



# Resíduos Sólidos

Desafios e perspectivas



Organizador  
Rômulo Maziero



# Resíduos Sólidos

Desafios e perspectivas



**Editor Chefe**

Msc Washington Moreira Cavalcanti

**Organizador**

Msc Rômulo Maziero

**Conselho Editorial**

Msc Lais Brito Cangussu

Msc Rômulo Maziero

Msc Jorge dos Santos Mariano

Dr Jean Canestri

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Departamento de arte Synapse Editora

**Edição de Arte**

Maria Aparecida Fernandes

**Revisão**

Os Autores

2020 by Synapse Editora

Copyright © Synapse Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Synapse Editora

Direitos para esta edição cedidos à

Synapse Editora pelos autores.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Synapse Editora.

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A Synapse Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação por parte dos membros do Conselho Editorial desta Editora e pareceristas convidados, tendo sido aprovados para a publicação.



Compartilhando conhecimento

2020

M476r Maziero, Rômulo

Resíduos Sólidos: Desafios e perspectivas / Organizador Rômulo Maziero  
Belo Horizonte, MG: Synapse Editora, 2020, 147 p.

Formato: PDF

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-88890-02-8

DOI: 10.36599/editpa-2020\_res

1. Resíduos sólidos, 2. Engenharia ambiental, 3. Gestão de resíduos  
I. Resíduos Sólidos: Desafios e perspectivas  
II. Organizador Rômulo Maziero

CDD: 620 - 710

CDU: 62 - 628

**SYNAPSE EDITORA**

Belo Horizonte – Minas Gerais

CNPJ: 20.874.438/0001-06

Tel: + 55 31 98264-1586

[www.editorasynapse.org](http://www.editorasynapse.org)

[editorasynapse@gmail.com](mailto:editorasynapse@gmail.com)



Compartilhando conhecimento

**2020**

## **Apresentação**

Atualmente, uma das questões preocupantes da sociedade é o fator utilização e gerenciamento de resíduos sólidos. Grande parte desses são disponibilizados em aterros sanitários, resultando em problemas ambientais e de saúde pública.

A poluição ambiental é algo alarmante, especialmente em relação aos resíduos produzidos por indústrias de grande porte. O uso desses subprodutos como matéria-prima e transformação em novos produtos comercializáveis e/ou de viabilidade econômica, apresenta-se como uma alternativa tecnológica sustentável às empresas e setores públicos.

Neste livro são apresentadas pesquisas relevantes e atuais sobre algumas formas de mitigar os efeitos nocivos dos resíduos sólidos, as tendências e diagnóstico, análise de riscos, gestão integrada, metodologia PDCA, assim como, os custos de acondicionamento, coleta, secagem, processamento, armazenamento e transporte desses resíduos.

***Rômulo Maziero***



Compartilhando conhecimento  
**2020**

# Sumário

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....  | <b>8</b>  |
| RESÍDUO SÓLIDO NA AGROINDÚSTRIA VITIVINÍCOLA E PERFIL DA VINIVITICULTURA NO CERRADO - GOIÁS  |           |
| Danielly Albuquerque Medeiros Rios<br>Francisco José Barroso Rios  |           |
| <b>DOI 10.36599/editpa-2020_res0001</b>  |           |
| <b>CAPÍTULO 2</b> .....  | <b>17</b> |
| RESÍDUOS SÓLIDOS RURAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL: CONTEXTO E PERSPECTIVAS   |           |
| Carin von Mühlen<br>Ricardo Salles Hermann<br>Ramiro Alberto Flores Guzman   |           |
| <b>DOI 10.36599/editpa-2020_res0002</b>  |           |
| <b>CAPÍTULO 3</b> .....  | <b>35</b> |
| ANÁLISE DE RISCOS AMBIENTAIS BIOLÓGICOS CAUSADOS POR RESÍDUOS EM ÁREA COMERCIAL  |           |
| Eduardo Antonio Maia Lins<br>Marina da Conceição Silva<br>Sérgio Carvalho de Paiva<br>Adriana da Silva Baltar Maia Lins<br>Cecília Maria Mota Silva Lins |           |
| <b>DOI 10.36599/editpa-2020_res0003</b>  |           |
| <b>CAPÍTULO 4</b> .....  | <b>44</b> |
| APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E AUMENTO DE VALOR AGREGADO NA PRODUÇÃO DE SÍLICA PARA MATERIAIS COMPÓSITOS E OUTRAS APLICAÇÕES                       |           |
| Fernando Cabral Lage<br>Karina Gabriela Alves de Carvalho<br>Lucas Lima Rodrigues<br>Lara Sibila Serai Edine Lima  |           |
| <b>DOI 10.36599/editpa-2020_res0004</b>  |           |
| <b>CAPÍTULO 5</b> .....  | <b>56</b> |
| DESENVOLVIMENTO AUXILIADO PELA METODOLOGIA DA QUALIDADE PDCA DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS A BASE DE AMIDO MODIFICADO REFORÇADO COM FIBRAS DE COCO        |           |
| Geovana Pires Araujo Lima<br>Joice Kelly Novais<br>Jhonatas Marinho Riqueza<br>Celso Carlino Maria Fornari Junior  |           |
| <b>DOI 10.36599/editpa-2020_res0005</b>  |           |

|   |            |
|---|------------|
| <b>CAPÍTULO 6</b> .....   | <b>77</b>  |
| RESÍDUOS SÓLIDOS DE DIFERENTES FORMAS FARMACÊUTICAS DE ATENOLOL E IMPACTO AMBIENTAL MEDIDO POR ALTERAÇÕES NO PROCESSO DE FERTILIDADE DE MICRO CRUSTACÉOS <i>Daphnia magna</i> |            |
| Luciano Henrique Pinto<br>Suellen Zucco Bez<br>Julia Carolina Soares<br>Bruna Bonfim  |            |
| DOI 10.36599/editpa-2020_res0006  |            |
| <b>CAPÍTULO 7</b> .....   | <b>88</b>  |
| AS VANTAGENS DO BIM NA REDUÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS   |            |
| Rafaelly Morlin Costa<br>Miguel Batista de Oliveira   |            |
| DOI 10.36599/editpa-2020_res0007  |            |
| <b>CAPÍTULO 8</b> .....   | <b>92</b>  |
| DIAGNÓSTICO E TENDÊNCIAS NAS TECNOLOGIAS APLICADAS A RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO  |            |
| Raul Oliveira Neto  |            |
| DOI 10.36599/editpa-2020_res0008  |            |
| <b>CAPÍTULO 9</b> .....   | <b>102</b> |
| GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL EM COMPARAÇÃO COM PAÍSES DESENVOLVIDOS   |            |
| Raul Oliveira Neto  |            |
| DOI 10.36599/editpa-2020_res0009  |            |
| <b>CAPÍTULO 10</b> .....  | <b>115</b> |
| A ABORDAGEM DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM ESCOLAS PÚBLICAS DE ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO NO MUNICÍPIO DE ALEGRE, ESPÍRITO SANTO  |            |
| Juliana Ferreira Scalfoni<br>Luceli de Souza<br>Rômulo Maziero  |            |
| DOI 10.36599/editpa-2020_res0010  |            |
| <b>CAPÍTULO 11</b> .....  | <b>128</b> |
| ANÁLISE COMPARATIVA DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ENTRE AS CIDADES DE BELO HORIZONTE (BRASIL) E MAPUTO (MOÇAMBIQUE): UM LEVANTAMENTO DOCUMENTAL                       |            |
| Maria Aparecida Fernandes<br>Washington Moreira Cavalcanti  |            |
| DOI 10.36599/editpa-2020_res0011  |            |

# RESÍDUO SÓLIDO NA AGROINDÚSTRIA VITIVINÍCOLA E PERFIL DA VINIVITICULTURA NO CERRADO - GOIÁS

Danielly Albuquerque Medeiros Rios  
Universidade de Brasília – UNB, Campus Planaltina  
nielyrios@yahoo.com.br

Francisco José Barroso Rios  
Universidade Federal do Ceará – UFC, Campus do Pici

Giovana Finato Nunes Castelo Branco  
Universidade Federal do Ceará – UFC, Campus do Pici

## RESUMO

A atividade vitivinícola é um dos setores líderes na indústria de processamento de alimentos. Segundo a Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV), o Brasil é o 15º país com maior produção de vinho do mundo (280 milhões de litros), a qual está concentrada principalmente no estado do Rio Grande do Sul. Na sequência vêm as regiões Nordeste e Sudeste. Apesar da pequena participação no cenário nacional, a região Centro-Oeste apresenta potencial para ampliar as áreas de cultivo devido a requisitos favoráveis como as condições climáticas e o solo arenoso com boa drenagem, fatores que auxiliam a atividade de vinivicultura. Apesar do proclamado reduzido impacto ambiental da indústria do vinho, quando comparada a outras atividades agroindustriais, pesquisas têm demonstrado que o cultivo de uvas para suco, e em especial para vinho, está associado a geração de resíduos sólidos no meio ambiente. Tendo em vista essa preocupação, o presente estudo objetivou discutir a importância da gestão de resíduos sólidos no setor da agroindústria vitivinícola, com ênfase no panorama setorial do cerrado no Estado de Goiás. A pesquisa foi realizada em duas etapas. Primeiramente efetuou-se um diagnóstico qualitativo, o qual foi baseado na abordagem e análise dos estudos de geração e gestão de resíduos da atividade vinícola. A base de

dados de pesquisa utilizada foi Web of Science e SciELO Citation Index, tendo como descritores: atividade vitivinicultura, vinho, cerrado, meio ambiente, resíduos sólidos, reciclagem. A segunda etapa envolveu a análise a partir de questionários e visitas técnicas realizadas em quatro vinícolas do Estado de Goiás. Estudos com crescente interesse na utilização de subprodutos da produção de vinhos e do suco de uvas, com descarte e coleta adequada, vêm sendo desenvolvidos para favorecer a metodologia de reutilização, tornando viável a atividade industrial sob o aspecto econômico e ambiental. O Estado de Goiás apresenta um setor industrial de produção de vinhos em expansão, sendo destacados os municípios de Santa Helena, Paraúna, Itaberaí e Cocalzinho de Goiás. A vinícola Pirineus, em Cocalzinho, se dedica à produção de vinho elaborado em pequena escala, fato que gera reduzida quantidade de resíduos, os quais são coletados e utilizados em compostagem destinada à adubação. O estudo observou que a atividade vitivinícola no cerrado é proeminente e que a responsabilidade com a geração de resíduos já consiste uma realidade no planalto central.

### Palavras-chave:

Uva; Vinho; Resíduo sólido; Meio ambiente.

## **ABSTRACT**

*The wine industry is one of the leading sectors in the food processing industry. According to the International Organization of Vine and Wine (OIV), Brazil is the 15th country with the largest wine production in the world (280 million liters), which is concentrated mainly in the state of Rio Grande do Sul. Next, come the Northeast and Southeast. Despite the small participation in the national scenario, the Midwest region has the potential to expand the cultivation areas due to favorable requirements such as climatic conditions and sandy soil with good drainage, factors that help the wine-growing activity. Despite the proclaimed reduced environmental impact of the wine industry, when compared to other agro-industrial activities, research has shown that the cultivation of grapes for juice, and especially for wine, is associated with the generation of solid waste in the environment. In view of this concern, the present study aimed to discuss the importance of solid waste management in the wine agroindustry sector, with an emphasis on the sectorial panorama of the cerrado in the State of Goiás. The research was carried out in two stages. Firstly, a qualitative diagnosis was made, which was*

*based on the approach and analysis of studies on the generation and management of waste from wine activity. The research database used was Web of Science and SciELO Citation Index, having as descriptors: viticulture activity, wine, cerrado, environment, solid waste, recycling. The second stage involved the analysis based on questionnaires and technical visits carried out in four wineries in the State of Goiás. Studies with increasing interest in the use of wine and grape juice by-products, with proper disposal and collection, have been developed to favor the reuse methodology, making industrial activity viable from an economic and environmental point of view. The State of Goiás has an expanding industrial wine production sector, with emphasis on the municipalities of Santa Helena, Paraúna, Itaberaí and Cocalzinho de Goiás. The Pirineus winery, in Cocalzinho, is dedicated to the production of wine made on a small scale, a fact which*

**Keywords:**

*Grape; Wine; Solid waste; Environment.*

## **INTRODUÇÃO**

Na produção de vinho, uma das indústrias mais antigas do mundo (PRETORIUS, 2000), as questões ambientais foram pouco exploradas (BARBER et al., 2009). Apesar de a indústria ser normalmente associada à atraentes imagens de paisagens verdes (DELMAS E GRANT, 2010), o cultivo de uvas e a produção de vinho não são atividades isentas de impacto ambiental (GABZDYLOVA et al., 2009). Com efeito, a indústria influencia o ambiente físico em que opera e, assim, sua viabilidade está indissociavelmente ligada ao impacto e às condições do meio ambiente (SCHALTEGGER E BURRITT, 2000).

O cultivo de uvas é uma das principais atividades econômicas do Brasil. Segundo o Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (dados de maio/2020), no Brasil são cultivados 75.731 hectares com videiras, a maior parte na Região Sul (55.501, que representa 73,29%). Nordeste e Sudeste vêm na sequência, respectivamente, com 10.485 ha (13,85%) e 9.514 ha (12,56 %). A Região Centro-Oeste participa com 200 ha (0,26 %) e cultivo na Região Norte é de apenas 31 ha (0,04%).

Não obstante a pequena participação no cenário nacional, a região Centro-Oeste, em especial o cerrado brasileiro, apresenta potencial para ampliar as áreas de cultivo, tendo em vista que as condições climáticas da região, notadamente a grande amplitude térmica entre o dia e a noite, e o solo arenoso com boa drenagem favorecem à produção de uvas de ótima qualidade, com destaque para as viníferas.

Diante disso, e vislumbrando fornecer um referencial para o nível de comprometimento e gerenciamento ambiental nas indústrias vinícolas, buscou-se fazer uma revisão bibliográfica sobre a geração e a gestão de resíduos da atividade, bem como, junto a uma vinícola especializada na produção de vinhos finos de Goiás, pesquisar a forma de tratamento e a destinação dos resíduos da exploração da cultura e da industrialização do vinho.

### **OBJETIVO**

Discutir a importância da gestão de resíduos sólidos no setor da agroindústria vitivinícola, com ênfase no panorama setorial do cerrado no Estado de Goiás.

### **METODOLOGIA**

A pesquisa foi realizada em duas etapas. Primeiramente efetuou-se um diagnóstico qualitativo, o qual foi baseado na abordagem e análise dos estudos de geração e gestão de resíduos da atividade vinícola. Foi realizado levantamento bibliográfico documentando a geração de resíduos sólidos na produção vinícola, os principais impactos ambientais identificados na atividade vinícola e as medidas de intervenção para controle do impacto gerado. A base de dados de pesquisa utilizada foi *Web of Science* e *SciELO Citation Index*. Os descritores foram: atividade vitivinicultura, vinho, cerrado, meio

ambiente, resíduos sólidos, reciclagem. O período de análise foi estabelecido entre os anos 2000 a 2019. A combinação de termos de busca foi adaptada para otimizar resultados e refletir as características específicas de cada banco de dados.

A segunda etapa da pesquisa envolveu a análise de resíduos sólidos gerados em atividades de vinícolas no Cerrado de Goiás, realizada em quatro vinícolas localizadas no referido Estado, análise a qual foi feita a partir de questionários e visitas técnicas. Os dados levados em consideração foram: dados cadastrais, sistema de vindima, vinificação e gestão de resíduos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise dos estudos de geração e gestão de resíduos da atividade vinícola

Observou-se na pesquisa uma crescente preocupação com o estudo sobre vitivinicultura e resíduos a partir do ano 2015 (Figura 1). No entanto, os estudos apresentaram foco no setor empresarial, uma vez que a maioria dos artigos foi publicada em periódicos de engenharia empresarial e ambiental. Lechinhoski (2015) indicou que a produção de uvas no Brasil entre os anos 2000 e 2010 cresceu 84%, apresentando mais de 1,1 mil vinícolas espalhadas pelo país. No entanto, esses dados de crescimento não acompanham os dados de conhecimento sobre índices de produtividade relacionados com fator ambiental, principalmente considerando o descarte adequado de resíduos gerados nos processos de industrialização.

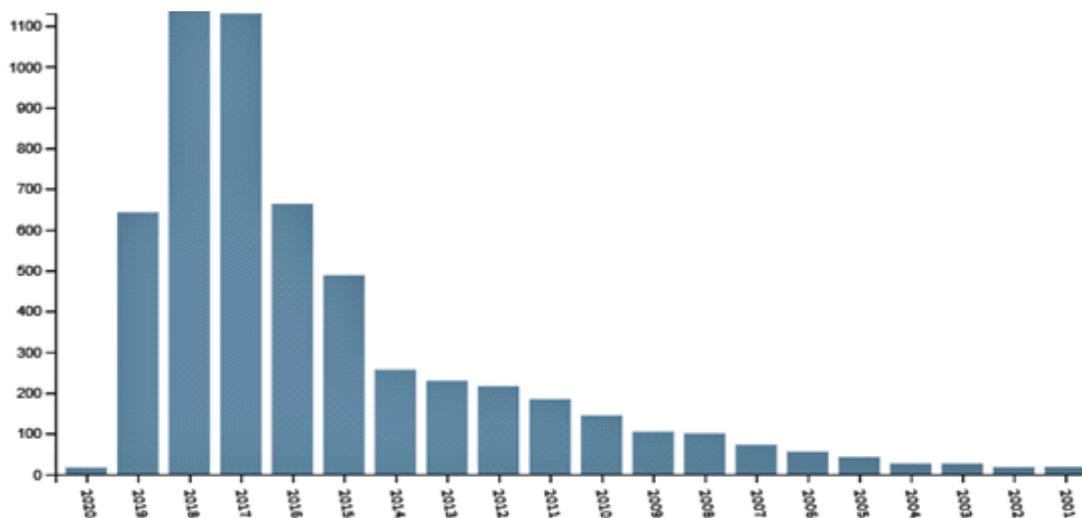


Figura 1: Distribuição de papers relacionados com vitivinicultura e resíduos nos anos de 2001 a 2019. (Gráfico gerado pela plataforma de pesquisa Web of Science).

Fonte: Dos Autores (2020).

Na figura 2 pode-se observar que, apesar da atenção dada ao estudo com vinho e meio ambiente, o conhecimento sobre o reaproveitamento de resíduos sólidos da produção de vinhos mostra-se inferior, fato que desperta para uma maior preocupação com o gerenciamento desses resíduos. Mas também pode refletir que a abordagem da reciclagem esteja contida no estudo ambiental inerente à atividade.

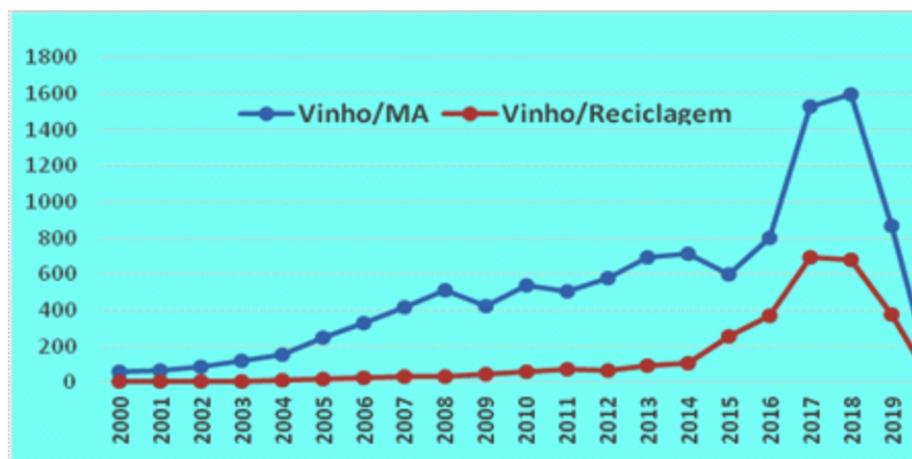


Figura 2: Trajetória de publicações na plataforma *Web of Science* no período de vinte anos, com os indicadores “vinho e meio ambiente” e “vinho e reciclagem”.

Fonte: Dos Autores (2020)

O processo de fabricação do vinho ocorre em sete etapas: recepção de uvas, esmagamento, fermentação, decantação, maturação, filtração e engarrafamento (ANTUNES, 2016). Os resíduos do processo são oriundos da uva (casca, sementes e bagaço), do processamento (biomassa residual como a borra) e do engarrafamento (garrafa e rolha). Oliveira e Duarte (2016) observaram que os resíduos sólidos são produzidos principalmente durante o período da colheita, correspondendo a 74%. Uma tonelada de uva processada produz aproximadamente 0,13 t de bagaço, 0,06 t de borras e 0,03 t de caule. Os resíduos e poluentes gerados no processo produtivo da indústria vitivinícola variam de acordo com a demanda, o período de trabalho e as tecnologias utilizadas (RODRIGUES, A. C et al., 2006).

Diversos fatores estão incluídos no impacto ambiental da produção do vinho: insumos utilizados no cultivo das uvas, gasto de energia pelos equipamentos das viníferas, utilização da água para irrigação, fabricação do vinho, fabricação das garrafas, rótulos e rolhas, transporte do vinho até as lojas, refrigeração do vinho, destino das garrafas, etc.

Os resíduos gerados pela indústria vinícola são descartados, gerando toneladas de subprodutos que poderiam ser aproveitados. Parte desses resíduos são utilizados para fertilizar lavouras e na produção de derivados alcoólicos, ou ainda, na extração de óleo da semente de uva; a outra parte permanece nos estabelecimentos processadores, ocupando espaços ou, quando depositados de forma inadequada, causando degradação ambiental (RIZZON et al., 1999).

Alguns resíduos gerados na vinificação possuem interesse econômico. Pesquisa da Embrapa abordou a utilização do bagaço da uva em forma aquosa ou em pó pelas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética devido ao seu elevado teor de compostos funcionais (BASTOS, A., 2014). De acordo com Silva (2003), dos subprodutos do bagaço podem-se extrair álcool, o folhelho pode ser usado como matéria-prima da indústria do papel e combustível, da grainha aproveita-se para a extração de óleos, taninos e combustível, da borra e dos sarros pode-se recuperar ácido tartárico, dentre outros aproveitamentos. Contudo, mesmo com as diversas potencialidades de usos para os resíduos, eles são, na grande maioria das vezes, desprezados e destinados ambientalmente de forma inadequada.

### **Perfil da viticultura no cerrado de Goiás**

A viticultura ainda é uma atividade recente e, geograficamente, fragmentada no Estado de Goiás, porém crescente e com boas perspectivas de consolidação. Estudo divulgado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae), em parceria com o Instituto Brasileiro do Vinho (Ibravin) e Embrapa Uva e Vinho, aponta que Goiás aparece na lista das principais regiões produtoras de vinhos no Brasil, ao lado do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Bahia, Pernambuco, Espírito Santo e São Paulo.

A atividade de vitivinicultura no Estado de Goiás é considerada em expansão, sendo que encontram-se instaladas fazendas de cultivo de uvas e indústrias nos municípios de Itaberaí, Santa Helena, Paraúna e Cocalzinho de Goiás. Os projetos implantados nestes quatro municípios desenvolvem o cultivo de uvas com foco na produção de vinho e suco de uva. Em Paraúna, Itaberaí e Santa Helena parte da produção é destinada ao mercado regional para o consumo in natura.

As características climáticas do cerrado goiano favorecem o plantio de uva. Com clima tropical sazonal, de inverno seco, com temperatura média anual em torno de 22°C a 23°C, não ocorre indução ao período de dormência da videira, como nas regiões temperadas, o que possibilita a obtenção de duas colheitas por ano. O polo vitivinícola Goiano teve início no município de Santa Helena no final da década de 1990. Os investimentos tiveram início em 2002, com a instalação de parreiras das variedades Isabel, BRS Rúbea e BRS Cora. Em 2004 foi inaugurada a vinícola (PROTAS E CAMARGO, 2011).

A produção instalada no município de Paraúna é dedicada ao suco de uva 100% natural e aos vinhos rosado, branco e tinto (elaborados a partir de variedades das uvas Isabel, Violeta, Niágara e Lorena), e ainda ao vinho produzido com as variedades de uva portuguesa, Touriga Nacional, e francesa, Syrah.

No município de Itaberaí a viticultura foi introduzida em 1997, com o plantio de um parreiral da cultivar Niágara Rosada, visando o mercado de uva de mesa e suco de uva natural. Outro município de crescente desenvolvimento na atividade vinícola é Cocalzinho de Goiás, o qual apresenta duas fazendas de plantação de uva e produção de suco e vinho, sendo esses mais elaborados, premiados e comercializados com perfil econômico distinto.

A presente pesquisa buscou, a partir de visita técnica e entrevistas, fazer um relato da Vinícola Pirineus Vinhos e Vinhedos, localizada na Fazenda Santa Rosa, no município de Cocalzinho, que apresenta cultivo de uva e produção de vinho, destacando sobre geração e gestão de resíduos sólidos oriundos das etapas de cultivo e de produção de vinho.

A Vinícola Pirineus começou a ser projetada no ano 2004. A fazenda Santa Rosa é a unidade onde ocorre o cultivo das videiras. A fábrica denominada Pireneus fica localizada na cidade dos Pirineus, em Cocalzinho de Goiás, a uma distância de 22 Km das espaldeiras de uvas.

O projeto teve início com a construção de reservatório de água para irrigação das uvas, seguido da preparação do solo e instalação de espaldeiras. A técnica de plantio utilizou como porta-enxerto a cultivar Pausen, considerada como planta cavalo, por ser mais resistente a pragas e tolerante a variedades de solos, servindo de base para a enxertia da variedade de uva que será cultivada (Figura 3A). Após implantação do enxerto foram plantadas três qualidades de uvas: Barbera (origem da Itália), Syrah (origem França) e Tempranillo (origem Espanha). A produção é anual, com a colheita realizada entre a segunda quinzena do mês de agosto e a primeira quinzena do mês de setembro, podendo esse ciclo ser alterado de acordo com as condições climáticas.

No cultivo utiliza-se adubo orgânico tratado e adubo químico. Os ramos apresentam formato vertical e os cachos dos frutos ficam na lateral da espaldeira, disposição que facilita sua exposição ao sol (Figura 3B). A irrigação ocorre por gotejamento na base da planta. A fazenda apresenta um olho de água, o qual abastece o reservatório de irrigação. O montante de água represada alimenta as chácaras vizinhas e serve para abastecer tanques de peixe e reservatório para o criatório de gado e outros animais domésticos.



Figura 3: A – Mudas da cultivar Pausen utilizadas como porta-enxerto. B – Cachos de uvas dispostos na lateral da espaldeira. Fonte: Autor do Trabalho.

No processo de plantio do porta-enxerto e das cultivares de uvas foram gerados resíduos como galhos, folhas e resto de solo. A maioria dos resíduos oriundos do cultivo é coletada e incinerada. As folhas são utilizadas como adubo orgânico, assim como os resíduos de frutos podem virar esterco.

A colheita geralmente ocorre no período de 3 às 10h da manhã. A logística das uvas após a colheita para a fábrica ocorre em transporte refrigerado. Uma equipe seleciona as bagas que são conduzidas para o processo de vinificação. O resíduo gerado no processo de fabricação do vinho é geralmente doado para compostagem e utilização como adubo.

Por fim, conclui-se que o gerenciamento dos resíduos na vinícola, objeto desse estudo, evidenciou a preocupação dos administradores com o descarte adequado e atenção com os recursos naturais empregados no processo de cultivo e industrialização do vinho produzido. O armazenamento incorreto de resíduos orgânicos e químicos pode acarretar potenciais impactos na saúde pública e no meio ambiente, bem assim, favorecer a disseminação de pragas associadas à cultura. Devido a essa proposição, torna-se relevante a atenção dos produtores de uva e vinho com relação ao descarte adequado e ao possível reaproveitamento dos subprodutos gerados.

## CONCLUSÕES

Publicações sobre geração e gestão de resíduos de indústria vitivinícolas ainda são pouco significativas. Mas há estudos com crescente interesse na utilização de subprodutos da produção de vinhos e do suco de uvas, com descarte e coleta adequada favorecendo a metodologia de reutilização, tornando viável a atividade industrial sob o aspecto econômico e ambiental.

O Estado de Goiás apresenta um setor industrial de produção de vinhos em expansão, sendo destacados os municípios de Santa Helena, Paraúna, Itaberaí e Cocalzinho de Goiás. A maioria dos produtores de uva comercializam frutas de mesa e suco. A vinícola Pirineus, em Cocalzinho, se dedica à produção de vinho elaborado, ainda em pequena escala, fato que gera reduzida quantidade de resíduos, os quais são coletados e utilizados em compostagem destinada à adubação.

As evidências reais sobre os tipos de informações ambientais coletadas e como essas informações são usadas pelas organizações das vinícolas são escassas. No entanto, essas informações são necessárias para fornecer uma referência para o nível atual de comprometimento e gerenciamento ambiental nas indústrias vinícolas.

## REFERÊNCIAS

- Antunes M, R. O. 2016. Produção do vinho e o tratamento de seus efluentes. Rev. Cient. Sem. Acad. Fortaleza, ano MMXVI, No. 000098. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/producao-do-vinho-e-o-tratamento-de-seus-efluentes>. Acessado em: 21/02/2020.
- Barber, N., Taylor, C., Strick, S., 2009. Wine consumers' environmental knowledge and attitudes: influence on willingness to purchase. *Int. J. Wine Res.* 1, 59-72p.
- Bastos, A. 2014. Bagaço de uva vira alimentos funcionais. Embrapa, disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2235712/bagaco-de-uva-vira-alimentos-funcionais>. Acesso 20/01/2020.
- Delmas, M.A., Grant, L.E., 2010. Eco-labeling strategies and price-premium: the wine industry puzzle. *Bus. Soc.* 20, 1-39p.
- Gabzdylova, B., Raffensperger, J.F., Castka, P., 2009. Sustainability in the New Zealand wine industry: drivers, stakeholders and practices. *J. Clean. Prod.* 17, 992- 998p.
- Lechinhoski, M. 2015. Tratamento Físico-Químico em Efluente de Vinícola de Pequeno Porte. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Oliveira, M.; Duarte, E. 2016. Abordagem integrada dos resíduos da vinícola: geração de resíduos e consolidação de dados. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*. Volume 10, Edição 1, 168-176p.
- Pretorius, I.S., 2000. Tailoring wine yeast for the new millennium: novel approaches to the ancient art of winemaking. *Yeast* 16, 675-729p.
- Protas, J. F. S.; Camargo U. A. 2011. Vitivinicultura brasileira: panorama setorial de 2010. Brasília, DF: SEBRAE; Bento Gonçalves: IBRAVIN: Embrapa Uva e Vinho.
- Rizzon, L. A.; Manfroi, V.; Meneguzzo, J. Elaboração de graspa na propriedade vinícola. 1999. Bento Gonçalves: EMBRAPA UVA E VINHO, v. 24.

Rodrigues, A. C. et. al. 2006. Tratamento de efluentes vitivinícolas: um estudo de caso na região dos vinhos verdes. *Gestão e tratamento de águas - Indústria e Ambiente*. Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt>.

Schaltegger, S., Burritt, R.L., 2000. *Contemporary Environmental Accounting e Issues, Concepts and Practice*. Greenleaf Publishing, Sheffield, UK.

Silva, L.R. 2003. Caracterização dos subprodutos da vinificação. *Spectrum-Millennium – Revista do ISPV*- no. 28.

Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em:

<https://sidra.ibge.gov.br/home/pimpfbr/brasil>

# RESÍDUOS SÓLIDOS RURAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL – CONTEXTO E PERSPECTIVAS

Carin von Mühlen

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
carin.muhlen@uerj.br

Ricardo Salles Hermann

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Ramiro Alberto Flores Guzman

*Medio Ambiente en Debate*

## RESUMO

O presente capítulo discute a gestão de resíduos sólidos de origem rural, centrado nas formas de tratamento dos dejetos produzidos pelo gado bovino. Em termos geográficos, o estudo está focado na situação das populações rurais da região Sul Fluminense que conformam a bacia hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, as quais estão especializadas na produção de gado leiteiro. O texto analisa, em primeiro lugar, os impactos dos resíduos sólidos rurais na qualidade das águas da bacia, que fornece a água potável a grande área metropolitana do Rio de Janeiro. Um segundo aspecto examinado são as diversas tecnologias

existentes para o tratamento dos dejetos bovinos, assim como as escalas e custos de tratamento. Finalmente se estudam as tecnologias existentes e possibilidades econômicas de gerar biogás e outros subprodutos a partir do processo de tratamento do esterco em biorrefinarias. Na parte final, discute-se as melhores alternativas do ponto de vista técnico e econômico de tratamento voltadas a realidade do pequeno e médio produtor leiteiro do Sul Fluminense.

### Palavras-chave:

Resíduo sólido rural; Dejetos de gado; Meio ambiente.

## ABSTRACT

*This chapter discusses the solid waste management in rural areas, centered on the ways of treating cattle manure. In geographic terms, the study is focused on the reality of rural populations from the South Fluminense region that comprises part of the Middle Paraíba do Sul River Basin, who are specialized on dairy cattle. The text analyzes, first, the impacts of rural solid waste on the quality of the waters of the basin, which supplies drinking water to the great metropolitan area of Rio de Janeiro. A second aspect examined is the various existing technologies for the treatment of bovine manure, as*

*well as the scales and treatment costs. Finally, this chapter studied the current technologies of manure treatment and their economic prospects for production of biogas and other by-products in biorefineries. In the final part, the best alternatives of treatment are discussed from the technical and economic point of view, focused on the reality of the small and medium milk producer in the South of Rio de Janeiro.*

### Keywords:

*Rural solid waste; Cattle manure; Environment.*

## **INTRODUÇÃO**

Em pouco mais de meio século, o Brasil experimentou uma profunda transformação demográfica. Passou de ser uma sociedade tradicionalmente rural a uma nação eminentemente urbana. Como resultado, as políticas públicas foram voltadas ao mundo urbano em rápida expansão. Porém, sem resolver os problemas cumulativos do espaço rural, o qual ficou na lanterna das prioridades do poder público.

Essa falta de interesse nas necessidades do universo rural teve seu reflexo mais expressivo no quesito do saneamento. Até hoje, a maior parte da população do campo sofre com água de consumo de qualidade ruim, falta de esgotamento sanitário, e carência de serviços de coleta de lixo. Pior ainda, suas atividades agropecuárias geram quantidades expressivas de poluentes orgânicos e químicos que são despejados nas águas, no solo e no ar, às vezes com um nulo controle.

Esse desleixo com o saneamento rural não só é ruim para a população do campo. Ele também afeta diretamente a qualidade de vida das populações urbanas. As cidades recebem as cargas poluidoras geradas no campo e transportadas nos cursos hídricos. Essa carga eleva os custos de tratamento das águas que serão consumidas pela maior parte de brasileiros que moram nas cidades.

Neste capítulo, será explorado um aspecto dos numerosos problemas do saneamento rural: a destinação dos resíduos sólidos. O cenário dessa pesquisa é a Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. Território caracterizado por uma vocação pecuária voltada a produção leiteira em pequenas propriedades extensivas. A situação dos resíduos sólidos rurais na região da Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul será contextualizada em comparação às diferentes realidades do país, especialmente focado nos dejetos animais. Serão abordadas as principais tecnologias existentes para tratamento desse resíduo no Brasil e no mundo, discutindo-se aqueles sistemas que podem ser utilizados nesse contexto para resolver os problemas da destinação desses resíduos.

### **CONTEXTO DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS RURAIS**

A zona rural gera resíduos sólidos de diversas fontes. Além do esgoto e lixo domiciliares, incluem-se os resíduos da construção civil, embalagens de agrotóxicos e fertilizantes, esterco de animais, insumos veterinários, entre outros, dependendo das atividades realizadas. O resíduo sólido domiciliar (RSD) rural era composto essencialmente por restos orgânicos, mas atualmente, verifica-se um volume crescente de frascos, sacos plásticos, pilhas, pneus, lâmpadas, aparelhos eletroeletrônicos, etc., que se acumulam ou se espalham ao longo das propriedades rurais (PNRS, 2012). Com isso, o RSD rural está cada vez mais similar ao RSD urbano, trazendo as mesmas questões associadas ao seu destino adequado. A classificação de resíduos sólidos segundo a NBR10004 (ABNT:NBR 10004, 2002) envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

Segundo o IBGE, a coleta de lixo rural no Brasil cobre apenas 31,6% dos domicílios. Somado a isso, as práticas tradicionais de destinação dos resíduos, quando eram somente de origem vegetal e animal, ainda são aplicadas por aproximadamente 70% dos domicílios rurais. Essas práticas incluem a queima de resíduos, enterrar ou lançar os resíduos em terrenos baldios, rios, lagos, igarapés e açudes. Considerando uma média subestimada de 0,1 Kg/pessoa/dia de RSD rural em uma população próxima a 30 milhões de habitantes no Brasil, em um ano tem-se a geração de aproximadamente 1,1 milhões de toneladas de RSD. Entretanto, existe uma forte tendência de aumento do RSD rural, a qual se associa à facilidade e ao consumo de energia elétrica em zonas rurais. Ao considerar que a população rural tem o potencial de vir a gerar em média 0,44 Kg/pessoa/dia de RSD, como é observado para municípios de até 20 mil habitantes, projeta-se uma produção aproximada de 5 milhões de toneladas/ano de RSD rural no Brasil (PNRS, 2012).

Na região hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, a situação dos resíduos sólidos não é muito diferente do que é encontrada no restante do país. Segundo SNIS (BRASIL, 2019), da destinação dos resíduos sólidos municipais, 28% são para aterro sanitário, 44% são para aterro controlado, 2% para unidade de compostagem (pátio ou usina) e 26% para lixão. No meio rural, por sua vez, a análise acerca da destinação dos resíduos sólidos mostrou que cerca de 90% dos resíduos gerados na bacia federal é queimado, sendo que o restante enterrado ou jogado em terrenos ou rios (PIRH-PS, 2020). A situação dramática do destino dos resíduos sólidos agrícolas da região do Médio Paraíba do Sul em relação ao Brasil está ilustrado nas Figura 1 e 2. Vale destacar que os estudos apresentados no Plano Nacional de Resíduos Sólidos e no Diagnóstico do Plano de Bacia do Médio Paraíba do sul utilizaram dados do IBGE (2002) para o levantamento da situação dos resíduos sólidos rurais, mas a escassez de dados nesse setor é muito grande.

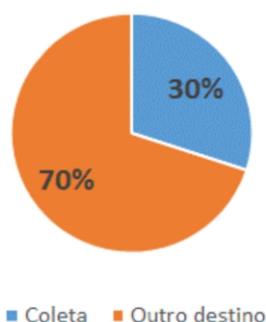


Figura 1: Destino dos resíduos sólidos no Brasil.  
Fonte: Adaptado de IBGE (2002).

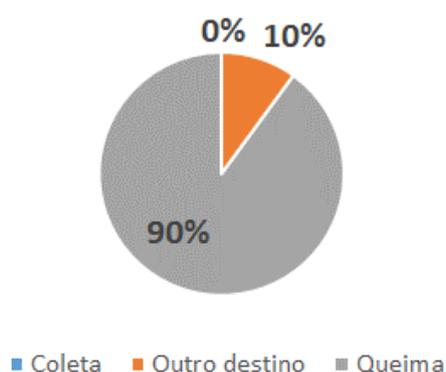


Figura 2: Destino dos resíduos sólidos na Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul.  
Fonte: Adaptado de IBGE (2002).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos apresentada na Lei Federal nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), determina a elaboração do Plano de gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) como condição para os municípios acessarem a recursos federais destinados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos. Este Plano consiste em um diagnóstico sobre a situação atual do conjunto de resíduos gerados no município e define diretrizes, estratégias e metas para serem desenvolvidas as ações (PIRH-PS, 2020). Atualmente, dos 19 (dezenove) municípios abrangidos pela RH-III, apenas o município de Pinheiral possui PMGIRS concluído e os municípios de Resende, Porto Real e Rio das Flores estão em fase de elaboração. Os demais municípios pertencentes a esta região hidrográfica não possuem plano de resíduos.

### **SANEAMENTO RURAL E IMPACTOS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS RURAIS NA QUALIDADE DA ÁGUA**

O Saneamento básico é precário em todo o país. O problema é ainda mais complexo nas áreas rurais. Em 2009, enquanto nas regiões sul e sudeste a rede coletora de esgoto contemplava 48 e 34% da população rural, respectivamente, as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste apresentaram, respectivamente, 24, 16 e 9% do esgoto coletado (IBGE, 2011). Segundo o relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2014; UNICEF/WHO, 2010), os percentuais observados na área rural dessas últimas regiões do país citadas são comparáveis aos de países da África subsaariana. Mesmo que fossem cumpridas as metas previstas no Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), que ainda não está implementado, para resolver o problema no país até 2033, a previsão é que nas áreas rurais os indicadores chegassem, no máximo, a 77% da população com água potável e 62% com coleta de esgotos (COSTA & GUILHOTO, 2014; CARLOS, 2020).

Na região sul Fluminense, onde está localizada a bacia hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, a situação não é diferente. Somados ao impacto ambiental causado pela escassez de saneamento básico da população rural está o impacto ambiental causado pelos dejetos animais. A Região Sul Fluminense é a maior bacia leiteira do Estado do Rio de Janeiro. A região possui mais de dois milhões de cabeças de gado, sendo 2.883 produtores de leite com 36% da produção do estado. Os gases de efeito estufa gerados nessa atividade atualmente não são mitigados (EMATER, 2017). O Rio Paraíba do Sul abastece o Sistema Guandu/Lajes/Acari que é a fonte de água potável para mais de 70% da população da região Metropolitana do Rio de Janeiro, cerca de 8,6 milhões de habitantes. Entretanto, como foi amplamente noticiado na imprensa, a baixa qualidade da água vem comprometendo o abastecimento da capital fluminense. Um dos indicadores importantes da qualidade da água é a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). A atividade pecuária na região Sul Fluminense é crescente e responsável por aproximadamente 20% da DBO lançado na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, sendo uma das principais responsáveis pela baixa qualidade da água da região, somado ao esgoto doméstico (CEIVAP, 2014; PERHI-RJ, 2014; REGUEIRA, 2020).

A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2014) estima que para cada dólar investido em água e saneamento há uma redução de quatro dólares em saúde global. Entretanto, a situação financeira do Estado do Rio de Janeiro historicamente limita significativamente os investimentos necessários no setor, resultando no colapso do sistema de abastecimento de água da cidade do Rio de Janeiro e região metropolitana.

### **Tecnologias existentes para tratamento de dejetos animais**

As estratégias adotadas por diversos países para reduzir o impacto ambiental causado pelos resíduos sólidos nas áreas rurais é muito dependente da composição química dos resíduos, da legislação

vigente, das políticas públicas e do contexto socioeconômico e ambiental da região. Uma estratégia que funciona muito bem em determinado contexto, pode ser um desastre em um contexto desfavorável. Por exemplo, o esterco bovino rico em nitrogênio, como o gerado em regiões europeias, pode ser transformado em fertilizante para solo gerando um produto de valor econômico sustentável, ao passo que o esterco gerado em regiões tropicais, mais pobre nesse nutriente, pode não ser adequado para uso como fertilizante. E o mesmo raciocínio se aplica para qualquer tecnologia que utilize esse material como matéria prima, já que a composição do esterco é muito variável e dependente da alimentação animal e do clima.

Com esse enfoque, aqui são levantadas algumas tecnologias aplicadas em diferentes partes do mundo. De forma geral, elas podem ser classificadas dentro de processos aeróbios, processo anaeróbios e processos termoquímicos (KHOSHNEVISAN et al., 2021).

### **PROCESSOS AERÓBIOS E ANAERÓBIOS**

O uso de esterco animal associado a resíduos agrícolas como fertilizante do solo em lavouras é uma prática milenar, que reduziu sua importância após a introdução da adubação mineral em meados do século 19. No Brasil essa técnica é ainda amplamente utilizada em diversas culturas e regulamentada pela resolução CONAMA 481/2017 (BRASIL, 2017). Recentemente, essa técnica tem se tornado uma nova estratégia para redução de impacto ambiental e aumento dos nutrientes no solo em diversos países, especialmente em áreas rurais mais carentes, onde estratégias para o saneamento rural apresentem custos proibitivos (SAMPAIO et al., 2007; WANG et al., 2020).

Nesse sentido, novos estudos buscam avaliar a melhor estratégia para potencializar a introdução de nutrientes no solo, com redução de impacto ambiental e custo associado ao processo de armazenamento e transporte. Para que os dejetos da produção animal possam ser utilizados como insumo adequado, necessitam de armazenamento e estabilização. Para efeito do estabelecimento da capacidade desta estrutura recomenda-se sempre a adoção da quantidade real de dejetos produzidos em um período de 90 a 120 dias, acrescidos de 20% como margem de segurança. Uma das razões é a disponibilidade de área livre para a aplicação e outra a de efetuar estabilização natural anterior ao seu uso, aumentando, assim, a segurança ambiental. A locação dos depósitos em pontos estratégicos dentro das áreas de utilização minimiza o custo operacional do sistema de distribuição (KONZEN & ALVARENGA, 2005). Entretanto, o tempo de armazenamento é considerado longo e muitas vezes não respeitado pelo produtor rural, e o espaço necessário para essa etapa, pode aumentar o custo da solução.

O uso dessa alternativa é restrito em diversos países, especialmente na União Europeia, incluindo restrições legais devido ao aumento da eutrofização dos recursos hídricos e danos ao solo causados pelo excesso de alguns nutrientes (KHOSHNEVISAN et al., 2021). Dinamarca, como exemplo, é um dos típicos países desenvolvidos com produção considerável de gado e agricultura limitada. O tratamento de esterco na Dinamarca é motivado pela intenção de evitar o escoamento de nutrientes para os reservatórios de água. Uma lei foi criada em 1985 (AGÊNCIA DINAMARQUESA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL, 1985), obrigando os agricultores a ter capacidade de armazenamento de estrume de até nove meses, já que a aplicação de esterco nos solos era apenas permitido em curtos períodos do ano. Essas restrições levaram a Dinamarca e outros países da União Europeia a buscar outras alternativas para o destino do esterco bovino.

| Sistemas de Tratamento                                     | DBO Removido (%) | TDH (dia) | Volume de Vaso (m <sup>3</sup> ) | Pr. Unitário do Biodigestor (R\$) | Custo Implantação/m <sup>3</sup> (R\$/m <sup>3</sup> ) | Área necessária para implantação (m <sup>2</sup> ) | Aproveitamento CH4 em m <sup>3</sup> /dia | Valor de Biogás |
|--|------------------|-----------|----------------------------------|-----------------------------------|--|--|---|-----------------|
| Lagoas Facultativas  | 60               | 120       | 400                              | 40.000,00                         | 100,00   | 220  | 0   | 0               |
| Lagoas Anaeróbias Com Lagoa Facultativa                    | 70               | 90        | 300                              | 95.000,00                         | 317,00   | 170  | 0   | 0               |
| Lagoas Aeradas de Mistura Completa com Lagoa de Decantação | 70               | 60        | 200                              | 120.000,00                        | 601,00   | 110  | 0   | 0               |
| Reator com Lodo Ativado                                    | 70               | 50        | 167                              | 80.000,00                         | 480,00   | 82   | 0   | 0               |
| Filtros Biológicos   | 70               | 50        | 167                              | 50.000,00                         | 300,00   | 82   | 0   | 0               |
| Reator de Lagoa Coberta                                    | 70               | 35        | 117                              | 30.000,00                         | 257,00   | 60   | 90  | 6.750,00        |
| Reator Anaeróbio de Leito Fixo                             | 75               | 35        | 117                              | 55.000,00                         | 472,00   | 60   | 80  | 6.000,00        |
| Reator Anaeróbio de Manta de Lodo                          | 80               | 30        | 100                              | 55.000,00                         | 551,00   | 50   | 100                                       | 7.500,00        |
| Reator UASB  | 85               | 20        | 67                               | 41.000,00                         | 616,00   | 35   | 120                                       | 9.000,00        |
| Reator CSTR  | 95               | 15        | 50                               | 51.000,00                         | 1.021,00   | 20   | 173                                       | 12.975,00       |

Quadro 1: Eficiência e características de diferentes sistemas empregados para saneamento rural, considerando 100 cabeças de gado com um total de 3.000 kg/dia de esterco.  
Fonte: Dos Autores (2020).

Podemos observar no Quadro 1 características de diferentes sistemas de tratamentos rurais, considerando um dimensionamento econômico aproximado para cada processo, nos valores de mercado atuais de materiais, equipamentos e mão de obra (setembro de 2020) da bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. Para fins comparativos, os dados foram levantados considerando uma propriedade com 100 cabeças de gado com um total de 3.000 kg/dia de esterco, com uma vazão de dejetos tratados de 3,3 m<sup>3</sup>/dia para todos os sistemas. Além do conhecimento de campo dos autores, extensas entrevistas com produtores rurais, extensionistas, técnicos e empresários do setor reforçam e corroboram o ensinamento de ABBASSI-GUENDOUZ et al. (2012), onde as características do sistema anaeróbio são determinantes na produção de biogás, biofertilizante e, conseqüentemente, na geração de novas receitas.

As lagoas de estabilização ou **Lagoas Facultativas** são locais para tratamento de efluentes, por processos químicos e biológicos, com o objetivo de reter a matéria orgânica e gerar água com qualidade para retornar ao meio ambiente. São lagoas constituídas de forma simples onde os resíduos entram em uma extremidade e saem na oposta e são chamadas assim por possuírem uma zona facultativa de caminhos metabólicos com a presença de bactérias anaeróbias e aeróbias responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. Quando operadas em apenas uma fase são conhecidas como esterqueiras e representam a maior quantidade de sistemas utilizado nessa região (cerca de 90% das propriedades rurais). São esterqueiras que podem possuir lonas impermeabilizante, ou não, podendo serem feitas diretamente, no solo nu. Outras são feitas com alvenaria e grande parte delas são subdimensionadas não permitindo a degradação orgânica dos rejeitos (VON SPERLING, 1996).

**Lagoas Anaeróbias associadas a Lagoas Facultativas** formam um sistema de tratamento também simples com uma lagoa que se caracteriza por não apresentar oxigênio dissolvido abaixo da superfície da água. Conseguimos observar alguns desses sistemas no Vale do Rio Paraíba do Sul e mesmo no Vale do Rio Preto. Apesar de sua simplicidade e maior eficiência do que o sistema anterior raramente são observados. Esse tipo de sistema é largamente utilizado na região de Gaurama-RS. Nesses sistemas os gases produzidos são diretamente liberados na atmosfera.

**Lagoas Aeradas de Mistura Completa com Lagoa de Decantação**, é um sistema que requer menor área quando comparada com as lagoas de estabilização sem aeração (facultativa e anaeróbia), além de apresentar maior simplicidade de operação do que o sistema de lodos ativados e suas variantes. Mesmo assim, não é um processo de baixíssimo custo, pois consome energia elétrica, demanda controle operacional e gera mais lodo do que as lagoas de estabilização (VON SPERLING, 1995).

**Reator com Lodo Ativado**, o processo é constituído de duas unidades: o tanque de aeração e o decantador secundário. No tanque de aeração ocorre a decomposição aeróbia do substrato orgânico solúvel e a formação de flocos biológicos para posterior sedimentação no decantador secundário. A elevada concentração de biomassa no tanque de aeração é mantida através da recirculação dos sólidos sedimentados no decantador secundário, possibilitando a maior permanência da biomassa no sistema e a garantia de uma elevada eficiência na remoção da matéria orgânica. É um sistema pouco utilizada na área rural em geral (JR SANT'ANNA, 2013).

A parcela dos sólidos sedimentados e não recirculados é removida do processo, o que caracteriza a produção excedente de lodo (lodo secundário). Da mesma forma que o lodo primário, o lodo secundário deve ser espessado, estabilizado e desidratado. O tanque de aeração é dotado de dispositivos de aeração (ar difuso ou aeradores superficiais) para o fornecimento do oxigênio necessário ao processo de estabilização biológica aeróbia. O decantador secundário apresenta configuração similar ao decantador primário. O processo de lodos ativados pode ou não ser precedido do tratamento primário (CHERNICHARO, 2016).

