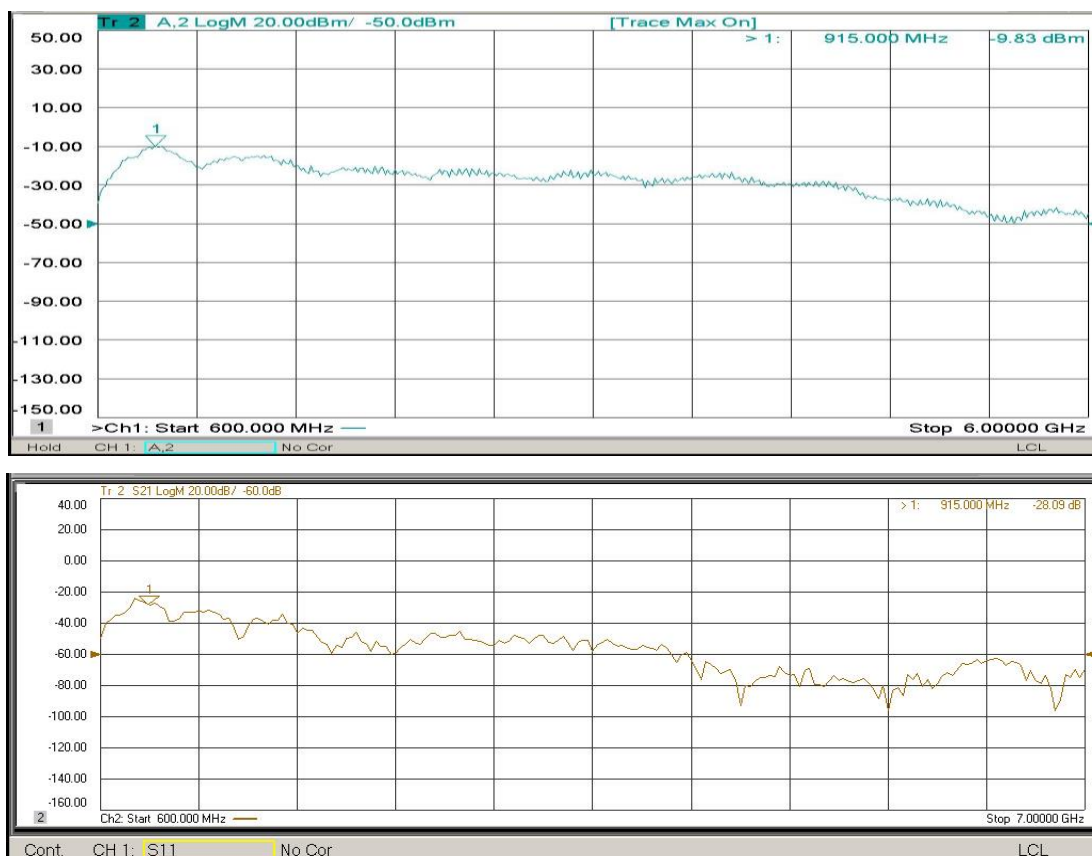
Na Tabela 1 também é possível analisar a comparação entre as duas formas geométricas propostas para a produção desses absorvedores: piramidal (ver Figura 8) e piramidal truncada (ver Figura 16). Há uma redução da energia absorvida visto que a forma piramidal truncada favorece a reflexão do sinal que incide sobre sua

estrutura plana o que resulta na não condução do sinal refletido para o absorvedor ao lado.

Entretanto, mesmo considerando essa perda de eficiência, o absorvedor continua sendo viável em sua utilização para aplicações de RFID, pois o resultado obtido de absorção para a frequência nominal de RFID's no Brasil (915 MHz) foi de 14,85 dB, ver coluna 7 da Tabela 1. Esta geometria de absorvedor (piramidal truncada) não seria recomendada apenas para aplicações que utilizassem da tecnologia 4G.

O melhor resultado obtido pelos absorvedores piramidais foi na frequência de 5,8 GHz tendo uma diferença em relação à placa refletora de metal de -40,38 dB. Este resultado está acima do limite esperado de -10 dB encontrado em produtos de mercado.

Figura 18 – Resultados da perda por reflexão na frequência de 915 MHz, no gráfico superior o cursor indica o valor de -9,83 dB obtido com a Placa de Metal aterrada e no gráfico inferior o cursor indica o valor de -28,09 dB obtido com o Conjunto de 64 absorvedores piramidais



Fonte: Primária

No exemplo mostrado na Figura 18 pode ser verificado o resultado da perda por reflexão obtida, que foi de -18,16 dB. O conjunto de absorvedores mostrou ser eficiente considerando-se que o limite aceito para absorvedores de radiação é de -10 dB. Na frequência de operação central da banda Brasil, utilizada em sistemas RFID, 915 MHz, foi comprovado à viabilidade deste protótipo desenvolvido.

Considerando que, os testes experimentais foram realizados pela comparação dos resultados entre uma chapa refletora de metal (sendo o pior caso onde as reflexões são mais expressivas) e os absorvedores desenvolvidos com o compósito, pode-se inferir que a colocação destes absorvedores sob outras superfícies menos reflexivas, como a madeira, por exemplo, pode proporcionar uma maior perda por reflexão, proporcionando resultados ainda melhores.

## 5. Conclusões

Este artigo apresentou os resultados de uma pesquisa exploratório-experimental que teve por finalidade desenvolver um absorvedor piramidal de radiações eletromagnéticas.

O estudo contemplou o desenvolvimento de um novo produto a partir do uso de resíduos de indústrias alimentícias e moveleiras.

O método utilizado para os testes experimentais e análise teve por princípios metodológicos os estudos e experimentos realizados por Nornikman et al. (2010), Malek et al. (2011), Liyana et al. (2012), e Farhany et al. (2012) para a obtenção de materiais compósitos a partir de resíduos aplicados à construção de absorvedores piramidais.

Foram realizadas duas séries de testes de emissão (radiação) e recepção foram realizadas nas seguintes frequências: 600 MHz; 700 MHz; 800 MHz; 868 MHz; 915 MHz; 1 GHz; 2 GHz; 2,45 GHz; 3 GHz; 4 GHz; 5 GHz; 5,8 GHz e 6 GHz. As frequências de 868 e 915 MHz, bem como, as de 2,45 e 5,8 GHz foram inseridas nos testes devido a serem utilizadas nominalmente em sistemas que utilizam a tecnologia RFID (*Radio Frequency Identification*).

O estudo mostrou que absorvedores piramidais obtiveram um desempenho satisfatório na frequência de 915 MHz resultando em uma diferença de -18,16 dB em relação a chapa refletora de metal utilizada nos ensaios. Este resultado está acima do limite esperado de -10 dB encontrado em produtos de mercado.

Os resultados do estudo mostraram que o produto ecoinovador desenvolvido não tem aplicação restrita a banda de frequências de aplicações de RFID's em 915 MHz. O absorvedor piramidal desenvolvido é também adequado para o revestimento de câmaras anecóicas que se destinam a ensaios de antenas nas faixas de RFID – 800 MHz a 1 GHz e 2,45 GHz, WiFi – 2,4 a 2,483 GHz, WLan – 5,150 a 5,850 GHz, bem como abrange a banda de frequências de dispositivos eletrônicos que utilizam a tecnologia do 4G – 698 a 806 MHz.

Foram realizados ensaios de compressão transversal e longitudinal nos absorvedores piramidais para serem determinadas as resistências mecânicas. Os resultados dos ensaios foram satisfatórios e demonstraram que possuem resistência adequada para o manuseio operacional e fixação em superfícies de câmaras anecóica.

O novo produto consiste em uma alternativa, respeitadas as limitações e características técnicas, a que se destina, aos atuais existentes no mercado que são fabricados a partir de materiais sintéticos e contribui para a sustentabilidade.

Os resultados obtidos são satisfatórios e sugerem a continuidade dos estudos em relação a utilização de resíduos industriais como materiais para substituir àqueles obtidos por processos químicos que possam gerar emissões e poluição ambiental.

## Referências

ARAÚJO, M. A. **Produtos ecológicos para uma sociedade sustentável.** Disponível em:<<http://idhea.com.br/pdf/sociedade.pdf>> Acesso em: 23 Out 2011

CHAMBERS, B. Characteristics of radar absorbers with tapered thickness. **IEEE Conf. Antennas and Propagation**, Apr. 1999.

CHUNG, B.K., CHUA, H.T. Design and construction of a multipurpose wideband anechoic chamber, **IEEE Antennas and Propagation Magazine**. Vol. 45, No. 6, 41-47, 2004.

DONGSHIN MICROWAVE. **Piramidal absorber.** Disponível em: <<http://www.isorb.cn/> h> Acesso em: 08 jun 2014.