**Filtros Biológicos** são constituídos de um leito que pode ser de pedras, ripas ou material sintético. O efluente é lançado sobre este por meio de braços rotativos e percola através das pedras (ou outro material) formando sobre estas uma película de bactérias. O esgoto passa rapidamente pelo leito em direção ao dreno de fundo, porém a película de bactérias absorve uma quantidade de matéria orgânica e faz sua digestão mais lentamente. É considerado um processo aeróbio uma vez que o ar pode circular entre os vazios do material que constitui o leito fornecendo oxigênio para as bactérias. Quando a película de bactérias fica muito espessa, os vazios diminuem de dimensões e a velocidade com que o efluente passa aumenta, devido a isso surgem forças cisalhantes que fazem com que a película se desgarre do material (NETTO, 1998).

Nos **Filtros biológicos de baixa carga**, a matéria orgânica é estabilizada biologicamente pela ação de organismos aeróbios que apresentam capacidade de aderência a um meio suporte inerte (pedras e plástico). Os esgotos são aplicados na superfície do filtro biológico e escoam, em sentido descendente, através dos espaços vazios existentes no meio suporte. Segundo a trajetória percorrida, os esgotos entram em contato com a biomassa aderida (biofilme), sendo a parcela solúvel da matéria orgânica decomposta aerobicamente. O biofilme aderido ao meio suporte cresce à medida que o oxigênio (gradiente de temperatura entre o interior do reator e ambiente externo) e o substrato orgânico são disponibilizados. A indisponibilidade de oxigênio e de substrato para os organismos inicialmente estabelecidos no biofilme causa o seu desprendimento do meio suporte e a formação do

floco biológico para posterior remoção no decantador secundário. O processo de filtração biológica aeróbia deve ser precedido de tratamento primário (JR SANT'ANNA, 2013).

Os **Filtros biológico de alta carga** são menos eficientes do que sistemas de filtros biológicos de baixa carga e o lodo não sai estabilizado. A área ocupada é menor e a carga de DBO aplicada é maior. Há uma recirculação do efluente para que mantenha os braços distribuidores funcionando durante a noite, quando a vazão é menor e, evitando assim que leito seque. Com isto há também um novo contato das bactérias com a matéria orgânica, melhorando a eficiência. Uma outra forma de aumentar a eficiência é colocando filtros biológicos em série. Há diferentes formas de combinar os filtros e a recirculação de efluentes (VON SPERLING, 1995). São filtros também pouco encontrados na zona rural, e quando o são também recebem a alcunha de “fossa suja” ou sumidouro, construção enterrada no solo e concebida para receber os dejetos animais após passarem por uma esterqueira, ou lagoa facultativa.

Os primeiros **Reatores Anaeróbios de Leito Fixo** foram denominados **Filtros Anaeróbios**. Os estudos sobre este tipo de reator iniciaram-se com a publicação de Young & McCarty (1969). Eles operaram um filtro alimentado por esgoto sintético e obtiveram uma eficiência superior a 80% em termos de redução de DBO (ABREU & ZAIAT, 2008).

A retenção de biomassa ativa no interior de reatores anaeróbios é fator decisivo para o sucesso do processo de tratamento. Segundo ABBASSI-GUENDOUZ et al. (2012), a eficiência no tratamento e na produção de biogás da digestão anaeróbia pode ser afetada por fatores químicos, físicos e biológicos, que principalmente estão relacionados com o substrato, com as características do digestor ou com as condições de operação e ambientais, por exemplo: o modelo do biodigestor, inóculo, o tipo de biomassa, quantidade/volume de biomassa, alcalinidade e temperatura.

A perda da biomassa com o efluente influencia negativamente o desempenho do tratamento. Uma forma de se evitar essa perda é sua imobilização em material suporte, formando os biofilmes, ou leitos biológicos fixos no reator. Assim, desvincula-se efetivamente o tempo de retenção celular do tempo de detenção hidráulica, havendo uma maior permanência dos microrganismos no reator. Diversas configurações de reatores foram estudadas ao longo dos anos, no entanto as buscas por novas alternativas ainda se fazem necessárias.

Apesar de ainda não ter sido observado na região objeto do presente capítulo, o **Reator Anaeróbio de Leito Fixo** ou **RALPF** aparece como uma alternativa ao reator UASB (Upflow anaerobic sludge blanket), que costuma apresentar problemas relacionados à perda de sólidos com o efluente e que, se comparados a outros sistemas de tratamento, tem sido bastante estudado (ABREU & ZAIAT, 2008).

No tipo básico de **Reator Anaeróbio de Manta de Lodo**, como um Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente a biomassa cresce dispersa no meio formando pequenos grânulos. A concentração de bactérias é bastante elevada formando uma manta de lodo. O efluente entra na parte inferior do reator e possui fluxo ascendente. A área deste sistema é bastante reduzida devido à alta concentração das bactérias. A produção de lodo é baixa e este já sai estabilizado. Os maus odores podem ser evitados com um projeto adequado (LOBATO, 2011).

Sua forma básica é observada em algumas propriedades da região, construídos em alvenaria em duas sessões. Um decantador, na forma de pré-tratamento, é acoplado anteriormente ao reator propriamente dito.

O **UASB** – (do inglês - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), dentre os modelos de reatores anaeróbios é um dos mais indicados, por sua eficiência, e por possuir o melhor benefício econômico, ambiental e

social. Trata-se de um equipamento construído para tratamento de efluentes líquidos com baixa, média ou alta carga orgânica podendo ser utilizado para efluentes domésticos e industriais.

O município de Valença no Estado do Rio de Janeiro, com o maior rebanho de gado leiteiro da região e em função da sua geomorfologia e distribuição urbana, optou pela opção do UASB (Figura 3) e por um sistema de tratamento de esgoto descentralizado, onde as estações de tratamento de esgoto doméstico (ETE) são separadas por loteamento residencial. Nesse modelo de planejamento, a administração municipal condiciona o licenciamento ambiental de empreendimentos de loteamento residencial de médio padrão à construção da ETE pelo empreendedor, para, posteriormente, ser operada pela municipalidade (HERMANNY et al., 2020).



Figura 3: Biodigestores Modelo UASB utilizado no município de Valença e uma zona urbana.  
Fonte: Dos Autores (2020).

Esse sistema é um reator utilizado para pequenas e grandes vazões para efluentes domésticos na cidade de Valença passando também a ser utilizado para o saneamento rural conjuntamente com o Modelo Indiano (Figura 4).



Figura 4: Biodigestores Modelo Indiano utilizado na zona Rural.  
Fonte: Dos Autores (2020).

O processo convencional de lodos ativados aeróbios é utilizado para fins domésticos de tratamento de águas residuais há mais de 100 anos (WAN et al., 2016). No entanto, o tratamento anaeróbio, com estudos mais recentes, e como no caso de Valença, RJ, Brasil, tem atraído atenção positiva para esses mesmos fins. Isso se deve ao fato de que balanços energéticos para tratamentos com DA são bastante favoráveis, devido à recuperação de energia com o biogás e recuperação de nutrientes, na forma de biofertilizante. A não utilização de energia elétrica para a aeração necessária no sistema aeróbio, a produção mínima de lodo, pequenas exigências de espaço e a produção de biogás e/ou energia elétrica também justificam a DA para tratamento dessas águas (WAN et al., 2016).

Tanto na região ora estudada, como em todo Brasil, é um reator que ficou famoso por sua versão para esgotamento sanitário. No campo já vem sendo utilizado como produto de biogás após eficiente pré-tratamento e separador de fases líquida-sólida. Possui grande capacidade de remoção de DBO e DQO, além de ótima performance na geração de gás. Apresenta ainda um TDH de 8 (oito) horas considerado baixo para efluentes com grandes cargas de DBO e DQO. Requer pequenos espaços para instalação e seu custo, como o de manutenção, é o menor no seguimento para tratamento de esgoto doméstico. Sua operação requer baixo nível técnico. Não é adequado para insumos sólidos, semissólidos e de prolongada degradação (HERMANNY, 2019).

O **CSTR – *Continus Strike Tank Reactor*** é um tanque agitado com escoamento contínuo e sem acúmulo de reagentes ou produtos e é operado com a agitação constante, controle de temperatura e regime contínuo de abastecimento. É indicado para as mais variadas biomassas sólidas, pastosas e líquidas, com tecnologia para digestão anaeróbica de alta performance. O biodigestor CSTR é baseado num fluxo contínuo de entrada de biomassa fresca misturada de forma contínua e otimizada em seu interior, que trabalham em temperatura controlada, gerando uma alta produção de biogás (KUCZMAN, 2018).

Um dos biodigestores mais encontrado em áreas rurais, se não for o mais encontrado, o Biodigestor de Lagoa Coberta ou BLC, é muito empregado em propriedades rurais devido a produção animal. Normalmente instalado por meio de um tanque escavado no solo, é impermeabilizado e coberto com um material geossintético, produto feito com polímero sintético ou natural, em forma de manta ou como PVC (policloreto de vinil), PEAD (Polietileno de Alta Densidade), entre outros. Este modelo é considerado de baixo nível tecnológico e se caracteriza pela baixa permeabilidade de fluídos e gases. Seu formato geralmente é retangular, mas a inclinação e a instalação dependem das características do solo de cada propriedade (CIBIOGÁS, 2020).

## **BIOGÁS E PRODUÇÃO ENERGÉTICA**

O aproveitamento do biogás para a geração de energia elétrica, energia térmica e biometano vem ganhando espaço no Brasil e no mundo. Estudo desenvolvido pela Associação Brasileira de Biogás e Biometano - ABiogás, em 2018, indicou que o Brasil é o país com o maior potencial de produção de biogás do planeta, cerca de 84,6 bilhões de metros cúbicos/ano (ANEEL, 2008; CIBIOGÁS, 2020; IRENA, 2020).

Apesar dos investimentos dos produtores rurais em sistemas para geração de biogás e produção anaeróbia de biofertilizante ter aumentado nos últimos anos, uma média 41% ao ano entre 2017 e 2019 (CIBIOGÁS, 2020), o retorno financeiro ainda não é suficientemente atrativo para aumentar a escala ao ponto de afetar os indicadores de saneamento rural necessários à melhoria da qualidade da água. Isso ocorre porque as soluções tecnológicas apresentadas nesse mercado são destinadas

apenas à produção de biofertilizantes ou à produção de biogás com baixo poder calorífico, o que são produtos pouco atrativos comercialmente e para a geração de energia elétrica de forma competitiva, apesar de ser um mercado crescente.

Das fontes para produção de energia, o biogás é uma das mais favoráveis ao meio ambiente. Sua aplicação permite a redução dos gases causadores do efeito estufa e contribui com o combate à poluição do solo e dos lençóis freáticos. Isto porque o biogás é obtido da biomassa contida em dejetos (urbanos, industriais e agropecuários) e em esgotos.

A agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015) impulsionou o desenvolvimento de políticas públicas e legislação cadenciada no Brasil para atender aos indicadores em escala nacional. Entretanto, o Brasil já estava avançado no direcionamento legal, especialmente após a Rio 92. O processo de conversão de dejetos animais em biogás, biometano e também em energia elétrica é exigida e estimulada por robusta legislação. Em 2008, a Aneel autorizou a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (Copel) a implantar projeto-piloto para a compra da energia excedente produzida em pequenas propriedades rurais do Paraná a partir de dejetos de animais. Chamado Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental, posteriormente regulamentado pela Resolução Normativa Aneel nº 390/2009 (BRASIL, 2009) e Resolução Normativa nº 482/2012 (BRASIL, 2012), ele permite a utilização do material orgânico resultante da criação de suínos, evitando o seu lançamento em rios e em reservatórios como o da usina hidrelétrica de Itaipu. Os resíduos são transformados, por meio de biodigestores, em biogás, combustível usado na produção de energia elétrica. Por decisão da Aneel, a potência instalada máxima dos empreendimentos incluídos no programa era de 300 kVA (quilovolt-ampere), que equivale a 270 quilowatts (kW). Esta potência é suficiente para abastecer 60 unidades consumidoras residenciais com consumo mensal médio de 150 kW (ANEEL, 2008).

O programa Federal RenovaBio foi instituído para ser uma Política Nacional de Biocombustíveis, instituída pela Lei nº 13.576/2017 (BRASIL, 2017). O principal instrumento do RenovaBio é o estabelecimento de metas nacionais anuais de descarbonização para o setor de combustíveis, de forma a incentivar o aumento da produção e da participação de biocombustíveis na matriz energética de transportes do país. Também destacam-se, em escala Nacional, o artigo 225 da Constituição Federal (BRASIL, 1988), a Lei nº 11.445 – Política Federal de Saneamento Básico (BRASIL, 2007); a Lei nº 9.433 – Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997); a Lei nº 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010); as Resoluções da Agência Nacional do Petróleo nº 8/2015 (BRASIL, 2015) e nº 21/2016 (BRASIL, 2016) sobre a Geração e Comercialização de Biogás, dentre outras.

Quanto ao mercado do biometano e do biogás no Brasil, em levantamento realizado pela CIBIOGÁS em 2019, foram contabilizadas 548 plantas de biogás, sendo que destas 521 encontram-se em operação para fins energéticos, produzindo um total de 1,3 bilhões de metros cúbicos/ano, representando 95% das plantas identificadas. Os dados indicaram que 78% das plantas em operação no Brasil em 2019 foram classificadas como de pequeno porte, ou seja, produzem até 1 mi Nm<sup>3</sup> de biogás por ano, porém, essas plantas representam apenas 9% do volume total de biogás produzido. O maior volume de biogás é produzido por plantas de grande porte alcançando 77%, apesar de representarem apenas 6% do total de plantas brasileiras (CIBIOGÁS, 2020).

A principal fonte de substrato utilizada para produção de biogás em sistemas de biodigestão no Brasil é a agropecuária, representando 80% das plantas em operação no país, por outro lado, sua contribuição no volume total de biogás do país é de 12%. As plantas responsáveis por 76% do biogás produzido no país são plantas que processam resíduos sólidos urbanos ou efluentes de estações de

tratamento de esgoto, representando apenas 8% das plantas em operação. Quanto à produção de biometano, foram identificadas 9 plantas no Brasil, sendo que no Estado do Rio de Janeiro foi implantada uma planta em 2015 em São Pedro da Aldeia e outra em 2018 em Seropédica, ambas utilizando resíduos sólidos urbanos como substrato (CIBIOGÁS, 2020).

O Crescimento de plantas no Brasil de 2014 a 2019 tem sido exponencial. O número de plantas em operação entre 2014 a 2017 apresentou um crescimento médio de 31% a.a., no entanto, entre 2017 a 2019 esse aumento passou a ser de 41% a.a. Analisando o período de 2018 a 2019, o crescimento foi de 31% a.a. Assim como a quantidade de plantas, o volume de biogás produzido aumentou expressivamente nos últimos anos. De 2014 para 2015 o crescimento foi de 65% no volume de biogás. Já entre 2015 a 2018 o crescimento médio do volume de biogás produzido com fins energéticos foi de 13% a.a. De 2018 para 2019, o índice de crescimento voltou a aumentar, atingindo 36% a.a. O potencial nacional de produção de biogás calculado pela ABioGás em 2018, era de 84,6 bilhões de Nm<sup>3</sup>/ano. Considerando o atual cenário de produção de 1,3 bi de Nm<sup>3</sup>/ano, que equivale a 1,5% do potencial nacional, constata-se que a cadeia do biogás no Brasil tem uma oportunidade de expansão de 98,5%. Se associarmos esses dados ao potencial de mercado regional, considerando apenas a produção leiteira de pequeno e médio porte, o cenário para aplicação dessa tecnologia é muito promissor (EMATER, 2017; CIBIOGÁS, 2020).

## PROCESSOS TERMOQUÍMICOS

Devido a restrição imposta em alguns países para o destino adequado dos resíduos rurais, a conversão térmica do material em produtos com maior valor agregado tem se mostrado uma alternativa viável. Esse tipo de tecnologia está dentro do escopo das biorrefinarias. A biorrefinaria, da mesma forma do que ocorre com a refinaria de petróleo, deve ser baseada em processos que continuamente convertem matéria-prima em produtos mais sofisticados e com maior valor agregado (RODRIGUES, 2011). Apesar do alto custo de implantação do processo, devido a tecnologia envolvida, os produtos gerados podem ter valor de mercado que compense o investimento inicial, dependendo da realidade regional.

Os processos de conversão termoquímica são processo de reforma química de alta temperatura, com formação de bio-óleo, gás de síntese e biochar como produtos finais. Os processo de conversão termoquímica podem ser realizados por meio de combustão, gaseificação, pirólise, liquefação hidrotérmica e carbonização hidrotérmica. Cada método tem suas próprias vantagens e desvantagens. Por exemplo, o bio-óleo gerado por pirólise rápida na pressão atmosférica e altas temperaturas tem um alto teor de oxigênio e um baixo conteúdo de energia, levando a uma baixa estabilidade térmica. Por outro lado, o bio-óleo de liquefação hidrotérmica tem um menor teor de oxigênio e um maior teor de energia enquanto os processos devem ser realizados em altas pressões, na faixa de 7–25 Mpa. Além disso, o alto teor de umidade, viscosidade, teor de cinzas, teor de oxigênio e acidez ou corrosividade são outras características indesejáveis que dificultam o uso generalizado desse processo (BRIDGWATER, T., 2006; KHOSHNEVISAN et al., 2021).

Atualmente o Brasil conta com diversos grupos de pesquisa focados no estudo de biorrefinarias, tanto de primeira geração, que utiliza alimentos como matéria prima, quanto de segunda e terceira geração, que utilizam resíduos agrícolas e plantas não alimentícias, e algas, respectivamente (RODRIGUES, 2011; MACHADO, 2013; SCHENA et al., 2019). Estudos recentes de pesquisadores brasileiros têm demonstrado a aplicação do processo de pirólise em micro e macro escalas, para produzir bio-óleo e o biocarvão a partir da biomassa de esterco bovino (SANTANA, 2017).

Entretanto, a maior parte dos empreendimentos brasileiros existentes são para produção em grande escala devido aos custos do processo. Considerando que zona rural da Região do Médio Paraíba do Sul é composta essencialmente por pequenos e médios produtores, a aplicação dessa tecnologia nessa região seria limitada.

Em comparação com outras tecnologias de conversão termoquímica como combustão e pirólise, a gaseificação é considerada mais promissora, pois oferece uma eficiência substancialmente maior, embora isso dependa de vários fatores, incluindo tipo, tamanho e configuração do sistema de conversão termoquímico, bem como a qualidade dos materiais de alimentação. Existem vários tipos de gaseificadores categorizados como leito fixo, leito fluidizado, fluxo arrastado e gaseificadores de plasma. A tecnologia da gaseificação tem alto potencial para ser aplicada no tratamento de estrume de gado porque tem a capacidade de processar uma grande variedade de matéria-prima e obter vários produtos com alto valor agregado (como gás de síntese, gás de combustão). Contudo, uma grande limitação da tecnologia de gaseificação é a presença de alcatrão no gás de síntese e outros contaminantes, como fuligem, que requerem métodos especiais de tratamento e equipamentos caros para sua remoção. A formação de fuligem pode levar a depósitos sólidos em motores a gás (KHOSHNEVISAN et al., 2021).

A combustão, como outra tecnologia para o tratamento de dejetos de gado, envolve a queima de biomassa em uma caldeira para produzir calor e eletricidade. Essa técnica tem sido aplicada há milhares de anos, especialmente em locais onde não há disponibilidade de madeira. Durante este processo é produzido vapor, que pode ser usado para alimentar uma turbina a vapor para geração de eletricidade ou caldeiras. Os gases de combustão ( $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ) são gases de exaustão que são liberados para a atmosfera durante a combustão. Como a tecnologia de gaseificação, existem diferentes tipos de sistemas de combustão de acordo com a configuração, tamanho e qualidade do vapor ou calor produzido. Assim como no processo de gaseificação, a combustão também é caracterizada pela formação de depósitos carbonáceos, que são um dos fatores limitantes para o bom funcionamento do sistema (OSHIRO, 2015; KHOSHNEVISAN ET AL., 2021). Apesar de estudos comprovarem a aplicabilidade técnica e econômica dessa tecnologia em pequena e média escala, os gases liberados no processo não são adequadamente tratados, o que limita a aplicação do ponto de vista ambiental.

## **ESTRATÉGIAS ADOTADAS ATUALMENTE PARA A REDUÇÃO DO IMPACTO CAUSADO PELOS DEJETOS ANIMAIS NA REGIÃO**

No Brasil, as estratégias desenvolvidas para mitigar o impacto ambiental causado pelos resíduos sólidos na área rural foram tradicionalmente focados em tecnologias de baixo custo. Mas sua implementação terminou sendo lenta e pouco efetiva pois não ofereceu algum incentivo econômico atrativo para o produtor rural abraçar os planos propostos. Pior ainda, como os limitados recursos municipais são voltados de forma prioritária aos problemas de saneamento urbano, a fiscalização da destinação dos resíduos sólidos rurais terminou bastante comprometida.

No caso específico da gestão dos dejetos animais na região hidrográfica do Médio Paraíba do Sul, apesar do fato de quase 90% das propriedades rurais utilizarem o sistema de lagoas facultativas como esterqueiras, elas só se efetivam quando há uma fiscalização rigorosa por parte do poder público. Os problemas começam, inclusive, com a mesma implementação das esterqueiras, pois muitas delas não são dimensionadas, construídas e/ou utilizadas de forma adequada. É muito comum, por exemplo, que as esterqueiras sejam menores ao necessário e projetadas sem nenhum tipo de

impermeabilização, apenas misturando areia e terra com esterco. O resultado é uma limitada capacidade de remoção de DBO, a infiltração de chorume no lençol freático, além da geração de grandes quantidades de gases de efeito estufa como metano e dióxido de carbono. Isso sem contar a falta de uso do biogás gerado no processo.

Conscientes desses problemas, alguns proprietários rurais da região decidiram usar outro tipo de tecnologia: os biodigestores de pequeno porte do modelo indiano (Figura 4). Esses sistemas, podem ser uma boa solução para esses dejetos, pois além de gerarem energia térmica e elétrica propiciam um excelente biofertilizante para o produtor. Entretanto, o número de propriedades que adotaram essa tecnologia na região do Médio Paraíba do Sul não passa de uma dezena.

## **PERSPECTIVAS FUTURAS**

A Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul necessita resolver a histórica ausência de saneamento rural. Não só para atingir os índices mínimos de saneamento (nos quais se encontra abaixo da média nacional), mas também para preservar a qualidade das águas que entrega ao Sistema Guandu, que abastece a toda a região metropolitana do Rio de Janeiro. Dessa forma poderiam economizar grandes recursos na remoção de uma parte significativa de poluentes, fornecendo água de ótima qualidade para a segunda maior metrópole do país.

Sendo o esterco bovino um dos maiores desafios do saneamento rural da bacia, a adoção de esterqueiras já provou sua ineficácia como sistema de tratamento desses dejetos. Basicamente porque o investimento não traz nenhum tipo de benefício econômico concreto para o produtor rural. É lógico, por tanto, que ele poupe despesas na construção desses reservatórios, comprometendo seriamente sua eficácia na remoção de contaminantes orgânicos.

Qualquer estratégia de tratamento de resíduos sólidos rurais deve levar em consideração não só objetivos ambientais, mas também o fator econômico que compense o investimento dos produtores em projetos de saneamento. Nesse quesito, é necessário a adoção de novas tecnologias que transformem os resíduos em matéria prima para outros produtos e processos, com o intuito de eliminar a grande carga orgânica e aproveitar plenamente o potencial energético do esterco bovino. A ideia é transformar o resíduo em objeto de um negócio rentável para atrair o produtor rural a buscar soluções inovadoras, além de resolver questões de saneamento.

Até agora, as soluções tecnológicas sustentáveis foram direcionadas a grandes proprietários ou clusters de produtores próximos para conseguir economias de escala que pudessem viabilizar investimentos vultosos. Esses empreendimentos de grande e médio porte são conhecidos como biorrefinarias, que atendem com eficiência as demandas de um setor bem restrito do universo de proprietários rurais.

Porém, no contexto específico do mundo rural da região do Médio Paraíba do Sul, conformado essencialmente por pequenos produtores de gado leiteiro, as biorrefinarias resultam economicamente inviáveis em razão de seus altos custos. Resulta evidente, pelo tanto, que a escolha dos produtores locais por um sistema tão pouco eficiente, como a esterqueira, se dá por questões financeiras, assim como a falta de conhecimento técnico sobre sua construção e manutenção levam a sua baixa eficiência como estratégia de saneamento. Outro fator limitante para a escolha de tecnologias lucrativas é a dificuldade dos pequenos produtores para aceder a créditos nos bancos. Sendo muito alto o investimento inicial para a construção de uma biorrefinaria, os pequenos

proprietários não conseguem financiar esse empreendimento que poderia criar uma nova e lucrativa fonte de renda.

Frente a essa realidade, sugerimos que a melhor alternativa pode ser o investimento em biodigestores anaeróbicos. Nesses sistemas, a matéria orgânica passa por todas as fases físico-químicas e biológicas de degradação até a formação de biofertilizante e biogás. A vantagem desse sistema de gestão de resíduos sólidos procedentes da criação de gado é, em primeiro lugar, a possibilidade de dimensionar o biorreator à carga orgânica de propriedades de diferentes magnitudes. Dessa forma, os pequenos produtores também podem aceder a possibilidade de tratar seus resíduos orgânicos com um investimento na medida de suas necessidades. Em segundo lugar, os produtores podem ver um rápido retorno financeiro de seu investimento na produção de energia térmica, elétrica e biofertilizante líquido. E no terceiro lugar, os produtores podem cumprir com eficiência as metas de saneamento ambiental de suas propriedades, pois os biodigestores conseguem taxas de remoção de matéria orgânica até de 98%.

O Plano da Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul poderia incluir dentro de seus programas, iniciativas para agrupar aos produtores, bancos e agentes públicos da área ambiental com o intuito de buscar capacitação técnica e financiamento aos produtores rurais visando a utilização de biodigestores. Dessa forma, as ineficientes esterqueiras seriam substituídas por biorreatores de maior eficiência ambiental e econômica. As ações do Comitê da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul – CEIVAP já incluem o financiamento dos Planos Municipais de Resíduos Sólidos na região, além de outras ações previstas em seu Plano de Bacia, que está em fase de construção, direcionadas às questões de gestão dos resíduos sólidos.

Outra ação importante é o desenvolvimento de projetos de P&D com foco no desenvolvimento e implantação de tecnologias específicas para a região, considerando o arcabouço legal existente, as questões geográficas, climáticas e ambientais. O desenvolvimento de projetos direcionados a essa realidade aumenta a taxa de sucesso e sustentabilidade econômica e ambiental em relação a importação de soluções prontas de locais com uma realidade muito distinta da existente nesta bacia.

## REFERÊNCIAS

- ABBASSI-GUENDOUZ, A.; BROCKMANN, D.; TRABLY, R.; DUMAS, C.; DELGENÈS, J. P.; ESCUDIÉ, R. Total solids content drives high solid anaerobic digestion via mass transfer limitation. *Bioresource Technology*. v. 111, 2012, p.55-61. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.01.174.
- ABNT NBR 10004. Comissão de Estudo Especial Temporária de Resíduos Sólidos (ABNT/CEET-00:001.34). Edital nº 08 de 30.08.2002, com o número Projeto NBR 10004
- ABREU, S; ZAIAT, M. Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário. *Eng. Sanit. Ambient.* vol.13 no.2 Rio de Janeiro Apr./June 2008, <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000200008>
- AGÊNCIA DINAMARQUESA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL. Miljøstyrelsen. Informações da Agência de Proteção Ambiental Dinamarquesa nº 4 1985 - plano de ação NPO, 1985.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília : Aneel, 2008. 236 p. : il. ISBN: 978-85-87491-10-7
- BRASIL. Constituição de República Federativa do Brasil, 1988.
- BRASIL. Lei Federal nº 11.445 – Política Federal de Saneamento Básico, de 05 de janeiro de 2007 .
- BRASIL. Lei Federal nº 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos, de 02 de agosto de 2010.
- BRASIL. Lei Federal nº 13.576. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências, de 26 de dezembro de 2017.
- BRASIL. Lei Federal nº 9.433 – Política Nacional de Recursos Hídricos de 08, de janeiro de 1997.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 390, de 15 de dezembro de 2009. DOU de 18/12/2009 (nº 242, Seção 1, pág. 11).
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482, de 17 abril de 2012. DOU de 19/04/2012 (nº 76, Seção 1, pág. 5).
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo. Resolução Normativa nº 8, de 30.1.2015, DOU 2.2.2015.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo. Resolução Normativa nº 21, de 11.5.2016 - DOU 12.5.2016.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2018. Brasília: SNS/MDR, 2019. 247 p.
- BRASIL. PNRS – Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Governo Federal, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2012. 106 p.
- BRASIL. Resolução CONAMA Nº 481/2017 - Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. , de 09.10.2017 - DOU 04.10.2017, Seção 1, página 51.
- BRIDGWATER, T. Review: Biomass for energy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 86, 2006, p. 1755-1768. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2605>.
- CARLOS, E. Instituto Trata Brasil. Saneamento rural: um enorme desafio para o Brasil – Portal do Saneamento. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-rural-um-enorme-desafio-para-o-brasil-portal-do-saneamento>. Acessado em 10/09/2020.
- CEIVAP. Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e Planos de Ação de Recursos Hídricos das Bacias Afluentes. Relatório de Diagnóstico RP 06, tomo II, 2014. Disponível em: < <http://ceivap.org.br/conteudo/relatorio-diagnostico-rp6-tomo2.pdf>>. Acessado em 19/07/2020.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 5. 2ª Edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2016.

CIBIÓGÁS. Nota Técnica: N° 002/2010 – Panorama do Biogás no Brasil em 2019. Foz do Iguaçu, abril de 2020. Disponível em: <http://www.cibiogas.org>. Acessado em 20/07/2020.

COSTA, C.C.; GUILHOTO, J.J.M. Saneamento rural no Brasil: impacto da fossa séptica biodigestor. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 19, 2014, p. 51-60, ISSN 1809-4457, <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019010000171>.

EMATER. Bovinocultura. Pecuária de Leite / Corte. 2017 Disponível em: <<http://www.emater.rj.gov.br/areaTecnica/RelBovi2017.pdf>>. Acessado em 19/07/2020.

HERMANNY, R. Codigestão anaeróbia de resíduos alimentares orgânicos e de soro de leite. 64 fls. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2019.

HERMANNY, R.; VON MÜHLEN, C.; TEODORO, C. E. S.; MARASSI, R. J. Capítulo 14. Aplicabilidade de biodigestores (reatores anaeróbios) para o saneamento ambiental. Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental 2. Organizadora Maria Elanny Damasceno Silva. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020. DOI: 10.22533/at.ed.19720240714.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2002. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: síntese de indicadores 2001. Rio de Janeiro: IBGE. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – 2011. Rio de Janeiro: IBGE.

IRENA. Renewable Energy Statistics 2020 The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. 2020. ISBN 9 7 8 - 9 2 - 9 2 6 0 - 2 4 6 - 8 Disponível em: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA\\_Renewable\\_Energy\\_Statistics\\_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2020.pdf). Acessado em 28/07/2020.

JR SANT'ANNA, Geraldo Lipel. Tratamento Biológico de Efluentes, 2ª Edição: Interciência. 2013.

KHOSHNEVISAN, B.; DUAN, N.; TSAPEKOS, P.; AWASTHI, M. K.; LIU, Z.; MOHAMMADI, A.; ANGELIDAKI, I.; TSANG, D. C. W.; ZHANG, Z.; PAN, J.; MA, L.; AGHBASHLO, M.; TABATABAEI, M.; LIU, H. A critical review on livestock manure biorefinery technologies: Sustainability, challenges, and future perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 135, 2021, 110033, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110033>.

KONZEN, E.A; ALVARENGA, R. C. Adubação orgânica. Árvore do conhecimento: Milho. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2005. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_48\\_168200511159.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_48_168200511159.html)> Acessado em 17/09/2020.

KUCZMAN O.; et al. Food waste anaerobic digestion of a popular restaurant in Southern Brazil. Journal of Cleaner Production, v. 196, 2018, p. 382-389, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.282>.

LOBATO, L.C.S. Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011

MACHADO, M. A. Produção e Tratamento Catalítico de Bio-Óleo Produzido a partir da Pirólise do Bagaço de Cana-deAçúcar – Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia Química. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

NETTO, José Martiniano de Azevedo. Manual de Hidráulica, 8ª Edição: Edgard Blücher. 1998.

OMS – Organização Mundial da Saúde. UN-water global analysis and assessment of sanitation and drinking-water (GLAAS) 2014 – report Investing in water and sanitation: increasing access, reducing inequalities. 2014. ISBN: 9 7 8 9 2 4 1 5 0 8 0 8 7 Disponível em: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/glaas\\_report\\_2014/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/glaas_report_2014/en/). Acessado em 23/07/2020.

ONU, Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Traduzido pelo Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio), última edição em 13 de outubro de 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>>. Acessado em 19/07/2020.

OSHIRO, C.R. O esterco bovino como biomassa alternativa para produção de energia em cooperativa agroindustrial paranaense. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 2015.

PERHI-RJ. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro. Relatório Síntese. Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos – COPPETEC, 2014. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdgz/~edisp/inea0083952.pdf>>. Acessado em 19/07/2020.

PIRH-PS. Complementação e finalização do Plano Integrado de Recursos Hídricos da bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – PIRH-PS e elaboração dos Planos de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas Afluentes. Produto Final 2: Diagnóstico e Prognóstico da Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. Revisão 2. Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul. Acompanhamento AGEVAP, execução Profill. 2020, 281 p.

# ANÁLISE DE RISCOS AMBIENTAIS BIOLÓGICOS CAUSADOS POR RESÍDUOS EM ÁREA COMERCIAL

Eduardo Antonio Maia Lins  
Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP  
eduardomaialins@gmail.com

Marina da Conceição Silva  
Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP

Sérgio Carvalho de Paiva  
Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP

Adriana da Silva Baltar Maia Lins  
Secretaria de Saúde do Estado de Pernambuco

Cecília Maria Mota Silva Lins  
Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP

## RESUMO

Entende-se por análise ou avaliação de riscos ambientais, os riscos associados com as ameaças à saúde humana e por sua vez, a segurança ambiental, vindos de atividades que são capazes de causar impactos, contínuos ou acidentais, no meio ambiente. As distribuições desiguais entre os grupos sociais, bem como a renda e o acesso aos serviços públicos resultam em riscos ambientais. Desta forma, esta desigualdade socioeconômica, pode estar na origem da desigualdade ambiental, uma vez que os indivíduos e os grupos sociais possuem acesso diferenciado a bens e à qualidade ambiental. Em decorrência destas elevadas desigualdades sociais, parte desta população brasileira realiza trabalhos informais, sejam como ambulantes, camelôs, feirantes etc. A partir de uma presença constante destes ambulantes nas proximidades da Universidade Católica de Pernambuco, surgiu a Rua do Lazer. Atualmente existem 40 boxes onde se instalaram lanchonetes. Seu funcionamento ocorre de segunda a sábado, da manhã à noite, exceto nos períodos de férias escolares. Nestas lanchonetes são geradas uma

grande quantidade e tipologias de resíduos que podem trazer uma série de impactos sócio-econômico-ambientais à sociedade. O objetivo deste trabalho foi analisar os possíveis riscos ambientais na Rua do Lazer, uma área comercial localizada nas proximidades do campus da Universidade Católica de Pernambuco, identificando os veículos de contaminação presentes no local que podem gerar danos à saúde pública, derivados dos resíduos sólidos e disposição inadequada de esgoto doméstico presentes na área comercial. Diante dos estudos e análises realizadas, observou-se que a Rua do Lazer apresenta um risco biológico elevado, sugerindo uma possibilidade alta de contaminação dos alimentos, ou através de microrganismos expostos no ar através do mau acondicionamento dos resíduos no local ou de modo indireto, ou através de insetos e roedores.

### Palavras-chave:

Rua do Lazer; Comércio; Probabilidade; Impactos; Saúde.

## ABSTRACT

*By analyzing or assessing environmental risks, the risks associated with threats to human health and, in turn, environmental safety, arising from activities that are capable of causing continuous or accidental impacts on the environment, are considered. Unequal distributions among social groups, as well as income and access to public services, result in environmental risks. In this way, this socioeconomic inequality can be the source of environmental inequality, since individuals and social groups have different access to goods and environmental quality. As a result of these high social inequalities, part of this Brazilian population carries out informal work, such as street vendors, street vendors, tradesmen, etc. From a constant presence of these street vendors in the vicinity of the Catholic University of Pernambuco, appeared the Street of the Lazer. There are currently 40 boxes where snack bars have been installed. It operates from Monday to Saturday, from morning to night,*

*except during school holidays. In these snack bars are generated a large amount and types of waste that can bring a series of socio-economic-environmental impacts to society. The objective of this work was to analyze the possible environmental risks at Rua do Lazer, a commercial area located near the campus of Universidade Católica de Pernambuco, identifying contamination vehicles present on the site that can generate damages to public health, derived from solid waste and disposal of domestic sewage present in the commercial area. In view of the studies and analyzes carried out, it was observed that the Rua do Lazer presents a high biological risk, suggesting a high possibility of contamination of the food, or through microorganisms exposed in the air through the bad packaging of the residues locally or indirectly, or through insects and rodents.*

### Keywords:

*Street of Lazer; Commerce; Probability; Impacts; Health.*

## INTRODUÇÃO

Em 1989, foi criado o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), a partir da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 5, com o objetivo de “permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas à melhora da qualidade do ar, ao atendimento dos padrões estabelecidos e o não comprometimento da qualidade do ar nas áreas consideradas não degradadas”. Com o passar dos tempos a sociedade vem notando o mal que suas atividades exercem sobre o ambiente, como também o mal que sua perda e diminuição da qualidade de vida podem resultar para a degradação ambiental. “A necessidade de se minimizar os riscos aos danos ambientais provenientes do progresso econômico e social está cada vez mais clara, apesar de ser muito difícil quantificar e julgar a relação humana com o meio, assim como a ponderação entre a proteção ambiental e o impacto sobre o crescimento” (VIANA, 2010).

Análise de riscos é uma ferramenta central para regular e controlar os riscos ambientais, podendo ser avaliados em três estágios: avaliação, caracterização e gestão. A avaliação sistematiza informações científicas sobre as propriedades perigosas dos agentes ambientais, a relação de ação e reação e a extensão da exposição humana. A caracterização dos riscos define a probabilidade da sociedade ou o indivíduo exposto ser prejudicado ou não (ASSUNÇÃO, 2012). A gestão desses riscos visa integrar aspectos políticos, sociais e econômicos. Entende-se por análise ou avaliação de riscos ambientais, os riscos associados com as ameaças à saúde humana e por sua vez, a segurança ambiental, vindos de atividades que são capazes de causar impactos, contínuos ou acidentais, no meio ambiente. Em decorrência da desigualdade e exclusão social, ainda acentuada no Brasil, conforme IBGE (2017), muitos pontos comerciais e moradias vêm sendo construídos em áreas que deveriam estar livres da ocupação, e, estas podem ser consideradas como atividades capazes de causar impactos sócio-ambiental-econômico. As distribuições desiguais entre os grupos sociais, bem como a renda e o acesso aos serviços públicos resultam em riscos ambientais. Desta forma, esta desigualdade socioeconômica, pode estar na origem da desigualdade ambiental, uma vez que os indivíduos e os grupos sociais possuem acesso diferenciado a bens e à qualidade ambiental.

Em decorrência destas elevadas desigualdades sociais, parte desta população brasileira realiza trabalhos informais, sejam como ambulantes, camelôs, feirantes etc. A partir de uma presença constante destes ambulantes nas proximidades da Universidade Católica de Pernambuco, surgiu a Rua do Lazer. A rua do Lazer foi construída a partir da reivindicação dos estudantes da Universidade Católica, no período de 1992 a 1995. Atualmente existem 40 boxes onde se instalaram lanchonetes. Seu funcionamento ocorre de segunda a sábado, da manhã à noite, exceto nos períodos de férias escolares. Nestas lanchonetes são geradas uma grande quantidade e tipologias de resíduos que podem trazer uma série de impactos sócio-econômico-ambientais à sociedade. Além da população, os comércios alimentícios presentes dentro ou nas proximidades da instituição de ensino, contribuem para um possível aumento na geração de impactos ambientais, isto é, elevam a quantidade de resíduos sólidos gerados e descartados pelos comerciantes na Rua do Lazer sem que haja um cuidado

adequado para esse descarte, e, sendo a rua um bem público não consegue impedir que catadores de lixo e também os animais vasculhem as caixas e sacolas que são lançadas ao chão, e assim, se tornam um chamariz para insetos e roedores, tornando-se uma grande fonte de riscos ambientais para a sociedade. Além disso, o aumento no fluxo de veículos (carros e motos) que passam próximo a rua em estudo, pode aumentar o risco.

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi analisar os possíveis riscos ambientais na Rua do Lazer, uma área comercial localizada nas proximidades do campus da Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP, identificando os veículos de contaminação presentes no local que podem gerar danos à saúde pública, derivados dos resíduos sólidos e disposição inadequada de esgoto doméstico presentes na área comercial.

## METODOLOGIA

### ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Rua do Lazer, localizada na região metropolitana do Recife, no bairro da Boa Vista. Averiguaram-se as possibilidades e consequências que a má gestão dos resíduos sólidos podem ocasionar, além da falta de infraestrutura básica que acarreta na disposição do esgoto a céu aberto.

A Figura 1 apresenta a descrição da área urbana em estudo que foi dividida em dois pontos. Para o ponto 1 de latitude  $8^{\circ}3'17.16''S$  e longitude de  $34^{\circ}53'13.14''O$  próximo a rede de esgoto extravasada e no ponto 2 de latitude  $8^{\circ}3'16.22''S$  e longitude de  $34^{\circ}53'16.94''O$  próximo ao ponto de descarte dos resíduos pelos comerciantes. Estes pontos foram limitados apenas a Rua do Lazer, onde há maior movimento de pedestres e comerciantes. A distância entre os dois pontos foi de aproximadamente 66 metros.

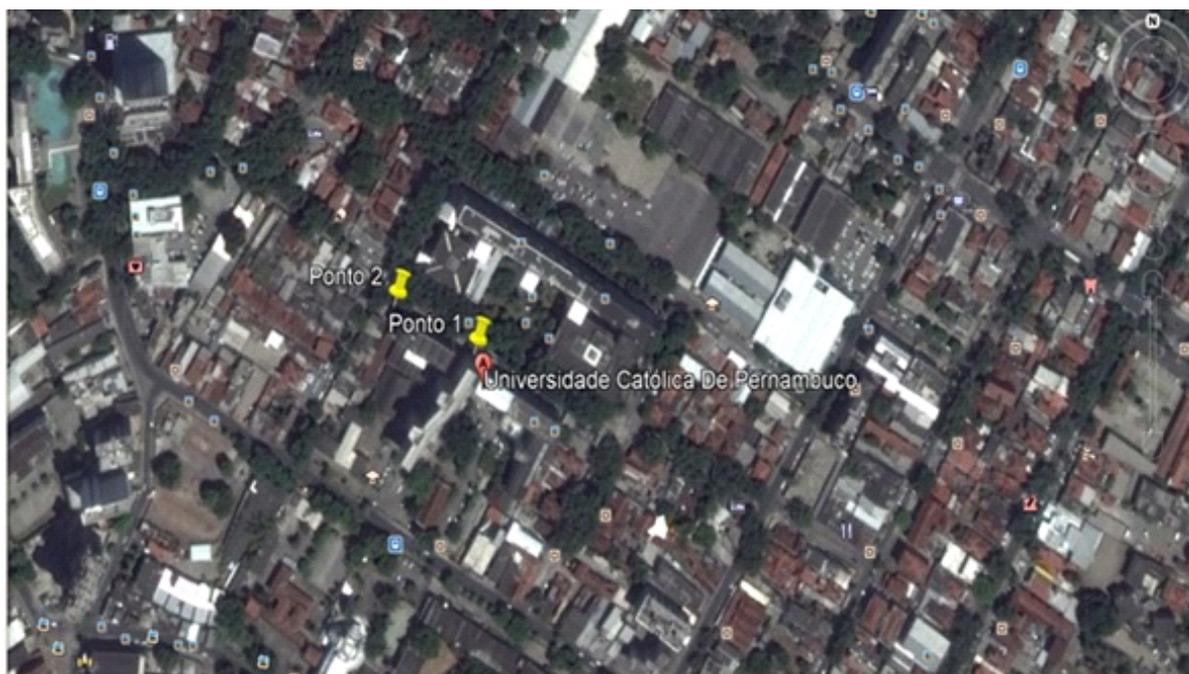


Figura 1: Vista de Satélite da Universidade Católica de Pernambuco.  
Fonte: Googlemaps (2018).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se um monitoramento local no ano de 2017, no período de aula diurno e matutino, levando-se em consideração o grande fluxo de alunos que utilizam a Rua do Lazer como ponto de consumo alimentar. Foram realizadas uma inspeção visual, coleta e análise de amostras do esgoto, dos resíduos e do ar, conforme apresentado a seguir.

### a) Análise do Ar

A análise do ar foi realizada utilizando-se o aparelho Amostrador Impactador de Andersen seguindo os padrões de referência da RE nº 9 de 2003 contendo os meios de cultura (placas de Petri com BGA e AN) incubados no período de sete dias à uma temperatura de 250°C. Realizaram-se coletas em três pontos da rua do lazer, em cada ponto analisado, foram coletadas três amostras, sendo a primeira amostra com um tempo de amostragem de 10 minutos, e duas amostras com um tempo de amostragem de 5 minutos.

### b) Análise dos Resíduos

Foi realizada de acordo com a NBR 10.007 da ABNT (2004), onde se aplicou a técnica do quarteamento que consiste na divisão em quatro partes iguais de uma amostra pré-homogeneizada, sendo aproveitado as partes opostas. Em seguida, escolheu-se duas destas partes para realizar a gravimetria e seu estudo microbiológico.

### c) Análise do Esgoto

O trabalho foi compreendido em cinco parâmetros, nos quais foram coletadas amostras de esgoto na rua do Lazer, analisando-se o potencial de hidrogênio (pH), umidade, ovos de helmintos, coliformes totais e fecais. A análise do esgoto foi realizada de acordo com a NBR 06457 de 1986 para determinar o potencial de hidrogênio (pH) e a umidade do local, assim como, o método de Meyer (1978) e SMEWW 9223 para analisar os parâmetros de coliformes (fecais e totais).

### d) Análise do Risco

O risco é a combinação de probabilidade para que um evento seja ele esperado ou não, ocorra, ou seja, o risco é a relação da perda econômica e/ou danos a vida humana. Desta forma, para se avaliar um risco é necessário determinar qual será o dano (que tipo de dano o agente causará) e também a exposição (que população estará exposta ao agente, a que concentração e a duração da exposição).

De acordo com a Susan et al. (2016), é o potencial de resultados indesejados adversos contra a saúde ou a vida humana, ou ao meio ambiente ou até mesmo para bens materiais, define risco conforme a equação 1.

$$R = P \times C \qquad \text{equação (1)}$$

Onde:

R = Risco;  
P = Probabilidade de Ocorrência;  
C = Consequências (perdas e/ou danos).

Considerando a suscetibilidade igual a probabilidade, tem-se conforme a equação 2:

$$S = P \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

S = Suscetibilidade;  
P = Probabilidade de Ocorrência.

O risco é considerado baixo quando os fatores de probabilidade de ocorrência (p) ou de consequência ©, também sejam baixos. Para que o risco seja considerado alto é necessário que os dois fatores de probabilidade de ocorrência (P) ou de consequência ©, também sejam altos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Resultados da Análise do Esgoto

A Tabela 1 apresenta os resultados referentes as amostras analisadas de esgoto coletados na Rua do Lazer, nas proximidades da UNICAP, utilizando as metodologias supracitadas.

De acordo com a análise das amostras do esgoto (Tabela 1), nota-se que o pH possui característica básica, um percentual inferior a  $10^3$  ovo/g de MS de helmintos, coliformes fecais e totais maior que  $10^4$  UFC/mL. De acordo Ribeiro e Rooke (2010) normalmente os parasitas se misturam no esgoto com os microrganismos que vivem livremente no solo, na água e no ar. Assim, uma pessoa ainda sadia poderá ficar doente se ingerir água ou alimentos contaminados e também se andar descalça ou mexer diretamente na terra que contenha excretas de pessoas enfermas. Porém, é comum os parasitas serem disseminados por insetos (moscas, mosquitos, pulgas e baratas), ratos e outros animais. As autoras ainda relatam que a maior parte das doenças transmitidas para o homem é causada por microrganismos, organismos de pequenas dimensões que não podem ser observados a olho nu. Portanto, a probabilidade do esgoto interferir na qualidade do ar e dos alimentos, vendidos na rua do lazer, pode ser considerado mediano, assim como os impactos ao ser humano (direta e indiretamente).

| PARÂMETRO         | UMIDADE              | RESULTADOS |
|-------------------|----------------------|------------|
| pH                | -                    | 7,3        |
| OVOS DE HELMINTOS | ovo/g MS             | $< 10^3$   |
| COLIFORMES TOTAIS | Número Mais Provável | $> 10^4$   |
| COLIFORMES FECAIS | Número Mais Provável | $> 10^4$   |

Tabela 1: Análise da Amostra do Esgoto.  
Fonte: Os autores.

### Resultados da Análise dos Resíduos

Inicialmente foi realizada uma composição gravimétrica dos resíduos no intuito de saber a quantidade de matéria orgânica geradas na Rua do Lazer, uma vez que o odor atrai os insetos vetores para a área, além de ser responsável pela emissão de gases durante a sua decomposição que se inicia em menos de 24 horas. Lins et al., (2016) obteve uma porcentagem para cada material

coletado em estudo (papel, plástico, vidro, metal e orgânico) onde esta foi realizada através da gravimetria conforme apresentado na Figura 2.

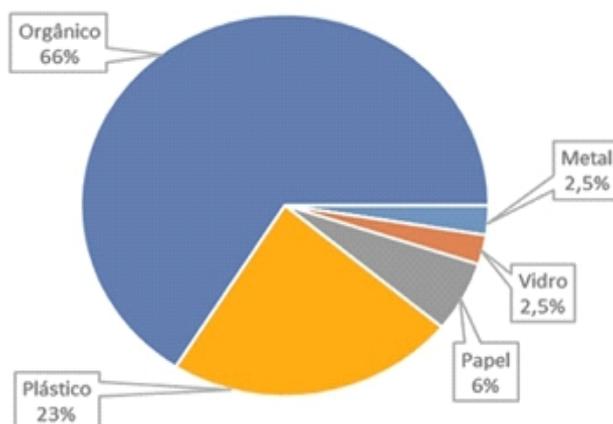


Figura 2: Composição Gravimétrica dos Resíduos.

Fonte: Lins et al. (2016).

Acumulou-se cerca de 205,48 kg de resíduos obtidos na rua do lazer no período de 5 dias para realização da composição gravimétrica, nos turnos da manhã, tarde e noite. Após a técnica de quarteamento dos resíduos, cerca de 50% foi desprezada conforme a NBR nº 10.007/ABNT de 2004. Após todas as etapas realizadas, obteve-se a composição gravimétrica dos resíduos, donde se obteve um alto percentual de matéria orgânica nas lixeiras locais. Portanto, tendo como análise os resíduos, sugere-se, que em função do mau acondicionamento do lixo pelos comerciantes, existe a probabilidade de risco à segurança alimentar dos consumidores, o que pode trazer consequências desastrosas à saúde humana. Unindo-se ao esgoto a céu aberto, os resíduos podem causar uma maior proliferação de insetos e a contaminação tanto do solo, do ar e dos alimentos. Já a análise microbiológica dos resíduos apresentou presença de coliformes fecais e totais em ordem superior a  $10^4$  UFC/mL podendo indicar um risco potencial na qualidade ambiental local.