FARHANY, Z. S., MALEK, F., NORNIKMAN, H., MOHD, N. A., AFFENDI, L., MOHAMED, N. & SAUDIN, A. A. Ali. Potential of Dried Banana Leaves for Pyramidal

Microwave Absorber Design. **IEEE Symposium on Wireless Technology and Applications (ISWTA)**, September 23-26, Bandung, Indonesia, 2012.

FOLGUERAS, L. C. REZENDE, M. C. Material Absorvedor de Radiação Eletromagnética Multicamadas Processado a partir de Não Tecidos Poliméricos e Polímero Condutor. 17º CBECIMat - **Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2006.

KEFFER, C., SHIMP, R. LEHNI, M. Eco-Efficiency Indicators & Reporting. **Report on the Status of the Project's Work in Progress and Guideline for Pilot Application**, WBCSD, Geneva, 1999.

KUESTER, E.F. HOLLOWAY, C.L. **Electromagnetic pyramidal cone absorber with improved low frequency design.** Disponível em: <http://www.google.com/patents/US5016185> 1991. [acessado em março de 2015].

LIYANA, Z., MALEK, F., NORNIKMAN, H., MOHD AFFENDI, N. A., MOHAMED, L., SAUDIN, N. & ALI, A. A. Investigation of Sugar Cane Bagasse as Alternative Material for Pyramidal Microwave Absorber Design. **IEEE Symposium on Wireless Technology and Applications (ISWTA)**, September 23-26, Bandung, Indonesia, 2012.

MALEK, F., CHENG, E. M., NADIAH, O., NORNIKMAN, H., AHMED, M. Z. A., ABD AZIZ, M. Z. A., AZREMI, A. R., OSMAN, P. J., SOH, P. J., AZREMI, A. A. H., HASNAIN, A. & TAIB, M. N. 2011. Rubber Tire Dust-Rice Husk Pyramidal Microwave Absorber. **Progress In Electromagnetics Research**, Vol. 117, 449-477, 2011.

NORNIKMAN, H., MALEK. F., SOH, P. J., AZREMI, A. A. H.; WEE, F. H. & HASNAIN, A. Parametric Studies of the Pyramidal Microwave Absorber Using Rice Husk. **Progress In Electromagnetics Research**, PIER 104, 145-166, 2010.

NORNIKMAN, H., MALEK, F., AHMED, M., WEE, F. H., SOH, P. J. & AZREMI, A. A. H. Setup and Results of Pyramidal Microwave Absorbers Using Rice Husks. **Progress In Electromagnetics Research**, Vol. 111, 141-161, 2011.

MANZINI, E. VEZZOLI, C. O. **Desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais.** São Paulo: EDUSP, 2008.

MIGLIANO, A. C. C.; REIS DE FREITAS, C. A. & MELO, F. C. L. Características de Absorção da Radiação Eletromagnética em Revestimentos Planos à Base de

Ferritas de Mg-Mn. **Revista Científica Periódica – Telecomunicações**. Volume 05, Número 02, Dezembro, 2002.

SILVA, J. S. G. HEEMANN, G. Eco-Concepção: design, ética e sustentabilidade ambiental. Proc. Of **Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí**. UNIVALI, 2000.

SCHLEHER, D.C. **Electronic Warfare in the Information Age**. London: Artech House, 1999.

WBCDS - **Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. Visão Estratégica Empresarial**. Rio de Janeiro: CEBDS, 2002.

## CAPÍTULO 3

Neste capítulo são destacadas as principais contribuições dessa tese bem como a conclusão do estudo. São indicadas novas perspectivas para o trabalho através de algumas sugestões que podem complementar esse estudo.

### 3.1 Síntese dos resultados

O primeiro objetivo dessa tese – definir o conceito de ecoinovação através de levantamento e avaliar exemplos brasileiros de acordo com sua definição resultou na pesquisa **“Ecoinovação: uma alternativa para o sistema de inovação de produtos e serviços no contexto brasileiro”**. O estudo apresentou um levantamento sobre a definição do conceito de ecoinovação onde foram observadas quinze (15) definições encontradas no período de 1996 a 2009. Foi evidenciado que o principal motivo para o surgimento das ecoinovações é a questão de preservação do meio ambiente, por essa razão não é possível perceber que a ecoinovação está vinculada ao tripé da sustentabilidade na literatura. Foi constatado que a ecoinovação possui quatro (4) dimensões e que as mesmas podem atuar de maneiras distintas umas das outras. Com base nessas definições foi buscado casos de ecoinovações no contexto brasileiro. Foram analisados seis (6) estudos de casos nesse trabalho. Foi observado que as ecoinovações geralmente envolvem uma combinação de elementos que pertencem não somente a uma, mas a várias dimensões simultaneamente. Através de uma análise qualitativa ponderou-se esses casos no intuito de observar o impacto dessas ecoinovações nas dimensões que estão envolvidas. Foi observado que a dimensão do projeto é decisiva para determinar os impactos ambientais da inovação, as outras dimensões também desempenham um papel importante na introdução de ecoinovações de mercado. Como modo de contribuição além de explorar o conceito da ecoinovação na literatura o estudo propoz a agregação do desenvolvimento sustentável ao conceito de modo que o mesmo proporciona-se impactos em todos os tripés básicos que compõem o conceito da sustentabilidade.

O segundo objetivo específico – propor a criação de um produto ecoinovador através da aplicação dos conceitos de ecoeficiência e da filosofia ZERI, resultou no

estudo **“Soluções ecoinovadoras para produtos com base na filosofia ZERI e no conceito de ecoeficiência: uma proposta para a indústria de semijoias”**. A pesquisa mostrou que é possível ecoinnovar, criando novos produtos mais eficientes e processos em cadeia ZERI a partir de resíduos industriais, mesmo sem muitos recursos tecnológicos. Além de impactar positivamente no meio ambiente, as soluções ecoinovadoras tem potencial de geração de emprego e renda nas microempresas das cidades que manufaturam semijoias. Como no caso de Lajeado (RS), estas cidades precisam de estímulo para se desenvolverem e podem alcançar este desenvolvimento de forma mais sustentável. Este resultado também mostrou que o novo conceito da ecoinovação agregado do desenvolvimento sustentável defendido na primeira pesquisa tem total fundamento, visto que foi gerada uma melhoria de emprego e renda para os atuais empregados bem como a possibilidade de contratação de mais funcionários para as atividades além do aumento das receitas da empresa. A produção de botões pode ser considerada eficiente, pois usa um mínimo de recursos e todo o resíduo (tarugos) de uma determinada etapa do processo produtivo de anéis, reduzindo em 10,5% o montante total de resíduos da empresa estudada.

Nos ensaios mecânicos, os botões apresentaram resistência superior a 200N, podendo, portanto, ser utilizados em peças de vestuário. Além da qualidade técnica, os botões agregam valor estético-simbólico às peças da indústria de moda. A produção de botões a partir dos tarugos residuais pode aumentar a eficiência do sistema em 10,5% e as receitas desta margem podem aumentar de 600% a 1000%.

O terceiro objetivo específico – criar uma solução ecoinovadora para a geração de produtos desenvolvidos através do projeto berço-a-berço como alternativa para a redução dos resíduos sólidos resultou na pesquisa “Uma proposta de criação de produtos baseado no projeto berço-a-berço – desenvolvimento de uma solução para os resíduos de casca de arroz”. Este artigo abordou o desenvolvimento de um produto a partir de um resíduo da agroindústria: a casca de arroz. O conceito de projeto adotado foi o berço-a-berço, que considera que o resultado de um processo não pode ser um resíduo a ser tratado, mas sim um fluxo de materiais que são nutrientes biológicos (insumos para a natureza) ou técnicos (insumos a serem reusados no processo). Com base nesta abordagem, foi possível a geração de uma pasta de celulose a base de casca de arroz para a fabricação de caixas de papelão, para serem utilizadas pela Empresa de Correios brasileiros (ECT). Foram



desenvolvidas folhas de papel por polpeamento mecânico, quimomecânico e químico. O processo mecânico usou um desfibrador de discos, onde as cascas de arroz passam entre discos metálicos. O resultado foi uma polpa desagregada. No processo químico, foi feita uma digestão (cozimento) do material em um digestor apropriado, a uma temperatura de até 170 °C e pressão de 7 kgf/cm<sup>2</sup>, juntamente com produtos químicos à base de soda. Assim, as fibras do material são individualizadas. Os protótipos de papelão obtidos pelos três processos foram submetidos a medições e a ensaios mecânicos para avaliar a viabilidade técnica conforme normas vigentes da ABNT. Quanto às características técnicas da polpa de celulose, os testes mostraram que as fibras obtidas são de boa qualidade e servem para fazer embalagens de armazenamento e transporte de produtos. As fibras obtidas por processo mecânico são mais frágeis do que as obtidas por processo químico, mas os resíduos, em menor volume, são mais fáceis de ser tratados. Apesar de gerar fibras bastante resistentes, o processo químico gera efluentes que dependem de tratamento especial, além de necessidade de recuperação química do líquido utilizado. O processo é de baixa complexidade e não oferece riscos ao ambiente ou ser humano, sendo viável para produção em larga escala. Tendo em vista a importância da ECT, se a proposta for adotada pela empresa, pode ser um marco importante para a disseminação de projetos de produtos sustentáveis no Brasil.