A análise de risco com relação aos resíduos também se apresenta elevada em virtude da quantidade de lixo nas ruas, aumentando também probabilidade de doenças que são transmitidas pelos insetos e roedores que vasculham e se alimentam da matéria orgânica que estão mal acondicionadas.

### Resultados da Análise do Ar

Os resultados obtidos no estudo da análise do ar estão representados pelas Figuras 3 e 4, onde as placas de Petri, realizadas em triplicata, continham meios de Bactérias AN e de Fungos BGA. Os resultados apresentaram quantidade incontáveis de microrganismos, ou seja, quantidade superior a 30 unidades formadoras de colônia (UFC's), conforme padrões de referência da Resolução nº9 de 2003 da Anvisa. Esta conclusão foi baseada através do método de análise para ambiente interno utilizando-se do Amostrador tipo Impactador de Andersen contendo seis estágios. Foram também analisados variáveis como o tempo, a temperatura e a umidade na Rua do Lazer.

Como as partículas estão suspensas no ar, podem ser uma das causas de problemas respiratórios na população local, sendo encontrados por material particulado do solo assim como, em gotas de água apresentando como fatores que afetam a microbiota do ar a umidade, temperatura, radiação, pressão, densidade populacional e por fim os microrganismos que tem esporos como meio de propagação sendo os mais resistentes.

Portanto, o risco apresentado a análise de ar, mesmo sendo realizado como forma adaptativa seguindo a RE nº 9 da Anvisa, mostrou valores incontáveis de microrganismos, indicando uma elevada probabilidade de poluição do ar através dos resíduos, gerando possíveis impactos à saúde humana, indicando um alto risco ambiental.

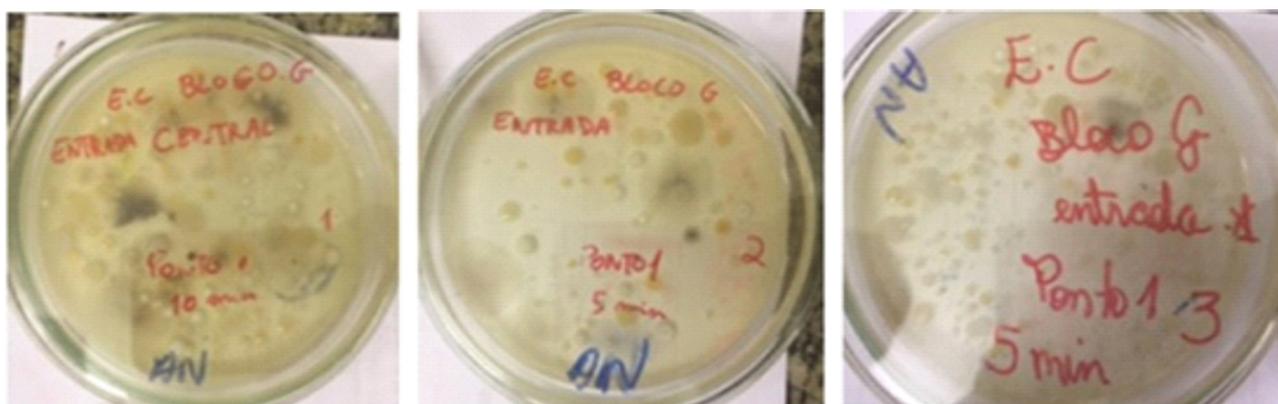


Figura 3: Placas com Bactérias AN: análise realizada próximo ao extravasamento de esgoto.  
Fonte: Dos autores (2018).



Figura 4: Placas com Fungos BGA: análise realizada próximo ao extravasamento de esgoto.  
Fonte: Dos autores (2018).

### Resultados da Análise de Risco Biológico

Diante dos estudos e análises realizadas, observou-se que a Rua do Lazer apresenta um risco biológico elevado, sugerindo uma possibilidade alta de contaminação dos alimentos ou através de microrganismos expostos no ar através do mau acondicionamento dos resíduos no local ou de modo indireto, através de insetos e roedores, bem como danos elevados à saúde dos consumidores de alimentos.

## CONCLUSÕES

Diante dos estudos e análises realizadas, observou-se que a Rua do Lazer apresenta um risco biológico elevado, sugerindo uma possibilidade alta de contaminação dos alimentos e do ar, através de microrganismos expostos em função do mau acondicionamento dos resíduos e esgoto exposto ao céu aberto. Sugere-se, também, a possível contaminação do ambiente de forma indireta através de insetos e roedores gerados;

- De acordo com a análise do ar, obteve-se valores elevados, ou seja, acima de trinta unidades formadoras de colônia baseadas nos padrões referências da Resolução nº 9 de 2003 da Anvisa utilizada para ambientes internos adaptando para ambientes externos apresentando em suas placas de Petri tanto fungos quanto bactérias podendo ser prejudiciais a saúde, pois a sua maior parte foi encontrada nos resíduos orgânicos;

- Quanto a análise do esgoto, conclui-se que, este não foi o fator que pudesse interferir de forma direta na poluição do ar, pois os valores obtidos foram baixos e isto pode estar relacionado com um possível tratamento, uma vez que é derivado de uma fossa séptica;

- Em relação aos resíduos, este sim foi o fator de maior preocupação pois totalizou 205,48 kg em cinco dias e quando unido ao esgoto a céu aberto, aumentam uma maior proliferação de insetos, poluição atmosférica e como outra consequência a contaminação do solo, além disso tem o impacto visual que deixa o local com aspecto negativo, incomodando aos comerciantes bem como aos estudantes do local resultando no risco elevado.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - NBR 6467 - Amostragem de Solos, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos Sólidos, 2004
- ARAÚJO, R. Avaliação da Qualidade do Ar Interno: Uma Experiência Realizada em Brasília. Brasília, 2008
- ASSUNÇÃO, S. G. S.; Metodologia para Avaliação de Riscos Ambientais em Áreas Urbanas da Região Metropolitana de Goiânia-GO, 232.p, Goiânia, GO, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, 2010.
- BOFF, C.; ZOPPAS, B. C. A.; PASQUALOTTO, A. C. Prevalence of viable environmental fungi in the air of intensive care unit. In: 9th International Congress on Aerobiology, 2010, Buenos Aires. 9th International Congress on Aerobiology, 2010
- BRASIL. IBGE. Censo Demográfico, 2015. Disponível em: < [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) >. Acesso em: 20 ago. 2017.
- Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução no 05, 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR.
- BRASIL, Governo Federal - Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução CONAMA 09/2003
- DIAS. Amostrador de Bioaerossóis de um estágio/N6 – Manual de operação. Rio de Janeiro, 2010
- LINS, E. A. M.; MARTINS, A. G. R.; SILVA, B. S.; SILVA, C. F. B. S. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Gerados na Rua do Lazer – Estudo de Caso na UNICAP. In: V Encontro Pernambucano e III Congresso Brasileiro de Resíduos Sólidos, 2016, Recife.
- MARTINS-DINIZ J. N.; da SILVA R. A.; MIRANDA E. T.; MENDES-GIANNINI M.J. Monitoring of airborne fungus and yeast species in a hospital unit. Rev Saúde Pública. 2005;39(3):398-405.
- RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S. Saneamento Básico e Sua Relação com o Meio Ambiente e a Saúde Pública, Monografia de Especialização, Juiz de Fora, 2010.
- SUSAN C. A; BELOVA, A.; BRANDT, J.; FANN, N.; GRECO, S.; Survey of Ambient Air Pollution Health Risk Assessment Tools. Journal Risk Analysis, 2016, Volume 36, Issue 9.
- VIANA, D. B.; Avaliação de Riscos Ambientais em Áreas Contaminadas: uma Proposta Metodológica, 162.p Rio de Janeiro, RJ, Dissertação de Mestrado, 2010.

# APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E AUMENTO DE VALOR AGREGADO NA PRODUÇÃO DE SÍLICA PARA MATERIAIS COMPÓSITOS E OUTRAS APLICAÇÕES

Fernando Cabral Lage

Centro Universitário Newton Paiva - Depto. de Engenharia Química  
PPGMEC - Universidade Federal de Minas Gerais  
fernando.lage@newtonpaiva.br

Karina Gabriela Alves de Carvalho

Centro Universitário Newton Paiva  
Depto. de Engenharia Química

Lucas Lima Rodrigues

Centro Universitário Newton Paiva  
Depto. de Engenharia Mecânica

Lara Sibila Serai Edine Lima

Centro Universitário Newton Paiva  
Depto. de Engenharia Química

## RESUMO

Neste capítulo, são apresentados uma série de estudos da literatura entre artigos científicos, capítulos de livro, trabalhos em Congresso, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso referentes à sílica. São apresentados métodos de produção da sílica de fontes renováveis, métodos de funcionalização e aplicações, com foco em materiais compósitos. A sílica pode ser obtida a partir de casca de arroz, da planta cavalinha, de capim elefante, de bagaço de cana-de-açúcar, entre outras fontes de baixo custo e renováveis. O intuito é de produzir materiais de maior agregado. Há um grande potencial

para melhoria de desempenho mecânico, estabilidade térmica e transparência óptica, por exemplo, desde que os métodos de dispersão e funcionalização sejam adequados.

### Palavras-chave:

Sílica; Materiais compósitos; Resíduos agrícolas; Valor agregado.

## ABSTRACT

*In this chapter, a series of studies of the literature are presented, including scientific articles, book chapters, works in Congress, theses, dissertations and conclusion papers related to silica. Methods of producing silica from renewable sources, functionalization methods and applications are presented, focusing on composite materials. Silica can be obtained from rice husks, "cavalinha" plant, elephant grass, sugarcane bagasse, among other low-cost and renewable sources, with higher added value applications for agricultural residues that are in*

*general used. There is great potential for improving mechanical performance, thermal stability and optical transparency, for example, as long as the dispersion and functionalization methods are suitable.*

### Keywords:

*Silica; Composite Materials; Agricultural Waste; Adding Value.*

## INTRODUÇÃO

A tecnologia em nanoescala tem recebido muita atenção com relação ao impacto que os materiais nanoestruturados podem ocasionar na melhoria da qualidade de vida e na preservação do meio ambiente (FERREIRA e RANGEL, 2009).

A sílica é um dos elementos que faz parte da tecnologia em nanoescala, e de acordo com Farias e Airoidi (2000), depois do oxigênio, o silício, que ao ser combinado com o oxigênio forma a sílica ( $\text{SiO}_2$ -dióxido de silício), é o elemento mais abundante na crosta terrestre. Segundo Gomes e colaboradores (GOMES, DE SOUZA e FURTADO, 2018), o silício abrange um total de 27,7% da crosta terrestre.

A nanosílica pode ser obtida de maneira natural ou sintética. Com o avanço da tecnologia em nanoescala e as pesquisas em relação a produtos biodegradáveis, já é possível obter a sílica de forma natural possuindo propriedades parecidas ou até superiores às sílicas produzidas industrialmente e com gasto de produção reduzido.

A sílica possui duas formas diferentes, sendo elas cristalina e amorfa. Tanto na sílica cristalina como na amorfa, a unidade estrutural básica é o tetraedro de  $\text{SiO}_4$ . A diferença está em como essa estrutura básica é arranjada, com uma distribuição mais aleatória dos átomos de silício e oxigênio (BÜCHNER e HEYDE, 2017; GOMES, DE SOUZA e FURTADO, 2018; LUNT, CHATER e KORSUNSKY, 2018).

Estes arranjos estruturais podem influenciar diretamente nas propriedades mecânicas da sílica. As estruturas amorfas podem suportar maior deformação plástica e tem maior tenacidade em relação às cristalinas devido à sua organização atômica ser mais desordenada. Já o arranjo da sílica cristalina é organizado geometricamente, conferindo maior dureza ao material (ISSA, TAHERIZADEH e MALEKI, 2020).

Algumas das vantagens que a nanosílica pode conferir na aplicação em materiais compósitos são ótima estabilidade térmica, melhoria na resistência à tração, compressão e ótima transparência óptica (GOMES, DE SOUZA e FURTADO, 2018).

Este capítulo tem como objetivo fazer um estudo de literatura com foco em sílica de fontes renováveis, envolvendo métodos de síntese a partir de materiais de baixo custo, métodos de funcionalização para melhor controle e melhor dispersão, bem como uma discussão de suas mais importantes aplicações, com foco em materiais compósitos.

### METODOLOGIAS PARA A OBTENÇÃO DE SÍLICA E NANO-SÍLICA

Kalapathy, Proctor e Schulz (2000) retratam que a sílica amorfa pode ser obtida das cinzas da casca de arroz em meio básico a uma baixa temperatura, visto que a sílica amorfa possui facilidade em se solubilizar a pH maiores que 10. Dessa forma, é possível obter a sílica através da solubilização em ambientes alcalinos e, posteriormente, precipitá-la em pHs menores. Em seus estudos para a obtenção da sílica os autores utilizaram dois passos: lavagem ácida e extração da sílica. A primeira

etapa consistiu na lavagem de 10 g das cinzas em 60 mL de água destilada e ajuste do pH para faixas 1, 3, 5 ou 7 com ácido clorídrico 6M e 1M. As amostras dispersas foram agitadas por 2 h e filtradas em 100 mL de água destilada. Após, foram secas e levadas à lavagem com hidróxido de sódio (NaOH) 1M. A mistura foi então posta em ebulição por 1 h de forma que a sílica presente fosse precipitada na forma de silicato de sódio. Posteriormente, o produto foi deixado para resfriar em temperatura ambiente e titulado com ácido clorídrico (HCl) 1M sob agitação contínua até que o pH 7 fosse atingido. Sílica gel começou a ser precipitada uma vez que o pH da mistura ultrapassou faixa inferior a 10 e assim permaneceu durante 18 h. Com o processo foi possível obter xerogéis com 93% de sílica.

MITTAL (1997) apresenta uma outra metodologia para a extração da sílica através das cinzas da casca de arroz, onde hidróxido de sódio é utilizado para a formação de silicato de sódio. Este processo necessita de temperaturas entre 180 °C e 200 °C e pressão da ordem de 8 atm quando a cinza não é formada pela queima da casca de arroz a 650 °C. A sílica presente nas cinzas reage com a solução de hidróxido de sódio (NaOH) em torno de 100 °C formando silicato de sódio. Em seguida, a sílica pode ser precipitada a partir do silicato por meio de ácido sulfúrico controladamente adicionado a cerca de 90 °C e pressão atmosférica. A queda do pH indica a precipitação completa do produto que pode ser purificado com lavagens sucessivas com água deionizada. Para obtenção de sílica amorfa em pó, após a filtração, a sílica pode ser submetida a processo de pulverização. Seguindo o método descrito, foi produzida sílica com pureza maior que 98% e área superficial em torno de 150 m<sup>2</sup>/g.

Carmona et al. (2013) utilizaram dois tipos de arroz nas extrações da sílica: agulhinha e cateto. Para a remoção da sílica, colocou-se 25 g de cascas de arroz de cada tipo em meio a 150 mL de soluções de ácido cítrico (10% m/v), ácido acético (10% v/v) e ácido fosfórico 0,2 mol.L<sup>-1</sup>, a 2 kgf.cm<sup>-2</sup> e 150 °C por um intervalo de 1 h em autoclave. As porções restantes da casca de arroz foram tratadas com água destilada a alta pressão em quatro tipos de temperatura, com o objetivo de reduzir ou remover os metais. Em seguida a casca foi lavada com água destilada, seca durante 18 h a 60 °C e calcinada a 650 °C por 1 h com o intuito de remover compostos orgânicos restantes.

No trabalho de Della e colaboradores (DELLA et al., 2006), sílica com 95% de pureza e área superficial de 81 m<sup>2</sup>/g foi obtida a partir de amostras de casca de arroz termicamente tratadas a temperaturas de 400, 500, 600 e 700 °C por períodos de 1, 3 e 6 horas. O tratamento foi dado com o objetivo de aumentar o percentual de óxido de silício existente através da redução do percentual de matéria orgânica (carbono), bem como de outras impurezas presentes, como K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, etc. Após um processo de moagem em moinho de bolas, a sílica gerada apresentou tamanho médio de 0,68 µm.

No estudo de SINYOUNG et al. (2017), nano-sílica foi produzida por meio de cinzas da casca de arroz calcinando-as a 650°C por 1 h. As amostras resultantes foram levadas a uma solução de NaOH 1,5 M na proporção de 1:6 (sólido:líquido) e aquecidas até a temperatura de 100°C por 1 h. O silicato de sódio resultante do processo foi centrifugado e lavado por diversas vezes. Após, o pH foi ajustado para neutro por meio de uma solução de ácido clorídrico (HCl), que resultou na formação de sílica aquagel. Esta foi curada a 50°C por 12 h, centrifugada com água deionizada para a remoção de sais e então seca a 80°C durante 48h. O sólido obtido foi, então, moído e as nano-partículas separadas em uma peneira de 200 mesh. Análises posteriores concluíram que as partículas apresentavam tamanho entre 20-50 nm.

No estudo de Amutha, Ravibaskar e Sivakumar (2010), para a produção de partículas com tamanho entre 70 e 80 nm e pureza de 98%, foram utilizadas cinzas da casca de arroz. A matéria-prima foi colocada em agitação com solução de hidróxido de sódio 2,5 mol/L e então aquecida até a temperatura de 100°C durante 4h, sob constante agitação, de modo a dissolver a sílica presente nas

cinzas e produzir silicato de sódio. Na sequência, a solução foi filtrada e lavada com água destilada aquecida e o silicato obtido foi resfriado à temperatura ambiente. A sílica pura foi extraída por titulação com solução de 5M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Posteriormente, as nanopartículas foram obtidas por método de refluxo com solução 6 M de HCl durante 6h em torno de 80°C. Novo tratamento com hidróxido de sódio seguido por tratamento com ácido sulfúrico concentrado resultou em nano-sílica em pó, com forma amorfa.

Yuvakkumar et al. (2014) sintetizaram nano-sílica tamanho médio de 25 nm e pureza em torno de 99,9%, por meio de amostras de casca de arroz lavadas e calcinadas a 700 °C por 3 h em forno mufla sob atmosfera inerte. As cinzas obtidas foram submetidas a uma série de tratamentos químicos: extração com hidróxido de sódio para a formação de silicato de sódio; tratamento ácido para precipitação da sílica SiO<sub>2</sub>; e ao final sinterização em forno mufla em temperaturas variando de 973 a 1373K para a obtenção de sílica pura, com área superficial específica de 274 m<sup>2</sup>/g e diâmetro de poros médio de 1,46 nm. Os autores avaliaram o efeito da concentração de hidróxido de sódio, que variou de 0,5 a 2,5 mol/L. Sílica de pureza 95% e 99,9% foram obtidas quando se utilizou o tratamento alcalino com soluções de NaOH com concentrações de 2,0 e 2,5 mol/L, respectivamente. Pureza abaixo de 60% foram obtidas nos demais tratamentos. O tratamento descrito pelos autores para a produção de nano-sílica em pó é efetivamente mais simples que o procedimento descrito por Amutha e colaboradores (AMUTHA; RAVIBASKAR; SIVAKUMAR, 2010).

Em estudo de Castro (2015), para a extração da nano-sílica foram efetuados quatro procedimentos diferentes para extraí-la baseados no método sol-gel de lavagem com água destilada, seguida por tratamento com ácido, seguido por tratamento com hidróxido de sódio para a formação de silicato de sódio e finalmente seguido por tratamento com ácido para a precipitação da sílica. Ao final, foi realizada uma calcinação a 700 °C para eliminar carbono residual da sílica e aumentar a sua pureza. Purezas de 98 a 99% foram obtidas. O autor realizou um tratamento com ultrassom das partículas de sílica com o objetivo de aumentar a pureza, mas a diferença foi praticamente imperceptível. Foi evidenciada a importância do processo de lavagem com água destilada no aumento da pureza final da sílica.

Em pesquisa de Fernandes, Sabino e Rossetto (2014) no método de extração de sílica da casca de arroz, a mesma foi obtida através do método tradicional que consiste na solubilização dos metais usando solução ácida. Para tal, neste experimento foram utilizados ácido acético, ácido cítrico e ácido oxálico e uma amostra controle tratada com água destilada, nos quais foram lavadas as cascas, em autoclave, em temperatura de 127°C por 1 h. Posteriormente as cascas foram lavadas com água, a fim de neutralizá-las, e em seguida secas em estufa a 100 °C durante 12 horas. Após, o produto passou por tratamento térmico a temperaturas entre 600°C a 700°C durante 2 h e então foi fragmentado em moinho de bolas por 21 h, a fim de reduzir a granulometria. A casca de arroz tratada com ácido cítrico resultou em maior pureza de sílica, com 99,8% e uma área superficial específica de 235m<sup>2</sup>/g. O tratamento com ácido acético resultou na maior área superficial específica, de 271 m<sup>2</sup>/g e com 99,6% de pureza de sílica. Os tratamentos com ácidos permitiram elevar a pureza de 96,5% para 99,6% ou mais.

Há uma predominância de materiais de trabalhos com a produção de sílica e nano-sílica a partir da casca de arroz na literatura, mas há outros materiais com potencial, como o bagaço de cana de açúcar, capim elefante e bambu, conforme mostrado nos estudos a seguir.

Nakanishi e colaboradores (NAKANISHI et al. 2014) estudaram a produção de cinzas de capim elefante napier e cameroon como material suplementar para cimentos pozolânicos. Inicialmente, os materiais foram tratados em forno mufla em rampa de aquecimento com temperatura 400 °C por 20 minutos

seguida por 700 °C por 60 minutos. Após passagem da amostra em moinho de bolas, um tratamento com solução de ácido clorídrico 3% v/v a 90 °C por 1 hora foi realizado de forma a remover parte do potássio presente nas cinzas. O produto final de capim elefante Napier exibiu 80,0 % de SiO<sub>2</sub>, enquanto o produto de capim elefante cameroon exibiu 49,4% de SiO<sub>2</sub>. Uma amostra comercial de fumos de sílica mostrou teor de SiO<sub>2</sub> de 84,5%.

Um tipo de bambu foi utilizado na produção de nano arames de sílica no trabalho de Cheung e Ng (2007). Nano-arames com pureza acima de 90% em SiO<sub>2</sub> foram obtidos com lavagem com água seguida por processo de pirólise a 1100 °C por 10 horas em atmosfera com argônio, com taxa de aquecimento de 1 °C/min. Conforme os autores, a baixa taxa de aquecimento foi empregada para diminuir “stress” térmico na amostra. A pureza obtida foi relativamente baixa em relação a outros trabalhos da literatura, mas os autores mostram a atratividade do estudo com base na matéria-prima de baixo custo e no fato de não ser necessário empregar reagentes com alta pureza que podem encarecer o processo. Os nano-arames foram obtidos com comprimento próximo de 20 µm e com diâmetro de 200 nm, o que dá a excelente razão de aspecto de 100, resultando em grande área superficial.

Os pesquisadores Rangaraj e Venkatachalam (2017) produziram nano-sílica de cinzas de bambu para aplicações biomédicas, obtendo pureza de 99,1%, realizando tratamentos químicos e térmicos. As cinzas de bambu possuem cerca de 50% de SiO<sub>2</sub>, em comparação com a casca de arroz que possui 62% de SiO<sub>2</sub>, o que pode ser compensado por um custo mais baixo em relação à casca de arroz. As nanopartículas de sílica produzidas mostraram o formato esférico, com área superficial de 428 m<sup>2</sup>/g e com diâmetro médio de partículas de 25 nm.

Cinzas de bagaço de cana de açúcar, folhas de bambu, casca de amendoim e casca de arroz foram estudadas na produção de sílica por tratamento básico / ácido (VAIBHAV, VIJAYALAKSHMI e ROOPAN, 2015). Após o tratamento ácido, foram obtidas partículas com tamanho de 20 a 40 nm e pureza de até 98%, com rendimentos de 78% para cinzas de casca de arroz, 71% para cinzas de bagaço de cana e 52% para cinzas de bambu. Para o caso da casca de amendoim, um tratamento ácido mais profundo é necessário para se remover especialmente Na e Mg da sílica final.

A sílica obtida da cavalinha que obteve melhores resultados foi que a que passou pelo procedimento com dois ciclos de lixiviação, e temperatura de calcinação de 500°C, gerando assim uma área superficial de 330,63 m<sup>2</sup>/g, com uma pureza de 93,5%, embora o grupo que passou por apenas um ciclo de lixiviação, resultou em maior pureza (CARNEIRO et al. 2013).

## **FUNCIONALIZAÇÃO DA SÍLICA**

A funcionalização de sílica é usualmente necessária para que se tenha uma boa compatibilidade com matrizes ou partículas hidrofílicas e hidrofóbicas. Nos trabalhos a seguir, uma série de metodologias para a funcionalização da sílica é reportada.

A fim de remover metais pesados de soluções aquosas, Lee e Yi (2001) funcionalizaram sílica mesoporosa utilizando o reagente 3-(2-aminoetilamino)propiltrimetoxisilano (AAPTS), o qual por apresentar um grupo amina primário se mostrou capaz de quelar, em soluções aquosas, o cobre. Uma grama de sílica foi seca a 100°C em forno por 12 h e em seguida, levada a um evaporador a vácuo durante 4 h juntamente a 1 g do reagente diluído em 20 mL de tolueno. A sílica impregnada com AAPTS foi lavada por três vezes com tolueno e duas vezes com acetona. A sílica, então, foi lavada com etanol para retirada de resquícios de reagente em excesso e com água deionizada antes de ser seca em forno.

Em pesquisa realizada por Sarawade e colaboradores (SARAWADE et al., 2011), sílica hidrofílica foi submetida a tratamento térmico de forma que esta característica fosse drasticamente reduzida e o material se apresentasse como hidrofóbico. Sílica em gel foi sintetizada por meio da lavagem de solução de silicato de sódio com ácido oxálico em constante agitação e posterior gotejamento em recipientes com querosene e solução de amônia. O material obtido foi deixado em repouso e então lavado com água. De forma a se atingir a hidrofobicidade na superfície da sílica a uma pressão ambiente, a mesma foi modificada usando-se uma solução de etanol, trimetilclorosilano (TMCS) e n-hexano, via troca de solventes simultânea e processo de modificação de superfície. A sílica hidrofóbica foi seca em temperatura ambiente por 24 h e, posteriormente, em estufa a 80 °C. Para remover completamente líquido dos poros, a sílica foi ainda seca por 1h a 180°C sob pressão ambiente. Em seguida, foi aquecida em ar quente em temperaturas variando de 200 a 500°C durante 1 h. Com a temperatura de 400 °C, os pesquisadores obtiveram sílica hidrofóbica com alta área superficial (769 m<sup>2</sup>/g) e alto volume de poros (3,10 cm<sup>3</sup>/g).

Em estudo de Westcott et al. (1998), nanosílica foi funcionalizada com grupos funcionais hidrofílicos, amina e tiol, de modo a se conseguir capturar nanopartículas de ouro. A nanosílica foi preparada colocando-se a sílica em mistura de 50 mL de etanol anidro e 3 mL de solução de amônia. Na sequência, 1,5 mL de tetraetil ortosilicato (TEOS) foi adicionado à solução que permaneceu sendo agitada durante toda a noite. As funcionalizações ocorreram com reagentes baseados em trialcóxiorganosilano, tais quais: 3-aminopropiltrimetoxisilano (APTMS) ou N-(2-aminoetil)-3-aminopropiltrimetoxisilano (AEAPTMS), que produziram superfície com grupos amina e 3-mercaptopropiltrimetoxysilano (MPTMS), responsável pelos grupos tiol. Aproximadamente 50 µL de reagentes foram usados para cada amostra de 100 mL de solução de nanosílica. As misturas foram deixadas reagindo durante uma noite e então colocadas em ebulição por 1 h para promover as ligações covalentes do organosilano sobre a superfície da sílica. Ao fim, a solução foi centrifugada e dispersada em etanol para remover o excesso de reagentes. Grupos hidrofílicos como amina e tiol foram capazes de se ligar às nanopartículas de ouro, enquanto os grupos hidrofóbicos não.

Ma e colaboradores (MA et al., 2020) produziram sílica funcionalizada com uma dispersão de sílica coloidal dialisada por 7 dias em água ultrapura a uma resistividade de 18,2 MΩ-cm, onde o líquido era trocado todos os dias para a remoção de quaisquer impurezas. Em seguida, 22,2 g de 27% em massa da dispersão foram misturados a uma solução de 12mL de ácido acético e 3,8mL de água deionizada. A mistura foi aquecida a 80°C em balão de fundo redondo ligado a um condensador de refluxo. Trinta minutos após ser atingido o equilíbrio, 0,7mL de (3-aminopropil)-triétoxissilano (APTES) foi adicionado ao frasco, sob constante agitação. A solução foi deixada para reagir por 16h a 80°C sob refluxo e, após, foi dialisada por 24h com água deionizada a pH 4. As nanopartículas obtidas foram filtradas em filtro de seringa com porosidade de 220 nm, a fim de se separar partículas aglomeradas.

Bracho e colaboradores (BRACHO et al., 2012) retratam a funcionalização da sílica, através dos reagentes trimetilclorossilano e dimetiloctilclorosilano. A metodologia consistiu no tratamento térmico a vácuo da nanosílica a 400°C durante 5h, com o intuito de eliminar a água adsorvida em sua superfície. Posteriormente, foi realizada a dispersão do solvente heptano na sílica em ultrassom, durante 20 minutos. Na sequência, foi adicionado o clorossilano correspondente, em uma atmosfera de nitrogênio dentro do frasco. A alteração por meio do trimetilclorossilano aconteceu durante 50°C a 24h sob agitação constante, em contrapartida o dimetiloctilclorosilano sucedeu sob refluxo durante 24h. Em seguida, foram conduzidas à centrifugação, a fim de separar o pó do solvente. Para retirar quaisquer resíduos do clorossilano que não reagiu, foi utilizado o heptano. Por fim, foi levado a

secagem durante 5h a 150°C sob vácuo, para eliminar qualquer solvente presente. Resultados mostraram que partículas modificadas de 100 nm obteve maior valor de permeabilidade ao vapor de água comparada as partículas não modificadas. Como também as partículas de 20 nm modificadas, revelaram-se um pequeno aumento no modelo de Young e na tensão de ruptura.

Em outro artigo semelhante, também foi usado o trimetilclorossilano, como funcionalizante, a fim de modificar a superfície da sílica para hidrofóbica. A metodologia baseou-se na adição da sílica ao tolueno, e em seguida, foi incrementada o agente funcionalizante trimetilclorossilano, e assim deixada sob agitação magnética, em um sistema de refluxo. Este procedimento deve ser feito em equipamentos com sistema de exaustão, e o local deve conter baixa umidade. Adiante a sílica funcionalizada foi conduzida a lavagem na centrífuga, a fim de eliminar quaisquer resíduos do trimetilclorossilano que não interagiu. Por último, as partículas foram levadas à secagem (MAGALHÃES; DE CADEMARTORI, 2018).

Em outro estudo, o reagente de funcionalização 3-aminopropiltriétoxisilano foi adicionado à sílica. Neste método, misturou-se a sílica no tolueno a 120°C. Posteriormente, foi incrementado o 3-aminopropiltriétoxisilano e mantida sob agitação e aquecimento, durante 24h, todavia, não houve funcionalização. Desse modo, reiniciou-se o procedimento, aumentando o tempo de processo para 5 dias. Para finalizar, a sílica funcionalizada foi conduzida a secagem e lavagem, a fim de retirar quaisquer resíduos (DE LIMA JÚNIOR; SOUZA, 2015).

O surfactante dodecilsulfato de sódio (SDS) foi utilizado para a modificação da sílica de hidrofílica a hidrofóbica. O procedimento consistiu na mistura do SDS na água deionizada sob agitação magnética, para assim ser incrementada a sílica. E está permaneceu sob agitação por 1 h na temperatura ambiente. Em seguida, foi conduzida a secagem, e posteriormente, levada ao tratamento térmico, sendo a temperatura da mufla em torno de 150 °C - 250 °C, por 2 h. Para retirada do SDS não reagido, lavou-se a amostra com etanol anidro. Adiante, a amostra foi conduzida a secagem por 80°C a 12 h, para depois ser levada novamente ao tratamento térmico a 200°C durante 30 minutos. Por fim, foi feito a lavagem com etanol anidro. Vale ressaltar que está alternativa para funcionalização não necessitou de solventes orgânicos (QIAO et al., 2016).

Em outra pesquisa, utilizou-se o surfactante brometo de tetra-butilamônio (TBAB) para a modificação da superfície da sílica, e está metodologia baseou-se na adição da sílica xerogel na solução do tetra-butilamônio, para posterior incremento da água destilada em uma relação de 1 g/100 mL, o que fez com que o pH fosse adequado para 8. Em relação a proporção, havia 2% em peso de TBAB na solução, e esta foi conduzida ao misturador em 338K durante 24 h. Por fim, foi levada ao forno a uma temperatura de 313K (GUZEL KAYA; DEVECI, 2020).

Em estudo conduzido por MA et al. (2010), um grama de nanosílica foi modificada com o surfactante catiônico brometo de cetiltrimetilamônio (CTAB) sob agitação constante, logo após serem misturadas a 100 mL de água deionizada e terem o pH ajustado para 8, por meio de hidróxido de sódio 0,1 M. Resultados mostraram que as condições ótimas para menor aglomeração das nanopartículas foram o uso de 2% m/m de surfactante e temperatura de 65°C.

Dai et al. (2019) modificaram a superfície da nanosílica por meio de interação eletrostática com brometo de dodeciltrimetilamônio (DTAB). Para uma solução de 100 g dos dois materiais, sendo 2% em massa de nanopartículas e 0,5 mmol/L de DTAB, foram adicionados 5 g de 0,01 mol/L de brometo e 88,33 g de água destilada. Em seguida, 6,67 g de 30% m/m de uma solução de nanosílica foi gotejada na mistura e agitada mecanicamente por 1 hora e em ultrassom durante uma hora e meia. Após,

hidróxido de sódio e ácido clorídrico foram utilizados para o ajuste do pH da solução, além de cloreto de sódio para ajuste da salinidade.

Elochukwu, Gholami e Dol (2017) utilizaram 2,5% m/m de cloreto de alquilbenzildimetilamônio (ABDACl) para modificar a superfície de nanopartículas de sílica. Concentrações entre 0,5 e 2% em massa de nanosílica foram usadas na preparação de amostras e então adicionados à solução de cloreto, onde o pH foi ajustado para a faixa de 8 a 8,5 com hidróxido de sódio 0,1 M. A mistura foi homogeneizada por 15 min e colocada em ultrasonificação durante 10 min sob temperatura de 60 °C. Com a adição do surfactante, há atração iônica entre a superfície positiva do reagente e a negativa da nanopartícula, resulta em uma implantação de carga positiva na sílica através do grupo hidroxila, o qual é negativo.

### **SÍLICA E NANO-SÍLICA NA PRODUÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS E OUTRAS APLICAÇÕES**

No estudo de Anton (2009), sílica coloidal foi adicionada a uma matriz de poli(etileno-co-acetato de vinila) com teores de reforço de 1%, 3%, 5% e 10%. A carga de 1% resultou na maior deformação na ruptura, de 552 MPa, resultando em um aumento de até 18% em relação à matriz pura. Não houve diferença estatística na tensão máxima de ruptura em nenhum dos testes realizados. Em contrapartida a amostra de 10% alcançou maior módulo de elasticidade, 9,1 MPa. Percebeu-se que houve formação de compósitos ao invés de nanocompósitos devido à aglomeração das nano partículas.

A sílica incorporada na matriz de poliuretano resultou em melhoria de estabilidade térmica e aumento no módulo de elasticidade. Cargas de 1%, 3% e 5% foram testadas; a adição de 3% resultou em melhores valores de resistência mecânica e alongamento. As adições de 1% e 3% produziram módulos de elasticidade semelhantes estaticamente. Também foram produzidos compósitos de óxido de zinco no trabalho, mas o resultado de módulo de elasticidade e alongamento máximo foi em geral inferior ao dos compósitos com sílica (MONTEIRO et al., 2012).

A sílica incorporada na matriz de PMMA (polimetilmetacrilato) mostrou uma tendência a pré-sinterização, o que dificulta a dispersão sobre o material na matriz polimérica no trabalho de Ribeiro e colaboradores. Notou-se a obtenção de aglomerados rígidos em torno de 500 nm, através de partículas primárias de 30 nm a 50 nm, com uma grande rugosidade superficial (RIBEIRO et al., 2007).

A sílica adicionada na matriz resina epóxi resistiu a uma tensão máxima de 18,12 MPa, com 0,5 % em massa de nano-sílica, o que demonstra a boa dispersão da carga sobre o polímero; um aumento percentual de 13% foi obtido em relação ao polímero puro. Para valores maiores houve uma tendência à diminuição na resistência à tração devido a aglomeração de partículas em determinadas regiões da matriz (MOOSA e SADDAM, 2017).

Sílica coloidal com área superficial de 121,7 m<sup>2</sup>/g incorporada na matriz de amido termoplástico resultou em melhoria de desempenho mecânico em relação à matriz pura. O material compósito de sílica com 4% de carga mostrou aumento no módulo de Young e tensão de ruptura de até 133% e de 50%, respectivamente, em relação ao composto puro. Para adições maiores de sílica não houve melhoria de desempenho mecânico em relação ao polímero puro, tampouco com adições de 2% de sílica. Há de ressaltar o elevado coeficiente de variação de amostras com maiores adições, em que se atingiu valores de até 45%. Percebeu-se também uma redução de até 20% de permeabilidade ao vapor de água (PLOTTEGHER e RIBEIRO, 2013).

No estudo de Alves e colaboradores, a sílica da planta “cavalinha” incrementada na matriz do poliuretano manteve o desempenho mecânico em termos de tensão de ruptura, percentual de

alongamento e módulo de elasticidade, em termos estatísticos, para adições de 1%, 5% e 10% de sílica. Em geral, os compósitos tiveram comportamento um pouco mais frágil do que a matriz pura, mas há um aumento na estabilidade térmica para os compósitos (ALVES et al., 2007).

A sílica pode ser utilizada como adsorvente, para efeito de comparação, utilizou-se a sílica e o carvão ativado como adsorventes, resultados mostraram que a sílica é mais eficaz para a remoção de metais do que o carvão ativado. A turbidez da solução variou de 1,8 para 1,49. Embora a condutividade da solução foi aumentada, o que induz que havia impureza na sílica, a condutividade passou de 160 para 637,9 Micro/s (FANGMEIER e HOEHNE, 2012).

Foi obtido o silicato de sódio através de cinzas da casca de arroz para a funcionalidade de defloculante no trabalho de Ferreira (FERREIRA, 2013). Segundo Gomes, de Souza e Furtado (2018), a sílica gel obtida em processos de funcionalização pode ter os grupos silanóis contidos em sua superfície modificados, permitindo-se a junção a polímeros, cimentos ou borrachas para produção de materiais compósitos com características de rigidez e resistência mecânica aprimoradas. Fernandes, Sabino e Rossetto (2014) pontuam, ainda, outras destinações consideradas estratégicas a certos setores vitais brasileiros, como: agricultura, na qual poderia ser utilizada para fabricação de silicato de potássio; indústria de cosméticos, que demandam sílica de alta pureza e seriam beneficiados também pela atratividade do selo sustentável; indústria de cerveja, onde sílica de grande área superficial é empregada para clarificação de compostos indesejáveis à bebida; indústria sucroalcooleira, na qual são utilizadas peneiras moleculares, obtidas através da sílica, que têm por função transformar álcool etílico hidratado (96%) em álcool etílico anidro para ser adicionado à gasolina; e indústria farmacêutica, onde é usada como excipiente em medicamentos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande geração de resíduos é um problema enfrentado por diversas áreas do setor agrícola, dentre elas: na produção de cana-de-açúcar e de milho, que originam palha, e de arroz, onde são retirados a palha e a casca. Segundo PERES (2018), a principal destinação a esses resíduos é a queima, de modo a se gerar energia para a própria planta industrial. Essa alternativa de disposição de resíduo acaba por produzir cinzas que possuem baixo valor agregado, a priori, porém se purificadas podem ser reutilizadas em outras aplicações, dada a quantidade de sílica presente no material.

Uma vez que a maior parte dos compostos orgânicos são removidos em alta temperatura, formando CO<sub>2</sub> e CO, tratamentos químicos podem ser atribuídos para retirar os compostos inorgânicos restantes. Dessa forma, da matéria prima inicial (o resíduo) é possível extrair sílica com pureza maior que 99%, a depender de alguns parâmetros tais quais o tempo de lixiviação e de tratamento térmico, a temperatura de calcinação e os reagentes empregados. Dentre alguns métodos retratados em literatura, Kalapathy, Proctor e Shultz (2000) analisam a lavagem ácida com precipitação em meio básico como um método mais vantajoso em relação aos demais, uma vez que a energia gasta é baixa, além de ser mais eficiente quanto aos custos dos processos que utilizam elevadas temperaturas.

Em suma, a obtenção de sílica através da reutilização de resíduos agrícolas é um processo a ser explorado, visto que gera um produto rentável amplamente utilizado e de alta qualidade. Na produção de materiais compósitos, via de regra é observado um aumento em módulo de elasticidade e resistência mecânica, com melhoria em estabilidade térmica. Entretanto, geralmente é necessário que se realize a funcionalização das partículas de sílica para melhor compatibilidade com os diferentes compostos e de se obter os melhores resultados.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, William F et al. Caracterização do compósito de poliuretano derivado do óleo de mamona (PUR) com sílica obtida da planta "cavalinha". 2007, [S.l.]: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 9. Campina Grande, 2007.
- AMUTHA, K; RAVIBASKAR, R; SIVAKUMAR, G. Extraction, synthesis and characterization of nanosilica from rice husk ash. *International Journal of Nanotechnology and applications*, v. 4, n. 1, p. 61–66, 2010.
- ANTON, Jônatan Josué. Avaliação térmica, mecânica e morfológica de incorporação de nanopartícula de sílica coloidal em matriz de poli (etileno-co-acetato de vinila). 2009. 47 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- BRACHO, Diego et al. Functionalization of silica nanoparticles for polypropylene nanocomposite applications. *Journal of Nanomaterials*, v. 2012, 2012.
- BÜCHNER, Christin; HEYDE, Markus. Two-dimensional silica opens new perspectives. *Progress in Surface Science*, v. 92, n. 4, p. 341–374, 2017. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079681617300229>>.
- CARMONA, V B et al. Nanosilica from rice husk: Extraction and characterization. *Industrial Crops and Products*, v. 43, p. 291–296, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669012003962>>.
- CARNEIRO, Mayara Elita et al. Métodos de obtenção e caracterização de nanopartículas de sílica a partir de *Equisetum arvense* L. Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2013.
- CASTRO, Victor Cunha. Obtenção de sílica do resíduo da agroindústria de arroz. 2015.
- CHEUNG, Teresa L Y; NG, Dickon H L. Conversion of Bamboo to Biomorphic Composites Containing Silica and Silicon Carbide Nanowires. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 90, n. 2, p. 559–564, 1 fev. 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2006.01390.x>>.
- DAI, Caili et al. Solid-like film formed by nano-silica self-assembly at oil–water interface. *Chemical Engineering Science*, v. 195, p. 51–61, 2019.
- DE LIMA JÚNIOR, José Roberto; SOUZA, Ana Paula. SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS DE SÍLICA PARA FORMAÇÃO DE COMPLEXOS COM ÍONS LANTANÍDEOS. 2015, Recife, Pernambuco: Universidade Federal de Pernambuco, 2015. Disponível em: <[https://www.ufpe.br/documents/616030/851322/Sintese\\_e\\_caracterizacao\\_de\\_novos\\_materiais\\_de\\_silica.pdf](https://www.ufpe.br/documents/616030/851322/Sintese_e_caracterizacao_de_novos_materiais_de_silica.pdf)>.
- DELLA, Viviana Possamai et al. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. *Química Nova*, v. 29, n. 6, p. 1175–1179, 2006.
- ELOCHUKWU, Henry; GHOLAMI, Raof; DOL, Sharul Sham. An approach to improve the cuttings carrying capacity of nanosilica based muds. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 152, p. 309–316, 2017.
- FANGMEIER, Michele; HOEHNE, Lucélia. Avaliação de carvão ativado e de sílica como adsorventes para amostras com corantes e com sódio. *Revista Destaques Acadêmicos*, v. 4, n. 4, 2012.
- FARIAS, Robson Fernandes De; AIROLDI, Claudio. Síntese e reatividade de sílica lamelar. *Química Nova*, v. 23, n. 1, p. 88–93, 2000.
- FERNANDES, L.; SABINO, M. G.; ROSSETTO, H. L.. Método de extração de sílica da casca do arroz. *Cerâmica*, São Paulo, v. 60, n. 353, p. 160-163, Mar. 2014. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132014000100022&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132014000100022&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 08 Out. 2020.

- FERREIRA, Hadma Sousa; RANGEL, Maria do Carmo. Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. *Química nova*, v. 32, n. 7, p. 1860–1870, 2009.
- FERREIRA, Michel Jean. Obtenção de Silicato de Sódio por Lixívia Alcalina a partir da Cinza da Casca de Arroz para Uso como Defloculante. 2013. 85 f. Universidade Federal de Santa Catarina, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/107112>>.
- GOMES, Luana Silva; DE SOUZA, Marcos Costa; FURTADO, Antonia Carlene Rodrigues. A sílica e suas particularidades. *Revista Virtual de Química*, v. 10, n. 4, 2018.
- GUZEL KAYA, Gulcihan; DEVECI, Huseyin. Modified silica xerogel derived from groundnut hull ash by alkyl-ammonium salt for epoxy nanocomposites: Synergistic effects on thermal stability and flame retardancy. 2020.
- ISSA, Hasan K; TAHERIZADEH, Aboozar; MALEKI, Ali. Atomistic-level study of the mechanical behavior of amorphous and crystalline silica nanoparticles. *Ceramics International*, 2020.
- KALAPATHY, Uruthira; PROCTOR, A; SHULTZ, John. A simple method for production of pure silica from rice hull ash. *Bioresource technology*, v. 73, n. 3, p. 257–262, 2000.
- LEE, Hyunjoo; YI, Jongheop. Removal of copper ions using functionalized mesoporous silica in aqueous solution. *Separation Science and Technology*, v. 36, n. 11, p. 2433–2448, 2001.
- LUNT, Alexander J G; CHATER, Philip; KORSUNSKY, Alexander M. On the origins of strain inhomogeneity in amorphous materials. *Scientific reports*, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2018.
- MA, Xiao-kun et al. Surface modification and characterization of highly dispersed silica nanoparticles by a cationic surfactant. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 358, n. 1–3, p. 172–176, 2010.
- MA, Yingzhen et al. Adsorption of Fatty Acid Molecules on Amine-Functionalized Silica Nanoparticles: Surface Organization and Foam Stability. *Langmuir*, v. 36, n. 14, p. 3703–3712, 2020.
- MAGALHÃES, Washington Luiz Esteves; DE CADEMARTORI, Pedro Henrique Gonzalez. Processo para deposição de nanosílica em painéis de fibras de madeira de média densidade (MDF). *Embrapa Florestas-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)*, v. 419, p. 7, 2018. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1099399/1/CT4191569final.pdf>>.
- MITTAL, Davinder. Silica from ash. *Resonance*, v. 2, n. 7, p. 64–66, 1997.
- MONTEIRO, Wesley et al. Preparação de Compósitos de Poliuretano e Sílica das Cinzas da Casca de Arroz. *Seminário Interno de Avaliação da Iniciação Científica*, v. 2, n. 1, p. 31–32, 2012.
- MOOSA, Ahmed A; SADDAM, Ban F. Synthesis and characterization of nanosilica from rice husk with applications to polymer composites. *Am. J. Mater. Sci*, v. 7, n. 6, p. 223, 2017.
- NAKANISHI, Erika Y et al. Characterization and properties of elephant grass ashes as supplementary cementing material in pozzolan/Ca (OH) 2 pastes. *Construction and Building Materials*, v. 73, p. 391–398, 2014.
- PERES, Enrique Chaves. Produção e caracterização de nano sílica modificada obtida de casca de arroz para a utilização como adsorvente de corantes. 2018.
- PLOTEGHER, Fabio; RIBEIRO, Cauê. Preparação e caracterização de compósitos poliméricos baseados em amido termoplástico e materiais de alta área superficial: zeólita ZSM-5 e sílica coloidal. *Polímeros*, v. 23, n. 2, p. 236–241, 2013.
- QIAO, Bing et al. Surface modification to produce hydrophobic nano-silica particles using sodium dodecyl sulfate as a modifier. *Applied Surface Science*, v. 364, p. 103–109, 2016.
- RANGARAJ, Suriyaprabha; VENKATACHALAM, Rajendran. A lucrative chemical processing of bamboo leaf biomass to synthesize biocompatible amorphous silica nanoparticles of biomedical importance. *Applied Nanoscience*, v. 7, n. 5, p. 145–153, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13204-017-0557-z>>.

RIBEIRO, C et al. Caracterização microestrutural de nano-SiO<sub>2</sub> obtida de fontes vegetais para uso em nanocompósitos. 2007. In: WORKSHOP DA REDE DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 3., 2007, 2007.

SARAWADE, Pradip B et al. Synthesis of sodium silicate-based hydrophilic silica aerogel beads with superior properties: Effect of heat-treatment. *Journal of Non-Crystalline Solids*, v. 357, n. 10, p. 2156–2162, 2011.

SINYOUNG, Suthatip et al. Synthesis of belite cement from nano-silica extracted from two rice husk ashes. *Journal of environmental management*, v. 190, p. 53–60, 2017.

VAIBHAV, Vineet; VIJAYALAKSHMI, U; ROOPAN, S Mohana. Agricultural waste as a source for the production of silica nanoparticles. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 139, p. 515–520, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386142514018630>>.

WESTCOTT, Sarah L et al. Formation and adsorption of clusters of gold nanoparticles onto functionalized silica nanoparticle surfaces. *Langmuir*, v. 14, n. 19, p. 5396–5401, 1998.

YUVAKKUMAR, R et al. High-purity nano silica powder from rice husk using a simple chemical method. *Journal of experimental nanoscience*, v. 9, n. 3, p. 272–281, 2014.

# DESENVOLVIMENTO AUXILIADO PELA METODOLOGIA DA QUALIDADE PDCA DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS A BASE DE AMIDO MODIFICADO REFORÇADO COM FIBRAS DE COCO

Geovana Pires Araujo Lima  
Universidade Estadual de Santa Cruz  
gpalima@uesc.br

Joice Kelly Novais  
Universidade Estadual de Santa Cruz

Jhonatas Marinho Riqueza  
Universidade Estadual de Santa Cruz

Celso Carlino Maria Fornari Junior  
Universidade Estadual de Santa Cruz

## RESUMO

Este estudo aplicou-se ao desenvolvimento de um material compósito com propriedades mecânicas significativas para aplicações tecnológicas. Este material possui características amigáveis com o meio ambiente, como: biodegradabilidade, produção com baixo impacto de poluição, ciclo infinito de oferta de matéria-prima, materiais oriundos de fontes renováveis e baixo custo. O novo material compósito utiliza como solvente a água para a formação do produto final. Durante o seu processamento é necessário a reação entre o solvente e o amido e após a retirada do excesso de solvente. Para isso o material compósito sofre um tratamento térmico, necessitando de controle dos parâmetros, tanto da qualidade de solvente como da quantidade de energia térmica. Para auxiliar no controle destes parâmetros, foi utilizado a metodologia da qualidade contínua denominada de PDCA. Com o apoio desta metodologia as

propriedades do compósito puderam ser avaliadas em cada etapa experimental, avançando assim para obtenção ótima do compósito de amido modificado e fibras de coco. Isso permitiu a obtenção das propriedades melhoradas do compósito em curto intervalo de tempo ao mesmo tempo em que forneceu as condições para avaliações e melhorias do modo de processamento. Após cinco ajustes no processamento do compósito, os resultados mostraram que a temperatura de 90 °C e a relação solvente, amido e fibra de coco igual e respectivamente, 5;1;2 foram as ideais.

### Palavras-chave:

Fibra de coco; Biodegradável; PDCA.