O quarto objetivo específico – desenvolver e analisar as características físico-químicas de um compósito ecoinovador elaborado a partir de resíduos de casca de arroz e resíduos de MDF para aplicações de absorvedores de radiações eletromagnéticas resultou na pesquisa “Análise de um material compósito ecoinovador como alternativa para construção de absorvedores de radiações eletromagnéticas”. O novo compósito elaborado a partir de uma abordagem ecoinovadora, constitui uma alternativa aos materiais usados para a produção de absorvedores. Empregando conceitos ecoeficazes aplicados no desenvolvimento de produtos para absorção de radiações eletromagnéticas, respeitados as limitações e características técnicas a que se destina aos atuais, ao contrário dos que são desenvolvidos a partir de materiais sintéticos altamente poluentes, resulta numa compósito sustentável visto que é desenvolvido apenas usando o reaproveitamento de resíduos, não gerando nenhum tipo de emissão.

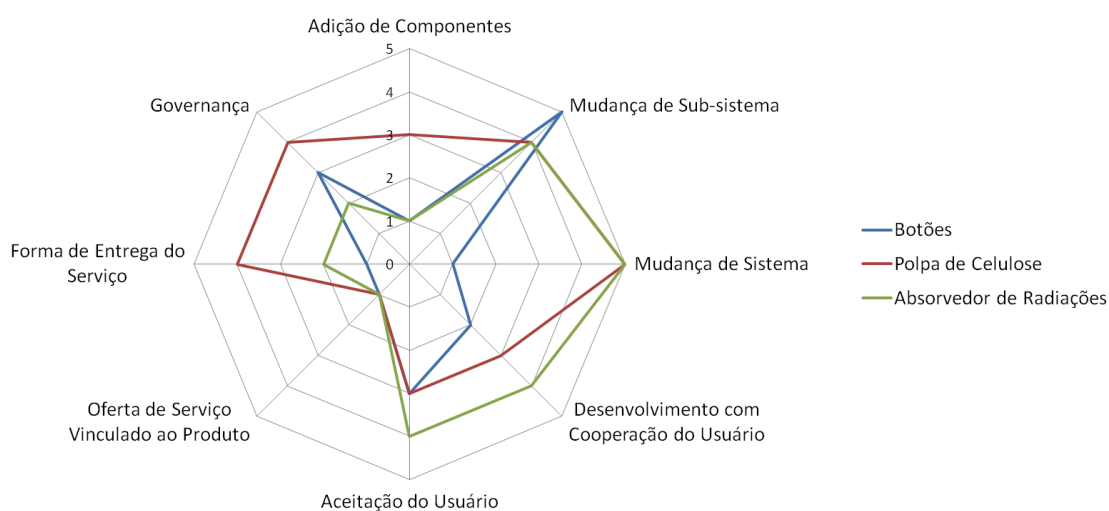
Foram realizados testes e as análises granulométricas, espectrografia fluorescente, espectrografia por difração de ondas, microscópicas de superfície e medições das características dielétricas do compósito ecoinovador. Todos os testes apresentam boas características para a construção de absorvedores de radiações eletromagnéticas conforme as recomendações sugeridas pela norma IEEE Std 1128-1998.

Em relação ao quinto objetivo específico – criar um absorvedor piramidal de radiações eletromagnéticas baseado num compósito ecoinovador resultou na pesquisa “Desenvolvimento de absorvedor de radiações eletromagnéticas a partir de resíduos industriais: uma alternativa ecoinovadora”. O estudo abordou o desenvolvimento de um novo produto de elevada complexidade a partir do uso de resíduos de indústrias alimentícias e moveleiras. Foram realizadas séries de testes de emissão (radiação) e recepção para analisar a performance do absorvedores sobre radiações eletromagnéticas em bandas de frequências utilizadas em sistemas que utilizam a tecnologia RFID, Wi-Fi e 4G. O estudo mostrou que absorvedores piramidais obtiveram um desempenho satisfatório na frequência de 915 MHz resultando em uma diferença de -18,16 dB em relação a chapa refletora de metal utilizada nos ensaios. Os resultados do estudo mostraram que o produto ecoinovador desenvolvido não tem aplicação restrita a banda de frequências de aplicações de RFID's em 915 MHz. O absorvedor piramidal desenvolvido é também adequado para o revestimento de câmaras anecóicas que se destinam a ensaios de antenas nas faixas de RFID, WiFi, WLan, bem como abrange a banda de frequências de dispositivos eletrônicos que utilizam a tecnologia do 4G Foram realizados ensaios de compressão transversal e longitudinal nos absorvedores piramidais para serem determinadas as resistências mecânicas. Os resultados dos ensaios foram satisfatórios e demonstraram que possuem resistência adequada para o manuseio operacional e fixação em superfícies de câmaras anecóica. O novo produto consiste em uma alternativa, respeitadas as limitações e características técnicas, a que se destina, aos atuais existentes no mercado que são fabricados a partir de materiais sintéticos e contribui para a sustentabilidade.

### 3.2 Conclusão

Esta tese objetivou contribuir para o desenvolvimento de produtos empregando o conceito de ecoinovação para a promoção da sustentabilidade de organizações apresentando exemplos de desenvolvimento de produtos baseado em abordagens ecoinovadoras. Foram realizadas cinco pesquisas para obter os resultados esperados. Em três dessas pesquisas foram gerados três produtos inovadores baseados no conceito da ecoinovação, e que podem ser analisadas conforme as dimensões que as caracterizam.

Figura 2 – Análise comparativa das ecoinovações geradas na tese



Fonte: Primária

Analiando as áreas envolvidas das soluções geradas a ecoinovação da polpa de celulose é a que mais se destaca seguido do absorvedor de radiações e por fim dos botões de pedras semipreciosas.

É possível perceber que a abrangência da solução da polpa de celulose através de resíduos de casca de arroz tem um maior impacto no dia a dia das pessoas enquanto que os absorvedores estão voltados mais para os usuários em empresas ou pesquisadores em universidades de centro de pesquisas. Entretanto do ponto de vista da não geração de resíduos o absorvedor de radiações é o que ocupa melhor destaque entre as soluções ecoinovadoras geradas.

É possível perceber que a dimensão do projeto impulsionou o desenvolvimento dessasecoinovações. Outras dimensões como a criação de serviços aos produtos ficou evidenciada no desenvolvimento da proposta da polpa de celulose para a criação de caixas onde o usuário se beneficia de poder usar a caixa para retornar outra mercadoria. A participação do usuário no desenvolvimento foi presente no desenvolvimento dos absorvedores onde pesquisadores da área auxiliaram em busca de bons resultados.

No que tange a questão da governança, o que é importante ressaltar é que o sucesso de qualquer uma dessas alternativas deecoinovação depende também, e muito, do interesse que os governos municipais, estaduais e nacional terão com relação ao desenvolvimento sustentável e tecnológico do Brasil para a utilização dessas alternativas e abordagensecoinovadoras. A utilização do absorvedor de radiações eletromagnéticas baseado na reutilização de resíduos de casca de arroz e MDF, por exemplo, pode não proporcionar um grande volume de vendas, mas alavancará a indústria nacional a utilizar e melhorar o atual produtoecoinovador. Da mesma forma o governo precisa legislar para a utilização da polpa de celulose na produção de caixas de armazenamento e transporte. Nesse específico caso ele pode fomentar a demanda empresa da qual ele é acionário e que utiliza desses produtos, a empresa brasileira de correios e telégrafos. Essas pequenas boas iniciativas podem fomentar a formação de muitas outrasecoinovações no Brasil além de contribuir para o desempenho sustentável.

Fica evidenciado que o agente que precisa executar uma ação imediata é o governo através de leis e marcos regulamentário que impulsionem as boas práticas quando se trata de meio ambiente e sustentabilidade. Muitas empresas utilizam o termo sustentabilidade apenas para criar um boa imagem perante seus clientes, criando relatórios de sustentabilidade que são ricos em preocupações, mas na prática são apenas ideias executadas com o mínimo esforço para se obter um simples resultado. O governo através do poder que lhe é atribuído pode sim tornar de fato práticas de responsabilidades socioambientais presentes no dia a dia cobrando a execução das leis quem já estão em vigor, como é o caso da PNRS, bem como a criação de novas leis que permitam a exoneração fiscal para a comercialização de resíduos sólidos que sejam destinados a substituição da matéria-prima virgem nos processos produtivos atuais.