## ABSTRACT

*This study was applied to the development of a composite material with significant mechanical properties for technological applications. This material has environmentally friendly characteristics, such as biodegradability, production with low pollution impact, infinite cycle of raw material supply, materials from renewable sources and low cost. The new composite material uses water as a solvent to form the final product. During its processing, the reaction between the solvent and the starch is necessary and after removing the excess solvent. For this, the composite material undergoes a heat treatment, requiring control of the parameters, both of the quality of solvent and the amount of thermal energy. To assist in the control of these parameters, the continuous quality methodology called PDCA was*

*used. With the support of this methodology, the properties of the composite could be evaluated at each experimental stage, thus advancing to obtain an optimal composite of modified starch and coconut fibers. This allowed obtaining the improved properties of the composite in a short time while providing the conditions for evaluations and improvements in the processing mode. After five adjustments in the processing of the composite, the results showed that the temperature of 90 °C and the solvent ratio, starch and coconut fiber equal and respectively, 5; 1; 2 were ideal.*

### Keywords:

Coconut fiber; Biodegradable; PDCA.

## INTRODUÇÃO

O nível de desenvolvimento tecnológico atual permite trazer à grande massa de consumidores um maior conforto e bem estar em praticamente todas as áreas da engenharia, indo desde alimentos, fármacos, bens de consumo, construção civil até ao setor de transportes. Isso demanda fornecimento de matérias-primas, para os inúmeros processamentos de materiais que devem atender às mais diversas áreas. Neste contexto, a sociedade científica vem empregando esforços para descobrir alternativas viáveis e mais amigáveis com o meio ambiente e que ao mesmo tempo supra as demandas industriais de produção de bens (OLIVEIRA; PEREIRA; NEVES, 2018; SILVA.; RABELO, 2017; NUNES et al., 2018; CAPORAL, 2016; DIAS, 2016).

As demandas de matéria-prima e outros suprimentos necessários ao setor industrial para a produção de bens são na verdade pressionadas pelo crescimento demográfico. O crescimento da população gera a necessidade de um aumento no suprimento de produtos e bens, forçando assim as bases que oferecem a matéria-prima para este ciclo de produção. A sociedade tem assistido ao aumento de taxa de crescimento populacional a partir de meados do século XX, onde alguns países mais pobres dobraram o número de habitantes num espaço de aproximadamente 30 anos (SILVA et al., 2015). A população mundial a marca de 2,5 bilhões de habitantes em 1950, 7,8 bilhões em 2020 e as projeções apontam para 10,9 bilhões em 2100. Isso demonstra um crescimento absoluto de 4,3 vezes para um período correspondente de 150 anos (ALVES, 2019).

O Brasil é um país que apresentou grandes avanços em relação ao crescimento populacional. Os hábitos de higiene e as novas políticas de saúde pública, abrangeram todas as faixas etárias, salientando que as crianças apresentaram maiores ganhos de sobrevivência. Houve uma queda na mortalidade infantil, que passou de 160 para 13,3 por mil nascidos vivos entre 1940 e 2016. De acordo com a Projeção Populacional do IBGE (2013), a previsão é de que, em 2050, cerca 30% da população esteja com mais de 60 anos de idade, contra apenas 5% em 1950. Isso projeta o Brasil a ser o 5º país mais populoso do mundo em 2050 (MYRRHA, TURRA, WAJNMAN, 2017; MIRANDA; MENDES; SILVA, 2016).

O setor industrial tem igualmente acompanhado o crescimento populacional e aumentado a sua produtividade e também a produção de bens de consumo em geral. O setor pode se beneficiar das invenções e da mecanização industrial. Com o aperfeiçoamento de máquinas que auxiliem a manufatura de artefatos, houve um aumento significativo na produção de artigos diversos. A indústria têxtil da Inglaterra, em meados do século XVIII, trouxe a luz da sociedade moderna o primeiro exemplo de aplicação de máquina no setor de manufaturados. Na década de 1730, os teares de algodão foram aperfeiçoados de modo a permitir mais rapidez e maiores tamanhos de tecidos. Em torno de 1765 a indústria recebeu uma máquina denominada “spinning-jenny” e em 1767 outra denominada “water-frame”, permitindo grandes avanços na fiação de linhas, tanto em qualidade quanto em quantidade. Assim, ocorreram desenvolvimentos significativos no setor têxtil, por exemplo, o número de novas patentes subiu de 39 em 1820 para 156 na década de 1840. Da mesma forma os teares mecânicos ingleses saltaram de 2,4 mil em 1813 para 250 mil em 1850 (DATHEIN, 2003).

Neste cenário de crescimento positivo e expressivo, a ciência deve se voltar para preservação e continuidade do sistema de produção de bens e serviços, buscando e andando na direção da preservação permanente do nosso sistema atual. Neste contexto, a extração de materiais e energia se salienta como um ponto importante e limitante a continuidade do sistema produtivo. A dependência, por exemplo, de energia oriunda de combustíveis fósseis é uma situação que conduz a um fim inevitável. Da mesma maneira a dependência de matéria-prima oriunda de fontes não renováveis, também conduz a uma situação de colapso e extingüibilidade de fornecimento. Com esta situação atual em andamento, é importante buscar modelos de crescimento econômico que conduzam a condições sintonizadas de continuidade da produção ao mesmo tempo em que ocorra o fornecimento de materiais para a manufatura de bens (STOFFEL; COLOGNESE 2015). Estas condições e projeções de situações futuras, alertam para que a sociedade encontre soluções tanto de fornecimento de energia e matérias-primas, quanto para os cuidados com o meio ambiente.

Neste sentido, o material polimérico, tem aumentado a sua participação no setor industrial, dado principalmente as suas propriedades e custo de produção. No setor automobilístico, a utilização de polímeros para a construção de automóveis era em média de 30 kg por veículo na década de 70 e passou para 180 kg na década de 90 (HEMAIS, 2003).

Entretanto, um grande número de polímeros é oriundo de fontes não renováveis, o que se situa em uma condição adversa à continuidade do sistema de produção atual. No entanto, tem surgido uma classe de polímeros, cuja obtenção é proporcionada a partir de fontes renováveis de matéria-prima, denominados de biopolímeros, polímeros verdes ou polímeros biodegradáveis (BRITO et al., 2011). Os polímeros mais amigos do meio ambiente são uma classe de materiais poliméricos que advém de fontes infinitas de matéria-prima, pois apresentam um ciclo permanente de geração, utilização e descarte. Entre os diversos materiais que compõem esta classe, como fibras celulósicas, quitinas e gelatina, estão os amidos (FARIAS et al., 2016). Os amidos podem ser obtidos por meio do cultivo de plantas e cereais e está presente em todos os tecidos como folhas, frutos, sementes, raízes e galhos. Representa o principal componente de reserva das plantas, e é classificado como um polissacarídeo neutro formado por moléculas de D-glicose. O amido possui a característica de formar ligações do tipo pontes de hidrogênio, envolvendo as hidroxilas presentes na sua molécula. As ligações que ocorrem entre as hidroxilas se caracterizam por serem de dois tipos, inter ou intramolecular (SILVA et al., 2017a; SANTOS; FORMIGA; SILVA, 2016; OLIVEIRA, 2019). A modificação de uma ou mais das características originais dos amidos, por meio de processos físicos, como processamento térmico, exposição a radiações, ou por meio de processos químicos a partir da introdução de reagentes, que alteram as estruturas das suas macromoléculas, gera o chamado amido modificado (SILVA et al., 2006).

A alternativa de utilizar materiais sustentáveis e que tenha características renováveis é um caminho que muitos pesquisadores têm buscado para a solução de suprir o abastecimento do setor industrial. Entretanto, o maior desafio de desenvolver materiais a base de amido modificado está focado na qualidade de suas propriedades mecânicas. É importante para as aplicações industriais que o novo material além de apresentar características de sustentabilidade e biodegradabilidade, apresente uma performance ou desempenho compatível com as exigências das aplicações práticas.

O amido é um material constituído principalmente por cadeias de amilose e amilopectina formadas por monômeros de glicose, além de uma pequena fração de lipídios, sais minerais e proteínas. A fração de amilose que faz parte da formação do amido pode romper suas ligações originais com o hidrogênio e formar novas ligações com um plastificante. Assim, a cristalinidade do amido é desfeita e

proporciona outro estado ou arranjo, o que se apresenta na sua forma de gelatinização. Apesar de possuir caráter biodegradável, esses materiais para a sua conformação, exigem um processamento mais cuidadoso e específico (BERNARDO; ASCHERI; CARVALHO; 2016; REIS et al., 2016; AZEVEDO; SÁ; FUNGARO, 2018).

Além do amido, outro material de significativas vantagens, de grande abundância no Brasil e especialmente na Bahia, local em que a pesquisa está sendo realizada, é a fibra de coco. Desta forma, na corrida por uma alternativa sustentável para o suprimento de materiais na engenharia ao setor industrial, o amido modificado em associação com as fibras vegetais pode trazer uma contribuição significativa. A base da matriz polimérica, constituída de amido modificado e associada com fibras vegetais podem associar as propriedades mecânicas de ambos os constituintes. Entretanto, o processamento deste compósito à base de amido modificado passa pela transformação química da cristalinidade da amilose, bem como a influência da presença da fibra vegetal na matriz de amido. Nesta situação, ocorrem simultaneamente outros fatores importantes além da presença das fibras vegetais. A interação do solvente com a amilose e sua posterior retirada em presença da energia térmica aplicada é influenciada pela fibra vegetal. Este balanço de interações e processos físico-químicos foi o objetivo do estudo deste trabalho, direcionando para o entendimento da formação do compósito com propriedades relevantes.

Na direção de desenvolver um material com modificações químicas e físicas que possa apresentar propriedades desejáveis as aplicações industriais, foi necessário a aplicação de uma metodologia de melhoria contínua na área da qualidade, denominado de ciclo PDCA (Plan - Planejar, Do - Fazer, Check - Verificar, Action- Agir). A aplicação deste ciclo pode auxiliar na compreensão das interações que se processam durante a construção do compósito, bem como para organizar mais claramente os resultados que foram alcançados. Assim, a metodologia PDCA permite a organização e o entendimento mais claro dos resultados obtidos, auxiliando da tentativa de alcançar o aperfeiçoamento das propriedades. Também proporciona um diagnóstico ativo na superação de obstáculos pertinentes a construção do novo material.

O auxílio da gestão da qualidade surge diante das pesquisas e investigações tecnológicas e das mais variadas e repetidas mudanças nos meios de consumo da população, trazendo a possibilidade de aprimorar e implantar ferramentas gerenciais que aumentem a eficiência dos processos, em busca da evolução nas especificações, da administração a partir de indicadores e da melhoria contínua do processo em si (MAEKAWA, 2013).

A melhoria contínua no campo da qualidade sugere nesse aspecto um caminho para alcançar uma maior qualidade no produto final. Além disso, devido a forma de organizar os dados e resultados, eliminar desperdícios, reduzir as falhas e custos de produção por meio da avaliação metodológica de processos, é possível identificar e melhorar o desempenho quando este não satisfaz os objetivos estabelecidos. A utilização da metodologia PDCA pode auxiliar na busca pela excelência operacional, pois permite realizar ajustes e reduzir não conformidades, avaliar as metodologias empregadas e facilitar a visão dos processos e seus respectivos resultados (SILVA et al, 2017b)

Este estudo teve como objetivo principal, desenvolver um material compósito biodegradável, utilizando amido modificado e fibra vegetal de coco. Devido a necessidade da realização de uma série de etapas e ajustes, para entender o processo e alcançar as propriedades ideais, a organização detalhada de todos os aspectos foi alcançada utilizando a metodologia da qualidade PDCA. Com esta metodologia, os esforços aplicados neste trabalho foram minimizados e direcionados mais

especificamente para obter uma minimização do tempo de desenvolvimento e um material em conformidade em termos de propriedades ideais e possível de ser replicado.

## **METODOLOGIA DA QUALIDADE**

O trabalho de pesquisa e desenvolvimento envolve uma metodologia fundamental para a construção e ajustes do compósito polimérico que foi o objetivo do estudo. Então, foi feita uma explanação teórica desta metodologia, associando assim a engenharia de materiais para a construção do novo material com a engenharia de produção para o planejamento e gerenciamento da execução dos trabalhos.

## **QUALIDADE**

A história relata que a busca pela qualidade surgiu no início da produção de bens e serviços. Com o aumento da escala de produção de bens, foram notadas inúmeras inconformidades quando os produtos manufaturados eram comparados entre si. Mais particularmente e por uma natural necessidade de obter segurança e maior precisão, os artigos bélicos e militares chamaram maior atenção dos técnicos durante a primeira guerra mundial (WEKEMA, 1995). Desde então, a qualidade ou a busca pelo aperfeiçoamento e padronização dos produtos evoluiu proporcionalmente conforme as exigências da demanda dos usuários. Foram aplicados esforços para desenvolver modelos teóricos para aprimorar a qualidade final dos produtos, bem como o seu gerenciamento contínuo de forma a assegurar o melhor desempenho nas operações de manufatura. Isso possibilitou uma maior interação entre as áreas e processos, organizando e delineando uma forma dirigida de produção de bens, a qual culminou em um aperfeiçoamento e maior padronização dos produtos acabados (RODRIGUES et al., 2017; SANTOS et al., 2019).

Os estudiosos que se dedicaram no aperfeiçoamento da qualidade e que hoje são denominados os “gurus” da qualidade, conceituam essa visão de melhoria e aperfeiçoamento em termos relativamente simples: “Qualidade é a adequação ao uso” (JURAN, 1990), “a qualidade de um produto ou serviço está condicionada ao grau de satisfação e conveniências do consumidor final” (GARVIN, 1992), “atender e se possível superar a expectativa do cliente” (DEMING, 1975), “atender aos requisitos (zero defeitos)” (CROSBY 1995), “Grau de conformidade com a especificação, ou seja, o compromisso com a excelência (Total QualityControl)” (FEIGENBAUM 1986).

De maneira objetiva, a busca pela qualidade é na verdade o aperfeiçoamento e padronização do produto, voltado diretamente para atender e satisfazer o consumidor ou usuário final. Na visão do usuário, os produtos ou serviços devem estar em conformidade com um padrão aceitável e obviamente adequados ao uso. Na visão da manufatura, a qualidade é inversamente proporcional à variabilidade (MONTGOMERY, 2016).

## **GESTÃO**

Gestão é o termo técnico que engloba a ação de gerenciar. A gestão não apenas observa e analisa os resultados, mas interfere diretamente na produção, atuando nas modificações que promovem melhorias.

Ela está focada na aplicação sistemática de um conjunto de atividades que dirigem, orientam e controlam a organização abrangendo o planejamento, controle, a garantia, e a execução do produto final desde o seu ciclo inicial. Ela tem a responsabilidade de compreender os parâmetros que impulsionam a empresa, isto é, os prazos de entrega de produtos, custos, produtividade, flexibilização das operações e as inovações. Em resumo, é um conjunto de atividade que se preocupa com todas as etapas do serviço ou manufatura, desde o recebimento das matérias-primas até a expedição dos produtos (MYRRHA; TURRA; WAJNMAN, 2018; CARVALHO; PALADINI, 2012).

Segundo a normatização NBR ISO 9000:2000, o crescente sucesso da organização pode estar envolvido com a gestão da qualidade, por meio de um processo de melhoria contínua. Com esta visão técnica, ela apresenta oito diretrizes ou princípios de gestão de qualidade, que podem ser divididas em três direções diferentes. A direção do consumidor apresenta a diretriz “visão no cliente”. A direção da manufatura apresenta as diversas diretrizes “liderança empresarial, envolvimento de pessoas, abordagem de processo, abordagem sistêmica para a gestão empresarial, melhoria contínua e abordagem factual para a tomada de decisão”. E a direção de suprimentos apresenta a diretriz voltada para a “importância dos benefícios mútuos nas relações com os fornecedores”.

A Gestão de Qualidade Total é uma ferramenta de gestão que visa a melhoria contínua em todas as áreas da organização (SANTOS, 2019). Esse processo de melhoria contínua se trata de um processo gradativo com constantes mudanças, sem necessidade de substituição ou modificação de um todo, mas sim a eliminação de desperdícios, priorizando uma maior qualidade dos produtos (GOZZI, 2015).

Este trabalho abordou uma metodologia da gestão da qualidade, de forma a organizar os resultados obtidos durante o objeto da pesquisa e direcionar claramente para um aperfeiçoamento das propriedades do produto final. Ele se constitui de técnicas, procedimentos e métodos com o objetivo de melhorar os processos e produtos, por meio de um ciclo de melhoria contínua, PDCA, que apresenta quatro fases bem definidas que são descritas na subseção 2.3.

## **PDCA**

A técnica organizacional de procedimentos de execução e avaliação é denominada PDCA. A metodologia PDCA é uma sigla que significa Plan, Do, Check, Action (Planejar, Fazer, Verificar e Agir) e é um método de gestão da qualidade, de melhoria contínua que auxilia no desenvolvimento de produtos, organiza os resultados separadamente, possibilita a avaliação específica principalmente quando ocorre a necessidade de orientação de tarefas em sequência para gerenciar uma ação específica.

Segundo Amaral et al. (2017), a metodologia PDCA tem avançado nas empresas devido a sua comprovada eficiência como metodologia para busca da melhoria contínua. Ela é uma das metodologias de gestão comumente usada nesses processos em razão da simplicidade de monitoramento e aplicação, visto que um dos pressupostos da metodologia é o controle dos resultados e correções dos desvios. Contudo, é relevantemente importante o entendimento claro de cada etapa do processo, bem como a definição dos objetivos que devem ser alcançados com exatidão para que seja possível ter foco e visão correta dos resultados obtidos (GOUVEIA et al., 2017).

É importante na metodologia PDCA, regularizar sistematicamente as atividades, seguindo rigorosamente os objetivos traçados para o alcance pleno da formação das melhores propriedades do novo material. O ciclo PDCA orienta com segurança e simplicidade a sequência de atividades que

devem ser realizadas para alcançar o objetivo que foi planejado, com o foco de incrementar a qualidade, em um processo de melhoria contínua. O PDCA apresenta quatro passos ou etapas bem estabelecidos e que consistem em:

- a) Planejar (PLAN):** Esta é a primeira etapa do ciclo. Ela é encarregada de definir os objetivos e os processos necessários para promover os resultados conforme os planejamentos almejados. Por meio da identificação e análise do problema, determinação de metas, a análise do processo e a concepção do plano de ação. Nesta etapa são definidas as direções em que o projeto deve percorrer para a sua execução (FORNARI JUNIOR, 2010; GOMES FILHO, V; GASPAROTTO,2019);
- b) Fazer (DO):** Constitui a segunda etapa ou passo da metodologia. Ela consiste em executar o que ficou definido na primeira etapa do trabalho. As execuções são então implementadas, de maneira sistemática, nas ações definidas no plano de execução engendrado na fase anterior (FORNARI JUNIOR, 2010; GOMES FILHO, V; GASPAROTTO,2019);
- c) Checar (CHECK):** Esta parte constitui a terceira etapa da metodologia. Talvez em muitos casos, esta seja a etapa mais importante para a futura direção do projeto. Após a execução, é realizada a verificação da eficácia das ações tomadas, e evidenciadas as possibilidades de melhoria. O cuidado nas observações que irão verificar os resultados obtidos são importantes para mostrar a real situação do projeto (FORNARI JUNIOR, 2010; GOMES FILHO, V; GASPAROTTO,2019);
- d) Agir (ACT):** Esta constitui a última etapa do ciclo, em que ocorre a atuação, após a checagem realizada na etapa anterior é analisado se os objetivos foram atingidos, caso isso ocorra, os procedimentos implantados na fase “fazer (DO)” são padronizados, caso contrário, deve-se solucionar os problemas identificados, e o ciclo é reiniciado em um processo de melhoria contínua (FORNARI JUNIOR, 2010; GOMES FILHO; GASPAROTTO, 2019).

A metodologia do PDCA detalha de maneira segura, todos os passos que devem ser dados para a execução e avanço do projeto. A organização dos resultados e planejamentos subsequentes está delimitada pela metodologia de forma relativamente simples. Desta forma, ela alinha os resultados e avanços alcançados com a próxima meta a ser definida e atingida. Isso propicia uma organização e direção simplificada, no sentido de buscar alcançar em linha reta o resultado final desejado. Evidentemente, para ser atingido o objetivo pleno, se faz necessário a superação de várias etapas preliminares, que se constituem em barreiras intrínsecas do próprio desenvolvimento do material (RAPÔSO et al., 2019).

A metodologia PDCA de gerenciamento objetiva estabelecer uma visão bem clara do andamento do processo e sua execução. Isso facilita a escolha da melhor e mais correta decisão que deve ser tomada, logo, pode permitir o alcance positivo das etapas preliminares no desenvolvimento do novo produto. Assim, ocorre uma avaliação mais apurada e específica dos resultados obtidos no desenvolvimento e, conseqüentemente, qual a direção mais adequada para a próxima tomada de decisão (PAULA et. al, 2019). Isso permite que sejam realizadas as modificações pertinentes em fase incipiente do desenvolvimento do produto, reduzindo tempo, custo e maximizando as chances de êxito. A aplicação da metodologia PDCA, conseqüentemente, incrementa a vantagem competitiva da organização (ISHIDA; OLIVEIRA, 2019).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo Fontelles et al. (2009) as pesquisas de desenvolvimento podem ser classificadas quanto à finalidade, natureza, forma de abordagem, objetivos e procedimento técnicos. Desta forma, a Tabela 1 apresenta a classificação do presente estudo.

| <b>TIPO de pesquisa</b> | <b>ENQUADRAMENTO do estudo</b> |
|-------------------------|--------------------------------|
| <b>Finalidade</b>       | Aplicada                       |
| <b>Natureza</b>         | Experimental                   |
| <b>Abordagem</b>        | Quantitativa                   |
| <b>Objetivo</b>         | Explicativa                    |
| <b>Execução</b>         | Laboratorial                   |

Tabela 1: Tipo de pesquisa e enquadramento do estudo.  
Fonte: Dos Autores (2020)

A metodologia para o desenvolvimento do estudo utilizou além da técnica de planejamento PDCA, materiais naturais. As fibras de coco foram utilizadas na condição de fibras moídas. Elas foram obtidas industrialmente em usina de beneficiamento de fibras de coco. As fibras foram obtidas de frutos sadios provenientes da região do Sul da Bahia. As fibras foram submetidas à secagem em estufa pelo período de três horas a  $110 \pm 5$  °C e posteriormente separadas por peneiras com malha de 50 e 35 mesh, Para a produção dos corpos de prova, em um becker, foram acondicionadas 1 parte em peso de amido modificado para 5 partes em peso de água, e posteriormente aquecidas em micro-ondas de 1200W pelo tempo de um minuto, onde ocorreu a gelatinização da mistura (amido modificado). Após o aquecimento e gelatinização do amido foram adicionadas ao becker 2 partes em peso de fibra moída em relação ao amido, isto é, 1:2 (amido: fibra). Os materiais foram misturados manualmente com auxílio de uma espátula até a homogeneização completa. Para a formação dos corpos de prova ou amostras, foram utilizados moldes apropriados revestidos com uma camada de parafina líquida, como forma de evitar a aderência do compósito às paredes do molde. Os moldes foram preenchidos com a mistura amido modificado e fibra. A mistura amido/água/fibra foi transferida do becker para o molde, e levemente compactada manualmente com auxílio de uma espátula. Após o preenchimento dos moldes, estes foram posicionados sobre uma folha de papel, de forma a proporcionar o seu manuseio. Em seguida, a mistura foi prensada em prensa hidráulica, da marca Solab, modelo SL 11, por três minutos com 0,1 Kgf/cm<sup>2</sup> a temperatura ambiente. Em seguida os corpos de prova moldados foram retirados cuidadosamente dos moldes e conduzidos para o processo de aquecimento. O aquecimento do material compósito se faz necessário, devido as reações que o amido modificado necessita realizar, além da retirada da umidade em excesso presente no material. Para isso, a equipe ensaiou diferentes formas de aquecimento (microondas, forno fechado, chapa de aquecimento), de maneira a obter a melhor performance na confecção do compósito. A forma que apresentou uma taxa de evaporação da umidade de maneira mais regular e constante, foi o aquecimento com chapa aquecida. Para o processo de aquecimento dos corpos de prova, foi utilizado então uma chapa de aquecimento TE-0851, da marca Tecnal, onde os corpos de prova ficaram dispostos cinquenta milímetros acima da superfície aquecida. Para manter a distância da chapa aquecida foi usado uma tela metálica devidamente adaptada para este propósito. O processo de aquecimento ocorreu por seis horas a temperatura de 90 °C. Os corpos de prova foram pesados em tempos programados com auxílio de uma balança, da marca Marte modelo M2K, considerando duas casas decimais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os compósitos com amido modificado envolvem uma série de etapas necessárias durante o seu processamento para alcançar as propriedades do novo material. A estruturação dos constituintes do novo compósito passa por algumas etapas de modificação do amido e que são classificadas em: estado de pasta, retrogradação, anelado, gelatinização, estado de gel e geleificação (DENARDIN; SILVA, 2009; VIELL et al., 2013). O estado de pasta do amido é proporcionado pelo inchamento do grânulo em presença de excesso de água. O constituinte amilopectina é o responsável pela formação da fase dispersa com a presença da amilose na sua forma cristalina. No processo de retrogradação ocorre a organização molecular das cadeias do amido gelatinizado. Com temperaturas abaixo da temperatura ideal da gelatinização pode ocorrer uma reorganização e reorientação do amido, permitindo uma conformação das moléculas diferentes. Esse processo é denominado de anelado. A gelatinização é o resultado da decomposição irreversível das estruturas cristalina na presença de água. O estado de gel é a separação da fase contínua constituída pelas cadeias de amido e a fase dispersa pelo solvente. A geleificação é uma modificação substancial que pode ocorrer no amido modificado. Isso resulta em separação de fases e pode proporcionar modificações das propriedades e tendência a aumentar o processo de retrogradação. A amilose pode formar complexos com substâncias polares em presença de água e calor. Essa formação descrita para o amido apresenta caráter reversível (ALMEIDA, BORA, ZÁRATE, 2013; CEREDA, 2002; SANTOS; SARON, 2017).

Os amidos nativos não possuem caráter termoplástico, isto é, não podem ser moldados ou conformados por meio de calor. Isso é devido a presença de ligações de hidrogênio que interagem entre si através dos grupos hidroxilas presentes na molécula. Entretanto, os amidos nativos podem apresentar modificações nas suas propriedades físicas quando submetidos a tratamentos térmicos, radiações, enzimas, oxidação ou por meio de agentes químicos específicos (LIU et al., 2009; JUSTUS et al., 2020). Neste trabalho, a modificação do amido com a presença de água e calor foi avaliada passo a passo para a formação do compósito. O processo exige cuidados especiais, principalmente na formação do material sólido. A retirada de umidade da estrutura que foi modificada irreversivelmente pela decomposição das estruturas cristalinas, é um processo delicado e foi avaliado com o auxílio da metodologia PDCA.

Na figura 1 é demonstrado os ciclos aplicados no desenvolvimento do produto usando a metodologia PDCA. A representação caracteriza a abrangência distinta de cada ciclo ou passo da aplicação da metodologia.

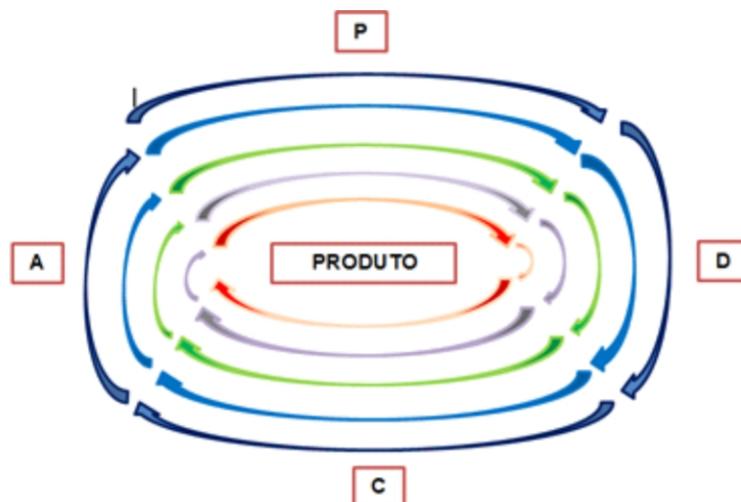


Figura 1: Representação gráfica dos ciclos da metodologia PDCA aplicados para a formação dos compósitos de amido modificado e fibras de coco.

Fonte: Dos Autores (2020).

O trabalho realizou a aplicação da metodologia PDCA por cinco ciclos consecutivos, onde obteve o material compósito.

## CICLO 1 DA METODOLOGIA PDCA

### Etapa 1 do PDCA

Na primeira etapa focando a qualidade absoluta, foi estabelecido a quantidade percentual de amido modificado para a construção do compósito. Entretanto, observou-se baseado em ensaios preliminares que o compósito formado por amido modificado e fibra vegetal no tamanho de 35 mesh mostravam trincas externas e significativamente grandes. As trincas representam falhas do material e são pontos sensivelmente frágeis para resistir às solicitações mecânicas. Segundo a literatura, estes pontos frágeis no corpo do material podem concentrar tensões quando o material é submetido a esforços físicos (MONTEIRO et al., 2006). Entretanto, para superar as condições desfavoráveis originária das trincas na formação do material, a metodologia da qualidade apresenta e sugere uma rota sequencial de operações, iniciando-se pelo planejamento. Para a tomada de decisão foi primeiramente discutido o problema com a equipe de trabalho. Foi abordado a relação do material, tanto na sua quantidade quanto do processo. Qual seria a fonte onde se inicia a formação das trincas no material e quais os fatores externos que podem influenciar nesta formação. Neste ponto inicial dos trabalhos, foi determinado três ordens de grandeza para as possíveis causas, classificando os possíveis motivos em: muito, razoável e pouco relevantes. A partir desta análise, a equipe determinou investigar a quantidade de amido modificado no compósito. Ficou estabelecido que os compósitos seriam feitos com quantidades variando em intervalos de 10%, iniciando com 10% até ao máximo de 50% em relação a fibra vegetal. Os compósitos foram avaliados por gravimetria a intervalos regulares de 30 minutos. Os resultados deste ensaio de conformação dos compósitos podem ser vistos na Figura 2.

## Etapa 2 do PDCA

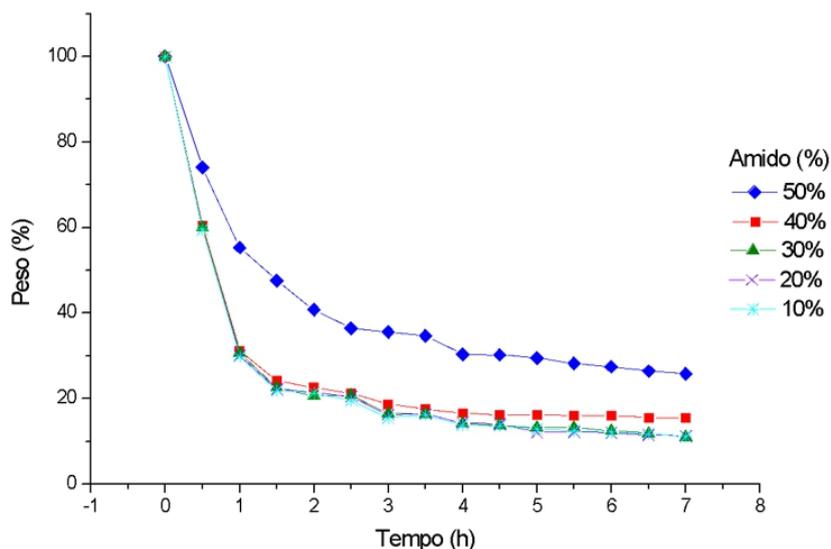


Figura 2: Análise gravimétrica em função do tempo dos compostos de fibra vegetal e quantidade variada de amido modificado submetidos a aquecimento.

Fonte: Dos Autores (2020).

Os resultados apresentados na Figura 2 revelaram uma proporcionalidade direta entre a percentagem de amido modificado e a perda de umidade em função do tempo de aquecimento. No estágio inicial de aquecimento (primeiras duas horas) a perda de massa é significativa. Ela corresponde a umidade que está em excesso no material, isto é, umidade livre. A retirada desta umidade é facilitada, pois ela não está ligada fortemente com os constituintes dos compósitos (amido e fibra). Após duas horas e até sete horas de aquecimento, a percentagem em peso diminuiu mais lentamente. Isso é devido a ação de romper as ligações da água com os constituintes e então passar para o estado de vapor. Os compósitos feitos com 10 e 20% de amido demonstraram maior facilidade na diminuição percentual do peso do compósito, enquanto que os demais compósitos apresentaram um comportamento bastante semelhante neste processo de aquecimento.

Os corpos de prova com quantidades de amido modificado entre 10% e 30% não revelaram trincas em quantidades significativas durante o processo de secagem. Os corpos de prova com quantidades entre 40% e 50% de amido modificado, revelaram trincas em maior quantidade em relação as demais porcentagens ensaiadas, observando-se que elas se iniciaram a partir das 02:30 minutos.

## Etapa 3 do PDCA

Nesta etapa do desenvolvimento do novo material compósito, a equipe recolheu as amostras para estudo e avaliação. Esta etapa deve ser bem estruturada para permitir a partir destes resultados o avanço no aperfeiçoamento do novo material. As observações nesta etapa servirão de guia para os próximos passos do trabalho. Os resultados demonstraram que os compósitos submetidos a aquecimento com 40% e 50% de amido modificado apresentaram significativas falhas e trincas. A Figura 3 mostra a imagem do compósito com 50% de amido modificado, após submetido ao processo térmico de conformação.



Figura 3: Compósito com fibra vegetal e 50% de amido modificado, submetido ao processo térmico por um tempo total de 7 horas.  
Fonte: Dos Autores (2020).

#### **Etapa 4 do PDCA**

A reavaliação prevista na metodologia PDCA, a qual é a última etapa do ciclo de melhoria, é denominada ação. Apesar de ser a última parte do ciclo ela se caracteriza por ser a primeira na tomada de decisão visando a melhoria do processo em questão. Nesta etapa da busca pela melhoria permanente e crescente, é oportuno a avaliação criteriosa dos resultados obtidos na etapa que antecedeu a decisão de formar o compósito. O entendimento exato vindo da terceira etapa é fundamental para um maior avanço da melhoria do produto. Ele serve de base para entender o que ocorre no processo e decidir como direcionar mais seguramente os próximos passos ou tomada de decisão.

A avaliação concluiu que apesar dos compósitos com 40% e 50% de amido modificado apresentarem uma quantidade significativamente elevada de trincas em relação aos demais compósitos, elas deveriam ser refeitas. Isso permitirá avaliar outros parâmetros de processo e objetiva chegar a uma proporção de fibra de coco, amido modificado e água que não ocasiona rupturas durante o processo de aquecimento. Esta decisão foi baseada no alcance da melhor performance em relação às propriedades físicas do compósito.

### **CICLO 2 DA METODOLOGIA PDCA**

#### **Etapa 1 do PDCA**

Nesta primeira etapa dos passos da metodologia PDCA, foi feita uma reunião com a equipe para que se determine uma tomada de decisão, baseada nos resultados obtidos no primeiro ciclo do PDCA, no sentido de buscar a correção das falhas explícitas decorrentes do processo térmico de transformação. Foi determinado que a temperatura era o fator talvez mais relevante do processo e possivelmente o

responsável pelo número de defeitos gerados no material compósito no primeiro ciclo. Desta forma, ficou decidido avaliar a quantidade de calor aplicado na etapa de tratamento térmico. Com isso, a fonte de calor foi reduzida em 50% e mantidos os compósitos com proporção de amido igual a 40 e 50%. Assim foi observado e avaliado a influência da energia térmica no processamento dos compósitos.

### **Etapa 2 do PDCA**

O processamento dos compósitos com 40 e 50% de amido foram refeitos, da mesma maneira que o processamento inicial, com a exceção de diminuição de 50% da energia térmica aplicada. Os resultados revelaram que após 7 horas de processo, os compósitos apresentaram uma redução de aproximadamente 0% em peso, isto é, ocorreu a estabilização do peso devido a retirada total da umidade. Este resultado foi o mesmo encontrada no primeiro processamento estudado.

### **Etapa 3 do PDCA**

Os corpos de prova foram então avaliados pela equipe. Os resultados demonstraram que os compósitos apresentaram significativas rachaduras na sua superfície durante a etapa de secagem. Entretanto, o compósito demonstrou aparentar rachaduras menores em relação ao processado inicial. A morfologia do corpo de prova se mostrou irregular, conforme apresentado na figura 4.



Figura 4: Compósito de fibra vegetal com 50% de amido modificado e submetido ao processo térmico por 7 horas.  
Fonte: Dos Autores (2020).

### **Etapa 4 do PDCA**

A equipe se reuniu para analisar e discutir os resultados obtidos neste segundo ciclo de processamento. Um ponto preocupante que foi levantado é que um dos motivos que influenciaram para a formação de rachaduras nos corpos pudesse ser o excesso de água presente nas amostras. Portanto, nesta etapa caracterizada pela tomada de decisão, estabeleceu-se que o processo será refeito para ser avaliado a influência da água na formação do compósito. O amido no compósito constitui a matriz polimérica que irá interagir com a fração de fibra, buscando alcançar as melhores propriedades do material. Ela desempenha um papel fundamental para a formação do novo

material. Desta forma, a equipe decidiu ensaiar as amostras de 50% de amido modificado, porém, avaliando diferentes níveis de concentração de água durante o processamento térmico, isto é, a etapa de secagem.

### CICLO 3 DA METODOLOGIA PDCA

#### Etapa 1 do PDCA

Neste terceiro ciclo de processamento os compósitos processados com 50% de amido modificado foram avaliados por gravimetria para o estudo da relação da presença da quantidade de umidade inicial no compósito.

#### Etapa 2 do PDCA

A Figura 5 apresenta o resultado dos compósitos com 50% de amido modificado com diferentes quantidades de água iniciais de formação e submetidos ao processo de aquecimento. Os estudos revelaram que durante o processo térmico de retirada de água, a diminuição do peso do compósito ocorreu de forma linear e semelhante para todos os compósitos ensaiados. Para o compósito apresentando a relação de 1:10,0 (amido/água), a perda de peso se mostrou maior a partir de 02:30 minutos aproximadamente. Isso revela que a perda de água quando o corpo de prova é submetido à aplicação de calor é maior em relação aos demais compósitos. O excesso de água no material, permite quando aquecido, a sua retirada com mais facilidade, devido principalmente a apresentar uma condição mais livre de interação com os componentes do novo material.

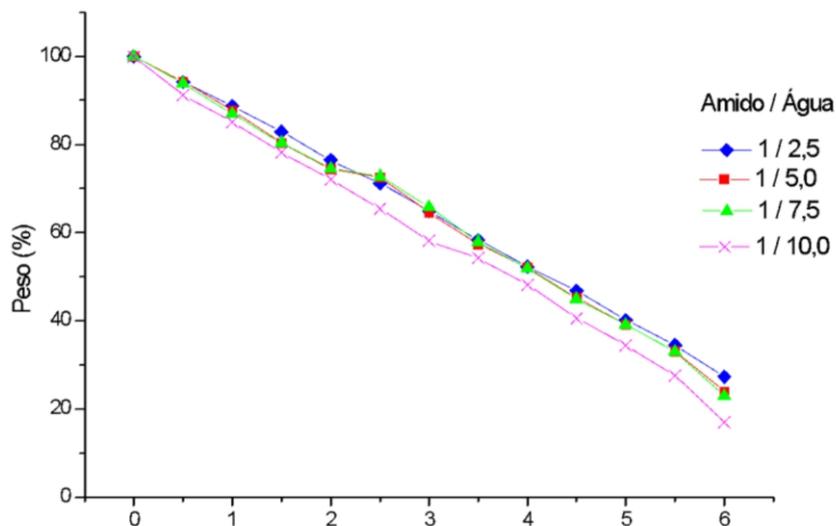


Figura 5: Avaliação gravimétrica dos compósitos com fibra vegetal e amido modificado com 50% de amido em peso e quantidades variadas de amido.

Fonte: Dos Autores (2020).

#### Etapa 3 do PDCA

Na Figura 5 é apresentado o resultado da análise gravimétrica dos compósitos com fibra vegetal e amido modificado com 50% de amido em peso. Neste ensaio de avaliação foi observado a variação da quantidade de água inicial no compósito. Os corpos de prova com a relação amido/água igual a 1/2,5 e 1/7,5 apresentaram a maior quantidade de rachaduras na sua superfície do corpo de prova do compósito. Isso foi avaliado pela equipe que verificou e avaliou como as condições menos favoráveis para a confecção dos compósitos. A melhor condição morfológica em que o compósito foi formado,

com menores quantidades de defeitos ou trincas superficiais, obedece uma relação entre os seus constituintes. A relação ideal para os parâmetros aplicados neste trabalho para a formação do compósito com menores quantidades de defeitos, obedece a proporção amido/água, igual a 1:5, isto é, para cada parte em peso de amido são acrescentadas cinco partes em peso de água.

#### Etapa 4 do PDCA

Baseado nas observações experimentais e resultados obtidos, foi determinado pela equipe que a condição de 1:5 amido/água pareceu ser uma condição favorável para auxiliar na confecção do material compósito. Ficou também decidido que seria aplicado uma força de pressão auxiliada com um molde, conformando com mais compactação os constituintes do compósito. Isso será avaliado nas etapas seguintes.

### CICLO 4 DA METODOLOGIA PDCA

#### Etapa 1 do PDCA

Nesta etapa dos trabalhos foi necessário avaliar as condições do processamento térmico com o auxílio de um molde feito em madeira, de maneira a buscar reduzir as imperfeições morfológicas e aumentar a compactação do compósito. O molde em alumínio foi substituído pelo molde feito em madeira e teoricamente auxiliou na conformação do compósito na etapa inicial de confecção, possibilitando melhores condições estruturais de aglomeração e compactação dos constituintes. A compactação foi introduzida na confecção do compósito, buscando aumentar a densidade do material, evitando a formação de possíveis vazios no seu interior.

#### Etapa 2 do PDCA

A execução do experimento nesta etapa dos trabalhos contou com moldes de madeira, sendo que um dos corpos de prova permaneceu dentro do molde durante todo o processo térmico, enquanto que o outro foi retirado totalmente do molde. O molde de madeira tem limitações laterais e é aberto na base e no topo. Ambos os corpos de prova permaneceram nas mesmas condições de temperatura, pelo período total de 04:00 horas, sendo um dentro do molde e outro sem o molde. Os resultados do experimento foram plotados na Figura 6, com avaliação gravimétrica

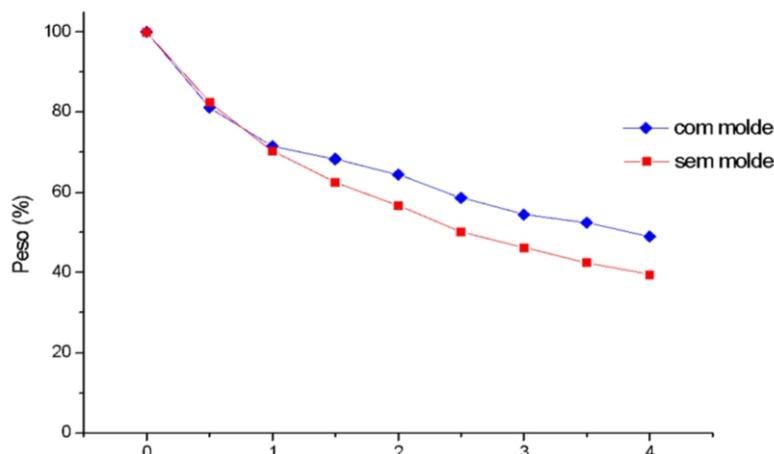


Figura 6: Avaliação gravimétrica dos compósitos com fibra vegetal e amido modificado com 50% de amido em peso moldados com pressão e submetidos ao processo térmico com e sem molde  
Fonte: Dos Autores (2020).

### Etapa 3 do PDCA

Os resultados apresentados na Figura 6 revelam que os compósitos submetidos ao tratamento térmico com e sem molde perderam a mesma quantidade de água durante a primeira hora de processo. Isso indica que a perda de água por aquecimento não é influenciada pela presença do molde nesta etapa. Entretanto, após este período, a perda de água é mais significativa para o compósito que foi retirado da matriz. O resultado revela que, a presença da matriz fechada nas laterais, limita a velocidade de evaporação ou a taxa de retirada de água. O corpo de prova do compósito apresentou poucas quantidades de irregularidades e rachaduras, demonstrando progresso em relação ao controle na confecção do novo material. A figura 7 apresenta o corpo de prova confeccionado com 50% de amido e tratado termicamente sem molde.



Figura 7: Corpo de prova com 50% de amido confeccionado sem a presença de molde.  
Fonte: Dos Autores (2020).

### Etapa 4 do PDCA

Nesta etapa de avaliação dos resultados, ficou demonstrado que a presença do molde tem duas influências básicas. Ela limita a forma do corpo de prova o que é um resultado positivo e satisfatório. Entretanto, a presença do molde dificulta a retirada da maior parte da água contida no compósito. Isso implica diretamente em um tempo mais longo de processo. Neste momento dos trabalhos faz-se necessário avaliar a influência da fonte de calor. A taxa de energia térmica imposta ao corpo de prova influencia diretamente nas suas características físicas. Isso ficou claro com a avaliação da presença ou não do molde.

Foi estabelecido que para a formação do corpo de prova isento de rachaduras e irregularidades, é importante que o compósito confeccionado com amido modificado e fibra vegetal receba o aquecimento de forma mais suave e controlada. A deformação na parte inferior do corpo de prova revela que, o excesso de energia térmica eleva a taxa de evaporação da água ao mesmo tempo em que ocorre o processo de modificação da cristalinidade pela gelatinização do amido. Desta forma, o trabalho foi conduzido para que o processo apresentasse uma taxa constante e uniforme de calor para todo o corpo de prova. Desta forma espera-se um maior controle na morfologia do material.

## CICLO 5 DA METODOLOGIA PDCA

### Etapa 1 do PDCA

Para a avaliação nesta etapa de construção de compósitos de amido modificado e fibra vegetal, a forma de aquecimento foi modificada. Os corpos de prova foram elevados e distanciados da parte mais aquecida da fonte de calor. Isso permitiu uma menor taxa de aquecimento e uma mais lenta retirada da água do compósito. Foi também modificado o processo de conformação dos corpos de prova, aplicando-se pressão para sua compactação. Um corpo de prova foi mantido no molde e o outro foi retirado do molde após uma hora de aquecimento. O resultado gravimétrico deste ensaio é mostrado na Figura 8.

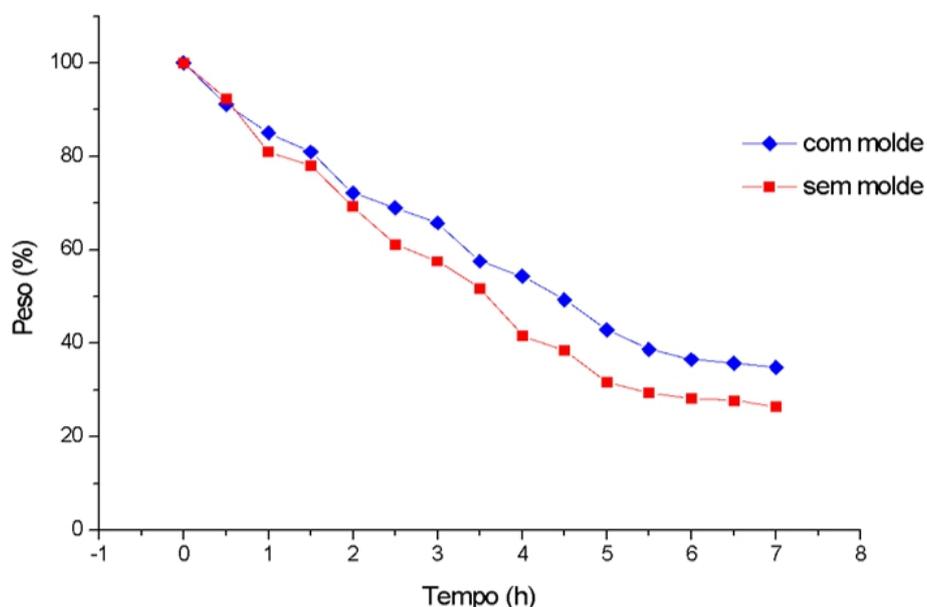


Figura 8: Avaliação gravimétrica dos compósitos de fibra vegetal e amido modificado com 50% de amido em peso moldados com pressão e submetidos ao processo térmico com e sem molde  
Fonte: Dos Autores (2020).

### Etapa 2 do PDCA

O gráfico da Figura 8 demonstra uma pequena diferença na taxa de evaporação dos corpos de prova por praticamente toda a etapa de secagem. O corpo de prova que após uma hora de processamento foi retirado do molde demonstrou perder maior quantidade de água.



Figura 9: Compósito com 50% de amido modificado, moldado sob pressão e submetido ao processo térmico controlado e sem molde por 7 horas.  
Fonte: Dos Autores (2020).

Também é importante ressaltar que as amostras não apresentaram rachaduras significativas durante todo o aquecimento e que a superfície se apresenta regular e isenta de deformações. Isso foi atribuído ao distanciamento dos corpos de prova da fonte de calor, de forma que o aquecimento ocorreu de forma mais branda. O corpo de prova obtido neste processo é apresentado na Figura 9, na página anterior.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os controles de umidade, amido, temperatura, pressão e permanência parcial no molde durante o processo de aquecimento, permitiram construir compósitos com amido modificado e fibra de coco. Os compósitos são compactos e praticamente isentos de irregularidades.

O uso da metodologia da qualidade denominada PDCA, permitiu o desenvolvimento do compósito de forma linear, direcionando a tomada de decisão com foco em cada problema que surgia na manufatura do novo material. Isso possibilitou uma investigação direcionada, evitando desvios de conduta e avaliação técnica dos resultados. A metodologia PDCA então impediu a ramificação dos ensaios que poderiam eventualmente serem avaliados, otimizando os ganhos do objetivo da pesquisa. Isso permitiu estruturar o desenvolvimento de manufatura do compósito na etapa inicial do trabalho com economia de tempo e objetividade na busca das soluções. O trabalho necessitou de cinco ciclos da metodologia para alcançar o objetivo proposto com uma formação do compósito estabelecida com uma quantidade igual a 2 partes de fibra de coco, 1 de amido e 5 partes de água, e temperatura igual a 90 °C pelo tempo mínimo de 7 horas.