Outro item importante que se faz necessário para a dissiminação em toda a sociedade é a questão da educação ambiental atingir a grande maioria da população brasileira. O Brasil é um país em que poucas pessoas concluem sua formação educacional, logo, depender da escola e/ou universidade para conscientizar a população em geral é querer tratar o problema no topo da pirâmide social Brasileira. É necessário obrigar os canais de mídia principalmente nos horários nobres a inserir e adaptar em seus programas a presença de boas práticas de modo que esses programas como jornais, novelas, seriados entre outros, eduquem e formem a consciência ambiental que é necessária para de fato atingir a toda a base da pirâmide social brasileira. Não há hipótese que, com essas pequenas ações executadas por parte dos governantes brasileiros, as questões socioambientais serão impulsionadas e todos ganharão com a suas práticas. Muitas novasecoinovações serão desenvolvidas no Brasil e muitos novos conhecimentos serão gerados, muitos novos trabalhos científicos serão pesquisados e publicados nos mais diversos periódicos nacionais e internacionais enriquecendo a comunidade acadêmica nacional e internacional além de consolidar de fato o Brasil como um país preocupado com questões socioambientais, sustentabilidade e sua biodiversidade.

Como contribuição dessa tese para o estado da arte fica o desenvolvimento de três produtos distintos, de baixa, média e alta complexidade, todos utilizando matéria-prima descartada da indústria, e que evoluem de abordagens ecoeficientes, ecoeficazes até o projeto berço-a-berço e com base em princípios da reciclagem até reaproveitamento.

Os resultados dessa tese poderão nortear o desenvolvimento e a otimização de outros produtos ecoinovadores assim como gerar novas ideias para outras pesquisas na área.

### **3.3 Sugestões para pesquisas futuras**

Como sugestões para novas pesquisas é proposto algumas novas abordagens nas pesquisas realizadas.

Em relação à pesquisa **“Uma proposta de criação de produtos baseado no projeto berço-a-berço – desenvolvimento de uma solução para os resíduos de casca de arroz”** sugere-se a realização de novas pesquisas envolvendo a reutilização de resíduos urbanos como alternativa para geração de novos produtos.

Também se sugere já que o assunto é o desenvolvimento de produtos ecoinovadores com base nos resíduos urbanos, a criação de clusters municipais para o recolhimento, armazenamento e beneficiamento dos resíduos como alternativa para a minimização dos custos envolvidos nessa atividade.

Em relação à pesquisa, “**Análise de um material compósito ecoinovador como alternativa para construção de absorvedores de radiações eletromagnéticas**” sugere-se a realização de um DOE analisando volumes e gramaturas dos resíduos de modo a otimizar o compósito desenvolvido.

Em relação à pesquisa, “**Desenvolvimento de absorvedor de radiações eletromagnéticas a partir de resíduos industriais: uma alternativa ecoinovadora**” sugere-se o desenvolvimento de ensaios fixação e revestimento de câmaras anecóicas a fim de observar o comportamento do absorvedor num espaço controlado. Também se sugere a análise de influência da aplicação de uma tinta para o revestimento do absorvedor.

## Referências

ANDERSEN, M. M. Eco-innovation – towards a taxonomy and a theory. In: DRUID Conference - **Entrepreneurship and Innovation – Organizations, Institutions, Systems and Regions**, 2008, Copenhagen.

ARAGÓN-CORREA, J. A. Strategic proactivity and firm approach to the natural environment. **Academy of Management Journal**, v. 41, n. 5, p. 556-567, 1998.

ARUNDEL, A.; KEMP, R. Measuring eco-innovation. **UNU-MERIT Working Paper Series**, 2009.

ARUNDEL, A.; KEMP, R.; PARTO, S. Indicators for Environmental Innovation: What and How to Measure. In: ANNANDALE, D.; PHILLIMORE, J.; MARINOVA, D. (eds.). **International Handbook on Environment and Technology Management**. Cheltenham: Edward Elgar, 2003. p. 324-339.

BARBIERI, J. C. **Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da Agenda 21**. 5. ed. Petrópolis: Vozes, 2002.

BARNEY, J. B. Strategic factor markets: expectations, luck, and business strategy. **Management Science**, v. 32, n. 10, p. 1231-1241, 1986.

BERKHOUT, F.; HERTIN, J.; GANN, D. M. Learning to adapt: organisational adaptation to climate change impacts. **Climatic Change**, v. 78, p. 135-156, 2006.

BUYSSE, K.; VERBEKE, A. Proactive environmental strategies: a stakeholder management perspective. **Strategic Management Journal**, v. 24, n. 5, p. 453-470, 2003.