## **RECONHECIMENTOS**

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Santa Cruz e ao LAPOS, Laboratório de Polímeros e Sistemas pelo apoio na realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. C., BORA, P. S., ZÁRATE, N. A. H. Amido nativo e modificado de taro (*Colocasia esculenta* L. Schott): caracterização química, morfológica e propriedades de pasta. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 31, n. 1, p. 67-82, 2013,
- ALVES, J. E. D. Envelhecimento populacional no Brasil e no mundo. *Revista Longeiver*, pag 5-9, 2019.
- ALVES, J. E. D. Sustentabilidade, Aquecimento Global e o Decrescimento Demo-econômico. *Revista Espinhaço | UFVJM*, 4-16, 2017.
- AMARAL, G. E. D., SANTOS, C. A., SILVA, L. L., GODOI, T. P., & VELOSO, T. S. (2017). Aplicação do Ciclo PDCA em uma Empresa de Flexografia. *Revista Acadêmica FEOL*, 1(1), 16-34.
- AZEVEDO, L. C., DE SÁ, A. S. C., FUNGARO, D. A. Propriedades do amido e suas aplicações em biopolímeros. *Cadernos de Prospecção*, 11, 351, 2018.
- BERNARDO, C. O., ASCHERI, J. L. R., CARVALHO, C. W. P. Effect of ultrasound on the extraction and modification of starches. *Ciência Rural*, 46(4), 739-746, 2016.
- BOMFIM, J. C.; ASSUNÇÃO, G. R.; FONSECA, B. G. A utilização da ferramenta 5S no processo de gestão de produção. *Revista Científica*, v. 1, n. 1, 2018.
- BRITO, G. F., AGRAWAL, P., ARAÚJO, E. M., MÉLO, T. J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. *Revista eletrônica de materiais e Processos*, 6(2), 127-139, 2011.
- CAPORAL, F. R. Poderá a Agroecologia responder aos cinco axiomas da sustentabilidade. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 11(4), 2016,
- CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. *Gestão da Qualidade: Teoria da Qualidade*. Rio de Janeiro: Campos, 2012.
- CEREDA, M. P. *Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas*. São Paulo: Fundação Cargil, 2002, v. 2.
- CROSBY, P. B. *Qualidade falada a sério*. São Paulo: Mc Graw-Hill. 201 p. p. 62. 1995.
- DATHEIN, R. *Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX*. DECON Textos Didáticos, v. 2, 2003.
- DEMING, W.E. *My View of Quality Control in Japan*. Report of Statistical Application Research. Tokyo: Union of Japanese Scientists and Engineers (JUSE), 1975. v. 22, n. 2, p. 25-32, 1975.
- DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. *Ciência Rural*, v. 39, p. 1-10, 2009.
- DIAS, C. P. Sustentabilidade na produção animal. *Revista de Ciência Veterinária e Saúde Pública*, 3, 333-336, 2016.
- FARIAS, S. S., SIQUEIRA, S. M. C., CRISTINO, J. H. S., ROCHA, J. M. Biopolímeros: uma alternativa para promoção do desenvolvimento sustentável. *Revista Geonorte*, 7(26), 61-77, 2016.
- FEIGENBAUM, A. V. *Total quality control*. New York: MC Graw-Hill. 386p. p. 224. 1986.
- FONTELLES, M. J., SIMÕES, M. G., FARIAS, S. H., FONTELLES, R. G. S. Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. *Revista Paraense de Medicina*, v. 23, n. 3, p. 1-8, 2009.
- FORNARI JUNIOR, C, C. M. Aplicação da Ferramenta da Qualidade (Diagrama de Ishikawa) e do PDCA no Desenvolvimento de Pesquisa para a reutilização dos Resíduos Sólidos de Coco Verde. *INGEPRO-Inovação, Gestão e Produção*, 2010, 2.9: 104-112.

- GARVIN, David A. Gerenciando a Qualidade – A Visão Estratégica e Competitiva. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992
- GOMES FILHO, V., GASPAROTTO, A. M. S. (2019). A importância do ciclo PDCA aplicado à produtividade da indústria no Brasil. *Revista Interface Tecnológica*, 16(2), 383-392. 2019.
- GOUVEIA, I.M.L.; BRASIL, A.S.; ALCALDE, E.A. Ferramentas de gestão para solução de problemas. *Revista Conexão Eletrônica*, v.14, p. 1144-1145, 2017.
- GOZZI, M. P. (2015). *Gestão da qualidade em bens e serviços*. São Paulo: Person.
- HEMAIS, C. A. Polímeros e a indústria automobilística. *Polímeros*, v. 13, n. 2, p. 107-114, 2003.
- ISHIDA, J. P.; OLIVEIRA, D. A. Um estudo sobre a Gestão da Qualidade: conceitos, ferramentas, custos e implantação. *ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-ISSN 21-76-8498*, 15.15, 2019.
- ISO, NBR. 9000: 2000–Sistemas de gestão da qualidade–Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro: ABNT, 26p, 2000.
- JURAN, J. M. Juran planejando para a qualidade. São Paulo: Pioneira. 394p. p. 143, p. 300. 1990.
- JUSTUS, A.; BENASSI, M. T.; IDA, E. I. KUROZAWA, L. E. Physical and chemical stability of microencapsulated okara protein hydrolysate by spray drying. *Brazilian Journal Food Technology [online]*. vol.23, e2019135. Epub Feb 21, 2020. ISSN 1981-6723, 2020.
- LIU, H; XIE, F.; YU, L.; CHEN, L.; LI, L. Thermal processing of starch-based polymers. *Progress in Polymer Science*, v. 34, p. 1348-1368, 2009.
- MAEKAWA, R.; CARVALHO, M. M. de; OLIVEIRA, O. J. de. Um estudo sobre a certificação ISO 9001 no Brasil: mapeamento de motivações, benefícios e dificuldades. *Gestão & Produção*. v. 20, n. 4, p. 763-779, novembro, 2013.
- MIRANDA, G. M. D., MENDES, A. D. C. G.; SILVA, A. L. A. O envelhecimento populacional brasileiro: desafios e consequências sociais atuais e futuras. *Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia*, 19(3), 507-519, 2016
- MONTEIRO, S. N., TERRONES, L. A. H., CARVALHO, E. D., D'ALMEIDA, J. R. M. Efeito da interface fibra/matriz sobre a resistência de compósitos poliméricos reforçados com fibras de coco. *Revista Matéria*, 11(4), 395-402, 2006.
- MONTGOMERY, D. C. *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. 7º ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- MYRRHA, L. J. D., TURRA, C. M., WAJNMAN, S. The contribution of births and deaths to population aging in Brazil, 1950 a 2100. *Revista Latinoamericana de Población*, 11(20), 37-54, 2017.
- NUNES, J. A. R., BONILLA, S. H., DA SILVA, H. R. O., BUENO, R. E. Cadeia de suprimentos e as práticas sustentáveis: uma proposta para o setor cosmético. *Iberoamerican Journal of Project Management*, 9(2), 118-136, 2018.
- OLIVEIRA, C. I. R. D., ALMEIDA, V. P. D., ROCHA, M. C. G.; ASSIS, J. T. D. Avaliação do efeito do agente compatibilizante (PP-g-MA) em misturas PP/Amido termoplástico. *Revista Matéria (Rio de Janeiro)*, 24(3), 2019.
- OLIVEIRA, P.; PEREIRA, L. A.; NEVES, M. G. A difícil busca pela cristalização do conceito de desenvolvimento sustentável pela perspectiva do desenvolvimento tecnológico. *Revista Mundi Sociais e Humanidades (ISSN: 2525-4774)*, v. 3, n. 1, 2018.
- PAULA, L. I. C., BENEVIDES, N. M. C., MONTE, W. S., MENEZES, E. R., ARAÚJO, M. A. Qualidade no Atendimento: Padronização com Base no Modelo PDCA. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 13(2), 41-49. 2019.
- RAPÔSO, C. F. L., SILVA, P. A. F., LIMA, H. M., OLIVEIRA JUNIOR, W. F., SOUZA BARROS, E. Gestão da Qualidade e da Produção: Análise comparativa entre o PDCA e o DMAIC. *RACE-Revista da Administração*, 4, 147-153, 2019.

- REIS, M. M., SANTOS, Z. I., UEKI, M. M., BRITO, G. F. Avaliação do Tipo de Plastificante nas Propriedades de Blendas de Polietileno/Amido Termoplástico. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 11(3), 2016.
- RODRIGUES, A. D. L. P., SANTOS, M. S., SERRA, M. C., PINHEIRO, E. M. A utilização do ciclo PDCA para melhoria da qualidade na manutenção de shuts. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, v. 9, n. 18, p. 48-70, 2017.
- SANTOS, Celine Karen Melauro et al. Aplicação de Ferramentas da Gestão da Qualidade no Setor de Corte de uma Indústria de Calçados. *Creare-Revista das Engenharias*, v. 2, n. 1, 2019.
- SANTOS, E. P., SARON, C. Amido e seus compósitos: alternativas promissoras como novos materiais. *Cadernos UniFOA*, 7(1 (Esp.)), 45-51, 2017.
- SANTOS, L. F. G., FORMIGA, L. A.S, SILVA, J. Desenvolvimento de compósitos de amido termoplástico reforçados com fibras de curauá natural da amazôniaeco-compósitos de amido com fibras de curauá. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 17(4), 230-239, 2016.
- SILVA, C. O., AGOSTINO, I., SOUSA, S., COUTO, P., & DAHER, R. A utilização do método PDCA para melhoria dos processos: um estudo de caso no carregamento de navios. *Revista Espacios*, 38, 2017b.
- SILVA, F. A.; RABELO, D. O Uso Sustentável de Polímeros. *Revista Processos Químicos*, v. 11, n. 21, p. 9-16, 2017.
- SILVA, F. L. A., HORNING, P. S., BARBI, R., LAZZAROTTO, S. D. S., LAZZAROTTO, M., RIBANI, R. Modificação do amido de *Dioscorea sp*: propriedades calorimétricas. In *Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: *Simpósio de Análise Térmica*, 8., 2017, Ponta Grossa. Livro de resumos. Ponta Grossa: UEPG, 2017a.
- SILVA, G. D. O. D., TAKIZAWA, F. F., PEDROSO, R. A., FRANCO, C. M. L., LEONEL, M., SARMENTO, S. B. S., DEMIATE, I. M. Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil. *Food Science and Technology*, 26(1), 188-197, 2006.
- SILVA, G., MAZZIONI, S., FERNANDES, F. C. Gestão de riscos e sustentabilidade na indústria de transformação. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 6(1), 157-171, 2015.
- SILVA, J. A. B., FONTANA, R. L. M., COSTA, S. S., RODRIGUES, A. J. Teorias demográficas e o crescimento populacional no mundo. *Caderno de Graduação-Ciências Humanas e Sociais-UNIT*, 2(3), 113-124, 2015
- STOFFEL, J. A., COLOGNESE, S. A. O desenvolvimento sustentável sob a ótica da sustentabilidade multidimensional. *Revista da FAE*, 18(2), 18-37, 2015.
- VIELL, F. L. G., ALVES, F. C. G. B. S., TOSONI, S. A. F., TOSONI, N. F., PANTE, G. C., SALVADOR, M., PLATA-OVIEDO, V. Modificação química do amido de mandioca pré-gelatinizado para aplicação em massa resfriada de pão de queijo. *Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos, Campo Mourão (PR)*, v.4, n.2, p.82-90, Jul./Dez., 2013.
- WEKERMA, M. C. C. *As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos*. Belo Horizonte: Editora de desenvolvimento gerencial, 1995.

# RESÍDUOS SÓLIDOS DE DIFERENTES FORMAS FARMACÊUTICAS DE ATENOLOL E IMPACTO AMBIENTAL MEDIDO POR ALTERAÇÕES NO PROCESSO DE FERTILIDADE DE MICRO CRUSTACÉOS *Daphnia magna*

Luciano Henrique Pinto  
Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE  
luciano.henrique@univille.br

Suellen Zucco Bez  
Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE

Julia Carolina Soares  
Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE

Bruna Bonfim  
Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE

## RESUMO

Componentes da forma farmacêutica podem aumentar no perigo ecotoxicológico de ativos farmacêuticos, como atenolol, podendo aumentar esse perigo. Este trabalho objetivou analisar possíveis alterações na fertilidade em microcrustáceos *Daphnia magna*, expostos a soluções contendo atenolol preparadas a partir de diversas formulações existentes, afim de estimar algum grau de perigo ambiental nestas condições, propondo uma análise além do critério de longevidade. *Daphnia magna* foram também avaliadas quanto à mortalidade em teste agudo e longevidade e fertilidade em teste crônico, frente a 5 soluções, sendo 2 contendo formulações de atenolol (genérica comercial, liberação modificada); 2 com placebos destas formulações e 1 de atenolol puro padrão, além do controle. A metodologia do teste agudo seguiu o descrito na NBR 12.713 enquanto o teste crônico seguiu o descrito na ISO 10706:2000. No teste agudo não foram encontradas alterações quanto à letalidade da espécie frente às soluções testadas. No teste crônico, não houve

alteração na fertilidade durante o período de estudo. Os microcrustáceos que ficaram expostos à solução de atenolol puro padrão e formulação de liberação modificada, tiveram um menor aumento populacional em relação ao controle ( $p < 0,05$ ). Todas as formulações que continham atenolol apresentaram menor taxa de fertilidade durante o período de estudo em relação ao controle e placebos, sendo que a formulação de liberação modificada apresentou maior influência negativa sobre a fertilidade e de forma similar ao atenolol puro padrão. Os excipientes utilizados nas formulações influenciaram na forma como o atenolol impactou na fertilidade. Novos estudos são requeridos para avaliações em prazo maiores para verificar a magnitude do perigo ou a existência de capacidade de adaptação dos microcrustáceos.

### Palavras-chave:

Atenolol; *Daphnia magna*; Formulações inovadoras; Poluição emergente; Risco de toxicidade ambiental.

## ABSTRACT

Components of the pharmaceutical formulation may influence the ecotoxicological danger of pharmaceutical actives, such as atenolol, which may increase this danger. The objective of this work was to analyze possible changes in fertility in *Daphnia magna* microcrustaceans, exposed to solutions containing atenolol prepared from several existing formulations, in order to estimate some degree of environmental danger under these conditions, proposing an analysis beyond the criterion of longevity. *Daphnia magna* were also evaluated for mortality in acute test and longevity and fertility in chronic test, compared to 5 solutions, being 2 containing formulations of atenolol (commercial generic, modified release); 2 with placebos of these formulations and 1 of standard pure atenolol, besides the control. The methodology of the acute test followed that described in NBR 12.713 while the chronic test followed the one described in ISO 10706: 2000. In the acute test, no changes were found regarding the lethality of the species compared

to the tested solutions. In the chronic test, there was no change in fertility during the study period. These microcrustaceans that were exposed to the standard atenolol solution and the modified release formulation had a smaller population increase than the control ( $p < 0.05$ ). All formulations containing atenolol had a lower fertility rate during the study period compared to control and placebos, with the modified release formulation having the greatest negative influence on fertility and similar to standard pure atenolol. The excipients used in the formulations influence the way atenolol has impacted fertility. New studies are required for longer term assessments to verify the magnitude of the hazard or the existence of adaptive capacity of microcrustaceans.

### Keywords:

Atenolol; *Daphnia magna*; Emerging pollution; Environmental toxicity risk; Innovative formulations.

## INTRODUÇÃO

A questão da poluição emergente advinda de produtos usados para a saúde – principalmente medicamentos - vem merecendo destaque na comunidade científica pelos perigos e impactos que tais produtos podem causar a longo prazo na saúde humana e no meio ambiente (Pinto et al, 2020). Tais impactos requerem estudos constantes; seja pela necessidade de se conhecer mais sobre os perigos que tal poluição pode se apresentar, seja pela necessidade de realização e desenvolvimento de novos testes que possam detectar e também remover o perigo ambiental a eles atribuído (Valcárcel et al., 2011). Muito ainda há de se pesquisar sobre a questão da poluição emergente relativas a produtos farmacêuticos – o que motivou a criação do grupo de pesquisa ECOSAM, que visa compreender melhor estes fenômenos relacionando a questão da saúde e do meio ambiente. Produtos farmacêuticos, inclusive, implicam em riscos devido a sua deposição ao meio ambiente ser feita de forma constante por meio de descartes realizados pela população, por hospitais e por processos das indústrias farmacêuticas gerando efluentes industriais (Pinto et al., 2017).

Na questão das conduta frente a poluição emergente farmacêutica, o Brasil apresenta um agravante quando comparados a países europeus por não ter uma política de recolhimento reverso de medicamentos, o que contribui para que sobras de medicamentos – seja em larga escala ou de forma doméstica, e até mesmo advindo das indústrias farmacêuticas sejam descartados de forma inadequada e afetando assim o meio ambiente (Bila et al., 2012; Pinto et al 2015). Outro aspecto relevante é que não existe ainda meios de remoção destes compostos nas estações de tratamento de efluentes e água no Brasil, (Pinto, 2016). Preocupação semelhante motivou estudos a respeito de interferentes endócrinos no qual se observou grandes impactos ambientais provenientes principalmente de estrógenos (Bila et al., 2012).

A necessidade do Brasil se adequar a realidade e a rever posições sobre a política ambiental - que envolve o descarte, logística reversa e promoção ao uso adequado de medicamentos – passando também pela necessidade de modernização de estações de tratamento de águas se fundamenta na questão de que produtos farmacêuticos fazem parte da rotina da população de uma forma geral, principalmente os medicamentos de uso crônico, como os destinados a hipertensão e diabetes (Pinto et al 2020). O crescente aumento no número de hipertensos pelo mundo - que ocasiona consequente aumento no consumo de fármacos anti-hipertensivos – é também uma questão a ser considerada e que fomenta a necessidade de pesquisas que permitam compreender melhor o fenômeno e o impacto de medicamentos no meio ambiente e sua influência na saúde humana e nos ecossistemas aquáticos. Medicamentos antihipertensivos, como da classe dos  $\beta$  bloqueadores, representados pelo atenolol, metropolol e propranolol (Santos-Pinto et al., 2011), são amplamente consumidos e chegam ao meio ambiente, onde podem exercer suas ações como bloqueio de atividades adrenérgicas, (Goodman et al., 2012; Fuchs & Wannamacher, 2012). O atenolol merece destaque quanto a perigo ambiental pois, devido à sua ampla utilização e pela sua eliminação inalterada na urina, este fármaco vem sendo detectado em efluentes de esgotos e de águas de superfície (Kuster et al., 2010).

O citado crescente consumo de medicamentos antihipertensivos impacta nas questões envolvendo tecnologia farmacêutica, pois tensiona para busca de formulações mais adequadas, cômodas e seguras para os usuários. O  $\beta$  bloqueador atenolol vem sendo objeto de estudo quanto à melhoria de seu perfil de uso pelo emprego de formulações de liberação modificada – FLM (Pezzini et al., 2014). As

FLMs oferecem vantagens em relação às formulações convencionais, pois são desenvolvidas para retardar o tempo de dissolução do fármaco, e, em muitos casos, oferecem comodidades para pacientes que têm a necessidade de utilizar o mesmo fármaco várias vezes durante o dia (Pezzini et al., 2007). Em contrapartida, não se conhece ao certo o comportamento que essas formulações podem exercer no meio ambiente, devido a liberação diferenciada que apresenta e a presença de excipientes diferente das formas convencionais (Monteiro et al., 2008).

Uma vez que se sabe que o bloqueador atenolol está no meio ambiente, e que pode ser advindo de várias formulações, questiona-se qual o impacto ambiental que o atenolol pode causar em níveis tróficos primários e secundários, e se as formulações podem exercer algum efeito sobre essas influências aos níveis tróficos. Este artigo objetivou conhecer tais influências das formulações nos níveis tróficos estudados.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no Laboratório de Meio Ambiente da Universidade da Região de Joinville, UNIVILLE. Tratou-se de um estudo experimental, envolvendo o uso de *Daphnia magna*, que foram avaliadas quanto à sobrevivência em teste agudo (48 horas) e sobrevivência e fertilidade em teste crônico (21 dias).

Amostras avaliadas de atenolol foram preparadas conforme Figura 1, e eram provenientes das seguintes soluções testes: (1) atenolol padrão (AP), preparado a partir de um padrão do laboratório Sigma – AECrich®; (2) atenolol com formulação comercial genérico (AFCG) advindo de formulação genérica de liberação convencional, comprado em farmácia comercial; contendo além do ativo excipientes (carbonato de magnésio, gelatina, laurilsulfato de sódio, amido, amidoglicolato de sódio, estearato de magnésio) (3) atenolol com formulação de liberação modificada (AFLM), de liberação modificada, produzido pelo laboratório de Tecnologia Farmacêutica da UNIVILLE (Pezzini et al, 2014), contendo todos os excipientes presentes em AFCG mais o polímero responsável pela modificação controlada (sob sigilo de patente). Também foram submetidas a testes (4) placebo com formulação comercial genérico (PFCG), contendo todos os excipientes anteriormente citados e (5) placebo com formulação de liberação modificada (PFLM), também com os excipientes citados mais o polímero responsável pela característica da formulação. Todos os resultados foram parametrizados com o controle – CT.

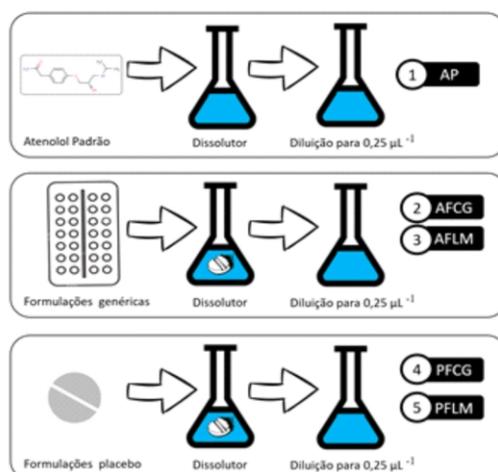


Figura 1: Processo de preparo das amostras testes.  
Fonte: Pezzini et al (2014).

Comprimidos contendo ativos e placebos foram dissolvidos por meio de um dissolutor, durante um período de 180 minutos, conforme descrito por Tavares et al (2016), e presente na Tabela 1:

| Condições           | Descrição                                     |
|---------------------|---|
| Meio de dissolução  | Sol. Aqu. de lauril sulfato de sódio 1% (p/v) |
| Temperatura         | 37° C   |
| Sistema de agitação | Pás   |
| Rotação por minuto  | 75 rpm  |
| Tempo de coleta     | 180 minutos                                   |
| Deteção             | Espectrofotometria UV/VIS- 550 nm             |

Tabela 1: Descrição das condições de preparo das amostras.  
Fonte: Tavares et al (2016).

As soluções testadas foram preparadas em água de cultivo (meio M4), respeitando uma concentração final de atenolol de 0,50 µL<sup>-1</sup>, com exceção dos placebos que seguiram todos os procedimentos de preparação, mas que não continham o ativo.

### TESTES AMBIENTAIS COM *DAPHNIA MAGNA*

A metodologia de teste agudo com *Daphnia magna* seguiu a NBR 12.713 (ABNT, 2009). A concentração utilizada nos testes foram diluições a partir de 0,05 µL<sup>-1</sup> (concentração encontrada em águas tratadas na Itália e Suécia - Pomati et al., 2006; Bendz et al., 2005), conforme mostra Figura 2:

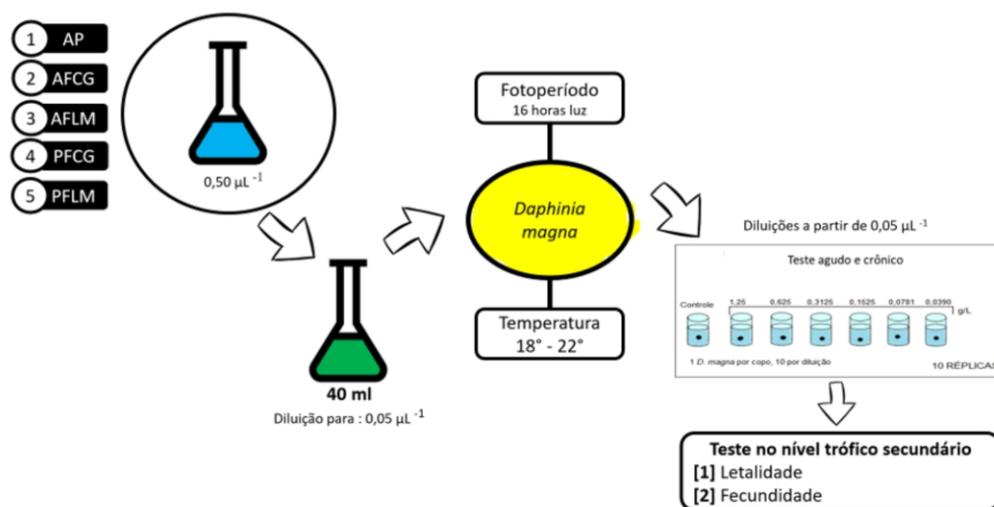


Figura 2: Processo de preparo das amostras para os testes.  
Fonte: NBR 12.713 (ABNT, 2009).

### Teste Agudo

O teste agudo consistiu na exposição dos microrganismos *Daphnia magna* às soluções testes e controle negativo por um período de 48h. O ensaio foi realizado em quadruplicata dispondo de cinco microrganismos em 10 mL de solução teste ou controle negativo em tubos de ensaio. Durante esse período, os microcrustaceos *Daphnia magna* não receberam alimentação, e foram mantidos nas mesmas condições ambientais que os lotes de cultivo, com luminosidade difusa (foto período de 16 h de luz) e temperatura de 18°C a 22°C. A análise de sobrevivência se deu pela contagem de microrganismos vivos ao final do teste.

### Teste Crônico

A metodologia de teste crônico com *Daphnia magna* seguiu a ISS10706:2000 para a realização do teste crônico, microcrustáceos *Daphnia magna* foram colocados frente às 5 soluções-testes anteriormente descritos, e um controle negativo (somente água reconstituída – meio M4) e avaliados quanto à sobrevivência e fertilidade.

Foram utilizados organismos jovens, com 2 h - 26 h de idade, obtidos a partir da quarta postura de fêmeas cultivadas. Organismos jovens da espécie *Daphnia magna* foram expostas às soluções-testes e ao controle negativo por um período de 21 dias. Cada ensaio foi realizado em decaplicata, dispendo individualmente 10 organismos jovens de *Daphnia magna* em béqueres de 50 mL. Cada béquer recebeu uma alíquota de 25 mL da solução-teste ou controle negativo e foi coberto com filme de PVC para evitar a evaporação e contaminação do teste com possíveis resíduos suspensos no ar.

Os testes foram mantidos nas mesmas condições ambientais que os lotes de cultivo, com luminosidade difusa (foto período de 16 h de luminosidade) e temperatura de 18°C a 22°C. Os organismos-teste receberam diariamente alimentação, sendo fornecido como alimento a alga clorofícea *Scenedes mussub spicatus*, em concentrações próximas a 107 células mL<sup>-1</sup>.

Os organismos foram acompanhados durante o teste, sendo que foram realizadas observações diárias, e com leituras do número de filhotes em todas as observações. Neste momento observou-se a sobrevivência e número de jovens gerados por fêmea. A partir dessa análise foram levantados dois parâmetros a serem analisados: (1) a alteração populacional durante o período de 21 dias, por contagem simples; e (2) a fertilidade média obtida através da equação 1:

$$FM = \frac{\text{Número total de posturas}}{\text{Total de dias de teste} - \text{dias de não posturas}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: FM corresponde a Fertilidade média, calculado a partir da relação entre o número total de posturas - corresponde a todos os filhotes gerados e contados a partir do 12º dia – e a diferença entre o total de dias de testes, que neste caso foi 21 dias (ISO 10706:2000) e os dias de não posturas, evidenciado pela não mudança de número de micro crustáceos na amostra.

### ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada através de ANOVA, técnica univariada que trata dados quantitativos em relação a uma variável independente categórica de três níveis. Para a análise entre os grupos (testes e controle), comparando todos os efeitos, a técnica utilizada foi uma extensão da ANOVA, denominada ANOVA para medidas repetidas, que consiste em uma abordagem bem mais elaborada para dados pareados. Esta parte consta, portanto, das comparações de resultados e médias com base nos itens quantitativos de sua amostragem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### TESTE AGUDO

No teste agudo com *Daphnia magna* foi avaliado a mortalidade da espécie frente às 5 soluções testadas. Ao final do teste (48 horas), não houve mortalidade de nenhum micro crustáceo em nenhuma das 5 soluções testadas nas concentrações e diluições usadas a partir de 0,05 µg L<sup>-1</sup>, assim como na solução controle, indicando que a concentrações testadas não provocaram danos à espécie a curto prazo. Porém, como este teste visava apenas avaliar a mortalidade num curto período de exposição, não se deve considerar que, nas mesmas condições, por um período de tempo maior, os poluentes testados não possam acarretar em prejuízos a diversos microrganismos, afetando a fertilidade, o desenvolvimento e até mesmo a longevidade.

Os resultados aqui corroboram com os estudos feitos por KUSTER (2010) que utilizou *Daphnia magna* para determinar a toxicidade dos β bloqueadores propranolol, metoprolol e atenolol por meio da definição de concentração letal (CL 50). O propranolol foi a substância mais tóxica, com CE50s de 7700 µg L<sup>-1</sup> no teste de *Daphnia* e 7300 µg L<sup>-1</sup> no teste de algas. A toxicidade do atenolol e metoprolol no teste *Daphnia* foi muito baixa, com CE50s de 313000 e 438000 µg L<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 1). Fatores como bioacumulação devem ser considerados para explicar a diferença de resultados entre os três compostos, pois fica evidente que quanto mais lipofílico é a molécula – ou se está veiculada a um composto lipofílico, maiores serão as chances de persuadir tecidos e células e promover alterações fisiológicas. Vale ressaltar que os estudos de KUSTER foram realizados com padrões apenas, não considerando a influência dos componentes dos excipientes e no sinergismo que estes podem proporcionar no perigo ambiental a longo prazo.

|                 | <i>D.magna</i>            |                         |
|-----------------|---------------------------|-------------------------|
| Fármaco testado | Atenolol                  | propranolol             |
| CL 50           | 313000 µg L <sup>-1</sup> | 7700 µg L <sup>-1</sup> |

TABELA 2: Toxicidade dos β bloqueadores propranolol, metoprolol e atenolol por meio da definição de concentração letal (CL 50). O propranolol foi a substância mais tóxica.  
Fonte: Adaptado de KUSTER et al, (2010).

### TESTE CRÔNICO

Na realização do teste crônico, *Daphnia magna* foram analisadas frente a dois parâmetros: longevidade e fertilidade. A longevidade foi avaliada com o acompanhamento de sobrevivência do micro crustáceo até o final do teste (21 dias), não apresentando, na concentração em estudo, nenhuma alteração, estando de acordo com os testes feitos por Kuster (2010). Entretanto, na análise da fertilidade foi realizada a contagem dos filhotes gerados a cada dia, e até o final do teste apresentou alterações que indicam possíveis riscos de toxicidade ambiental foram observadas, expressas na Figura 3.

Na figura 3 está representado a variação populacional das *Daphnia magna* esperada – representada pelo controle – e as variações que ocorreram na presença do atenolol em suas diversas apresentações testadas mais os placebos. Nota-se que os micros crustáceo que ficaram expostos à solução de atenolol puro - sem a presença de qualquer excipiente (carbonato de magnésio, gelatina, laurilsulfato

de sódio, amido, amidoglicolato de sódio, estearato de magnésio; acrescido do polímero responsável pelo AFLM) -, tiveram um menor aumento populacional em relação ao controle, sendo significativo desde o início do período fértil ( $p < 0,05$ ), que corresponde ao 12º dia após o início dos testes, tornando-se mais acentuado ao longo do tempo. Manteve este padrão quando comparado com os demais: atenolol advindo de formulação AFCG e à solução placebo contendo polímero da formulação PFLM, assim como a formulação PFCG. Após o décimo quinto dia, o atenolol contido na formulação AFLM passou a exercer um perfil semelhante ao do atenolol AP, apontando diferença estatística, em relação ao controle ( $p < 0,05$ ); diferenciando-se dos demais, que seguiram padrão semelhante do controle.

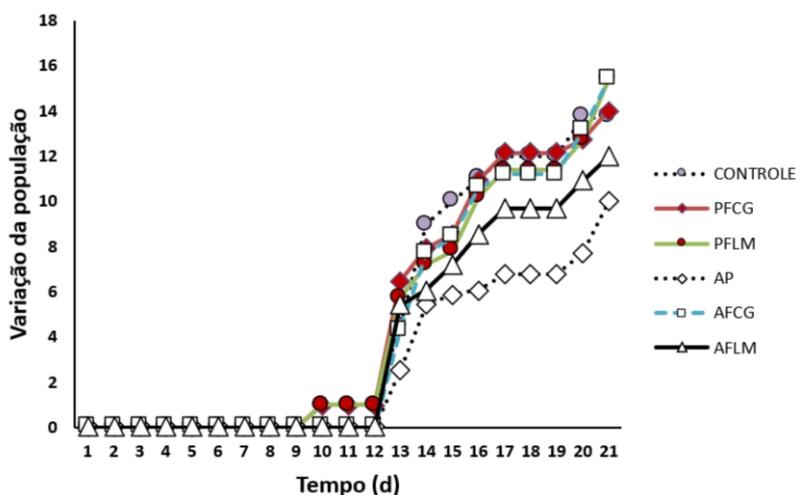


Figura 3: Variação populacional em função do tempo em dia, frente a exposição de CONTROLE, PFCG (placebo com formulação comercial genérica); PFLM (placebo com formulação de liberação modificada); AP (atenolol padrão), AFCG (atenolol formulação comercial genérica) e AFLM (atenolol com formulação de liberação modificada).

Fonte: Dos Autores (2020).

De acordo com o estudo de Gennaro, (2004) o atenolol apresenta baixo potencial de bioacumulação devido a sua conhecida baixa lipofilicidade quando comparado com outros  $\beta$  bloqueadores. O estudo de Kuster et al. (2010) revelou um risco mediano para o atenolol, sendo esta classificação motivada pela característica de solubilidade anteriormente citada, o que dificultaria sua persuasão para os tecidos e células dos microrganismos.

Os resultados aqui encontrados apontam para um comportamento diferenciado do atenolol presente nas formulações em relação ao atenolol puro preparado a partir de um padrão. Verifica-se que excipientes influenciaram de alguma forma a ação do atenolol sobre a fertilidade, visto que a formulação AFCG se comportou de modo muito semelhante aos placebos e controle, diferente das formulações AFML, sendo esta a que mais se aproximou do atenolol padrão. Uma hipótese levantada é que na presença do polímero presente no AFLM, a dispersão de cargas eletrônicas promove uma repulsão destes com a molécula de atenolol, deixando a mais livre (Carey, 2009).

Diante das observações feitas, fez-se a avaliação média da fertilidade, para avaliar as alterações em todo o período. Na figura 4 está representada a média de filhotes ao final do teste crônico: nota-se que as formulações placebos PFCG e PFLM - que continha apenas excipientes e polímero - juntamente com a formulação AFCG; apresentaram uma média de fertilidade um pouco superior ao do controle,

provavelmente por serem inertes e servirem como fonte de nutrientes que incrementou a fecundidade. Já a formulação AFCG teve comportamento bem semelhante ao controle, no qual não se observa influência do atenolol presente como se observa nas demais formulações que contêm esse ativo. Soluções que continham atenolol puro (AP) e a formulação AFLM apresentaram menor taxa durante o período de estudo em relação ao controle, sendo que o atenolol presente em AFLM influenciou menos na fertilidade quando comparado com a solução AP.

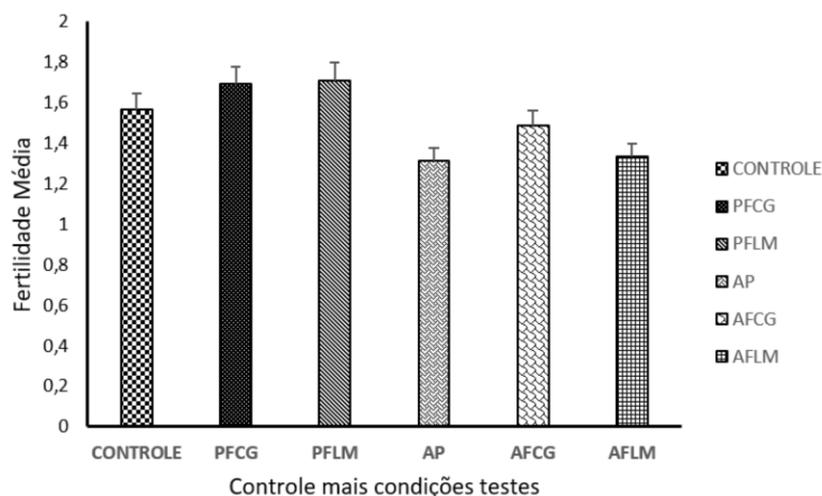


Figura 4: Fertilidade média calculada no tempo de 21 dias, frente as condições testadas mais controle.  $p^*$  = ANOVA one-way, nível de significância  $p < 0,05$  - 95% confiança. CONTROLE, PFCG (placebo com formulação comercial genérica); PFLM (placebo com formulação de liberação modificada); AP (atenolol padrão), AFCG (atenolol formulação comercial genérica) e AFLM (atenolol com formulação de liberação modificada).

Fote: Dos Autores (2020).

Os resultados ainda apontam para a questão envolvendo diferentes formulações e sua influência tendo como parâmetro um controle e o uso do atenolol puro. A formulação AFLM influencia a fertilidade. Sabe-se que muitos poluentes não chegam a serem letais aos microrganismos devido estarem em baixas concentrações no meio ambiente, mas que pode influenciar na fertilidade e desenvolvimento, de forma a desencadear um problema ambiental.

Considerando-se que os experimentos foram realizados obedecendo a um meio pré-estabelecido e com alimentação padronizada aos microcrustáceos, as variáveis implementadas foram o atenolol com seus excipientes no meio. A quantidade e a qualidade dos alimentos ofertados influenciam na quantidade de filhotes produzidos no cultivo. Dutra (2007) observou que o número de neonatos produzidos por fêmeas ovígeras depende diretamente de sua ingestão de alimentos.

Uma hipótese preliminar aponta para que o atenolol, estando livre ou em meio onde a repulsão eletrônica de outros compostos o deixe mais livre, influencia no metabolismo das *Daphnia magna*, sendo os períodos de grande demanda energética, como a muda e o processo reprodutivo assexuado ou sexuado; os mais afetados, traduzindo-se em redução populacional (Zagatto, 2008).

Deve-se considerar o perigo de toxicidade ambiental, através de estudos que envolvam uma análise crítica de parâmetros como desenvolvimento, fertilidade e longevidade de *Daphnia magna*, pois como pode ser observado neste estudo, o teste agudo não indicou nenhum perigo de toxicidade ambiental, assim como também não houve morte de *Daphnia magna* durante o teste crônico, mas um

possível desequilíbrio populacional advindo da influência sobre a fertilidade foi observado. Há de considerar também que o teste preconizado como crônico apresentou alterações que implicam em riscos e que, segundo a figura 3, se alteram ao longo do período de estudo. A questão de tempo também precisa ser debatida, visto que estudos como o de Luna et al. (2015) apontam que testes de fertilidade devem ser realizado em prazos maiores, como 40 dias.

## **CONCLUSÃO**

Por meio dos resultados encontrados nesse estudo, evidenciou-se um risco de toxicidade ambiental, que só pode ser observado a partir da análise da fertilidade no teste crônico. Assim, explora-se um novo parâmetro a ser abordado: a fertilidade. Deve-se investir em pesquisas mais críticas, que além da fertilidade considerem fatores como o desenvolvimento e crescimento da espécie.

Após constatado perigo ecotoxicológico, influenciado pela presença do atenolol, no qual sua ação estava relacionada a diferentes tipos de excipientes contidos nas formas farmacêuticas, sugere-se a realização de um teste com maior tempo de duração, a fim de avaliar se os danos são progressivos. Além disso, é necessário a realização do teste em outros níveis tróficos, como peixes, algas e plânctons, para verificar se esses organismos também são afetados pelo poluente em outros aspectos além da letalidade.

Ainda, constatou-se que os excipientes utilizados no preparo das formulações exercem efeito sobre a forma em que o fármaco irá se comportar no meio ambiente, favorecendo ou prejudicando a sua solubilidade em água e sua permeabilidade em microrganismos, modificando os possíveis riscos ao meio ambiente.

Partindo dos resultados apresentados neste estudo, deveria ser instituída uma legislação de obrigatoriedade de testes mais rigorosos para a análise de toxicidade ambiental, juntamente a uma maior fiscalização das empresas e implementação de políticas de recolhimento reverso de medicamentos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Univille e ao Fundo de Apoio à Pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- BENDZ, David; PAXÉUS, Nicklas A.; GINN, Timothy R.; et al. Occurrence and fate of pharmaceutically active compounds in the environment, a case study: Høje River in Sweden. *Journal of Hazardous Materials*, v. 122, n. 3, p. 195–204, 2005.
- BILA, Daniele; MONTALVÃO, Antonio F.; AZEVEDO, Débora de A.; et al. Estrogenic activity removal of 17 $\beta$ -estradiol by ozonation and identification of by-products. *Chemosphere*, v. 69, n. 5, p. 736–746, 2007.
- DUTRA, Breno. Dissertação de Mestrado EM BIOCÊNCIAS – ZOOLOGIA PUC Porto Alegre – RS, 2007.
- FUCHS, Flavio Danni; WANNMACHER, Lenita. *Farmacologia clínica: fundamentos da terapêutica racional*. Rio de Janeiro (RJ): Guanabara Koogan, 2010.
- GENNARO, Remington. *A Ciência e a Prática da Farmácia*. 20ª Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
- GOODMAN, Lemon, et al. *As bases farmacológicas da terapêutica de Goodman & Gilman*. 12ª edição. Porto Alegre: McGraw-Hill Interamericana do Brasil, 2012. 2079 p.
- ISO 10706:2000. ISO. Disponível em: <<https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/01/87/18795.html>>. Acesso em: 31 jul. 2020
- KÜSTER, Andreas et al. Environmental risk assessment of human pharmaceuticals in the European Union: A case study with the  $\beta$ -blocker atenolol. *Integr Environ Assess Manag*. p. 514-23, 2010.
- LUNA, Tamara O., PLAUTZ, Stephanie C.; SALICE, Christopher J. Chronic Effects of 17 $\alpha$ -Ethinylestradiol, Fluoxetine, and the Mixture on Individual and Population-Level End Points in *Daphnia magna*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 68, n. 4, p. 603–611, 2015.
- MONTEIRO NETO, João; DOS SANTOS, Juliana Palermo Evangelista; AZEVEDO, Taiza dos Santos; et al. Remoção da atividade estrogênica por cloração. *Principia: Caminhos da Iniciação Científica*, v. 19, n. 2, p. 11, 2020.
- PEZZINI, Bianca Ramos et al. Formas farmacêuticas sólida orais de liberação prolongada: sistemas monolíticos e multiparticulados. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 43, n. 4, 2007.
- PEZZINI, Bianca Ramos et al. Formulation and in vitro assessment of sustained release matrix tablets of atenolol containing Kollidon SR and carnauba wax. *Academic Journals*, v. 8, n. 41, p. 1058-1065, 2014.
- PINTO, Luciano Henrique; CARDOZO, Gilberto; SOARES, Julia Carolina; et al. Toxicidade ambiental de efluentes advindo de diferentes laboratórios de uma farmácia magistral. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 11, n. 4, p. 819, 2016.
- PINTO, Luciano Henrique; ROSA, Sabrina Martins da; PASZCUK, Aline Mirian; et al. O meio ambiente e sua representação social: relação e interface com a saúde contrapondo a medicamentação do processo de saúde. In: SOUSA, Isabelle Cerqueira (Ed.). *Ciências da Saúde no Brasil: Impasses e Desafios* 9. 1. ed. [s.l.]: Atena Editora, 2020, p. 172–180. Disponível em: <<https://www.atenaeditora.com.br/post-ebook/3529>>. Acesso em: 2 out. 2020.
- PINTO, Luciano Henrique; SCHULTER, Luana Soares; SIERTH, Rafaela; et al. O uso racional de medicamentos no brasil dentro da assistência farmacêutica brasileira e suas implicações no presente. *Revista Eletrônica de Farmácia*, v. 12, n. 1, p. 27, 2015.
- PINTO, Luciano Henrique; SIERTH, Rafaela; SCHULTER, Luana Soares; et al. Alterações no comportamento das algas euglenas gracilis na presença de 17 $\alpha$  etinilestradiol e 17  $\beta$  estradiol. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, v. 20, n. 2, 2017. Disponível em: <<http://siaiap32.univali.br/>>

seer/index.php/bjast/article/view/7471>. Acesso em: 3 out. 2020.

POMATI, Francesco; CASTIGLIONI, Sara; ZUCCATO, Ettore; et al. Effects of a Complex Mixture of Therapeutic Drugs at Environmental Levels on Human Embryonic Cells. *Environmental Science & Technology*, v. 40, n. 7, p. 2442–2447, 2006.

SANTOS-PINTO. Quem acessa o Programa Farmácia Popular do Brasil? Aspectos do fornecimento público de medicamentos. *Ciência e saúde coletiva*, v. 16, n. 6, p. 2963-2973, 2011.

TAVARES, Gisele; PIRES, Camila Cervi; SOUZA, Juliana Dias; et al. Avaliação do Polimorfismo e Perfil de Dissolução de Formulações de Carbamazepina. *Scientia cum Industria*, v. 4, n. 3, p. 161–166, 2016.

VALCÁRCEL, Y.; ALONSO, S. González; RODRÍGUEZ-GIL, J.L.; et al. Analysis of the presence of cardiovascular and analgesic/anti-inflammatory/antipyretic pharmaceuticals in river- and drinking-water of the Madrid Region in Spain. *Chemosphere*, v. 82, n. 7, p. 1062–1071, 2011.

ZAGATTO, P. A. *Ecotoxicologia. Ecotoxicologia aquática: princípios e aplicações*. 2. ed. São Carlos: RiMa. p. 1-13, 2008.

# AS VANTAGENS DO BIM NA REDUÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Rafaelly Morlin Costa

Instituto Federal do Paraná - Foz do Iguaçu  
rafaellymorlin@gmail.com

Miguel Batista de Oliveira

Instituto Federal do Paraná - Foz do Iguaçu  
miguel.oliveira@ifpr.edu.br

## RESUMO

No Brasil, a construção civil é indicada como uma das principais responsáveis pela produção dos entulhos enviados a aterros. A metodologia BIM (Building Information Modeling) pode servir como auxílio no processo da gestão de resíduos de construção e demolição (RCD) ao juntar a modelagem 3D à capacidade de gerenciar informações. Conforme a análise de dados e

artigos realizada, aponta-se que a utilização do BIM para a gestão de resíduos implica na redução de custos, atrasos e impactos ambientais.

### Palavras-chave:

BIM; Gestão de resíduos; Construção Civil; Sustentabilidade.

---

## ABSTRACT

*In Brazil, civil construction is indicated as one of the main responsible for the production of debris sent to landfills. The BIM (Building Information Modeling) methodology can serve as an aid in the construction and demolition waste management (RCD) process by combining 3D modeling with the ability to manage information. According to the analysis of data and*

*articles carried out, it is pointed out that the use of BIM for waste management implies a reduction in costs, delays and environmental impacts.*

### Keywords:

*BIM; Waste Management; Construction; Sustainability.*

## **INTRODUÇÃO**

A construção civil é uma grande contribuidora para aumento diário do volume de lixões e aterros. Resíduos de Construção Civil são cerca de 61% dos resíduos sólidos urbanos e 40% de todo o resíduo produzido pela atividade humana (PINTO E GONZÁLES, 2005; LAURIANO, 2013), este alto valor é consequência do mal gerenciamento e destinação de tais resíduos. A preocupação com os impactos ambientais causados com o descarte de RCD (Resíduos de construção e demolição) resultou na criação da Lei N° 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), que estabelecem que as empresas de construção civil geradoras de RCD devem definir planos de gerenciamento que garantam coleta seletiva, reciclagem, tratamento e destinação final adequada.

Segundo Eastman et al. (2014), a metodologia BIM (Building Information Modeling) ou Modelagem da Informação na Construção, em português, é um conjunto de processos informatizados de um modelo digital de construção que abrange: modelagem paramétrica, interoperabilidade e possibilidade de gestão no ciclo de vida de uma edificação. O BIM possibilita um panorama organizado e integrado da construção, podendo reduzir custos, realizando simulações virtuais e prevendo soluções nos estágios iniciais do projeto (MACHADO ET AL., 2015).

Desta forma, este trabalho pretende confirmar a eficácia do BIM no gerenciamento de RCD, através de uma abrangente pesquisa bibliográfica e buscando dados junto a construtoras e escritórios de engenharia.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Como metodologia este trabalho baseou-se em uma vasta revisão bibliográfica buscando parâmetros de medição e dados reais do volume de materiais descartados em obras civis, assim como métodos que visassem medir tais índices de forma que com estes dados pudessem gerar parâmetros que fossem integrados ao modelo BIM, também buscou-se nestas pesquisas elencar o conceito de BIM e sua aplicação na construção tanto como na modelagem como um gestor para análise de dados a ele inseridos, de forma que se pudessem mensurar os desperdícios no modelo que ao final do modelo o mesmo fornecesse os índices de desperdício. O trabalho também integrou uma pesquisa junto às construtoras e escritórios de engenharia e arquitetura de Foz do Iguaçu e Região para coleta de dados quanto ao uso e aplicação do BIM assim como as tendências de mercado visando a sustentabilidade e

o uso das tecnologias. O projeto foi desenvolvido junto ao projeto de extensão ESCRITÓRIO MODELO PARA DESENVOLVIMENTO E CAPACITAÇÃO EM GESTÃO E INFORMAÇÃO NA CONSTRUÇÃO - EMPEC, desenvolvido no IFPR que visa capacitar alunos do curso técnico em Edificações na tecnologia BIM, utilizando-se de toda sua estrutura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Pinto (1999), não há valores exatos de resíduos de diversos agentes que atuam na construção civil e Ruschel et al. (2013) afirma que a abordagem introdutória ou intermediária nos cursos de graduação e pós graduação prova-se insuficiente. Estes dois fatores associados dificultam a análise do volume de RCC (Resíduo da Construção Civil) e refreiam as pesquisas avançadas dedicadas ao tema.

Na entrevista realizada com empresas AEC de Foz do Iguaçu/PR sobre a tendência fundamental do setor, 75% consideram tecnologia o item mais importante, conforme exposto na Figura 1.

Qual tendência você considera fundamental para o futuro do setor da construção civil?  
8 respostas

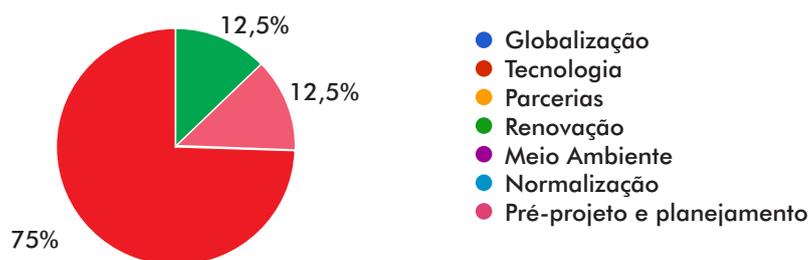


Figura 1: Tendências fundamentais da construção civil.  
Fonte: Dos Autores (2020)

Entretanto, mesmo que o BIM seja a inovação da construção civil brasileira, Coutinho (2015) afirma que o BIM nas empresas é adotado de caráter geralmente introdutório devido ao atraso dos profissionais, conforme é possível confirmar na Figura 2, onde a grande maioria ainda não trabalham como BIM.

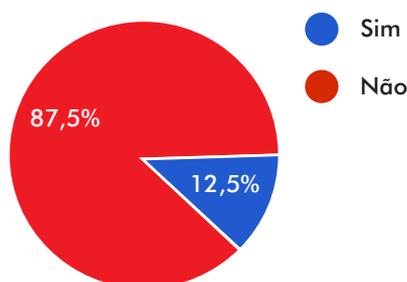


Figura 2: Empresas que trabalham com o BIM.  
Fonte: Dos Autores (2020)

Desta forma através de pesquisas e levantamento de dados pode se confirmar nos diversos estudos realizados que através da inserção de dados paramétricos introduzidos de acordo com as informações necessárias é possível retirar com base até precisas as informações referente ao desperdício de materiais no modelo produzido em BIM. Assim a busca pela validação do percentual de desperdício será de suma responsabilidade da empresa executora que poderá validar tais informações no modelo tendo assim feito estudo no canteiro de obra.

## CONCLUSÃO

Através dos estudos realizados, conclui-se que há concordância entre autores sobre aplicabilidade do BIM no gerenciamento de RCD, que resultam positivamente no custo para clientes e construtoras, reduz atrasos e impactos ambientais. Na entrevista notou-se o despreparo dos profissionais com relação ao BIM e ao gerenciamento dos resíduos.

## AGRADECIMENTOS

A PROEPPi (Pró-reitoria de Extensão, Pesquisa, Pós-graduação e Inovação) do IFPR e ao CNPq pela bolsa por meio do Edital 05/2019 do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica Júnior do Instituto Federal do Paraná (PIBIC-Jr/IFPR).

A AGIF/PROEPPi pelo fomento a pesquisa por meio do Programa Institucional de Apoio à Pesquisa (PIAP) e ao IFPR campus Foz do Iguaçu pelo apoio e espaço cedido.

## REFERÊNCIAS

BRASIL, LEI Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Subchefia para Assuntos Jurídicos Brasília: Casa Civil, 2010.

COUTINHO, Rolzelin Rocco de Sá. O papel das construtoras e incorporadoras na adoção da tecnologia BIM na indústria da construção no Brasil: um estudo prospectivo. 2015 103 f. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo Instituição de Ensino: Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

EASTMAN, Chuck; TELCHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. Manual de BIM: um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores. 1ª Edição. Porto Alegre: Bookman. 2014 483 p.

LAURIANO, Lucas Amaral. Como anda a gestão da sustentabilidade no setor da construção? Nova Lima: Fundação Dom Cabral, 2013. 49 p.

MACHADO, F.A.; SIMÕES, C.C.; MOREIRA, L.C.S. Potencialidades da integração do

BIM ao método de Avaliação do Ciclo de Vida das edificações. SIBRAGEC ELAGEC 2015. São Carlos, 2015.

PINTO, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. L Manejo e gestão de resíduos da construção civil. v. 1. Brasília: CAIXA, 2005. 196 p

RUSCHEL, R.C., ANDRADE M. L., MORAIS, M. O ensino de BIM no Brasil: onde estamos? Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13,, p. 151-165, 2013.

# DIAGNÓSTICO E TENDÊNCIAS NAS TECNOLOGIAS APLICADAS A RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Raul Oliveira Neto

Minerar Consultoria e Projetos em Mineração e Meio Ambiente  
raulneto57@gmail.com

## RESUMO

O presente artigo apresenta a situação atual dos modelos de processamento de resíduos sólidos da construção e demolição (RCD), com vistas a reciclagem e que vem sendo adotados em países desenvolvidos. A partir desta análise procura-se mostrar qual o caminho ou alternativa mais adequada ao caso do Brasil no contexto de uma visão geral e atual sobre a gestão de RCD. Foi empregada metodologia baseada na revisão bibliográfica com coleta de dados, visitas em unidades de processamento e reciclagem de RCD, análise, organização e conclusões. Como resultado da pesquisa estão os dados acerca dos tipos e modelos de gerenciamento de RCD adotados em países desenvolvidos, incluindo quantitativos e fluxogramas de processamento dos materiais, nível de tecnologia, avanços e tendências. Conclui-se sobre a

necessidade de desenvolver pesquisas mais aprofundadas no sentido da aplicação de processos com equipamentos mais sofisticados para se obter produtos que possam ser reciclados para reutilizações mais nobres como os concretos tanto nos países analisados como no Brasil. O incremento de unidades de processamento dos RCD para a reciclagem básica também deve ser incentivado para atingir níveis de reaproveitamento maiores visando maior sustentabilidade dos setores da construção civil e da mineração de agregados.

### Palavras-chave:

Resíduos da construção e demolição; RCD; Gestão; Tecnologias.

## ABSTRACT

*The present article presents the current situation of the models of solid waste processing of construction and demolition (CDR), to recycling and show how those models are being adopted in developed countries. From this analysis, we try to show which path or alternative is best suited to the case of Brazil in the context of a general and current view on CDR management. The methodology that was used based on the bibliographic review with data collection, visits in processing and recycling units, analysis, organization and conclusions. As a result of this research were obtained data on the models of CDR management adopted in developed countries, including quantitative and material flow diagrams, technology level, advances and trends. It is concluded that there is a need to develop more in-depth research into the application of processes with more*

*sophisticated equipment in order to obtain products that can be recycled for re-use, such as concretes both in developed countries and in Brazil. The increase in CDR processing units for basic recycling should also be encouraged to achieve higher levels of reuse in order to increase the sustainability of the construction and aggregate mining sectors.*

### Keywords:

*Construction and demolition waste; CDR; Management; Technologies.*

## **INTRODUÇÃO**

O tema da reciclagem de resíduos de construção e demolição tem sido objeto de estudos e pesquisas desde a década de 1970, e as principais razões para esses estudos são a crescente conscientização da importância da reciclagem de resíduos de todas as fontes no contexto de "Desenvolvimento Sustentável" (Pacheco-Torgal et al., 2013). Os governos inseridos nesse contexto começaram a realizar pesquisas para estimar o nível de geração de resíduos a partir da construção e demolição e os números são verdadeiramente alarmantes.

Na União Europeia (UE), os resíduos de construção e demolição (RCD) são um dos fluxos de resíduos mais pesados e mais volumosos gerados, e é um setor prioritário para investimentos. A indústria da construção gerou mais de 850 milhões toneladas por ano de resíduos em toda a UE em 2008, aproximadamente 33% de todos os resíduos produzidos (Staunton et al., 2015).

A legislação tem um papel importante na reciclagem de RCD, e neste sentido, através da Waste Framework Directive 2008/98/EC (WFD), os países membros estabeleceram um objetivo ambicioso de atingir um nível de 70% para a recuperação de resíduos gerados na construção locais de construção de obras públicas até o ano 2020. Esses regulamentos forçaram ainda mais investimento financeiro em pesquisa projetos para desenvolver tecnologias de triagem de RCD cada vez mais eficiente para gerar produtos reciclados com usos na fabricação de materiais de construção. No entanto, as estatísticas da EU em 2011 mostraram que o nível de reciclagem e recuperação de materiais varia muito, entre menos de 10% e mais de 40%. Por exemplo, em 2012, a taxa de valorização do RCD atingiu 95,5% na Alemanha e o principal objetivo das partes envolvidas era manter essa taxa no futuro.

### **OBJETIVO**

O principal objetivo é apresentar a situação atual dos modelos de processamento de resíduos sólidos da construção e demolição (RCD), com vistas a reciclagem e que vem sendo adotados em países desenvolvidos e no Brasil, apontando as tendências e melhorias necessárias na qualidade dos produtos gerados pela reciclagem. O trabalho foi desenvolvido como parte de pesquisa maior realizada para fins de embasamento de uma avaliação técnica e econômica mais aprofundada neste último aspecto.

## **METODOLOGIA**

Para realização da pesquisa foi empregada metodologia baseada na revisão bibliográfica com coleta de dados, visitas em unidades de processamento e reciclagem de RCD, análise, organização e conclusões. Os estudos se concentraram em artigos científicos dos últimos 08 anos, período este onde começaram as pesquisas mais aprofundadas, e apresentados em conferências e congressos internacionais assim como foram publicados em revistas científicas renomadas.

Os elementos analisados foram amplamente discutidos com equipe de profissionais que atuam na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias para o processamento e reaproveitamento dos RCD e fez parte de projeto que foi desenvolvido no âmbito do programa CAPES-COFECUB em convênio entre a UFRGS/LAPROM e IFSTAR-Nantes/França.

O desenvolvimento da gestão de resíduos de construção e demolição é uma combinação de funções legais, financeiras, de engenharia e planejamento (Söderholm, 2011).

Portanto, este trabalho considera dados obtidos de projetos similares, dados publicados em literatura especializada e publicações de organizações e instituições governamentais. A experiência do autor foi importante para fornecer ajustes através da discussão e análise.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Entre os países cujas quantidades de geração RCD são conhecidos, a França com uma média da taxa de geração em 359 milhões de t/ano (ADEME, 2011) e o Reino Unido (UK) com uma média da taxa de geração em 90 milhões de t/ano (Williams e Turner, 2011). Estes dois países representam cerca de 70% dos resíduos estimados gerados na Europa.

Os processos de classificação de RCD realmente usados em usinas de reciclagem variam muito entre os países e entre regiões do mesmo país. Por exemplo, o inventário dado pela agência francesa de energia (ADEME, 2011) mostra uma grande variabilidade em termos de tecnologia e processo usado para plataformas de reciclagem.

Para confirmar este fato, o Conselho Geral Francês do Meio Ambiente Desenvolvimento Sustentável (CGEDD, 2015) observa que existe falta de investimento para atingir os objetivos da WFD. As mesmas observações são publicadas na pesquisa acadêmica realizada por Paula e Leroy (2014). Estudos em 2014 indicaram que a França reciclou 50% da quantidade total de C&D gerados.

Este contexto deu direcionamento para alguns programas de pesquisa, que têm objetivos de definir ferramentas tecnológicas para respeitar as metas da WFD. Por exemplo, o tema do programa europeu C2CA (C2CA, 2016) são as tecnologias avançadas para a produção de agregados de RCD reciclados para uso em cimento. Além dos aspectos tecnológicos do processo de triagem, o impacto econômico do concreto sustentável foi incluído no escopo do trabalho de pesquisa. Na continuidade, o projeto europeu denominado HISER (HISER, 2016) começou em 2015. A parceria acadêmica e industrial quer otimizar o processo de classificação para materiais aplicados na construção civil. Essa otimização da reciclagem poderia tratar uma maior quantidade de RCD.

No entanto, analisando uma listagem dos tipos de processo de classificação na visão geral sobre a gestão da RCD (Pacheco-Torgal et al., 2013), três níveis técnicos ou tecnológicos para as plantas de processamento são identificados:

- Nível 1: separação prévia manual, mecanizada, magnética e processamento contínuo com britagem e peneiramento (Figura 1);
- Nível 2: nível 1 incluindo separação manual em esteira, a ar insuflado e peneiramento final (Figura 2);
- Nível 3: nível 2 incluindo separação final densimétrica com jiques a ar e espirais (Figura 3).

Quanto às capacidades de processamento destas plantas ou usinas, os dados e informações obtidos na bibliografia permitem identificar três níveis de produção que devem ser considerados, ou seja, 100, 300 e 600 kt/ano (mil toneladas por ano). Estas capacidades correspondem a pequenas, médias e grandes unidades de processamento e reciclagem de RCD e são representativas da realidade atual da reciclagem de RCD no mercado europeu. As capacidades de produção no nível mais baixo, ao redor de 100 kt/ano, são as mais comuns encontradas atualmente em plataformas de reciclagem no continente europeu.

As usinas de reciclagem com capacidade média, a níveis de 300 kt/ano, apesar de serem mais incomuns, são encontradas em áreas metropolitanas com populações mais altas. O importante é destacar que os níveis de produção mais altos, em torno de 600 kt/ano, foram considerados neste estudo como uma situação extrema e mais rara de se encontrar.

- Descrição dos processos e Fluxogramas – Foi possível estabelecer os seguintes diagramas de fluxo básicos para cada um dos três níveis tecnológicos, considerando as plantas de processamento para reciclagem de RCD, como mostram as figuras 1, 2 e 3.

Os processos identificados possuem a seguinte descrição e características principais:

- o Nível 1 (Figura 1): Este é o fluxograma mais simplificado e que vem sendo aplicado nos países analisados nos Estados Unidos e Europa, com pouca diferença em termos de processos e equipamentos. Basicamente consiste em fazer uma prévia triagem do RCD recebido e estocado no pátio antes que este seja alimentado na usina propriamente dita. Esta prévia seleção é orientada na inspeção visual do material, fazendo a retirada de forma semi-mecanizada (manual e através de carregadeiras e retroescavadeiras) dos ferros, metais, madeiras, louças em geral, papelões e gesso cartonado. Estes são estocados em nichos externos para processamento posterior seguindo para reciclagem. Desta forma se diminui consideravelmente a quantidade a seguir para o processo subsequente, que se constitui na cominuição por britador de mandíbulas e peneiramento, movimentado por correias transportadoras em fluxo contínuo. Esta operação é realizada por instalação fixa ou móvel, sendo que as chamadas britagens móveis permitem maior mobilidade e redução de custos de movimentação dos resíduos;
- o Nível 2 (Figura 2): Neste diagrama de fluxo o processo inclui etapas ao nível 1, com o objetivo de aprimorar a geração dos produtos finais de forma que possa haver uma utilização mais ampla para a reciclagem. Tanto os agregados gerados quanto os demais subprodutos, tipo gesso, madeira, papelão, ferragens, metais, podem seguir para a reciclagem final mais “puros” e com fins mais nobres. A separação manual em esteira permite a seleção destes tipos funcionando como um “pente fino” para aumentar a recuperação final dos componentes de um RCD. Os operadores da “cata manual” lançam os materiais para nichos específicos por tipo de material, sendo que se aloca um operador para cada tipo. Logo após essa esteira, o material

que não foi separado segue para o “shredder” que é um equipamento de trituração por rolo dentado feitos de aço resistente ao desgaste para rasgar e triturar o material. Na sequência os resíduos seguem para o “aero separador”, que através do insuflamento de ar por pressão faz a separação das partículas mais leves (restos de papel, papelão e madeira) que são lançadas para outro nicho de estoque. A fração mais pesada segue para uma etapa final de peneiramento rotativo com emprego de “Trommel”, que gera dois produtos com granulometrias abaixo e acima de 4 mm;

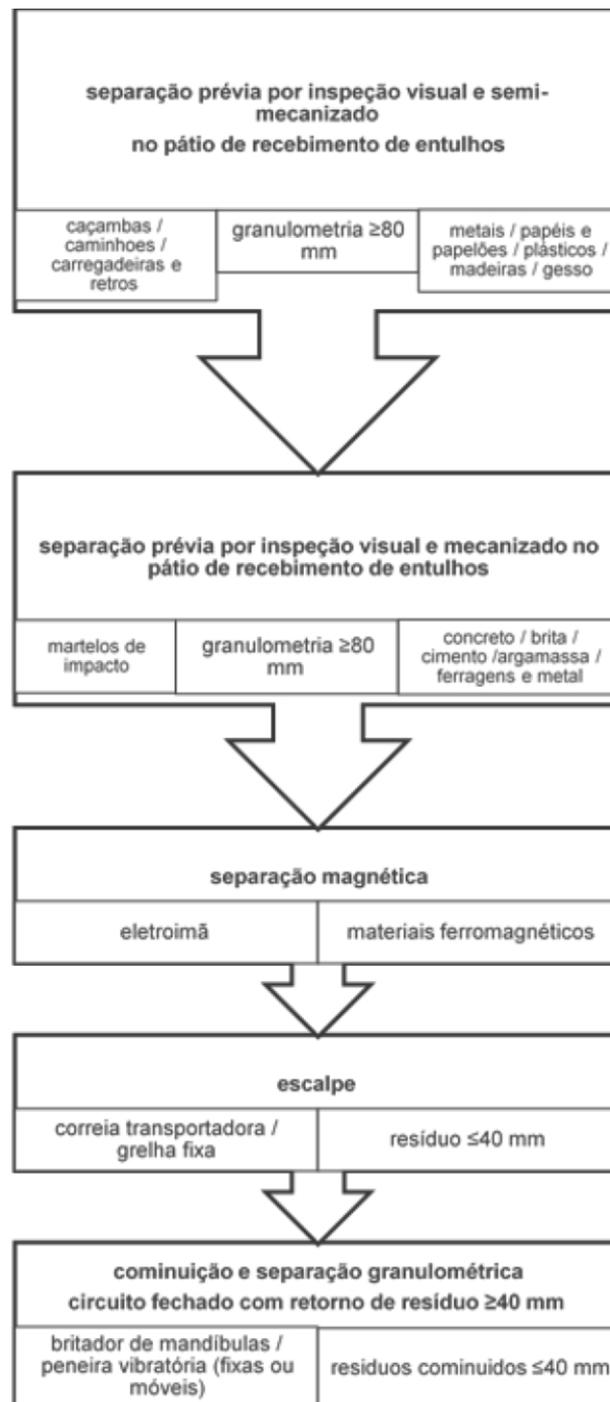


Figura 1: Diagrama de fluxo do processo para o Nível 1.  
Fonte: Oliveira Neto et al, 2017.

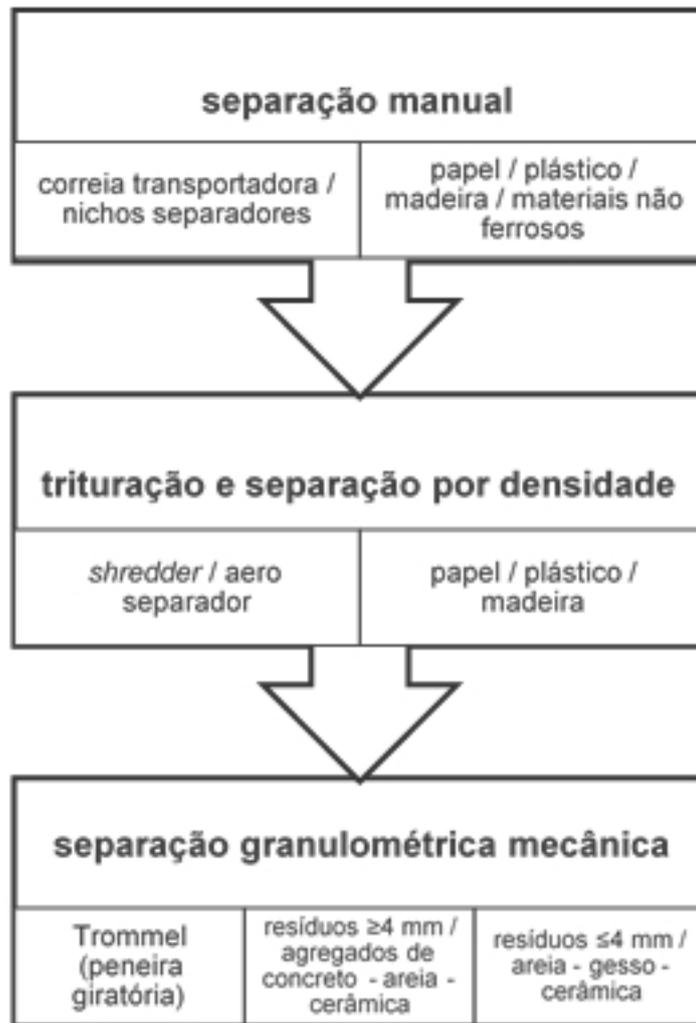


Figura 2: Diagrama de fluxo do processo complementar para o Nível 2.  
Fonte: Oliveira Neto et al, 2017.

### Continuação processo Nível 2



Figura 3: Diagrama de fluxo do processo complementar para o Nível 3.  
Fonte: Oliveira Neto et al, 2017.

- o Nível 3 (Figura 3): Consiste em uma última etapa adicionada ao fluxo dos níveis 1 e 2, cujo principal objetivo é gerar produtos finais com aplicação em concreto reciclado. A partir dos produtos gerados no fluxo do nível 2, o material é processado em dois tipos de equipamentos, o Jigue a ar (Jigue seco) e as Espirais concentradoras. O princípio básico de funcionamento destes equipamentos é a gravimetria e a reologia. São tecnologias mais complexas e que exigem pesquisas e ensaios em escala de bancada e piloto, para fins de especificação dos equipamentos e seus parâmetros operacionais. Há que se destacar pesquisas desenvolvidas no Laboratório de Processamento Mineral (LAPROM) da Universidade Federal do RS (UFRGS) em parceria com o LUNAM Université, IFSTAR. De acordo com vários trabalhos recentes de pesquisas (Cazacliu et al., 2014; Sampaio et al., 2016), o Jigue seco mostra uma eficiência de classificação relevante para RCD. De fato, os estudos experimentais de laboratório mostram resultados potenciais na escala industrial. O princípio técnico da Espiral também está na segregação de partículas por densidade, mas eles requerem fluido aquoso. O material flui em ação da densidade através de canais em espiral e a separação ocorre pela ação da força centrífuga.



Figura 4: Carregadeira na triagem prévia em pátio de recebimento de RCD.  
Fonte: Acervo fotográfico do autor.

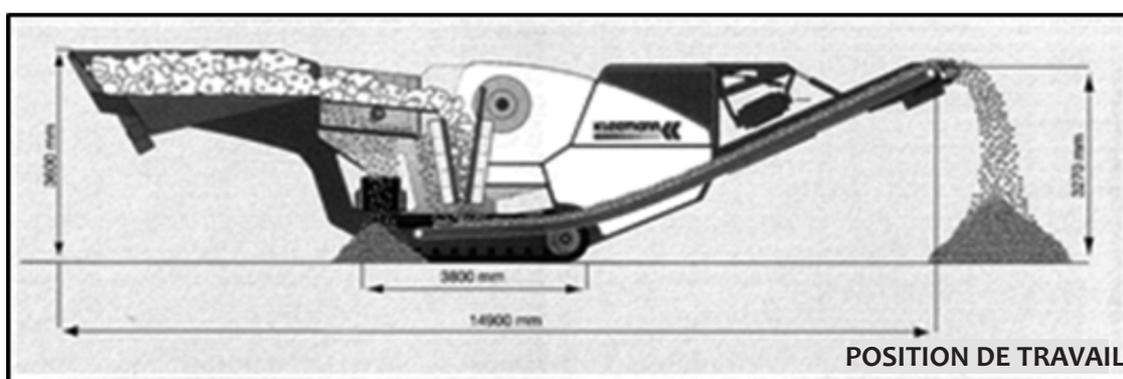


Figura 5: Desenho ilustrando unidade de britagem móvel para utilização após a triagem no pátio.  
Fonte: Autor.



Figura 6: Esteira e nichos para separação manual dos tipos de resíduos não britados.  
Fonte: Acervo fotográfico do autor.



Figura 7: Shredder (tritador) de resíduos não separados manualmente na esteira.  
Fonte: Acervo fotográfico do autor.



Figura 8: Trommel (peneira rotativa) para separação granulométrica dos resíduos triturados no Shredder.  
Fonte: Acervo fotográfico do autor.

## CONCLUSÕES

Este estudo ilustra o desenvolvimento tecnológico como base para o desempenho econômico no contexto da reciclagem dos RCD.

A capacidade das plataformas existentes é, em grande parte, abaixo de 100 kt/ano e que dá indícios de ser a mais economicamente rentável. Estas pequenas unidades têm uma tecnologia de nível mais baixo do que a tecnologia mais simples considerada neste estudo. Eles só têm um estágio de britagem e processamento dos materiais e que certamente mantém os níveis de investimento e custos operacionais mais baixos. No entanto, elas geram uma baixa qualidade do material de reciclagem. Atualmente essas unidades estão se espalhando tanto nos países desenvolvidos analisados como também como tendência no Brasil.

O desenvolvimento das plataformas ou usinas de reciclagem pode ser uma maneira de alcançar uma gestão sustentável dos resíduos de construção e demolição e as pesquisas em tecnologias mais avançadas devem ser incentivadas de modo a gerar produtos com maior qualidade e que possam ser utilizados em aplicações mais nobres como em concretos de boa resistência final. Trabalhos importantes estão sendo desenvolvidos e devem ser incentivados e valorizados como aplicação industrial, salientando-se os trabalhos citados da parceria entre LAPROM/UFRGS e IFSTTAR.

Finalmente, há uma clara necessidade de pesquisa adicional buscando dados mais precisos econômicos e financeiros, o que permitiria resolver as questões relacionadas com estas plataformas de reciclagem e de classificação de RCD. As iniciativas existentes neste sentido no Brasil ainda são incipientes e os produtos gerados pelas unidades de reciclagem de RCD existentes são para aplicação

básica tais como, aterros, base e sub-base de estradas, como componentes na fabricação de tijolos e pré-moldados sem exigências maiores de resistência e durabilidade.

Ainda também como conclusão, é importante salientar que o aumento do uso de agregados para construção civil oriundos da reciclagem ainda depende da demonstração da qualidade na competição com os agregados naturais provenientes das rochas explotadas de jazidas. Neste aspecto o balizamento com a questão ambiental de preservação destas reservas naturais terá que ser equacionado, pois o caráter “finito” destes recursos há que ser considerado, principalmente considerando a “sustentabilidade” nos seus três pilares básicos, ecológico, econômico e social, alicerçado na preservação dos recursos naturais (Lu & Yuan, 2011).

Os resultados do presente trabalho servem como subsídios a estudos econômicos, e neste sentido também faz parte do contexto da pesquisa LAPROM/IFSTTAR, que fornece importantes conclusões para os agentes interessados no tema na tomada de decisões com vistas a implementação de novas pesquisas e iniciativas práticas na implantação de unidades de reciclagem de RCD. Não há como dissociar a viabilidade técnica da econômica como base de apoio a tomada de decisões de investimentos nesta área.

## REFERÊNCIAS

ADEME - Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie, 2011. Analyse technico-économique de 39 plateformes françaises de tri/valorisation des déchets du BTP.

Cazacliu, B., Sampaio, C., Miltzarek, G., Petter, C., Le Guen, L., Paranhos, R., Huchet, F., Kirchmeim, A., 2014. The potential of using air Jigging to sort recycled aggregates. *J. Clean. Prod.* 66, 46–53.

CGEDD, 2015. L'économie circulaire, état des lieux et perspectives. Rapport no 009548, Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable, France.

Lu, W., Yuan, H., 2011. A framework for understanding waste management studies in construction. *Waste Manage.* 31, 1252–1260.

Pacheco-Torgal, F., Tam, W.M.Y., Labrincha, J.A., Ding, Y., de Brito, J., 2013. *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste*. Woodhead Publishing, 672p.

Paula, J.S. de, Leroy, R., 2014. *Recyclage de Déchets Du Chantier*. Université de Brasília, Brésil, 25p.

Sampaio, C.H., Cazacliu, B.G., Miltzarek, G.L., Huchet, F., Le Guen, L., Petter, C., Paranhos, R.S., Ambrós, W.M., 2016. Stratification in air jigs of concrete/brick/gypsum particles. *Constr. Build. Mater.* 109 (2016), 63–72.

Söderholm, P., 2011. Taxing virgin natural resources: lessons from aggregates taxation in Europe. *Resour. Conserv. Recycl.* 55 (11), 911–922.

Staunton, J., Williams, C.D., Morrison, L., Henry, T., Fleming, G.T.A., Gormally, M.J., 2015. Spatio-temporal distribution of construction and demolition (C&D) waste disposal on wetlands: a case study. *Land Use Policy* 49, 43–52

Williams, I.D., Turner, D.A., 2011. Waste management practices in the small-scale construction industry. In: *Waste Management Research Group, School of Civil Engineering and the Environment, University of Southampton. Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium - Sardinia 2011.*

C2CA, 2016. [www.c2ca.eu](http://www.c2ca.eu) (07/20/2016)

HISER, 2016. [www.hiserproject.eu](http://www.hiserproject.eu) (07/20/2016)

# GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL EM COMPARAÇÃO COM PAÍSES DESENVOLVIDOS

Raul Oliveira Neto

Minerar Consultoria e Projetos em Mineração e Meio Ambiente  
raulneto57@gmail.com

## RESUMO

O gerenciamento de resíduos municipais é tema cada vez mais discutido e importante no contexto das preocupações mundiais dos governos, e teve um considerável desenvolvimento nas últimas décadas. Tanto os países desenvolvidos como os “em desenvolvimento” emitiram normativas legais restritivas, visando otimizar seus planos de tratamento e destinação final destes resíduos. O objetivo principal do trabalho é investigar a real evolução e situação deste cenário no Brasil e nos países desenvolvidos, demonstrando os resultados obtidos e traçando um paralelo comparativo e crítico. São transcritos e analisados os dados obtidos, em cada fase de uma Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos – GIRSU. Conclusões importantes são relatadas, tais como, o alto nível de investimento dos países desenvolvidos em

relação às campanhas de conscientização para implantação de uma efetiva GIRSU, assim como contrastes marcantes entre os índices de reciclagem no Brasil e neste bloco diferenciado de países. A avaliação final é de que o diferencial está nas ações políticas de incentivo econômico destes países desenvolvidos, em termos de subsídios, se comparados com o caso brasileiro.

### Palavras-chave:

Gestão de resíduos; Brasil; Países desenvolvidos.

## ABSTRACT

*Management of urban municipal waste has become an increasing problem for governments in developing countries, in the last decades. Not only the developing countries but also the developed ones have introduced restrictive environmental legislations with the objective of optimization of waste treatment and waste disposal programs. The main objective of the present paper is to investigate the real situation of this scenario and in developed countries, showing the results and tracing a parallel comparative and critical. The data obtained at each stage of an Integrated Solid Waste Management – GIRSU are transcribed and analyzed. Important findings are reported, such as the high level of investment by developed countries, inverted in awareness campaigns for implementing a*

*GIRSU effective, as well as remarkable contrasts between recycling rates in Brazil than differential block of this others countries. The final assessment is that the big difference is about economic incentive policy of the block of developed countries in terms of subsidies, compared to the Brazilian case.*

### Keywords:

*Waste management; Brazil; Developing countries.*

## **INTRODUÇÃO**

A questão dos resíduos sólidos e seu gerenciamento está cada vez mais se revestindo de fundamental importância no contexto do desenvolvimento sustentável de um país. Principalmente em um país como o Brasil, onde se gera cerca de 230 mil t de resíduos sólidos diariamente, sendo que destes, cerca de 55% são resíduos domiciliares, segundo Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB – realizada em 2000 (IBGE, 2000). A geração “per capita” teve um acréscimo de 120% só para a região sudeste de 1998 a 2000, onde o índice era de 0,89 kg/hab./dia e passou para 1,96 kg/hab./dia. Dados de 2000 e 2004, já indicavam que no Brasil se geravam 162.000 t/dia de resíduos domiciliares, resultando em um índice de geração “per capita” de 0,9 kg/hab./dia (Calderoni, 2005).

A situação se torna ainda mais complexa quando se conclui que apenas 2% desta geração de resíduos foram destinados à reciclagem, segundo o mesmo PNSB de 2000, e, evidentemente o restante foi destinado aos depósitos do tipo lixões, aterros controlados e aterros sanitários. Nos Estados Unidos, por exemplo, em 2001, com uma taxa de geração de 2,5 kg/hab./dia, 18% eram reciclados, e em torno de 60% eram destinados aos aterros (Alemu, 2001).

A números atuais o IPEA (Instituto de Pesquisa e Estudos Ambientais) divulgou em 2017 que apenas 13% dos RSU no país seguem para reciclagem.

Ainda quanto à situação no Brasil, dos 5.507 municípios brasileiros, 63,6% usavam os “lixões” como forma de destino final, de acordo com o Atlas de Saneamento do IBGE divulgado no Rio de Janeiro, sendo uma forma inadequada de armazenar os dejetos ou resíduos, pois contaminam os rios e o solo. O aterro sanitário, o modo mais indicado de depositar os resíduos, era utilizado por apenas 13,8% dos municípios brasileiros, segundo a mesma publicação.

Dados de 2010 do IBGE indicam que os lixões estavam a níveis de 50,8% do total dos municípios no país e que quanto aos aterros sanitários o índice atingiu 27,7%.

No exterior, há que se destacar o exemplo da União Europeia, que vem passando por uma transformação significativa em termos de GRSU (Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos), motivada pela conhecida “Diretiva Europeia 75/442/CEE”. Esta legislação forçou os países membros a redirecionarem seus esforços na busca de alternativas para a destinação dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos), já que determinou que a partir de junho de 2005 a destinação aos aterros sanitários deveria terminar, ou seja, o resíduo deveria passar por todos os tipos de tratamentos prévios, restando uma fração mínima não aproveitável que então teria este fim.

## **OBJETIVO**

Como objetivo geral do presente trabalho, tem-se a apresentação de diagnóstico sobre a situação das gestões integradas de resíduos sólidos urbanos (GIRSU) praticados no Brasil, traçando um paralelo

com exemplos de outros países. Os objetivos específicos são: i) indicar quais as deficiências do sistema no Brasil; ii) apontar os pontos positivos das GRSU em países desenvolvidos; iii) propor a integração destes pontos positivos no sistema de GRSU brasileiro; iv) apresentar um prognóstico futuro de alternativas para o caso brasileiro.

Há também que se salientar a importância do tema no Brasil, haja visto o Programa Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, estabelecido pela Lei 12.305 de 02/08/2010, que estabelecia o prazo máximo do ano de 2014 para que todos os municípios implantassem seus próprios Planos Integrados de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, o que não aconteceu.

## **METODOLOGIA**

O trabalho foi conduzido basicamente com as seguintes etapas:

- i) Pesquisa e coleta de dados;
- ii) Organização dos dados coletados;
- iii) Análise comparativa dos dados;
- iv) Avaliação conclusiva e prognóstica dos resultados.

Na etapa de pesquisa e coleta de dados, um importante levantamento bibliográfico foi desenvolvido, abrangendo os seguintes tópicos: gestão de resíduos sólidos, modelos existentes para GRSU, dados de custos gerais. Esta etapa foi desenvolvida parte no Brasil e parte no exterior, em Barcelona na Espanha, que possui um dos melhores sistemas de gestão integrada de resíduos municipais do mundo. Foram levantados desde livros publicados sobre o tema até relatórios de gestão integrada de organismos municipais, passando por resultados de pesquisas oficiais de institutos, no Brasil e no exterior.

A etapa posterior de organização dos dados constou de metodologias usuais de tabulação com utilização dos softwares na plataforma Windows, tais como as planilhas Excel. Esta ferramenta permite a geração de gráficos ilustrativos dos dados, facilitando a etapa posterior de análise comparativa dos dados.

Nesta análise comparativa, a partir das tabelas e gráficos gerados, foram comparados parâmetros utilizados na GRSU, tais como, taxa de geração de resíduos (t/dia), custos de coleta (\$/t), custos de transporte (\$/t), custos de disposição final (\$/t), participação percentual dos tipos de resíduos gerados (%), taxas de distribuição dos resíduos segundo tratamento final (%).

Por fim, uma avaliação conclusiva e prognóstica, através de síntese dos principais resultados em gráficos e tabelas, relatando falhas e apontando soluções a curto, médio e longo prazo.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O gerenciamento integrado do resíduo urbano é um conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve (com base em critérios sanitários, ambientais e econômicos), para coletar, segregar, tratar e dispor o “lixo” de uma cidade. Não se trata de definir se a recuperação de recicláveis, compostagem, incineração ou aterro sanitário é a melhor técnica de gerenciamento a utilizar, ao contrário, é necessário determinar em que proporção é mais apropriado conjugar estas técnicas e como é melhor articula-las (D’Almeida &

Vilhena 2000).

Uma visão muito importante na gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos é a da ordem ou hierarquia de prioridades conforme é demonstrado na figura 01.

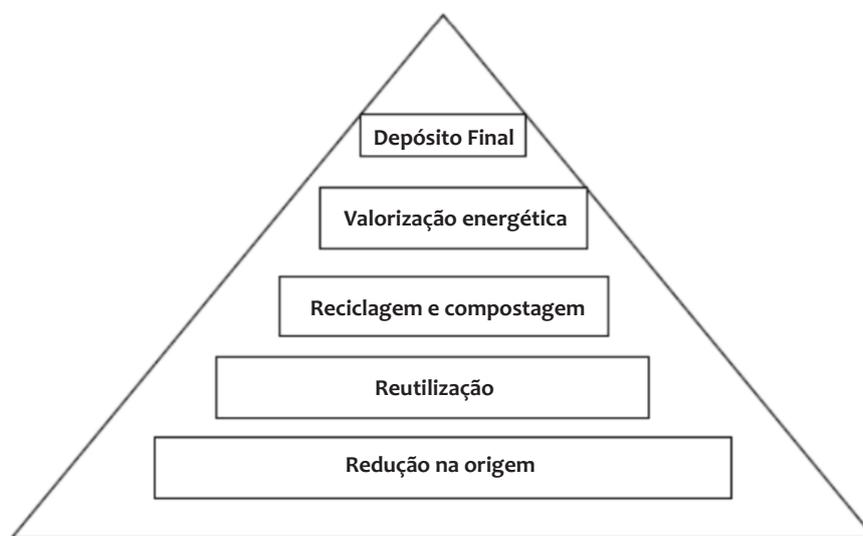


Figura 1: Pirâmide ilustrativa da hierarquia de prioridades na gestão de resíduos urbanos.  
Fonte: Oliveira Neto, 1999.

A problemática da eliminação dos resíduos é complexa e não existe uma única solução, tendo-se que analisar cada caso para a escolha da melhor opção dentro dos sistemas de gestão e tecnologias disponíveis. Para isto é importante ter em mente as etapas que compõe um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

A distribuição dos resíduos municipais segundo o tipo de tratamento finalista é mostrada na figura 02, para o caso de Barcelona/Espanha (EMB, 2004).

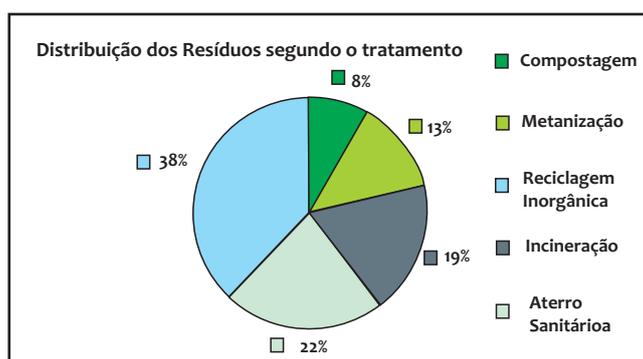


Figura 2: Distribuição dos Resíduos segundo Tratamento em Barcelona/Espanha.  
Fonte: EMB, 2004.

- **Geração** - Na recente “I Conferência Nacional de Prevenção de Resíduos” realizada em Madrid – abril de 2006 (Ministério del Medio Ambiente), entre as conclusões principais, os membros foram unânimes na constatação de que houve um “fracasso geral nas políticas de prevenção”, havendo a necessidade de implementar novos mecanismos como os Instrumentos Econômicos. O que se pode concluir deste diagnóstico é que, “se a política de

prevenção não teve sucesso em um país como a Espanha, pertencente à comunidade europeia e sob rígidas normas legais, onde o percentual de todos os resíduos reciclados, recuperados e biotratados está atingindo o patamar de 40%, o que se pode esperar sobre um diagnóstico para um país como o Brasil, onde a participação na reciclagem está na tímida escala dos 2% (IBGE 2000)”, tendendo atualmente para o patamar de 5%. A produção de resíduos nos Estados Unidos é uma das mais elevadas do mundo, com cerca de 2 kg/ hab./dia. Já a Europa fica com uma média de 1,5 kg/ hab./dia, onde registra-se uma média de crescimento de 4-5% ao ano. A geração de resíduos cresceu de 2,96% ao ano, no período de 2001 a 2004 na área metropolitana de Barcelona, Espanha. A produção de resíduos por habitante ao dia passou de 1,44 kg para 1,48 kg (EMB, 2005), como mostra a figura 03. Se compararmos com o crescimento populacional neste mesmo período para esta região que foi de 0,43%, se conclui, que a taxa da geração de resíduos cresce em uma velocidade muito maior que a população. Porto Alegre tem uma taxa de crescimento populacional de aproximadamente 1,5% ao ano, e segundo estimativas do IBGE, com base mês de agosto de 2020, possui população de 1.488.252 habitantes. Sua geração per capita de resíduos sólidos domiciliares está em torno de 0,7 kg/hab./dia, mas segue crescendo. A cidade de São Paulo por sua vez, uma das maiores metrópoles do mundo, ultrapassa a taxa de geração diária de 1,0 kg/hab./dia.

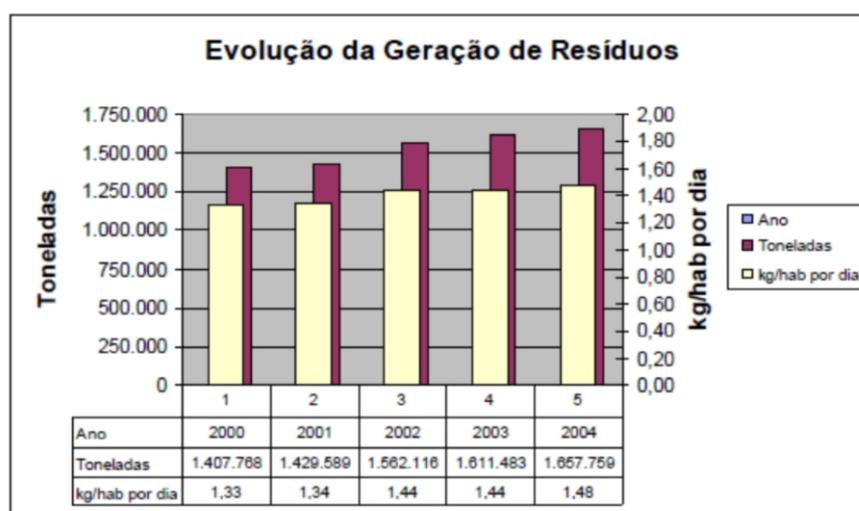


Figura 3: Evolução da geração de resíduos na região metropolitana de Barcelona/Espanha.  
Fonte: EMB, 2005.

- Triagem e reciclagem:** A triagem e a reciclagem são operações da GRSU que podem ser consideradas no mesmo nível. O principal objetivo da triagem, portanto, é separar todo o material possível de ser aproveitado, restando ao final a denominada “fração orgânica”. E aqui cabe salientar que, “quanto maior a eficiência destes sistemas, maior serão as eficiências dos outros sistemas ou tratamentos de valorização ou finais constituintes de uma GRSU”. Isto porque a fração orgânica, responsável por cerca de 50% do peso do “lixo” em média nos países em desenvolvimento, é também a principal fonte de poluentes de natureza orgânica que vão gerar o famoso e indesejável “chorume” ou lixiviado dos aterros sanitários, e o restante ou a fração inorgânica é a principal causa da geração dos poluentes atmosféricos resultantes do processo ou tratamento térmico denominado de incineração. A reciclagem por sua vez tem papel importantíssimo na economia de um país. Sabedai

Calderoni (2005), na introdução ao seu livro “Os bilhões perdidos no lixo” resumem bem esta situação: “Os ganhos proporcionados pela reciclagem do lixo decorrem do fato de que é mais econômica a produção a partir da reciclagem do que a partir de matérias-primas virgens. Isso se dá porque a produção a partir da reciclagem utiliza menos energia, matéria-prima, recursos hídricos, reduzindo os custos de controle ambiental e também os de disposição de lixo”. São conhecidos alguns índices aproximados de reciclagem de países desenvolvidos que merecem citação para reflexão quando comparados: Brasil: 2%; Espanha: 20%; Alemanha: 71%; Países nórdicos: 15 a 20%.

- **Compostagem e Biodigestão:** Dá-se o nome de compostagem ao processo biológico de decomposição de matéria orgânica contidas em restos de origem animal ou vegetal. Este processo tem como resultado final um produto que pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características, sem ocasionar riscos ao meio ambiente (Lima, 2000). Diferentemente da condição aeróbia da compostagem, a biodigestão é um processo anaeróbio e é também denominada “bioestabilização anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos”, ou ainda de “metanização”. Contudo, os processos anaeróbios empregados no tratamento dos resíduos sólidos ainda não constituem prática muito bem difundida, principalmente nos países do bloco em desenvolvimento, entre eles o Brasil. A falta de configuração de sistemas de tratamento e o alto custo são os principais motivos (Leite et al, 2003). Porém, nos países desenvolvidos, principalmente no continente europeu, destacando-se a Espanha como uma das pioneiras neste sistema, está cada vez mais sendo empregado a biodigestão em reatores. Este fato se deve a utilização do calor gerado pela combustão do metano, já que o gás produzido tem uma proporção de 50% deste composto gasoso (Leroy, 2005). A figura 04 mostra as instalações do biodigestor no Ecoparque 2 de Barcelona, que transforma o gás metano gerado em energia elétrica.
- **Incineração:** A incineração é um processo de tratamento térmico dos RSU que tem como objetivo transformar a fração orgânica em produtos estáveis e a recuperação do calor gerado durante a combustão para geração de energia elétrica principalmente. Os tratamentos térmicos permitem a eliminação da totalidade dos resíduos, com exceção dos resíduos de natureza sólida que não foram possíveis de separar previamente na triagem e que vão compor as cinzas e escórias, perfazendo em torno de 30% do peso, e que serão conduzidos aos aterros sanitários (Leroy, 2003). O processo de incineração no Brasil é altamente polêmico, existindo uma grande discussão sobre os efeitos maléficos ao meio-ambiente, principalmente quanto à geração das denominadas “Dioxinas e Furanos”, substâncias classificadas como “Poluentes orgânicos persistentes – POPs” e de risco altíssimo à saúde do homem e que são liberadas nos gases resultantes da queima de plásticos e outros materiais. Na Europa, Estados Unidos, Japão principalmente, este sistema está amplamente implantado e em operação, onde se tem comprovado que as emissões gasosas estão abaixo do limite permitido pela legislação. Outra questão relacionada à incineração são os altos custos de investimento e operação, que comparados aos aterros sanitários podem chegar a três vezes mais. A participação da incineração em alguns países (Calderoni, 2005): Suíça: 80%; Alemanha: 60%; Suécia: 50%; França: 35%; Reino Unido: 4%. No mundo há cerca de 650 plantas de incineração com geração de energia, concentrando-

se nos seguintes países principalmente (Leme, 2006): Europa: 301; Japão: 189; Estados Unidos: 98. Na Europa a maioria das incineradoras está concentrada na Alemanha, onde as instalações possuem até analisadores “on line” de Dioxinas e Furanos e os valores são divulgados via internet. Há que se salientar que na Europa os limites máximos permitidos de emissão destes compostos são mais baixos que no Brasil, por exemplo, 0,1 ng/m<sup>3</sup> para o continente europeu e 0,5 ng/m<sup>3</sup> no Brasil. A figura 05 mostra vista da Incineradora de Besós, na região metropolitana de Barcelona na Espanha, que tem a particularidade de estar ao lado do mar Mediterrâneo, o que de certa maneira comprova a segurança que os Europeus consideram quando se trata os resíduos urbanos neste tipo de instalação. Esta incineradora tem ao seu lado um Ecoparque instalado, o de número 4 de Barcelona.



Figura 4: Instalações do biodigestor no Ecoparque 2.  
Fonte: Oliveira Neto, 2008.



Figura 5: Incineradora de RSU na região metropolitana de Barcelona instalada às margens do Mar Mediterrâneo.  
Fonte: Oliveira Neto, 2008.

- Aterros sanitários: Aterro sanitário por definição prevista na legislação, “é um processo de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, e que permite a confinamento segura em termos de controle ambiental e proteção à saúde pública” (D’Almeida & Vilhena, 2000). Existem outras formas não aceitas pela legislação e normativas vigentes em todo o mundo, ou seja, o aterro controlado, onde se utiliza métodos de engenharia para a disposição, porém sem uma confinamento segura, e o lixão no qual o despejo no solo é realizado sem qualquer técnica e medida de proteção. A situação evolutiva no Brasil pode ser resumida nos seguintes dados do IBGE, em termos do percentual em peso do resíduo urbano gerado:
  - 1991: 76% lixões / 13% at. Controlados / 10% at. Sanitários / 1% outros trat;
  - 2000: 64% lixões / 20% at. Controlados / 14% at. Sanitários / 2% outros trat;
  - 2008: 18% lixões / 16% at. Controlados / 65% at. Sanitários / 1% outros trat.

Segundo a última pesquisa do SNIS com dados de 2004 (Miranda, 2006), a situação em termos de áreas de aterro com implantação das principais especificações técnicas, relativas ao número de aterros pesquisado era a seguinte:

- 48,6% não possuíam impermeabilização de base;
- 45,3% não possuíam drenagem de chorume;
- 48,6% não possuíam drenagem de gases.

Como se pode concluir, houve uma considerável evolução na implantação de aterros sanitários, porém ainda há muito que se fazer no caso brasileiro para que os aterros sanitários prevaleçam como padrão técnico de aterramento dos resíduos no solo.

A premissa básica de todos os Planos Diretores de Gerenciamento Integrado de Resíduos Urbanos – PDGIRSU no mundo inteiro atualmente é “aumentar ao máximo possível a reciclagem e os tratamentos para valorização dos resíduos gerados desde sua origem, diminuindo ao máximo a destinação aos aterros sanitários”. Neste sentido a Comunidade Comum Europeia – CE possui uma diretiva que determinou aos países integrantes o prazo de junho de 2005 como o limite para a implantação de planos diretores tendo por fim a eliminação da destinação direta dos resíduos urbanos aos aterros sanitários, ou seja, estes devem possuir todos os tipos possíveis de tratamentos prévios visando reduzir o aterramento. Em resumo, só deverá seguir aos aterros o que realmente não pode mais ser aproveitado, seja na reciclagem, na valorização energética ou na valorização biológica.

A Alemanha foi o país pioneiro em atingir metas importantes neste sentido e, se tomarmos o caso da região da Baviera (12.000.000 habitantes), que em tamanho e população é muito semelhante à cidade de São Paulo (10.000.000 habitantes), pode-se afirmar que as soluções adotadas estão cerca de 30 anos adiantadas (Neto & König, 2005). Para se ter uma ideia, nesta região da Alemanha, em 1970 existia 5000 aterros sanitários e, em 2005 apenas 54. Porém, para se atingir este resultado foi investido cerca de 1 bilhão de euros (1,3 bilhões de dólares) principalmente na ampliação do tratamento térmico (incineradoras), na criação de muitos centros de reciclagem, na modernização dos aterros tornando-os “centros de tratamento” e, por fim, talvez a iniciativa mais importante, ou seja, “as campanhas de conscientização da população”.

Dois outros temas importantes também envolvem os aterros sanitários, ou seja, a recuperação do gás gerado e o tratamento do lixiviado. A primeira diz respeito ao aproveitamento do gás metano (NH<sub>4</sub>) na

geração de energia elétrica e combustível, e a segunda se refere ao tratamento físico-químico do líquido também resultante da biodegradação da fração orgânica do resíduo disposto no aterro.

- Concepções modernas de GRSU - Importante a citação de novos conceitos na GRSU que já estão sendo empregados em países desenvolvidos e atualmente começam a tomar forma nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Descrevem-se neste item três principais conceitos, ou seja, os ECOPARQUES, a Reciclagem em aterros sanitários e a questão dos Consórcios de municípios aplicados aos aterros sanitários. Em alguns países a gestão de resíduos de forma integrada evoluiu para a construção dos denominados “ECOPARQUES”, como equipamentos ambientais destinados ao tratamento integral dos resíduos urbanos. A função principal é valorizar a fração orgânica e os restos (rejeitos domésticos e resíduos não diferenciados), através de tratamentos complementares, tais como, a seleção e separação de materiais valorizáveis, a compostagem e a metanização (Sábata, 2006). A figura 06 apresenta uma perspectiva de todas as instalações que compõem o Ecoparque de Barcelona, a partir de uma maquete. Pode-se observar o altíssimo nível de organização e isolamento. Os prédios são todos projetados para evitar a propagação de “odores e ruídos” para a vizinhança, com a qual existem protocolos de segurança e controle ambiental, garantindo a manutenção da qualidade de vida dos habitantes.
- Custos gerais com gestão de resíduos sólidos urbanos: Na primeira etapa, ou seja, a coleta, os custos podem oscilar entre 30 e 50 Euros/t (US\$ 35 a 60/t), sendo que, se a coleta for seletiva, estará acima dos 60 Euros/t (US\$ 80/t) (Sábata, 2006). Os custos de um programa de reciclagem por sua vez, podem variar entre US\$ 30 e 60/t de material reciclável coletado e transportado até o mercado (Strobridge & Gerlock, 1996). Apresenta-se na Tabela 01 algumas distribuições percentuais conhecidas, dos diferentes componentes de custo de um sistema de gestão de resíduos. Exemplos da variação dos níveis de custos com o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos são muitos. A Tabela 02 sintetiza alguns destes custos, ilustrando como pode ocorrer uma grande variação ou diferença, dependendo de muitos fatores inerentes à economia do país, mas fundamentalmente da política e tipo de gerenciamento adotada. Já a análise dos dados da Tabela 03 nos remete a realidade atual da Comunidade Europeia, onde está realmente ocorrendo uma grande destinação de recursos aos aterros sanitários, de forma a torná-los instrumentos cada vez mais onerosos e como última alternativa na pirâmide de prioridades da GRSU. Se verificarmos com atenção, os dados têm uma média muito alta, cerca de US\$ 62/t de custo total de disposição, mesmo sem os custos de aquisição da área ou terreno e os relativos a recuperação e fechamento. Outra observação importante é que não há qualquer correlação entre o custo e a capacidade diária, obtendo-se um coeficiente de determinação de 0,015 e isto se deve, certamente, às questões políticas internas de cada país, que hoje vive um tenso momento de adequação às rigorosas leis ou diretivas europeias. No estudo apresentado a seguir na Tabela 04, pode-se observar uma análise comparativa dos custos de processos de tratamento de resíduos domiciliares, sem considerar as externalidades, porém demonstrando as receitas ou ingressos devido à valorização de resíduos. Da análise destes dados (Tabela 04) se conclui que um dos processos com menor custo é o Aterro sanitário, sendo que o mais custoso é o da Incineração. Porém, ao

se considerar os ingressos de receitas a preferência pelos processos menos custosos se alteraria, passando a compostagem e a reciclagem como os mais baratos, seguidos do aterro e da incineração. Independentemente da exatidão destes dados, o importante é destacar a possibilidade de obter receitas devidas à valorização dos produtos.