BURGELMAN, R. A.; MAIDIQUE, M. A.; WHEELWRIGHT, S. C. **Strategic management of technology and innovation**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

CARRILLO-HERMOSILLA, J.; GONZÁLEZ, P. del R.; KÖNNÖLÄ, T. **Barriers to eco-innovation. Eco-innovation: when Sustainability and Competitiveness Shake Hands**. New York: Palgrave Macmillan, 2009. cap. 3, p. 28-50.

COHEN, W. M.; LEVINTHAL, D. A. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. **Administrative Science Quarterly**, v. 35, n. 1, p. 128-152, 1990.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

DOSI, G. Institutions and markets in a dynamic world. **The Manchester School**, v. 56, n. 2, 1988.

EKINS, P. Eco-innovation for environmental sustainability: concepts, progress and policies. **International Economics and Economic Policy**, v. 7, n. 2-3, p. 267-290, 2010.

FOXON, T.; ANDERSEN, M. M. The greening of innovation systems for eco-innovation – towards an evolutionary climate mitigation policy. In: **DRUID Summer Conference - Innovation, Strategy and Knowledge**, 2009, Copenhagen.

FREEMAN, C. The greening of technology and models of innovation. **Technological forecasting and social change**, v. 53, n. 1, p. 27-39, 1996.

FUSSLER, C.; JAMES, P. **Driving eco-innovation: a breakthrough discipline for innovation and sustainability**. London: Pitman Publishing, 1996.

HART, S. A natural-resource-based view of the firm. **The Academy of Management Review**, v. 20, n. 4, p. 986-1014, 1995.

HUBER, J. Technological Environmental Innovations (TEIs) in a Chain-Analytical and Life-Cycle-Analytical Perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, p. 1980-1986, 2008.

JAMES, P. The Sustainability Circle: a new tool for product development and design. **Journal of Sustainable Product Design**, n. 2, p. 52-57, 1997.

JUNG, C. F. **Metodologia para pesquisa e desenvolvimento: aplicada a novas tecnologias, produtos e processos**. Axcel Books, 2004.

KANERVA, M.; ARUNDEL, A.; KEMP, R. **Environmental innovation: using qualitative models to identify indicator for policy**. United Nations University – UNU-MERIT, Working Papers Series, 2009.

KEMP, R.; ARUNDEL, A. **Survey Indicators for Environmental Innovation**. Oslo, IDEA Report, STEP Group, 1998.

KEMP, R.; FOXON, T. J. **Tipology of Eco-Innovation**. In: MEI project: measuring Eco-Innovation. European Commission, ago. 2007.

KÖNNÖLÄ, T.; CARRILLO-HERMOSILLA, J.; GONZALEZ, P. del R. Dashboard of eco-innovation. In: **DIME International Conference – Innovation, sustainability and policy**, sep. 2008, University Montesquieu Bordeaux IV, France.

MENGUC, B.; AUH, S.; OZANNE, L. The interactive effect of internal and external factors on a proactive environmental strategy and its influence on a firm's performance. **Journal of Business Ethics**, v. 94, p. 279-298, 2010.

MILES, M. P.; COVIN, J. G. Environmental marketing: a source of reputational, competitive, and financial advantage. **Journal of Business Ethics**, v. 23, n. 3, p. 299-311, 2000.

NIDUMOLU, R., PRAHALAD, C. K.; RANGASWAMI, M. R. Why Sustainability is Now the Key Driver of Innovation. **Harvard Business Review**, n. 87, p. 56-64, 2009.

NILL, J.; KEMP, R. Evolutionary approaches for sustainable innovation policies: from niche to paradigm? **Research Policy**, n.38, p. 668-680, 2009.



PORTER, M.; van der LINDE, C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. **Journal of Economic Perspective**, v. 9, n. 4, 1995, p. 97-118.

REID, A.; MIEDZINSKI, M. **Eco-Innovation, Final Report for Sectoral Innovation Watch. Brussels**: Technopolis Group, 2008.

RENNINGS, K. **Towards a Theory and Policy of Eco-Innovation – Neoclassical and (Co-) Evolutionary Perspectives**. Discussion Paper n° 98-24. Mannheim, Centre for European Economic Research (ZEW), 1998.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Studio Nobel e Fundação do Desenvolvimento Administrativo, 1993.

SHARMA, S. Managerial interpretations and organizational context as predictors of corporate choice of environmental strategy. **Academy of Management Journal**. v. 43, p. 681-697, 2000.