Figura 6: Vista geral exterior das instalações do ECOPARQUE 2.  
Fonte: Oliveira Neto, 2008.

| Componente do sistema de gestão | Participação no custo % |
|---------------------------------|-------------------------|
| Campanhas de conscientização    | 7                       |
| Coleta                          | 46                      |
| Transporte                      | 7                       |
| Tratamento                      | 25                      |
| Gestão e controle               | 6                       |
| Outros gerais                   | 9                       |

Tabela 1: Distribuição de custos na gestão de resíduos municipais para o caso da região de Catalunya- Espanha.

Fonte: Sábata, 2006.

| Cidade / País | Faixas de variação dos custos (US\$/ton) |                    |
|---------------|--|--------------------|
|               | Coleta e transporte                      | Depósito no Aterro |
| USA           | 3,5                                      | 10-80              |
| Canadá        | -  | 80-120             |
| Flórida       | 16,6                                     | 55,1               |
| Philadéla     | 48,5                                     | 55,2               |
| Indiana       | 120,4                                    | -                  |
| Hong Kong     | -  | 11,3               |
| Thailandia    | 2,9 - 10,4                               | -                  |
| Kuwait        | 24,0                                     | -                  |

Tabela 2: Custos típicos com gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em algumas cidades e países no exterior.

Fonte: Koushki, 2004

| País da CCE | t/dia RSU | US\$/t (2006) |
|-------------|-----------|---------------|
| Alemanha    | 800       | 98,5          |
| Áustria     | 330       | 78            |
| Bélgica     | 470       | 91            |
| Dinamarca   | 25        | 85,8          |
| Finlândia   | 170       | 49,4          |
| França      | 280       | 63,7          |
| Espanha     | 160       | 9,75          |
| Grécia      | 310       | 17,55         |
| Inglaterra  | 145       | 22,75         |
| Itália      | 160       | 78            |
| Portugal    | 180       | 20,15         |
| Suécia      | 690       | 62,4          |

Tabela 3: Custos médios totais com aterros sanitários em países europeus.  
Fonte: Koushki, 2004

| Tipo de processo         | Custo do processo US\$/t | Receitas por valorização US\$/t | Custo final líquido US\$/t |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Coleta normal            | 27                       | -                               | 27                         |
| Coleta seletiva          | 41                       | 30                              | 11                         |
| Aterro sanitário         | 13                       | -                               | 13                         |
| Triagem e reciclagem     | 25                       | 13                              | 12                         |
| Compostagem              | 28                       | 17                              | 11                         |
| Incineração bruta        | 78                       | 32                              | 46                         |
| Incineração c/ pré trat. | 100                      | 67                              | 33                         |

Tabela 4: Comparação de custos de processos de tratamento.  
Fonte: Riera & Garcia, 1997.

## CONCLUSÕES

As principais conclusões no contexto prognóstico da situação comparativa “Brasil x países desenvolvidos”, a partir do diagnóstico feito no presente trabalho são:

- É evidente o alto nível de investimento invertido pelos países desenvolvidos em relação às campanhas de conscientização para implantação de uma efetiva GRSU, à exemplo de Barcelona na Espanha cujo nível de participação deste item é de 7%, mesmo patamar do custo de transporte. No Brasil os níveis de investimentos dos municípios nestas campanhas de conscientização (educação ambiental) são baixíssimos e, neste quesito, pode se apontar o principal problema das GRSU não evoluir satisfatoriamente.
- A conclusão acima se evidencia na grande diferença entre o índice de reciclagem médio dos países desenvolvidos, cerca de 20% no mínimo, já atingidos por volta do ano de 2008, e no Brasil o patamar de 13% foi atingido somente em 2017.
- Outra importante conclusão é quanto à incineração, quando em 2006 existiam em operação cerca de 650 usinas entre Europa, EUA e Japão e, no Brasil cerca de 67 usinas em 2008, relativa

ao tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos. Talvez falte um programa político mais agressivo por parte do governo brasileiro de forma a incentivar as tecnologias de incineração.

- O forte contraste na destinação final dos RSU (resíduos sólidos urbanos) para os aterros sanitários, a partir do presente diagnóstico, é, talvez, o principal indicador da deficiência do sistema brasileiro neste tema. Enquanto a Europa estabelecia para o ano de 2005 a meta de eliminar o “aterramento”, com a Alemanha reduzindo os seus 5000 aterros para apenas 54, o Brasil ainda apresentava 60% dos 5500 municípios com destinação para “lixões”. Solução: “Investir grandes somas em campanhas de conscientização, coleta seletiva e subsídios e incentivos às Prefeituras para que implantem aterros sanitários, através dos consórcios entre municípios de pequeno porte, compartilhando custos e responsabilidades”.
- Destacam-se os exemplos de “concepções modernas de GRSU” largamente utilizados pelos países desenvolvidos, haja visto o exemplo de Barcelona/ES, que é referência mundial de sucesso em plano de gerenciamento de resíduos urbanos. O ECOPARQUE de Barcelona é a representação mais típica destas concepções, instalado ao lado do aterro sanitário municipal, onde o processamento do resíduo urbano é tal que, somente segue para o aterro o “resíduo do resíduo”, ou seja, mais de 50% da quantidade transportada pelos caminhões de coleta é “valorizado” (fração orgânica, papel, papelão, metais e vidros). O que segue para aterramento os resíduos não diferenciados ou onde o processo de separação não é efetivo.
- Por fim, a análise dos custos gerais nos leva a concluir:
  - Países desenvolvidos priorizam a efetividade de seus tratamentos, mesmo com custos maiores;
  - Enquanto no Brasil o custo médio de operação em aterro sanitário fica em torno de US\$30/t, nos EUA e Canadá a média é de US\$80/t, França apresenta US\$60/t e Alemanha US\$ 90/t (dados de 2008);
  - Os países com ampla valorização dos resíduos urbanos tais como Espanha e Alemanha, obtêm significativa redução nos seus custos finais líquidos, já que as receitas por valorização (compostagem, reciclagem, incineração) atingem 50% do custo de processo do resíduo urbanos, a partir de sua origem. Este é o ponto principal onde os esforços nos países desenvolvidos se concentram.

## REFERÊNCIAS

- Alemu, C. La bonne élève de l'Union Européene. Label France, dez. 2001.
- Calderoni, S. Os Bilhões Perdidos no Lixo. 4. edição – São Paulo: Humanitas Editora / FFLCH / USP, 2005.
- D'Almeida, M.L.O. & Vilhena, A. Lixo municipal: Manual de gerenciamento integrado. 2ª. Ed., São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.
- EMB. Entidad Metropolitana de Medio Ambiente de Barcelona, Datos Ambientales Metropolitanos de 2004. Edição de outubro de 2005.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Econômica, 2000. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB.
- Koushki P.A., Al-Duaij U. & Al-Ghimlas W. Collection and transportation cost of household solid waste in Kuwait. Waste Management n. 24, pp. 957-964, 2004.
- Leite, V.D. et al. Bioestabilização de resíduos sólidos orgânicos. Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro, ABES. Projeto PROSAB, p. 95 -119, 2003.
- Leme, J.H.P. Estudo de caso: reciclagem energética na Usina Verde. 1º Simpósio Brasileiro de Incineração – UPAN. Porto Alegre, dezembro de 2006.
- Leroy J.B. Guia para elaboración de un proyecto de tratamiento de residuos urbanos. Revista Resíduos n. 82, pp. 46-53, janeiro-fevereiro de 2005.
- Lima, J. D. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. Universidade Federal da Paraíba, 2000.
- Miranda, E. C. et al. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos-2004. Brasília, M.CIDADES, SNSA, 2006.
- Neto, S.N., König, T. et al. Gerenciamento de Resíduos Sólidos: uma visão de futuro. Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo e Secretaria do Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção do Consumidor da Baviera. 2005.
- Riera, P. & García, L. Análisis económico de la gestión de residuos urbanos. XXIII Reunión de Estudios Regionales, Valencia, 18-21 noviembre 1997.
- Sabata, J.M.C. Gestion de los residuos sólidos urbanos. Universitat Politècnica de Catalunya-UPC / Metròpolis. <http://www.ema-amb.es>, 2006.
- Strobridge, D. E. & Gerlock, F.G. Obtención de datos y control de costes. Manual McGraw-Hill de Reciclaje, Cap.33, 1996.

# A ABORDAGEM DA EDUCAÇÃO AMBIENTAL EM ESCOLAS PÚBLICAS DE ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO NO MUNICÍPIO DE ALEGRE, ESPÍRITO SANTO

Juliana Ferreira Scalfoni

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

Luceli de Souza

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

Rômulo Maziero

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

maziero@ufmg.br

## RESUMO

O objetivo da pesquisa foi diagnosticar como a educação ambiental (EA) é aplicada em escolas públicas do município de Alegre, Espírito Santo. Entrevistas no local, questionários aplicados e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) foram comparados com os livros didáticos. Como resultado, foi possível observar que os temas que englobam o tema educação ambiental ainda não abordam pontos específicos dos PCNs. Além disso, a EA não foi incluída em todas as modalidades e níveis de

educação, conforme estabelecido pelas leis atuais que apoiam a EA. Desta forma, propôs-se que os professores sejam mais bem treinados para que os assuntos sejam transmitidos de forma clara e eficaz, melhorando a discussão e a aprendizagem dos alunos.

### Palavras-chave:

Meio ambiente; Livros didáticos; Ensino público.

## ABSTRACT

*The objective of the research was to diagnose how environmental education (EA) is applied in public schools in the municipality of Alegre, Espírito Santo. On-site interviews, questionnaires were applied and the National Curricular Parameters (PCNs) were compared with the textbooks. As a result, it was possible to observe that the themes that encompass the theme of environmental education still do not address specific points of the PCNs. In addition, EA has not been included in all modalities and levels of education, as established by the current laws that*

*support EA. In this way, it was proposed that teachers should be better trained so that the subjects are transmitted clearly and effectively, improving students' discussion and learning. erms of subsidies, compared to the Brazilian case.*

### Keywords:

*Waste management; Brazil; Developing countries.*

## **INTRODUÇÃO**

O aumento da população e conseqüentemente o consumo desregrado dos recursos naturais, levou a sociedade a uma crise ambiental e com a mesma preocupação com os problemas ambientais. Neste contexto a sociedade busca soluções para melhorar a qualidade de vida, sendo a educação ambiental (EA) uma dessas ferramentas que permite a compreensão e conhecimento sobre a natureza e a relação da sociedade com os recursos naturais (MOREIRA et al., 2010). Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) buscam orientar os professores quanto à melhor aplicabilidade dos temas que devem estar inseridos dentro do currículo escolar, incluindo a temática educação ambiental, estimulando assim, o desenvolvimento dos discentes, para uma maior integração do cotidiano com o meio ambiente, por meio de práticas de ensino ambiental que estejam inseridos no contexto escolar.

Para o ensino fundamental, o PCN estabelece que a temática da educação ambiental deve abordar os conhecimentos sobre três temas centrais, como meio ambiente, sustentabilidade e diversidade (ANGELO et al., 2009; GEWANDSZNAJDER, 2011a; GEWANDSZNAJDER, 2011b; GEWANDSZNAJDER, 2012). Enquanto que para o ensino médio, o PCN recomenda que os temas de educação ambiental, de acordo com o Ministério da Educação e Cultura (MEC) devem apresentar as seguintes questões: representação e comunicação; investigação e compreensão; contextualização sociocultural (AMABIS; MARTHO, 2010a; AMABIS; MARTHO, 2010b; AMABIS; MARTHO, 2010c; SANTOS et al., 2010a; SANTOS et al., 2010b; SANTOS et al., 2010c). Segundo Evaristo (2010), em muitas escolas brasileiras, as atividades relacionadas à educação ambiental estão sendo confundidas com algumas disciplinas ou sendo apresentadas apenas como questões de preservação da natureza, onde as escolas realizam atividades como caminhadas por trilhas ecológicas, visitas a parques ou reservas indígenas, sensibilização dos problemas ambientais e comemorações do dia do meio ambiente. Diante dos problemas ambientais, é necessário que o tema meio ambiente seja abordado nas séries iniciais, para que as crianças cresçam com maior conhecimento e conscientização, proporcionando equilíbrio entre a natureza e a sociedade.

Trajber e Sorrentino (2007) observaram que a sociedade vem sentindo uma grande necessidade de inverter o quadro de degradação e superar as injustiças ambientais, e afirmaram que a educação ambiental tem papel relevante frente a essa necessidade, assumindo o compromisso com as propostas de mudanças de valores, comportamentos, sentimentos e atitudes que contribuem para a construção de sociedades sustentáveis, com pessoas atuantes, e que a formação continuada de professores se faz necessária para o fortalecimento das políticas locais de educação ambiental. Recentemente a educação ambiental tem buscado o crescimento por meio de projetos desenvolvidos entre as escolas e a comunidade local, partindo do princípio das necessidades da região, assim integrando teoria e prática de forma interdisciplinar (VIRGENS, 2011).

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar qual das modalidades básicas indicadas nas diretrizes do MEC como projetos, disciplinas especiais e inserção do tema educação ambiental nas disciplinas, estão sendo aplicadas nas escolas públicas do município de Alegre, Espírito Santo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa em questão é de caráter descritivo, ou seja, tem como objetivo descrever as características de determinada população ou fenômeno. O trabalho foi desenvolvido no mês de dezembro de 2013, com anuência de duas escolas públicas, denominadas de escola A e B, localizadas na área urbana do município de Alegre, regiões sul do estado do Espírito Santo, e ambas possuem turmas de ensino fundamental (EF) e médio (EM). A escola A apresenta maior porte com aproximadamente 487 alunos do ensino fundamental e 348 alunos do ensino médio. Já a escola B apresenta aproximadamente 305 alunos do ensino fundamental e 181 alunos do ensino médio. Para conhecer como as escolas abordam a educação ambiental no ensino fundamental e médio, foi realizado um levantamento junto à coordenação pedagógica e professores de ciências e biologia, por meio da aplicação de questionário semiestruturado qualitativo e quantitativo em forma de entrevista, com 14 questões abertas e fechadas (perguntas e respostas). Antes de cada entrevista, foi apresentado e entregue o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Foi aplicado um questionário para cada educador, sendo entrevistados 4 professores de ensino fundamental, 1 professor de ensino médio e 1 pedagogo em cada escola, totalizando 6 entrevistados em cada uma das instituições. A coleta de dados consistiu na análise dos livros didáticos adotados pelas respectivas escolas nesta época, e foram analisados os livros de 5ª a 8ª série do ensino fundamental e os do 1º ao 3º ano do ensino médio. Os exemplares foram disponibilizados pelas escolas citadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos das análises dos livros didáticos conforme os PCNs para o ensino fundamental dispõem que a educação ambiental deve abordar o conhecimento sobre temas centrais, como meio ambiente, sustentabilidade e diversidade. O tema meio ambiente é dividido em outros tópicos, que são: elementos naturais do meio ambiente e os manipulados pelos seres humanos; áreas urbana e rural; fatores físicos e sociais do meio ambiente; formas de intervenção no meio ambiente; proteção; preservação; conservação; recuperação e degradação (MEC, 2000, p. 235-242). Esses elementos indicados pelo MEC foram comparados com a análise dos livros didáticos de ciências utilizados pelas escolas para o ensino fundamental e observou-se que a maioria dos elementos foram citados nos livros didáticos, conforme Quadro 1 (próxima página).

Foi observado que nos livros didáticos utilizados pela escola A não abordavam todos os temas de educação ambiental sugeridos no PCN. Entre estes estão os temas que retratam sobre área urbana e rural, proteção, preservação, conservação e recuperação. Enquanto na escola B, apenas o tema área urbana e rural não foi abordado. Sendo os mais abordados nos livros de ambas as escolas, os temas que retratam sobre fatores físicos e sociais do meio ambiente, degradação, sustentabilidade e diversidade. Assim como os resultados obtidos por Bonotto e Semprebone (2010), em que os volumes são organizados em grandes unidades, subdivididas em capítulos, cujos títulos remetem diretamente aos conteúdos comumente indicados para o trabalho com a disciplina das ciências naturais, como por exemplo: os seres vivos; matéria; energia e noções básicas de química. Além disso, a concepção de natureza verificada pelas pesquisas nos livros didáticos é muitas vezes contraditória, pois ora se pauta numa visão antropocêntrica e utilitarista, em que a natureza é entendida apenas como um recurso à sociedade, ou se limita a elementos naturais do meio, excluindo o ser humano e ressaltando um caráter conservacionista da relação sociedade e ambiente, onde ser humano e natureza são antagônicos (MARPICA; LOGAREZZI, 2010).

| PCN                              |  | Escola A <sup>1</sup> | Escola B <sup>2</sup> |
|----------------------------------|--|-----------------------|-----------------------|
| O MEIO AMBIENTE E SEUS ELEMENTOS | Elementos naturais do meio ambiente e os manipulados pelos seres humanos | Sim                   | Sim                   |
|                                  | Áreas urbana e rural   | Não                   | Não                   |
|                                  | Fatores físicos e sociais do meio ambiente                               | Sim                   | Sim                   |
|                                  | Formas de intervenção no meio ambiente                                   | Sim                   | Sim                   |
|                                  | Proteção   | Não                   | Sim                   |
|                                  | Preservação  | Não                   | Sim                   |
|                                  | Conservação  | Não                   | Sim                   |
|                                  | Recuperação  | Não                   | Sim                   |
|                                  | Degradação   | Sim                   | Sim                   |
| SUSTENTABILIDADE                 |  | Sim                   | Sim                   |
| DIVERSIDADE                      |  | Sim                   | Sim                   |

Quadro 1: Temas propostos pelos PCNs para a implantação do estudo de EA nos anos finais do EF abordados nos livros didáticos de ciências, no período de 2011 a 2014 nas escolas A e B.

Fonte: Dos Autores adaptado de 1.Gewandsznajder (2011a), Gewandsznajder (2011b), Gewandsznajder (2012), 2.Angelo et al. (2009).

No estudo realizado por Santos (2008), a análise de conteúdo dos livros-texto das disciplinas de história, língua portuguesa, geografia e ciências, da 4ª série do ensino fundamental, relacionados nos guias do Programa Nacional do Livro Didático, do Ministério da Educação, referentes ao triênio 2004-2006, menciona que na maioria dos livros analisados apresenta elementos de educação ambiental, principalmente em relação às externalidades negativas do desenvolvimento, e muitos deles apontam para uma educação emancipatória, ética e planetária. Mas ainda não é possível afirmar, segundo o autor, que são instrumentos satisfatórios para a formação da cidadania ambiental ou para a implantação de um modelo sustentável de desenvolvimento. Para o ensino médio o PCN recomenda que os temas de educação ambiental, de acordo com o MEC devem apresentar as seguintes questões: representação e comunicação; investigação e compreensão; e contextualização sócio-cultural (MEC, 1997, p. 21).

Esses elementos sugeridos pelo PCN foram comparados com a análise dos livros didáticos de biologia utilizados pelas duas escolas avaliadas (Quadro 2), e observou-se que os livros de ensino médio utilizados abordaram questões sugeridas pelo PCN, estando dentro dos padrões sugeridos para a aplicação da educação ambiental no ensino médio. Entretanto, deve-se ressaltar que os temas abordados pelos livros são bem generalizados e não são voltados especificamente para a educação ambiental.

| PCN   |                                 | Escola A <sup>3</sup> | Escola B <sup>4</sup> |
|---|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| CIÊNCIAS DA NATUREZA,<br>MATEMÁTICA E SUAS<br>TECNOLOGIAS | Representação e comunicação     | Sim                   | Sim                   |
|   | Investigação e compreensão      | Sim                   | Sim                   |
|   | Contextualização sócio-cultural | Sim                   | Sim                   |

Quadro 2: Temas propostos pelos PCNs para a implantação do estudo de EA no EM abordados nos livros didáticos de biologia, no período de 2011 a 2014 nas escolas A e B.

Fonte: Dos Autores adaptado de 3.Santos et al. (2010a), Santos et al. (2010b), Santos et al. (2010c), 4.Amabis e Martho (2010a), Amabis e Martho (2010b), Amabis e Martho (2010c).

Os principais resultados obtidos por Marpica e Logarezzi (2010) apontaram que a questão ambiental estava sendo abordada nos livros didáticos, mas de forma superficial. Por exemplo, que aspectos bióticos, abióticos e culturais estavam presentes nos livros didáticos, mas de forma desarticulada e desconexa entre os mesmos, o que ressalta a presença das questões ambientais nos livros didáticos, mas com limitações de qualidade. Oliveira, Obara e Rodrigues (2007) destacaram a importância de se utilizar diferentes métodos para identificar os conhecimentos prévios dos alunos, a fim de não se prender somente à sequência do livro didático, esquecendo-se da abrangência gigantesca da educação ambiental.

Conhecimentos sobre o livro didático para além das páginas, como os usos que educadores fazem do mesmo e as principais necessidades frente a um material de apoio, são importantes de serem construídos para se pensar os caminhos a serem percorridos em que o livro didático seja, de fato, instrumento de apoio à educação ambiental escolar (MARPICA; LOGAREZZI, 2010). As escolas foram avaliadas quanto ao tempo de aplicação da temática educação ambiental nos diferentes níveis de ensino (Figura 1).

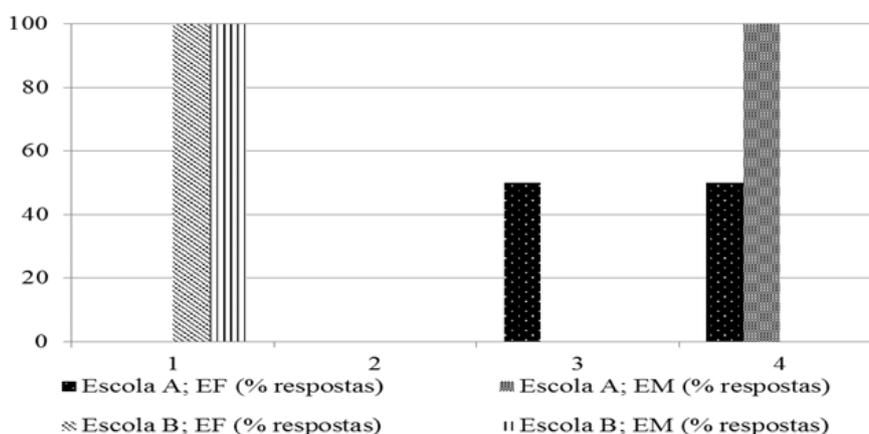


Figura 1: Tempo de implementação do programa de EA para o EF e EM na escola A e B. 1 – Últimos 6 meses; 2 – 6 meses a 1 ano; 3 – 1 a 5 anos; 4 – Mais de 5 anos.

Fonte: Dos Autores (2020).

Na escola B, tanto para o ensino fundamental quanto para o ensino médio, foi respondido que a escola havia implementado a educação ambiental no último semestre, diferentemente da escola A que trabalhou o tema nos últimos 5 anos para o EF e para o EM. Com base no Art. 1º da Lei n.º 9.795 de 27 de abril de 1999, a educação ambiental tem que ser desenvolvida como prática educativa permanente em todos os patamares e modalidades do ensino formal desde a educação infantil à educação superior, e que o percentual de escolas de ensino fundamental e ensino médio que desenvolvem a educação ambiental como tema ainda é muito irrelevante (BRASIL, 1999). Neste estudo a escola A tem programa de EA há mais de 5 anos e pode estar associado com o tamanho da instituição e envolvimento em projetos temáticos. Ao serem abordadas sobre quais séries estudavam a temática EA todas informaram ser estudado na 5ª e 6ª do EF, e do 1º ao 3º ano do EM (Figura 2).

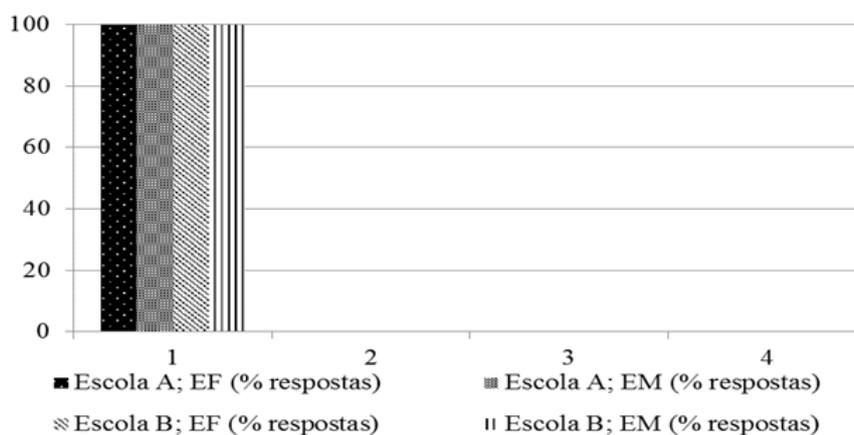


Figura 2: Série do ensino fundamental e/ou médio que se trabalha a temática EA para o EF e EM na escola A e B. 1 – 5ª e 6ª série do EF; 2 – 7ª e 8ª série do EF; 3 – 1ª a 3ª ano do EM; 4 – Não sei avaliar. Fonte: Dos Autores (2020).

Em ambas as escolas estudadas a temática foi abordada nas duas séries nas quais os livros didáticos abordam a questão ambiental (Figura 2 e Quadro 1). Ao detectar com qual idade os alunos começavam a estudar EA, foi observado que houve divergência entre os entrevistados sendo que na escola A, 50% dos entrevistados responderam que os alunos de ensino fundamental iniciavam entre 9 e 11 anos, enquanto os 50% restantes indicaram ser acima de 11 anos. Na escola B 75% dos entrevistados responderam que os alunos começavam a estudar o tema na faixa de 6 a 8 anos (Figura 3).

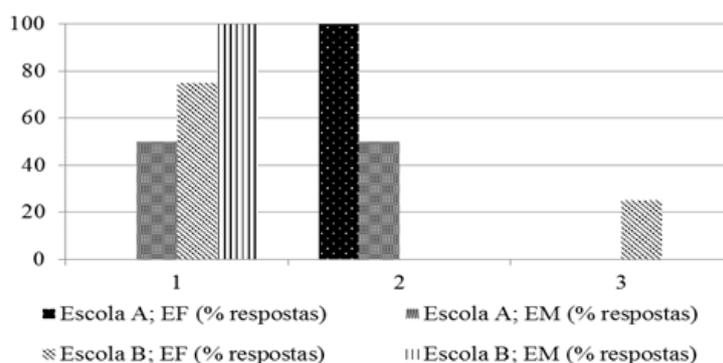


Figura 3: Faixa etária dos alunos que começam a estudar EA para o ensino fundamental na escola A e B. 1 – 6 a 8 anos; 2 – 9 a 11anos; 3 – Acima de 11 anos. Fonte: Dos Autores (2020).

Respostas divergentes foram obtidas na escola B (Figura 2), já que todos os entrevistados afirmaram que o ensino de educação ambiental era aplicado na 5ª e 6ª série, sendo estas posteriores as séries relacionadas à idade dos alunos que foi informada (Figura 3), entre 6 e 8 anos. Além disso, as leis vigentes que sustentam a educação ambiental no Brasil estabelecem que o tema deve ser abordado em todos os níveis e modalidades de ensino, portanto, deveria estar inserida em todos os anos do ensino fundamental e médio (Figura 4). Na Figura 4, 100% dos entrevistados na escola A afirmaram que os alunos de ensino médio começam a estudar EA entre 14 e 15 anos, enquanto na escola B, 100% afirmaram que se inicia a partir dos 15 anos.

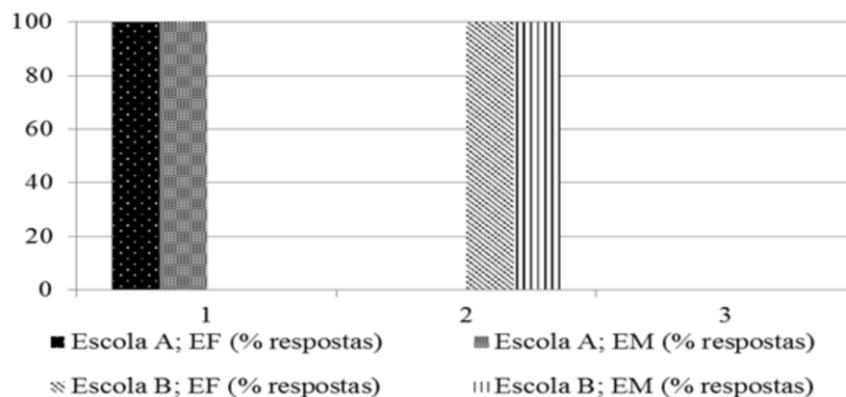


Figura 4: Faixa etária dos alunos que começam a estudar EA para o EM na escola A e B. 1 – 14 e 15 anos; 2 – 15 e 16 anos; 3 – Acima de 16 anos. Fonte: Dos Autores (2020).

Para detectar qual das três modalidades de abordagem sobre EA as escolas estudadas estavam praticando, foi apresentada uma lista de atividades e observou-se (Figura 5) que no EF das instituições as atividades foram desenvolvidas por meio de passeios e excursões. Enquanto que no EM, a escola A desenvolve atividades como projetos, passeios e excursões, e na escola B por meio de conteúdos dos livros didáticos, passeios e excursões.

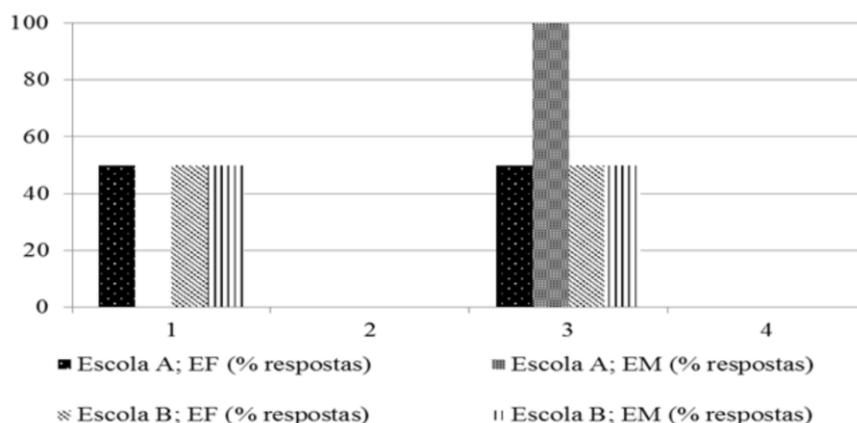


Figura 5: Desenvolvimento da EA para o EF e EM na escola A e B. 1 – Por meio dos conteúdos dos livros didáticos; 2 – Brincadeiras; 3 – Passeios e excursões; 4 – Outros. Fonte: Dos Autores (2020).

As respostas obtidas da Figura 5 demonstram a importância dos conteúdos dos livros didáticos para uma maior e melhor aplicabilidade dos conhecimentos sobre educação ambiental. Assim como a realização de eventos, como passeios aplicados, o que proporciona um maior envolvimento entre alunos, professores e o meio, e projetos que demonstram a preocupação com uma melhor instrução sobre a temática da educação ambiental. Segundo Pereira e Guimarães (2009), entre as principais ações desenvolvidas para a abordagem da EA, destacam-se os projetos multidisciplinares extraclasse, que caminham paralelamente às ações desenvolvidas em sala de aula, e que muitas das vezes são confundidos com ações interdisciplinares.

De acordo com Oliveira, Obara e Rodrigues (2007), as práticas pedagógicas de educação ambiental relatadas pelos professores atuais, são muito semelhantes àquelas realizadas por seus professores no decorrer de sua formação e variam entre atividades sugeridas pelos livros didáticos, comemoração de datas específicas, visitas a locais de preservação, atividades de coleta de resíduos sólidos, trabalhos com materiais reciclados, desenvolvimento de alguns projetos pontuais no decorrer do ano letivo e participação em conferências organizadas pelo poder público. As ações em educação ambiental devem propor atividades contínuas e acompanhar o cidadão em cada ciclo de sua vida, de caráter interdisciplinar interagir conhecimentos de diversas áreas, associarem aspectos econômicos, político, cultural, social e ecológico da questão ambiental, garantir a participação social e incentivar a solução de problemas ambientais, visar a mudança de valores, comportamentos sociais e atitudes sustentáveis (SIMÕES; VALE, 2012). Na Figura 6, para a escola A, a maioria dos entrevistados afirmaram que tanto no ensino fundamental como no ensino médio o tema EA foi abordado uma vez por semana, enquanto na escola B as respostas se dividem em uma vez por semana e mais de uma vez por semana, para o ensino fundamental e médio.

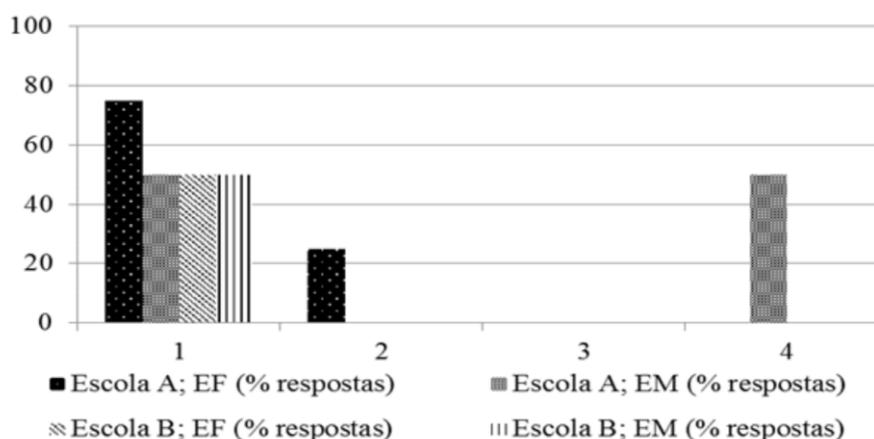


Figura 6: Regularidade de abordagem das questões sobre EA para o EF e EM na escola A e B. 1 – Uma vez por semana; 2 – Mas de uma vez por semana; 3 – Não é abordada; 4 – Outros. Fonte: Dos Autores (2020).

Os resultados demonstraram que a educação ambiental está ganhando mais espaço dentro do ambiente escolar (Figura 6), o que difere do estudo realizado pelos autores Pelegrini e Vlach (2011), em que as discussões sobre a problemática ambiental raramente conseguem alcançar o plano do ensino escolar, em nível fundamental e médio, fazendo persistir a distância entre universidade e escola de formação básica, entre debate acadêmico acerca da problemática ambiental e educação ambiental. Segundo Vieira et al. (2008), trabalhar constantemente a educação ambiental não deve ser

uma opção, uma alternativa, um dado facultativo, uma deliberação de alguns professores mais instruídos ou simpatizantes da natureza, mas uma questão vital, pois sem educação não há sensibilização, não há consciência e não haverá jamais a formulação e construção de estratégias de preservação e tratamento amistoso para com a natureza, defendendo-a da ação impensada e egoísta do homem e das grandes organizações que subordinam a qualidade de vida ao lucro oriundo do capital. Em ambas as escolas os problemas ambientais considerados mais relevantes para o ensino fundamental e médio foram a poluição das águas e a falta de água (Figura 7).

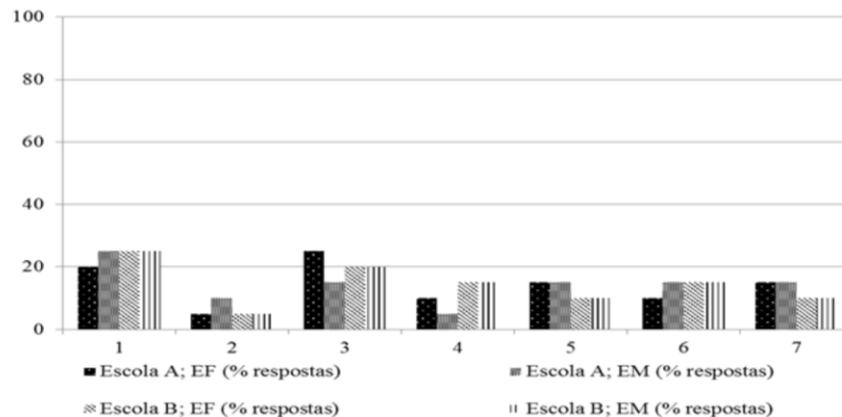


Figura 7: Maiores problemas ambientais declarados para o EF e EM na escola A e B.  
 1 – Poluição das águas; 2 – Esgoto e lixo a céu aberto; 3 – Falta de água; 4 – Falta de áreas verdes;  
 5 – Contaminação do solo; 6 – Corte de árvores e queimadas; 7 – Extinção de espécies.  
 Fonte: Dos Autores (2020).

Os dados obtidos na Figura 7 corroboram com os dados apresentados pelos autores Silva e Melo (2007) e Moreira et al. (2010), onde grande parte dos entrevistados afirmaram que os maiores problemas ambientais era a poluição em geral, como das águas e a falta de água. As ações mais relevantes realizadas pelos alunos da escola A em relação à consciência ambiental foi o não desperdício de água e a coleta seletiva para o ensino fundamental e médio, respectivamente. Enquanto na escola B, foi o não desperdício de água (Figura 8).

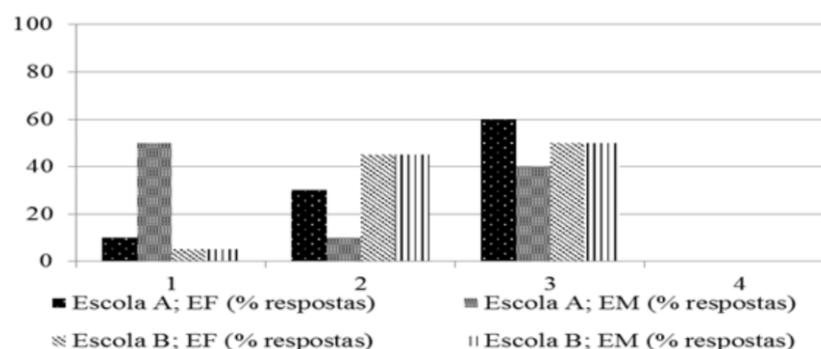


Figura 8: Maiores ações realizadas com relação à consciência ambiental e preservação do meio ambiente no EF e EM na escola A e B.  
 1 – Coleta seletiva; 2 – Não desperdício de energia; 3 – Não desperdício de água; 4 – Outros.  
 Fonte: Dos Autores (2020).

A preocupação com a água e com o lixo (Figuras 7 e 8), segundo Vieira et al. (2008) pode demonstrar uma consciência maior com os bens essenciais para o bem-estar e sobrevivência e com a qualidade do ambiente em que vivem, sendo fundamentais para uma boa qualidade de vida. Em ambas as escolas, a maioria dos entrevistados afirmaram que ocorreram melhorias e maior envolvimento por parte dos alunos e familiares em relação à educação ambiental (Figura 9).

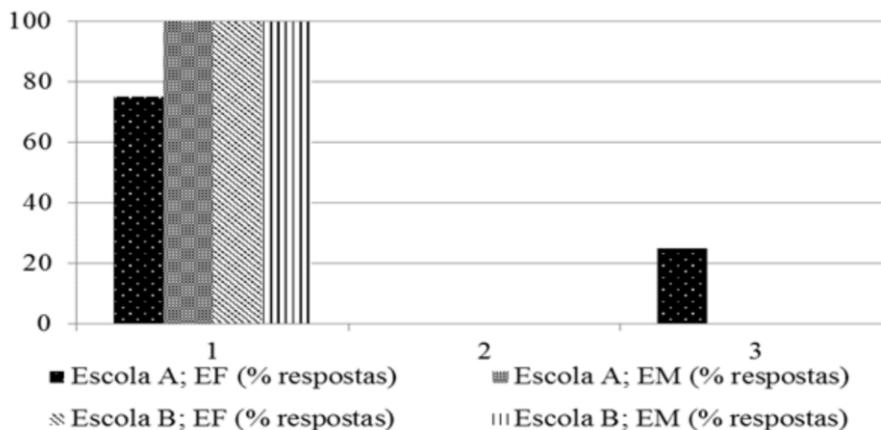


Figura 9: Melhorias e maior envolvimento por parte dos alunos e familiares a respeito da EA para o EF e EM na escola A e B. 1 – Sim; 2 – Não; 3 – Não sei avaliar. Fonte: Dos Autores (2020).

O aumento na melhoria e o maior envolvimento dos alunos e familiares demonstraram a importância da aplicação dos temas de educação ambiental não só no meio escolar, mas também para toda a população inserida neste contexto. Compete ao educador despertar nos alunos o interesse e a preocupação com problemas ambientais, para que estes divulguem e contribuam com a sensibilização de familiares e amigos fora da escola (OLIVEIRA; OBARA; RODRIGUES, 2007). A educação ambiental procura formar indivíduos que olhem e vejam a realidade, que a compreendam e tenham capacidade para criticá-la, que se preocupem com o destino coletivo e saibam se posicionar diante dos desafios do mundo (OLIVA, 2000). Para a escola A as opiniões ficaram divididas, e 50% afirmaram que não houve melhorias em relação ao cuidado dos alunos com o ambiente escolar. Enquanto na escola B, 100% afirmaram que os alunos passaram a cuidar melhor do ambiente escolar após a implantação da EA na escola (Figura 10).

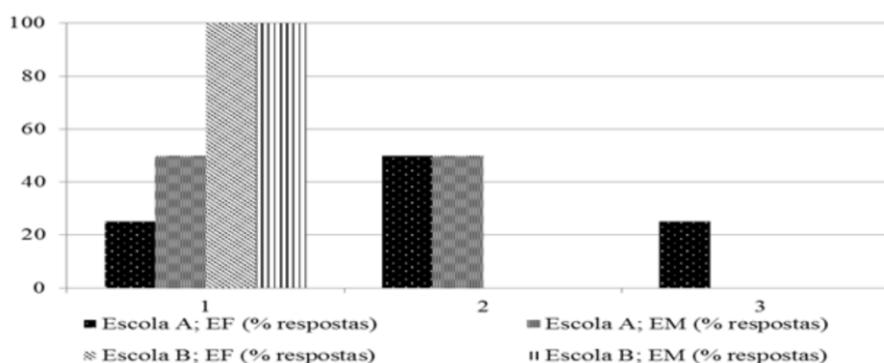


Figura 10: Cuidados por parte dos alunos com relação à preservação do próprio espaço escolar, devido à implantação da EA para o EF e EM na escola A e B. 1 – Sim; 2 – Não; 3 – Não sei avaliar. Fonte: Dos Autores (2020).

Apesar das opiniões divididas, a maior parte dos entrevistados demonstrou que a implantação da educação ambiental melhorou a consciência dos alunos em relação aos cuidados com o ambiente escolar, mas necessitam de maiores esforços dos educadores para estimular os alunos a um melhor comportamento. De acordo com Oliva (2000), para cidadãos conscientes, tratar de meio ambiente torna-se uma tarefa inerente ao cotidiano, visto que é um tema universal e que do mesmo depende a vida no planeta.

## CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que os livros didáticos de ciências (EF) e de biologia (EM) abordam alguns temas estabelecidos pelo PCN, mas que estes se apresentam de forma superficial, não sendo efetivamente direcionados para aplicação da EA. Já entre as modalidades básicas mais desenvolvidas para aplicação da EA nas escolas, se apresentam pela inserção do tema EA nas disciplinas e por meio de projetos, não havendo ainda a inclusão de disciplinas especiais de EA nas escolas do município. Conclui-se também que os temas mais trabalhados nas escolas são relacionados à poluição e falta e desperdício de água. Assim a introdução dos temas de educação ambiental nas escolas é fator importante para formação de cidadãos com opinião crítica, o que facilita a relação e compreensão do ser humano com o meio ambiente. Apesar disso, a EA desenvolvida em ambas as escolas pesquisadas necessita de um maior empenho dos educadores envolvidos, para que a temática ambiental se fixe de forma efetiva no ambiente escolar e dentro da sociedade que a mesma está inserida. Pode-se perceber também que a preocupação e percepção sobre os temas relacionados à EA apesar de terem aumentado no ambiente escolar, ainda não é suficiente para uma observação mais ampla sobre a temática, pois os temas ainda são restritos a questões relacionadas à preservação da natureza ou questões do cotidiano como o desperdício e poluição das águas e o descarte de lixo.

A EA deve buscar se adequar as leis e diretrizes que dão base as práticas ambientais aplicadas nas escolas, integrando a educação formal e não-formal, em todos os níveis e modalidades escolares, e de forma transversal, estabelecendo novas relações entre homem e ambiente. Promover mais pesquisas para auxiliar nas buscas por novas soluções para os problemas ambientais e novas formas de se abordar a EA no ambiente escolar, para uma melhor percepção dos alunos. Com base no estabelecimento de leis relacionadas à EA, as mesmas devem ser vinculadas ao universo escolar integradas com os temas abordados pelos livros didáticos e, de maneira mais específica, as relações que envolvem o ser humano e o meio ambiente, juntamente com o aperfeiçoamento dos professores, proporcionando uma maior interação entre escola, comunidade e ambiente.

Portanto, conhecer as áreas deficitárias sobre educação ambiental por meio da pesquisa descritiva no ambiente escolar é importante para propor métodos e aplicar técnicas seguindo os PCNs e leis vigentes, para que tanto os docentes quanto os discentes consigam discutir e formalizar ideias que favoreçam a inserção da sociedade nas ações que englobam a temática EA.

## REFERÊNCIAS

- Alemu, C. La bonne élève de l'Union Européene. Label France, dez. 2001. AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. *Biologia: biologia das células*. 3. ed. v. 1. São Paulo: Moderna, 2010a.
- AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. *Biologia: biologia dos organismos*. 3. ed. v. 2. São Paulo: Moderna, 2010b.
- AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. *Biologia: biologia das populações*. 3. ed. v. 3. São Paulo: Moderna, 2010c.
- ANGELO, E. A.; SILVA, K. A. P.; FAVALLI, L. D. *Projeto Radix: ciências 6º ano, 7º ano e 9º ano*. 1. ed. São Paulo: Scipione, 2009.
- BRASIL. Lei n.º 9.795 - 27 de abril de 1999. Dispõe a educação ambiental, institui a Política Nacional da Educação Ambiental e dá providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 abr. 1999*.
- BONOTTO, D. M. B.; SEMPREGONE, A. Educação ambiental e educação em valores em livros didáticos de ciências naturais. *Revista Ciência e Educação*, v. 16, n. 1, p. 131-148, 2010.
- EVARISTO, J. A. Um estudo sobre a educação ambiental proposta no PCN. 2010. 44 f. Monografia (Graduação em Pedagogia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.
- GEWANDSZNAJDER, F. *Ciências: o planeta terra 6º ano*. 4 ed. São Paulo: Ática, 2011a.
- GEWANDSZNAJDER, F. *Ciências: a vida na terra 7º ano*. 4 ed. São Paulo: Ática, 2012.
- GEWANDSZNAJDER, F. *Ciências: nosso corpo 8º ano*. 4. ed. São Paulo: Ática, 2011b.
- GUIMARÃES, M. *A dimensão ambiental na educação*. 8. ed. São Paulo: Papirus, 2007. 107 p.
- MARPICA, N. S.; LOGAREZZI, A. J. M. Um panorama das pesquisas sobre livro didático e educação ambiental. *Revista Ciência e Educação*, v. 16, n. 1, p. 115-130, 2010.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA (MEC). Secretaria de Educação Fundamental/Coordenação de Educação Ambiental. *Diagnóstico preliminar de projetos de educação ambiental no ensino fundamental*. Brasília, DF, p. 235-242, 2000.
- \_\_\_\_\_. Secretaria de Educação Fundamental. *Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)*. Brasília, v. 10, p. 21, 1997.
- MOREIRA, A. R.; SILVA, G. D.; MOREIRA, J. P.; SILVA, V. A. A importância da educação ambiental no ensino fundamental. 2010. 42 f. Monografia (Graduação em Pedagogia) – Faculdade da Cidade de Santa Luzia, Santa Luzia, 2010.
- OLIVA, J. T. A educação Ambiental na escola. In: Ministério da Educação e do Desporto (MEC). Secretaria de Educação Fundamental/Coordenação de Educação Ambiental. *Textos da série educação ambiental do programa salto para o futuro*. Brasília, DF, p. 9-20, 2000.
- OLIVEIRA, A. L.; OBARA, A. T.; RODRIGUES, M. A. Educação ambiental: concepções e práticas de professores de ciências do ensino fundamental. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 6, n. 3, p. 471-495, 2007.
- PELEGRINI, D. F.; VLACH, V. R. F. As múltiplas dimensões da educação ambiental: por uma ampliação da abordagem. *Revista Sociedade e Natureza*, v. 23, n. 2, p. 187-196, 2011.
- PEREIRA, F. A.; GUIMARÃES, F. M. Livro Didático e Educação Ambiental. *Revista Enfoque*, v. 20, n. 3, p. 1-6, 2009.
- SANTOS, M. G. F. N. Educação ambiental no livro didático brasileiro. *Revista da Faculdade de Educação da UFG*, v. 33, n. 1, p. 49-70, 2008.
- SANTOS, F. S.; AGUILAR, J. B. V.; OLIVEIRA, M. M. A. *Biologia: ser protagonista*. 1. ed. v. 1. São Paulo: Edições SM, 2010a.
- SANTOS, F. S.; AGUILAR, J. B. V.; OLIVEIRA, M. M. A. *Biologia: ser protagonista*. 1. ed. v. 2. São Paulo: Edições SM, 2010b.

- SANTOS, F. S.; AGUILAR, J. B. V.; OLIVEIRA, M. M. A. *Biologia: ser protagonista*. 1. ed. v. 3. São Paulo: Edições SM, 2010c.
- SILVA, L. R.; MELO, L. B. Educação ambiental na escola: percepção e prática de alunos de duas escolas de ensino médio da cidade de Manaus. *Revista Igapó*, v. 1, n 1, p. 45-51, 2007.
- SIMÕES, F. R.; VALE, M. A Educação Ambiental nas Escolas de Ensino Fundamental Baixada Santista-SP. *Revista Ceciliana*, v. 4, n. 1, p. 1-3, 2012.
- TRAJBER, R.; SORRENTINO, M. Políticas de educação ambiental do órgão gestor. In: *Vamos cuidar do Brasil: conceitos e práticas em educação ambiental na escola*. Ministério da Educação, Coordenação Geral de Educação Ambiental: Ministério do Meio Ambiente, Departamento de Educação Ambiental: UNESCO, Brasília, p. 13-21. 2007.
- VIEIRA, R. A.; SANTOS, R. C.; FILHO, V. G. S.; BACELAR, M. R. B.; ARAÚJO, H. M. L. Ensino da educação ambiental na escola pública municipal de Parnaíba: diagnóstico e perspectivas. *Revista Fapciências*, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2008.
- VIRGENS, R. A. A educação ambiental no ambiente escolar. 2011. 26 f. Monografia (Graduação em Licenciatura em Biologia a distância) – Consórcio Setentrional de Educação a Distância, Universidade de Brasília e Universidade Estadual de Goiás, Brasília, 2011.
- Calderoni, S. *Os Bihões Perdidos no Lixo*. 4. edição – São Paulo: Humanitas Editora / FFLCH / USP, 2005.
- D’Almeida, M.L.O. & Vilhena, A. *Lixo munci-pal: Manual de gerenciamento integrado*. 2ª. Ed., São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.
- EMB. Entidad Metropolitana de Medio Ambi-ente de Barcelona, *Datos Ambientales Metropolitanos de 2004*. Edição de outubro de 2005.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Econômica, 2000. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB*.
- Koushki P.A., Al-Duajj U. & Al-Ghimlas W. Collection and transportation cost of household solid waste in Kuwait. *Waste Management* n. 24, pp. 957-964, 2004.
- Leite, V.D. et al. Bioestabilização de resíduos sólidos orgânicos. Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro, ABES. Projeto PROSAB, p. 95 -119, 2003.
- Leme, J.H.P. Estudo de caso: reciclagem energética na Usina Verde. 1º Simpósio Brasileiro de Incineração – UPAN. Porto Alegre, dezembro de 2006.
- Leroy J.B. Guia para elaboración de un proyecto de tratamiento de residuos urbanos. *Revista Resíduos* n. 82, pp. 46-53, janeiro-fevereiro de 2005.
- Lima, J. D. *Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil*. Universidade Federal da Paraíba, 2000.
- Miranda, E. C. et al. Sistema Nacional de Infor-mações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos-2004. Brasília, M.CIDADES, SNSA, 2006.
- Neto, S.N., König, T. et al. Gerenciamento de Resíduos Sólidos: uma visão de futuro. Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo e Secretaria do Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção do Consumidor da Baviera. 2005.
- Riera, P. & García, L. Análisis económico de la gestión de residuos urbanos. XXIII Reunión de Estudios Regionales, Valencia, 18-21 noviembre 1997.
- Sabata, J.M.C. Gestion de los residuos sólidos urbanos. Universitat Politècnica de Catalunya-UPC / Metròpolis. <http://www.ema-amb.es>, 2006.
- Strobridge, D. E. & Gerlock, F.G. Obtención de datos y control de costes. Manual McGraw-Hill de Reciclaje, Cap.33, 1996.

# ANÁLISE COMPARATIVA DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ENTRE AS CIDADES DE BELO HORIZONTE (BRASIL) E MAPUTO (MOÇAMBIQUE): UM LEVANTAMENTO DOCUMENTAL

Maria Aparecida Fernandes  
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG  
m.cidafernandes@hotmail.com

Washington Moreira Cavalcanti  
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG  
washington.cavalcanti@hotmail.com

## RESUMO

Independentemente de qual localidade está inserido, o resíduo sólido é um dos atuais e grandes desafios urbanos. Nas cidades foco deste estudo, nos últimos 30 anos legislações e normas que regem a correta gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) foram introduzidos e proibiram a destinação final destes resíduos para os lixões, além de adotar grandezas diferentes em cada uma destas localidades a reciclagem e reaproveitamento de seus resíduos. No estudo será apresentada uma análise comparativa dos modelos de gestão de resíduos sólidos urbanos empregados nestas duas localidades. Trata-se de uma pesquisa bibliográfica e documental, que busca compreender melhor a forma de gestão dos resíduos sólidos tanto no aspecto legal como de gestão, aplicação e planejamento dos municípios citados. Para entender a gestão de resíduos em cada município citado neste artigo, o levantamento bibliográfico elaborado com base nas informações gerais sobre as cidades estudadas e da atual situação de seus serviços de Gestão Municipal de RSU, assim, foi possível traçar um paralelo comparativo entre

as duas cidades estudadas. Para um Sistema de Gestão de RSU de uma cidade alcançar padrões “sustentáveis” de execução e melhorar seu desempenho em todos os níveis, passa obrigatoriamente pelo planejamento e implementação de políticas públicas eficientes. O levantamento apresentou dados claros pertinentes às duas localidades: Belo Horizonte e Maputo, conforme Calderoni (2003) é essencial à viabilidade de um programa de gestão de RSU e que os diversos agentes interajam independentemente da localidade em questão. Ao agrupar as informações de cada cidade juntamente com a legislação em vigor, foi possível verificar que a adoção de indicadores referentes aos RSU poderá colaborar significativamente para eficiência da gestão de resíduos sólidos urbanos adequados a cada cidade com suas respectivas características.

### Palavras-chave:

Resíduos Sólidos Urbanos; Gestão de Resíduos; Legislação Ambiental; Sustentabilidade.

## ABSTRACT

*Regardless of which location it is located, solid waste is one of the current and major urban challenges. In the cities that were the focus of this study, in the last 30 years, laws and regulations that govern the correct management of Urban Solid Waste (MSW) were introduced and prohibited the final destination of this waste for landfills, in addition to adopting different quantities in each of these locations for recycling, and reuse of their waste. The study will present a comparative analysis of the models of solid urban waste management employed in these two locations. This is a bibliographic and documentary research, which seeks to better understand the form of solid waste management, both in the legal aspect and in the management, application and planning of the municipalities mentioned. In order to understand the waste management in each municipality mentioned in this article, the bibliographic survey prepared based on general information about the cities studied and the current situation of their municipal MSW management services, thus, it was possible to draw a comparative*

*parallel between the two cities studied. For a city's MSW Management System to achieve “sustainable” standards of execution and improve its performance at all levels, it necessarily involves planning and implementing efficient public policies. The survey presented clear data pertinent to the two locations: Belo Horizonte and Maputo, as Calderoni (2003) is essential to the viability of a MSW management program and that the different agents interact independently of the location in question. By grouping the information from each city together with the legislation in force, it was possible to verify that the adoption of indicators referring to MSW could significantly contribute to the efficiency of the management of urban solid waste suitable for each city with its respective characteristics.*

### Keywords:

*Urban Solid Waste, Waste Management, Environmental Legislation; Sustainability..*

## INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas a ser enfrentado atualmente pelos governos nas três instâncias governamentais é o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos - RSU. As garantias da limpeza e da saúde pública, além da preservação do meio ambiente resultam de um sistema de gerenciamento de resíduos que necessita de espaços adequados, equipamentos específicos e que envolvem pessoas em diversas atividades. Este artigo tem como foco principal comparar a gestão dos resíduos sólidos de duas cidades com características coincidentes, porém com cultura e localização distantes, as cidades de Belo Horizonte, capital de Minas Gerais - Brasil e a cidade de Maputo, capital de Moçambique.

No estudo será apresentada uma análise comparativa das ações de gestão dos resíduos sólidos urbanos empregados nestas duas localidades. Trata-se de uma pesquisa bibliográfica e documental, que busca compreender melhor a forma de gestão dos resíduos sólidos tanto no aspecto legal, como de gestão, aplicação e planejamento nos municípios citados. A investigação pretende contribuir para fortalecer a compreensão da gestão dos resíduos sólidos urbanos em cidades de diferentes continentes e contribuir para a compreensão das dimensões social, econômica, política e biofísica da gestão dos RSU nas Cidades de Belo Horizonte e Maputo. Importante ressaltar que cada município define isoladamente o que lhes convém quanto à gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos.

### OBJETIVOS

No Brasil e em várias localidades do mundo, uma grande parte dos resíduos sólidos urbanos - RSU gerados não chega a ser coletado e o destino final para aqueles coletados é em sua maioria destinados a áreas irregulares, os "lixões". O objetivo deste trabalho é comparar a gestão dos resíduos sólidos urbanos de duas cidades com características coincidentes, porém com cultura e localização regionais distintas, as cidades de Belo Horizonte, capital de Minas Gerais - Brasil e a cidade de Maputo, capital de Moçambique.

O acelerado crescimento das cidades dificultou o suprimento de infra-estrutura básica necessária à população, assim se faz preciso questionar: *Como ocorre a gestão da coleta e disposição dos RSU em municípios com características próximas mas em continentes e culturas diferentes? Quais as políticas e marcos legal são adotados na gestão dos RSU?*

Conforme descrito por Jacobi e Besen (2011), os serviços de manejo de resíduos urbanos estão distantes de serem equacionadas, porém verifica-se a melhoria de alguns serviços como, por exemplo, a coleta de resíduos domiciliares na zona urbana. Porém é necessário reduzir efetivamente a quantidade de resíduos potencialmente recicláveis que são dispostos em aterros ou lixões, além de maximizar o aproveitamento de subprodutos como a compostagem e a energia,

## AS LOCALIDADES - FOCO DO ESTUDO

Belo Horizonte é a capital do estado de Minas Gerais - Brasil. Com uma área de aproximadamente 330 km<sup>2</sup>, possui uma geografia diversificada, com morros e baixadas, distante 716 quilômetros de Brasília, a capital federal. Belo Horizonte está situada a uma altitude de 852 metros.



Figura 1: Mapa de localização da cidade de Belo Horizonte.  
Fonte: Dos autores adaptado de Ministério das cidades (2010).

Características geográficas da cidade de Belo Horizonte:

- Área: 330,95 km<sup>2</sup>;
- População: 2.479.175 hab. (MG: 1º; BR: 6º) - IBGE/2014;
- Densidade populacional: 7.491,09 hab./km<sup>2</sup>;
- Altitude: 852 m.

Maputo é a capital e a maior cidade de Moçambique, também o principal centro financeiro, corporativo e mercantil do país. Está localizada no sul de Moçambique, a oeste da Baía de Maputo, no Estuário do Espírito Santo, onde deságuam os rios Tembe, o Umbeluzi, o Matola e o Infulene. Está situada a uma altitude média de 47 metros.



Figura 2: Mapa de localização da cidade de Maputo - Moçambique.  
Fonte: Do autor adaptado de Governo de Moçambique (2015).

Características geográficas da cidade de Maputo:

- Área: 346 km<sup>2</sup>;
- População: 1.240.607 hab;
- Densidade populacional: 3648/km<sup>2</sup>;
- Altitude: 47 m (154 pés).

Independentemente do contexto e em qual localidade está inserido, o resíduo sólido é um dos grandes desafios em territórios urbanos. O tema adquiriu maior relevância nos últimos 30 anos nas cidades foco deste estudo, legislações e normas que regem a correta gestão dos RSU e que proíbem a destinação final em lixões, além de modelos de reciclagem e reaproveitamento de seus resíduos foram introduzidos e adotados em grandezas diferentes em cada uma destas localidades.

## METODOLOGIA

A presente pesquisa se apresenta como qualitativa porque envolve análise do conteúdo, bibliográfica e documental, porque foram desenvolvidas com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros, artigos científicos e documentos de domínio público (GIL 2002). Também é uma pesquisa dedutiva por buscar compreender melhor a forma de gestão dos resíduos sólidos tanto no aspecto de gestão, aplicação e planejamento dos municípios analisados. Este é um estudo baseado

em informações coletadas sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos nas Cidades de Belo Horizonte capital de Minas Gerais - Brasil e a cidade de Maputo capital de Moçambique. O trabalho foi elaborado a partir da análise de textos científicos, observações diretas em documentos e relatórios de órgãos federais, estaduais e municipais das duas localidades e de organizações não governamentais, informações específicas foram recolhidas com foco nos seguintes assuntos:

- Legislação, regulamentos de RSU das Cidades de Belo Horizonte e Maputo;
- Políticas, normas nacionais e municipais sobre gestão de resíduos sólidos;
- Situação atual dos RSU nas Cidades de Belo Horizonte e Maputo em relação infra-estrutura, finanças, sistemas de reciclagem e compostagem, educação e programas em curso.

Ao longo da pesquisa bibliográfica foi possível identificar que culturas e tradições locais influenciam significativamente na forma de intervenção das prefeituras em gerenciar seus resíduos.

## **LITERATURA**

### **GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

No Brasil a Lei Federal nº 12.305/10 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o Resíduo Sólido Urbano (RSU) caracteriza-se por englobar os resíduos domiciliares, ou seja, aqueles originados nas atividades domésticas em residências urbanas, os resíduos provenientes da limpeza urbana (varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, bem como de outros serviços de limpeza urbana) e os resíduos de construção civil - RCC. Esta mesma lei traz definições para o gerenciamento de resíduos sólidos, caracterizado pelo conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei.

A gestão integrada de resíduos sólidos pode ser definida como seleção e aplicação de técnicas, tecnologias e programas de gestão adequados, que busquem específicos objetivos e metas. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos identificou quatro estratégias básicas para a gestão integrada de resíduos. São elas a redução na fonte, reciclagem e compostagem, combustão e aterros. A proposta da agência americana é que todas estas estratégias estejam interligadas (TCHOBANOGLIOUS e KREITH, 2002).

### **GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NAS CIDADES DE BELO HORIZONTE E MAPUTO**

A destinação correta dos resíduos sólidos, atinge todos os países, em especial aqueles em desenvolvimento como é o caso do Brasil e de Moçambique, os quais, apesar de possuir grande extensão territorial ainda tem problemas na busca de áreas adequadas para a disposição final dos seus resíduos sólidos urbanos. Para isto, são necessários ferramentas que dêem suporte aos gestores responsáveis na escolha das melhores soluções.

Polaz (2008) afirma que a definição de padrões sustentáveis de desenvolvimento deva estar pautada em uma análise abrangente que incorpore dimensões ambientais, econômicas, sociais, culturais e políticas.

As duas cidades analisadas neste artigo, Belo Horizonte e Maputo, possuem população entre um milhão e dois milhões e meio de habitantes, são importantes centros econômicos para suas regiões e para os países em que estão inseridas.

No Brasil, a partir da sanção da Política Nacional de Resíduos Sólidos, todos os atores envolvidos, sejam públicos ou privados, precisam dar uma destinação final ambientalmente adequada para seus resíduos. Seja qual for a solução técnica adotada por empresas ou pela municipalidade, deve obedecer a ordem de prioridade no gerenciamento de resíduos estabelecida pela Lei 12.305/2010, Art. 9º, e da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, em todo o Brasil milhares de empresas e prefeituras precisam demonstrar através de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos como pretende fazer a destinação final ambientalmente adequada de seus resíduos.

Segala et al (2008), descrevem que em Moçambique as autoridades municipais são as que tradicionalmente se encarregam de garantir os trabalhos de limpeza urbana e gestão de resíduos sólidos urbanos da sua área de jurisdição, com base no Artigo 6 da Lei 2/97, de 18 de Fevereiro e Artigo 25 da Lei 11/97, de 31 de Maio. Em 2008 fora lançado o “Plano Diretor - Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos na Cidade de Maputo” pelo Conselho Municipal de Maputo - CMM.

A tabela 1 apresenta dados sobre a população além da quantidade de resíduos coletados diariamente e a quantidade em quilos de resíduos produzidos por habitante/dia.

| País       | Cidade         | Unidade da Federação | População | Abrangência da recolha (Área)                       | Qtde. RSU Coletada (t/dia) | Qtde. RSU (Kg/hab/dia) |
|------------|----------------|----------------------|-----------|---|----------------------------|------------------------|
| Brasil     | Belo Horizonte | Minas Gerais         | 2.479.175 | Urbana 95%  | 3.800,0                    | 1,254                  |
| Moçambique | Maputo         | Capital              | 1.240.607 | Urbana 13,8%<br>Suburbana 77,5%<br>Peri-urbana 8,7% | 700,5                      | 0,7                    |

Tabela 1: Informações sobre a geração de RSU nas cidades estudadas.

Fonte: Dos autores adaptado de Ministério das cidades (2010), SEGALA et al (2008), SLU (2014) e CMM (2010).

Como fator de comparação, no Estado de Minas Gerais demonstra um volume de geração de RSU da ordem de 0,897 kg/hab/dia, porém, se comparado as cidades objeto do estudo, embora a população do Estado seja aproximadamente sete vezes a da cidade de Belo Horizonte, não justificaria a maior geração na capita em relação ao restante do estado (ABRELPE, 2010).

| UF           | População urbana (hab) | RSU coletado por habitante (kg/hab/dia) | RSU coletado (t/dia) | RSU gerado (t/dia) |
|--------------|------------------------|---|----------------------|--------------------|
| Minas Gerais | 16.713.654             | 0,897                                   | 14.986               | 17.036             |

Tabela 2: Coleta e Geração de RSU no Estado de Minas Gerais em 2010.

Fonte: Adaptado de Abrelpe (2010) e IBGE (2011)

Embora os municípios estudados executem as principais etapas relacionadas com a limpeza urbana que são: varrição, capina e poda, coleta de resíduos sólidos domésticos, coleta de resíduos sólidos de serviços de saúde e coleta de resíduos sólidos de construção e demolição, apresentam um grau de

atendimento, frequência e monitoramento variados entre eles. Diversas variáveis impactam diretamente nos resultados obtidos por cada município e podem estar relacionados a:

- Aporte populacional e territorial do município;
- Perspectivas de crescimento populacional e econômico;
- Localização geográfica, e região metropolitana, como identificado em Belo Horizonte e Maputo;
- Disponibilidade de recursos financeiros, humanos e tecnológicos;
- Capacitação, sensibilidade e interesse do gestor público; e de participação da população.

Para a gestão de RSU o município de Belo Horizonte subordinou a competência do gerenciamento dos resíduos sólidos a uma autarquia específica (a SLU), já em Maputo, fora criada a Direcção Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos responsável pela limpeza urbana, alocadas dentro do Conselho Municipal de Maputo - CMM observa-se que estes municípios fazem a gestão de RSU em conformidade com as diretrizes da legislação específica em vigor.

O gerenciamento dos resíduos envolve uma seqüência de atividades que ajudam a melhorar o sistema de limpeza urbana. Na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade:

- Não geração;
- Redução;
- Reutilização;
- Reciclagem;
- Tratamento dos resíduos sólidos e;
- Disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

O panorama identificado nas duas cidades foco da pesquisa em relação a gestão de resíduos sólidos urbanos, revelam um desempenho regular, no caso de Belo Horizonte, para deficitário, no caso de Maputo. Os modelos tradicionalmente adotados apresentam uma série de contradições, impõe a necessidade de melhoria na prática atual e demonstram que os impactos dos resíduos gerados extrapolam os limites municipais, demandando instrumentos de atuação conjunta com outros atores.

## **ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS DOS RSU NAS CIDADES DE BELO HORIZONTE E MAPUTO**

Neste levantamento são apresentados as principais legislações, decretos e normas legais em nível federal, estadual (expostas em ordem cronológica) e municipal que tenham ou possam ter alguma relação com os RS e sua respectiva gestão. As legislações federais, tanto no Brasil quanto em Moçambique, abordam os municípios globalmente sem uma distinção entre suas características locais, servem como um balizador dos aspectos legais da nação e devem ser consideradas como diretrizes básicas para a formulação de leis que foquem aspectos regionais, como é o caso das legislações estaduais e municipais.

No Brasil a legislação aprovada no dia 2 de agosto de 2010 rege a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a lei 12.305 que instituí a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a PNRS reúne princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão dos resíduos sólidos, descritas no Quadro 1 a seguir.

No âmbito Estadual em Minas Gerais, por sua vez, a legislação têm relação com o Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM - que, através de suas Deliberações Normativas, legisla sobre as necessidades e perspectivas do Estado de Minas Gerais.

No âmbito Municipal, em Belo Horizonte tem-se a Lei Orgânica que é o ato legislativo que permite estabelecer as diretrizes básicas da organização política do Município e os princípios da Administração Pública Local (RESENDE, 2008). Administração Pública Municipal deve estar atenta às diretrizes da Política Nacional de Meio Ambiente. No Brasil há a tendência atual que demonstra a transferência das competências sobre o Licenciamento Ambiental para os municípios com Conselho Municipal de Meio Ambiente (CODEMA) devidamente constituído. A legislação define que os serviços regulares de coleta e transporte de resíduo domiciliar devem ocorrer nos horários determinados e o resíduo coletado constitui responsabilidade da municipalidade (VASCONCELOS, 2011).

A legislação de Moçambique aplicável a resíduos sólidos urbanos versa desde os comandos institucionais, regulamentos até as posturas municipais. Um maior destaque é dado ao Decreto n.º 13/2006, de 15 de junho de 2006, que define a regulamentação sobre Gestão de Resíduos Sólidos, por ser o instrumento que aborda com mais detalhe o tema dos resíduos sólidos urbanos no país. Entretanto, há outros instrumentos legais e normativos que guardam relações com o tema resíduo sólido, os quais, em conjunto, vêm preenchendo a lacuna causada pela inexistência de uma política mais abrangente de resíduos sólidos urbanos.

Ao contrário do que se observa em Moçambique, como característica no Brasil, segundo Lopes (2007), os órgãos municipais envolvidos com a questão dos RSU adotam basicamente dois modelos: um de gestão político-administrativa e outro de gerenciamento por manejo tecnológico dos resíduos. Este contexto se aplica de forma adequada à realidade dos municípios estudados, ele é particularmente importante no panorama metropolitano, que se caracteriza pela emergência dos problemas ambientais enfrentados pelas duas cidades.

A formulação de políticas públicas ligadas a gestão dos RSU que reduzam os impactos sobre o meio ambiente e promovam inclusão social e geração de renda, está diretamente ligada a legislação pertinente ao RSU, conforme identificado neste levantamento. Nos quadros a seguir é descrito a base legal que regula a gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil e em Moçambique, nos âmbitos federal, estadual (província) e municipal, com a visão focada nas legislações vigentes em cada localidade:

| Âmbito  | Legislação   |
|---------|--|
| Federal | <p>LEI FEDERAL N.º 6.938, de 31 de agosto de 1981 - Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, tendo como objetivos a preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida. E, ainda, o princípio do poluidor-pagador, que tem a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.</p> <p>RESOLUÇÃO N.º 275, de 25 de abril 2001 - Estabelece código de cores para diferentes tipos de resíduos na coleta seletiva.</p> <p>RESOLUÇÃO N.º 307, de 5 de julho de 2002 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos sólidos da construção civil.</p> <p>RESOLUÇÃO N.º 348, de 16 de agosto de 2004 - Altera a Resolução CONAMA n.º 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos.</p> |

Continua

| Âmbito    | Legislação   |
|-----------|--|
| Estadual  | LEI ESTADUAL Nº 7.772, de 08 de setembro 1980 - Dispõe sobre a proteção, conservação e melhoria do meio ambiente no Estado de Minas Gerais.<br>LEI ESTADUAL Nº 14.128, de 19 de dezembro de 2001 - Dispõe sobre a Política Estadual de Reciclagem de Materiais (A REGULAMENTAR).<br>LEI ESTADUAL Nº 15.972, de 12 de janeiro de 2006 - Altera a estrutura orgânica dos órgãos e entidades da área de meio ambiente que especifica e a lei Nº 7.772, de 8 de setembro de 1980, que dispõe sobre a proteção, conservação e melhoria do meio ambiente, e dá outras providências.<br>DECRETO ESTADUAL N.º 39.424, de 05 de fevereiro de 1988 - Altera e consolida o Decreto, 21.228 de março de 1981, que regulamenta a lei nº 7.772, de 8 de setembro de 1980, que dispõe sobre a proteção, conservação e melhoria do meio ambiente no Estado de Minas Gerais.<br>DELIBERAÇÃO NORMATIVA COPAM nº 07, de 29 de setembro de 1981 - Fixa normas para a disposição de resíduos sólidos.   |
| Municipal | LEI N.º 2.968, de 03 de agosto de 1978- Regulamenta a limpeza urbana de Belo Horizonte.<br>LEI MUNICIPAL N.º 4.253, de 04/12/85 - Dispõe sobre a Política de Proteção, do Controle e da Conservação do Meio Ambiente e da Melhoria da Qualidade de Vida de Belo Horizonte.<br>LEI N.º 7.277, de 17 de janeiro de 1997 - Institui a Licença Ambiental.<br>LEI N.º 7.638, de 19 de janeiro de 1999 - Cria o Programa de Incentivo à Instalação e Ampliação de Empresas, o Fundo Municipal de Desenvolvimento Econômico de Belo Horizonte, o Conselho Municipal de Desenvolvimento Econômico e dá outras providências.<br>LEI N.º 8.616, de 14 de julho de 2003 - Contém o Código de Posturas de Belo Horizonte.<br>Lei Municipal 8.616 - 2004. Código de Posturas de Belo Horizonte, seus decretos e regulamentadores.<br>LEI 9.068, de 17 de janeiro de 2005 - Dispõe sobre a coleta, o recolhimento e a destinação final de resíduo sólido que menciona e dá outras providências.<br>DECRETO N.º 5.893, de 16 de março de 1988 - Regulamenta a Lei Municipal N.º 4.253 que dispõe sobre a política de proteção, do controle e da conservação do meio ambiente e da melhoria da qualidade de vida no município de Belo Horizonte.<br>DECRETO 10.054, de 5 de novembro de 1999 - Dispõe sobre o Programa de Incentivo à Instalação e Ampliação de Empresas - PROEMP e sobre as exigências para o gozo de benefício fiscal previsto no inciso I do artigo 3 da Lei N.º 7.638, de 19 de janeiro de 1999.<br>DECRETO MUNICIPAL N.º 11.601, de 9 de janeiro de 2004 - Regulamenta a lei N.º 8.616, de 14 de julho de 2003, que contém o Código de Postura de Belo Horizonte. |

Quadro 1: Dados sobre a legislação pertinente aos RSU em Belo Horizonte - Brasil.  
 Fonte: Do autor adaptado de SINIR (2015); MMA (2006).

Em Moçambique, como descrito no Quadro 2, no ano de 1997, foi aprovada pela Assembleia da República a Lei do Ambiente, Lei n.º 20/97, de 1 de Outubro. Esta lei estipula as bases do sistema de prevenção e proteção do ambiente em Moçambique. Esta lei define as bases legais para a utilização e gestão correta do ambiente e seus componentes, com vista à fomentar um sistema de desenvolvimento sustentável no país. A Lei do Ambiente também proíbe a importação de resíduos ou lixos perigosos, salvo o que vier estabelecido em legislação específica. Nela, define-se ambiente como “o meio onde o homem e outros seres vivos vivem e interagem entre si e com o próprio meio”.

| Âmbito  | Legislação   |
|---------|--|
| Federal | Lei n.º 2/97, de 18 de Fevereiro de 1997, Lei das Autarquias Locais;<br>Lei n.º 11/97, de 31 de Maio de 1997, Lei das Finanças e Património das autarquias locais;<br>Lei n.º 20/97, de 1 de Outubro. Lei do Ambiente;<br>Decreto n.º 8/2003, de 18 de Fevereiro de 2003, Regulamento sobre a Gestão de Lixos Biomédicos;<br>Decreto n.º 45/2004, Regulamento sobre o Processo de Avaliação de Impacto Ambiental;<br>Decreto n.º 11/2006, de 15 de Junho de 2006, Regulamento sobre Inspeção Ambiental;<br>Decreto n.º 13 /2006, de 15 de Junho de 2006, Regulamento sobre a Gestão de Resíduos Sólidos;<br>Regulamento Ambiental, Decreto 18/2004 de 2 de Junho, publicado no Boletim da República Nº 22, 1ª Série, Suplemento de 2 de Junho de 2004.<br>Regulamento sobre a Gestão de Resíduos, Decreto n.º 13/2006 de 15 de Junho, publicado no Boletim da República Nº 24, 1ª Série, de 15 de Junho de 2006. |

Continua

| Âmbito                  | Legislação   |
|-------------------------|--|
| Estadual<br>(Província) | Lei n.º 7/97, de 31 de Maio: que estabelece o regime jurídico da tutela administrativa do Estado a que estão sujeitas as autarquias locais;<br>Lei n.º 8/97, de 31 de Maio: que define as normas especiais que regem a organização e o funcionamento do Município de Maputo; |
| Municipal               | Resolução n.º 86/AM/2008, de 22 de Maio de 2006, Postura de Limpeza de Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Maputo;<br>Plano Diretor da Gestão de Resíduos Sólidos do Município de Maputo  |

Quadro 2: Dados sobre a legislação pertinente a RSU em Maputo - Moçambique.

Fonte: Do autor adaptado de CMM (2010).

Dentro dos parâmetros legais relacionados acima, no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos, longamente discutida e aprovada em agosto de 2010, sancionou conceitos que anteriormente eram pouco conhecidos e praticados e instituiu novas ferramentas à legislação de resíduos sólidos. Em Moçambique, especificamente para o município de Maputo, foi possível identificar o mesmo padrão de normatização, porém com uma característica muito mais generalista e com menor minúcias que a legislação brasileira.

## O GERENCIAMENTO DE RSU NAS CIDADES DE BELO HORIZONTE E MAPUTO

Na cidade de Belo Horizonte as etapas do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, que se caracteriza pelo conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, compreende a coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada, com o objetivo de evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança da população, além de minimizar os impactos ambientais diversos (SLU, 2014).

Segundo dados da SLU (2014), o aterro Sanitário de Belo Horizonte, inaugurado em 17 de fevereiro de 1975, às margens da rodovia BR-040, na região Noroeste da capital, deu início à correta disposição final de resíduos sólidos em Belo Horizonte, de maneira a preservar a saúde pública e o meio ambiente. Desde dezembro de 2007, ele não recebe mais o lixo de Belo Horizonte ao esgotar sua capacidade de operação, quando atingiu o limite de 24 milhões de metros cúbicos de resíduos aterrados.

Os resíduos gerados na cidade atualmente são destinados ao aterro de Macaúbas, em Sabará. Hoje, toda a área do aterro desativado, faz parte da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS), onde estão localizadas a Central de Aproveitamento Energético do Biogás, uma estação de Reciclagem de Entulho, a Unidade de Compostagem, a Unidade de Recebimento de Pneus, a Unidade de Educação Ambiental, uma célula especial para resíduos de serviços de saúde e a Unidade de Transbordo. São produzidos em Belo Horizonte, todos os dias, cerca de 3.800 toneladas de lixo. Desde 2008, todo esse volume é levado para o aterro sanitário de Sabará, localizado na MG5 - km 8.1, que também recebe o lixo de várias cidades da Região Metropolitana. O contrato da Prefeitura com o Aterro de Macaúbas é de 25 anos contados a partir de 2007.

Na Cidade de Maputo observa-se um sistema obsoleto para o recolhimento de resíduos urbanos, particularmente a partir dos prédios da área central da cidade. Poucos prédios têm condutas de coleta de resíduos em condições adequadas e devidamente estruturados. O atual sistema que utiliza

grandes contêineres para receber os resíduos nas ruas e esperar que a população leve os resíduos a estas estruturas se mostra inadequado em função de sua pouca eficiência. A Cidade de Maputo não tem estações de transferência ou outras instalações de processamento de resíduos sólidos municipais. Uma vez realizada a segunda remoção os resíduos são levados diretamente para a lixeira de Hulene (CUNA, 2004). As informações sobre a cadeia de resíduos sólidos urbanos destas cidades são demonstradas na tabela 3.

| Cidade         | Tratamentos   | Forma de disposição final                           | Coleta regular | Transbordo | Biogás | Qtde. RSU Coletada (t/dia) |
|----------------|---|---|----------------|------------|--------|----------------------------|
| Belo Horizonte | Unidades de reciclagem, compostagem, coleta seletiva.               | Aterro - Centro de Tratamento de Resíduos Macaúbas. | Sim            | Sim        | Sim    | 3.800,0                    |
| Maputo         | Não há instalações de processamento de resíduos sólidos municipais. | Depósito municipal - lixeira de Hulene.             | Não            | Não        | Não    | 700,5                      |

Tabela 3: Dados sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos das capitais selecionadas.  
Fonte: Dos autores adaptado de SLU (2014) e CMM (2010).

Em Belo Horizonte o lixo é coletado através da coleta normal, coleta seletiva, reciclagem e compostagem. Há um consórcio entre a prefeitura e empresa terceirizada para a coleta do lixo. Há duas alternativas para os moradores: coleta do porta a porta; e a coleta ponto a ponto que distribui na cidade contêineres específicos para a coleta seletiva do lixo reciclável. As associações de catadores também contribuem no processo de limpeza urbana, a prefeitura começou a trabalhar ativamente com os catadores, neste papel, o poder público incentiva o cooperativismo do grupo, não só cedendo três galpões na região central, que são utilizados como depósitos, mas também apoiando um conjunto de iniciativas que envolvem capacitação profissional, educação de modo a garantir os elementos necessários ao resgate da cidadania. Quanto ao aterro sanitário possui tratamento adequado conta com um sistema de tratamento de chorume em duas estações já construídas e a sua interligação a um sistema de células de tratamento biológico dos resíduos, também há a utilização de bactérias para acelerar o processo de decomposição do lixo. Esse sistema gera um composto que pode ser utilizado na recuperação de solos degradados e obras de paisagismo da prefeitura. O aterro sanitário Macaúbas, em Sabará, é o maior espaço destinado para o despejo e acondicionamento de lixo de Minas Gerais.

Segundo dados do relatório anual da SLU de 2010, em Belo Horizonte, 90% dos resíduos são destinados ao aterro sanitário e 0,6% referem-se à reciclagem de plástico, metal, vidro e papel. O restante do percentual refere-se a outros tipos de reciclagem como o de resíduos de construções e demolições.

Na Cidade de Maputo, as famílias guardam temporariamente seus resíduos sólidos em suas casas em recipientes de metal ou plástico, sacos plásticos, cestos ou bacias de diferentes tamanhos e capacidades, conforme relato de Muchangos (2001). Em Maputo o município não remove os resíduos domésticos a partir das casas residenciais, é de responsabilidade dos moradores levar o seu lixo e depositá-lo nos pontos de coleta de resíduos (também conhecidos como contentores) que as autoridades colocam em intervalos de espaço em via pública. Os resíduos de estabelecimentos comerciais, escolas, escritórios governamentais, áreas de entretenimento, e unidades sanitárias são recolhidos pelo município.

Para Palczynski (2002), a gestão de resíduos sólidos em muitos países africanos é caracterizada por métodos ineficientes de remoção, cobertura insuficiente do sistema de remoção e eliminação imprópria dos resíduos municipais. A legislação específica de gestão de resíduos geralmente não existe ou ainda esta em tramitação em alguns países.

Segundo Cuna (2004), em Maputo as principais fontes de resíduos sólidos municipais são casas residenciais e apartamentos, estabelecimentos comerciais, escolas, escritórios governamentais, áreas de entretenimento e hotéis. Estas produzem resíduos com as seguintes características:

- Restos (resíduos de preparação de alimentos);
- Escória (papeis, madeira, refugo do jardim, latas, vidro e louça de barro);
- Cinzas (resíduo de combustível e combustão de resíduo sólido);
- Resíduos volumosos (mobiliário e utensílios).

Junto à infra-estrutura municipal (estradas e locais públicos) produz-se refugo de varredura das vias públicas, folhas e ramos de árvores. As unidades sanitárias produzem resíduos hospitalares não infecciosos.

O local para eliminação de resíduos da Cidade de Maputo é aberto, parcialmente controlado, chamado lixeira de Hulene. A área total do local é de 12 hectares, contudo somente oito hectares estão disponíveis para a eliminação de resíduos porque parte da lixeira foi invadida com construções informais e uma parte alocada para novo cemitério. Hulene recebe diferentes tipos de resíduos de todos os sectores e áreas geográficas económicas da cidade. Estimativas são de que aproximadamente 70 por cento de todos os resíduos sólidos municipais produzidos na cidade são destinados para o aterro Hulene, os restantes 30 por cento são ilegalmente depositados (CMM, 2010). A Cidade de Maputo tem diferentes taxas de produção de resíduos por pessoa entre a cidade central e a sua periferia.

Os serviços de limpeza urbana disponibilizados pelas autarquias e respectivos responsáveis nos municípios de Belo Horizonte e Maputo são apresentados a seguir:

| Serviços                                       | Belo Horizonte | Maputo |
|--|----------------|--------|
| Coleta de resíduos domiciliares                | SLU            | CM/T/P |
| Coleta de resíduos especiais - entulho         | SLU            | CM/P   |
| Coleta de resíduos especiais - poda privada    | P              | CM/P   |
| Coleta de resíduos especiais - grande produtor | P              | CM     |
| Coleta de resíduos de Serviços de Saúde        | SLU            | CM/P   |
| Coleta de resíduos de Portos e Aeroportos      | P              | T      |
| Coleta de resíduos Industriais                 | P              | P      |
| Coleta de resíduos Comerciais                  | P              | CM/P   |
| Varredura de vias públicas                     | SLU            | CM     |
| Limpeza de sarjetas e valas de drenagem        | SLU/T          | CM     |
| Limpeza de parques/praças/jardins públicos     | SLU            | CM/P   |
| Tratamento de resíduos                         | T              | CM     |
| Destinação final                               | SLU/T          | CM     |

Legenda: SLU - Belo Horizonte; CMM - Conselho Municipal Maputo; P - Produtor; T - Terceirizado.

Quadro 3: Serviços de limpeza urbana disponibilizados pelas autarquias e respectivos responsáveis.  
Fonte: Dos autores adaptado de SLU (2010) e CMM (2010).

Segundo Jacobi (2011), grande parte das cidades brasileiras apresenta um panorama complexo em relação aos modelos de gestão/gerenciamento de resíduos sólidos adotados, revelando uma diversidade de problemas na sua execução. A cidade de Belo Horizonte se destaca neste contexto, sendo uma das primeiras cidades a definir uma legislação moderna e abrangente sobre o tema. A situação no resto do estado de Minas Gerais é mais controversa, para Barros (2004) a condição e a dinâmica da gestão de resíduos sólidos em cidades de médio porte do Estado é complicada, mesmo prefeituras com melhor estrutura mostram certa precariedade na abordagem da problemática dos RSU. Lima (2003) afirma que a gestão de resíduos urbanos é uma responsabilidade essencialmente municipal e as atividades que a compõem se restringem ao território do município, não são muito comuns no Brasil as soluções consorciadas, mesmo quando se trata de destinação final em aterros sanitários.

A designação de resíduo é complexa. Esta complexidade resulta, por um lado, das características dos tipos de resíduo e, por outro, da diversidade de fontes produtoras de resíduos. Assim, Informação é matéria-prima essencial na gestão dos RSU, quanto melhor a qualidade da informação, maiores as chances dos órgãos municipais inovarem ou aprimorarem na gestão destes resíduos.

| Cidade         | Indicadores de Gestão RSU                             | Pontos Positivos   | Pontos Negativos  |
|----------------|---|--|---|
| Belo Horizonte | Eficiência e abrangência do sistema de coleta de RSU. | Busca melhorias para a atual gestão de RSU. Atendimento ao Decreto n.º 13/2006 e a Resolução n.º 86/AM/2008  | A taxa de abrangência de coleta ainda não cobriu 100% da população urbana.  |
|                | Ações sócio-econômicas e ambientais.                  | Utilização de tecnologia para o tratamento de RSU, ações sociais para inserção dos catadores como atores no processo de reciclagem de resíduos.  | Ausência de um consórcio intermunicipal e aproveitamento energético. Desorganização das cooperativas de catadores do município  |
|                | Sistemas de compostagem dos RSU                       | Aproveitamento da compostagem para reflorestamento, coleta seletiva semanal em algumas regionais. Incentivo à compostagem nas residências.   | Compostagem é incipiente não atendendo o volume coletado e coleta seletiva não abrange toda a cidade.   |
|                | Educação Ambiental                                    | Ações de educação ambiental em conjunto a secretaria da educação.  | Redução do número de contêineres disponíveis para recebimento de coleta seletiva.   |
|                | Redução de descarte clandestino                       | Monitoramento das áreas de destinação clandestinas de RSU. Limpeza por parte da prefeitura de áreas degradadas.  | Aterro utilizado fica fora do município. Não tem aterro de inertes com capacidade adequada ao município.  |
| Maputo         | Eficiência e abrangência do sistema de coleta de RSU. | Busca da sustentabilidade financeira ao sistema, em 100%. Parte do RSU é recolhida, tratada e/ou reciclada por instituições existentes na cidade de Maputo e licenciadas pelo CMM para gestão e tratamento adequado. | As metas traçadas até 2012 não foram alcançadas. Sistema não possui estações de transferência ou de processamento de RSU  |
|                | Ações sócio-econômicas e ambientais.                  | Segundo Segala, Opressa, Palalane (2008) 93% dos catadores afirmaram que gostariam de fazer parte de alguma associação de catadores. Ações para valoração da atividade dos catadores de RSU.                         | Insuficiência de recursos financeiros para manutenção e operação dos serviços de limpeza urbana com regularidade e qualidade. Falta de ações de educação ambiental em conjunto a secretaria da educação |
|                | Sistemas de compostagem dos RSU                       | Diagnóstico e mapeamento da situação atual dos serviços do sistema de limpeza urbana.  | Não há nenhum programa de compostagem de RSU. Cerca de 36,4% do total de resíduos, não chegam ao depósito final.  |
|                | Educação Ambiental                                    | Ações de reintegração social e educação, na reabilitação humana dos catadores que atuam nas "lixeiros".  | Todas as fases do sistema de gestão de RSU (desde a "não geração" até a disposição final) estão distante do almejado.   |
|                | Redução de descarte clandestino                       | Adoção de bases legais e procedimentos para implementar a fiscalização. Tratativas para reabilitar as lixeiras e promover a construção de aterros Sanitários.  | Falta de Aterros Sanitários, sendo utilizadas "lixeiros" a céu aberto (lixões).   |

Quadro 4: Comparação dos pontos positivos e negativos na gestão RSU.

Fonte: Dos autores.

Segundo Segala et al (2008), a Cidade de Maputo iniciou a revisão dos valores da taxa de limpeza e diferenciou a cobrança por produtor (domiciliar, grandes produtores por meio de Prova de Serviço), por oferta de serviços (serviço de remoção especial e para deposição de resíduos sólidos no atual aterro) com o objetivo de atingir gradualmente a sustentabilidade financeira do sistema de limpeza urbana em 100%, até o ano de 2012. Porém, segundo Serra et al (2012), esta estimativa não fora confirmada por uma série de fatores conjunturais.

A falta de estrutura técnica e operacional na gestão de RSU em Maputo pode ser compreendida conforme citado por Peixoto (2008), ao descrever que os impactos decorrentes dessa gestão inadequada, assim como diversos outros problemas municipais, transpassam os limites municipais, o que demanda instrumentos de atuação conjunta e articulação regional, dentre os quais se destaca o Consórcio Intermunicipal.

## CONCLUSÕES

Diante do que foi apresentado neste estudo, é possível perceber como a gestão dos resíduos sólidos se torna uma forma eficiente de preservação dos recursos naturais, fonte de renda para comunidades envolvidas, melhoria da saúde pública e de indicadores locais para os municípios analisados. Independente da nacionalidade, as Políticas de Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos sugerem promover o correto monitoramento e destinação dos RSU, os quais devem observar as possibilidades de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos e disposição adequada dos rejeitos de cada localidade. A gestão de resíduos em Belo Horizonte tem sido uma prioridade desde 1900, quando foram aplicadas várias tecnologias avançadas para a época. Segundo Abreu et al (2001) a cidade tem sido referência em gestão de resíduos sólidos no Brasil, entre outras ações, ao fomentar o movimento de inclusão do setor de reciclagem informal. De acordo com a Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte (SLU), todos os dias são recolhidos 3.800 toneladas de resíduos, sendo 32 toneladas de recicláveis. Como identificado neste levantamento, é fato que a logística de destinação dos RSU precisa ser intensificada e adotar ações que venham garantir um aumento significativo dos resíduos recicláveis coletados em Belo Horizonte. Mas é preciso também, implementar políticas públicas para incentivar a produção e o consumo conscientes, que se apresentam como sendo o melhor caminho para a redução e destinação dos RSU.

A informação relativa à quantidade e como ocorre o fluxo de resíduos na cidade de Maputo, apesar de disponível é relativamente reduzida. Esta informação é crucial para possibilitar a descrição de sistemas de valorização e destinação de produtos recicláveis e para identificar problemas gestão de resíduos do município. Em Moçambique, a gestão dos resíduos sólidos urbanos é da competência dos conselhos municipais, constata-se, ainda, sérios problemas de falta de atualização e de sistematização de informação sobre resíduos sólidos e isto representa uma grave restrição para a obtenção de um conhecimento mais amplo da situação de momento (SEGALA et al 2008).

A legislação ambiental moçambicana contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao país no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Destaca-se o fato da legislação prever a redução na geração de resíduos, propondo o reuso e o reaproveitamento destes materiais. Uma lacuna da legislação é que não menciona a pertinência da elaboração de um Plano Estratégico Nacional e/ou Municipal de Resíduos Sólidos Urbanos, instrumento estratégico da gestão

de RSU, fundamental para que o setor possa dispor de orientações e objetivos claros, bem como de uma estratégia de investimento.

Diante dos levantamentos feitos, para que o sistema de RSU de uma cidade possa alcançar padrões “mais sustentáveis” de execução e melhorar seu desempenho em todos os níveis, passa obrigatoriamente pelo planejamento e implementação de políticas públicas eficientes. Como consequência, conforme descrito por Polaz (2008), o aporte de informações a respeito da situação dos sistemas de resíduos deve ser uma tarefa contínua, de responsabilidade e competência do poder público. A pesquisa apresentou dados claros das duas localidades: Belo Horizonte e Maputo, conforme descrito por Calderoni (2003), é essencial adotar de forma viável um programa de gestão de RSU e que os diversos agentes interajam entre si independentes da localidade. Isso se deve ao fato de que atividade com os RSU requer, enquanto política pública abrangente, uma atuação sistemática, cotidiana e simultânea de todos os atores envolvidos.

Ao longo desta pesquisa, à medida que foram sendo agrupadas as informações de cada localidade juntamente com a legislação em vigor, tornou-se mais consistente que a adoção de indicadores, cuja apreciação poderá, a partir de então, colaborar para aumentar a eficiência da gestão de resíduos sólidos urbanos adequados a cada cidade com suas respectivas características.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010. São Paulo: 210 p., 2010. Disponível em <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2010.pdf>>. Acesso em: 24 de Junho. 2015.
- ABREU, M. F.; CHERNICHARO, P. D.; INÁCIO, R. A. C.; FIÚZA, S. M.; MOTA, M. L. A.; SILVA, M. E. C.; CHENNA, S. I. M.; LAGE, W. M. Plano para minimização dos resíduos sólidos urbanos de Belo Horizonte -Período 2000 - 2004. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, João Pessoa/PB. Anais, ABES: Rio de Janeiro, ABES, 2001.
- BARROS, R.T.V. Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos. Belo Horizonte: Tessitura, 1 ed. 2012, 424 p.
- BRASIL. Decreto-Lei nº 12.305 , de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 3 ago. 2010. 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: 24 de Junho. 2015.
- CALDERONI, S. Os Bilhões Perdidos nos Resíduos sólidos. 4. ed. São Paulo: FFLCH/USP, 2003, 346 p..
- CONSELHO MUNICIPAL DA CIDADE DE MAPUTO. “Plano Director. Gestão de Resíduos Sólidos urbanos na Cidade de Maputo”. CMM, Maputo, 2010.
- CONSELHO MUNICIPAL DA CIDADE DE MAPUTO. Situação Actual e Análise de Diversos Cenários para Definição de Estratégias Possíveis para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. República de Moçambique, Maputo, (2005).
- CUNA, A. Problemática do Lixo em Meio Urbano: caso de Estudo- Cidade de Maputo. Maputo. Imprensa Universitária. 2004.
- GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. - São Paulo: 2002.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: Brasil 2008. Brasília - DF: Ministério das Cidades, 2008, 219 p. Disponível em <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)>. Acesso em: 22 de Junho. 2015.
- \_\_\_\_\_. IBGE Cidades: Brasil 2011. Brasília - DF: 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 22 de Junho. 2015.
- JACOBI, Pedro R. Meio ambiente urbano e sustentabilidade: alguns elementos para a reflexão. In CAVALCANTI, Clóvis (org.). Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas. São Paulo: Cortez, 2001.
- JACOBI, Pedro R. ; BESEN, Gina R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo : desafios da sustentabilidade. Estudos Avançados. v. 25 n. 71 São Paulo Jan./Apr. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v25n71/10.pdf>>. Acesso em: 25 de mai. 2015.
- LIMA, J. D. de. Consórcio de Desenvolvimento Intermunicipal: Instrumento de Integração Regional. Paraíba: ABES, 2003.
- LOPES, J. C. de J. Resíduos sólidos urbanos: consensos, conflitos e desafios na gestão institucional da Região Metropolitana de Curitiba - PR. Tese de Doutorado. 252 p. Curitiba: Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento (UFPR), 2007.
16. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Brasil em cidades. Disponível em: <<http://www.brasilemcidades.gov.br/src/html/home.html>>. Acesso em: 25 de Junho. 2015.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Coletânea de Legislação para o Licenciamento Ambiental: Resíduos Sólidos Urbanos e Sistemas de Tratamento de Esgotos - Volume 1. Brasília: MMA, 2006. v. 1 : 302 p.

- MUCHANGOS, A. dos. Gestão do Meio Ambiente na Metrópole de Maputo. Maputo. Universidade Pedagógica. 2001.
- PALCZYNSKI, R. J. Study on Solid Waste Management Options for Africa. The African Development Bank. Disponível em: <<http://www.afdb.org> acc>. 2002. Acesso em: 20 de Junho. 2015.
- PEIXOTO, J. B. Manual de implantação de consórcios públicos de saneamento. Brasília: FUNASA - ASSEMAE, 2008.
- POLAZ, C. N. M. Indicadores de Sustentabilidade para Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. 2008. 186 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental - Escola Engenharia de São Carlos), Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: 2008.
- GOVERNO DE MOÇAMBIQUE. Portal do Governo. Disponível em: <<http://www.portaldogoverno.gov.mz/Mozambique>> Acesso em: 12 de Junho. 2015.
- RESENDE, A. J. C. Autonomia municipal e lei orgânica. Cadernos da Escola do Legislativo. Belo Horizonte: v. 10, n. 15, p. 7-42, 2008. Disponível em <<http://www.almg.gov.br/CadernosEscol/Caderno15/Calhau.pdf>> Acesso em: 22 de Junho. 2015.
- SEGALA, Karin; OPRESSA Izidine; PALALANE Jaime. Urbanização e Desenvolvimento Municipal em Moçambique, Capítulo: Gestão de Resíduos Sólidos. Instituto Brasileiro de Administração Municipal - IBAM. Maputo, 2008.
- Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos - SINIR. Legislação. <<http://sinir.gov.br/web/guest/legislacao>>. 2015. Acesso em: 20 Junho. 2015.
- SERRA, Manuel, DONDEYNE, S. e DURRANG, Tom. O Meio Ambiente em Moçambique Notas para reflexo sobre a situação actual e os desafios para o futuro. Grupo Ambiente € Parceiros de Cooperação. Maputo, 2012.
- Disponível em: <[http://www.researchgate.net/profile/S\\_Dondeyne/publication/256626014\\_O\\_Meio\\_Ambiente\\_em\\_Moambique\\_Notas\\_para\\_reflexo\\_sobre\\_a\\_situao\\_actual\\_e\\_os\\_desafios\\_para\\_o\\_futuro/links/00463523830689b902000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/S_Dondeyne/publication/256626014_O_Meio_Ambiente_em_Moambique_Notas_para_reflexo_sobre_a_situao_actual_e_os_desafios_para_o_futuro/links/00463523830689b902000000.pdf)> Acesso em: 21 de Junho. 2015.
- SUPERINTENDENCIA DE LIMPEZA URBANA DA PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE - SLU/PMBH. Relatório Anual de Atividades da Limpeza Urbana. Seção de Estatística da SLU. 2014.
- VASCONCELOS, M. U. Análise do Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos urbanos em municípios da Região Metropolitana de Belo Horizonte com base na legislação pertinente. 2011. 79 p. Monografia - Universidade Federal de Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2011.

# Resíduos Sólidos

## Desafios e perspectivas



---

## Sobre o Organizador

### **Rômulo Maziero**

Doutorando em Engenharia Mecânica (UFMG), pesquisador do Grupo de Inovação e Tecnologia em Materiais (GiTeM/UFMG), Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais (IFES), Aperfeiçoamento em Tecnologia Educacional (IFES) e Engenheiro Industrial Madeireiro (UFES). Atuou como professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo e no Centro Universitário de Maringá (Polo EAD Aracruz - ES). Revisor e membro do corpo editorial de diversos periódicos nacionais e internacionais. Experiência na área de Engenharia de Materiais e Mecânica, com ênfase em materiais conjugados não-metálicos e aproveitamento de resíduos sólidos.





<https://www.facebook.com/Synapse-Editora-111777697257115>



<https://www.instagram.com/synapseeditora>



<https://www.linkedin.com/in/synapse-editora-compartilhando-conhecimento/>



31 98264-1586



[editorasynapse@gmail.com](mailto:editorasynapse@gmail.com)