

# Gestão de Resíduos Sólidos 2

Leonardo Tullio  
(Organizador)



**Leonardo Tullio**  
(Organizador)

# **Gestão de Resíduos Sólidos**

## **2**

**Atena Editora**  
**2019**

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G393 Gestão de resíduos sólidos 2 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Gestão de Resíduos Sólidos; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-188-6

DOI 10.22533/at.ed.886191403

1. Lixo – Eliminação – Aspectos econômicos. 2. Pesquisa científica – Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.).  
3. Sustentabilidade. I. Tullio, Leonardo. II. Série.

CDD 363.728

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

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.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Neste Volume II, são apresentados 18 artigos que analisaram o potencial de uso de diversos materiais em vários setores, propondo destino correto a esses resíduos.

A construção civil apresenta-se como elevado potencial na incorporação desses resíduos industriais, que podem ser utilizados como matéria-prima alternativa, uma vez que disponíveis em grandes quantidades e sem destinação pela indústria que o produz, sua utilização pode levar a vantagens econômicas, técnicas e ecológicas, ademais solução de muitos problemas da indústria.

Também se observa o potencial de utilização de resíduos da atividade agrícola no meio urbano, sendo assim o aproveitamento, além de minimizar os problemas ambientais, é visto como atividade complementar, que pode contribuir para a diversificação dos produtos e para a diminuição do custo final de produtos.

Todavia, a correta destinação de um resíduo deve ser estudada e tratada com cautela, pois o "desleixo" causa impactos ambientais incalculáveis na sociedade.

Bons estudos.

Leonardo Tullio



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
SUSTENTABILIDADE: USO DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E EDUCAÇÃO AMBIENTAL	
<i>Cristine Machado Schwanke</i> <i>Juliana Young</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
UTILIZAÇÃO DE CARVÃO DE CAROÇOS DE BUTIÁ ( <i>BUTIA CAPITATA</i> ) COMO MEIO DEPURIFICAÇÃO ALTERNATIVA DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO	
<i>Beatriz Stoll Moraes</i> <i>Ferdinando Bisogno de Castro</i> <i>Maick Bravo da Silva</i> <i>Paulo Roberto Diniz da Silva</i> <i>Daniela Lilge Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
USO DE RESÍDUOS DE CELULOSE NA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS	
<i>Genyr Kappler</i> <i>Carlos Alberto Mendes Moraes</i> <i>Regina Célia Espinosa Modolo</i> <i>Juliana Damasio Waschevicz</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>34</b>
REJEITOS RADIOATIVOS DO MAIOR ACIDENTE RADIOLÓGICO DO BRASIL	
<i>Lení Maria de Souza</i> <i>Francisco Itami Campos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>46</b>
PRODUÇÃO DE CARBOXIMETILCELULASE E AVICELASE PELO BACILLUS SP SMIA-2 EM MEIO CONTENDO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	
<i>Andréia Boechat Delatorre</i> <i>Silvania Alves Ladeira</i> <i>Marcela Vicente Vieira Andrade Gonçalves</i> <i>Cristiane de Jesus Aguiar</i> <i>Thiago Freitas de Almeida</i> <i>Meire Leles Leal Martins</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914035</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>55</b>
O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO MERCADO DE EQUIPAMENTOS GAMER	
<i>Felipe Elsemann Barreto</i> <i>Ana Júlia Senna Sarmiento Barata</i> <i>Ricardo Ribeiro Alves</i> <i>Djulia Regina Ziemann</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914036</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 68**

ESTUDO PARA INSTALAÇÃO DE CENTROS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO RIO DE JANEIRO EM SEROPÉDICA

*Hélio Fernandes Machado Júnior*

*Rui de Góes Casqueira*

*Fabíola Oliveira da Cunha*

**DOI 10.22533/at.ed.8861914037**

**CAPÍTULO 8 ..... 78**

ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DA SERICINA EMPÓ RESULTANTE DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DESIDRATADA EM “SPRAY DRYER”

*Ana Paula Sone*

*Camilo Freddy Mendoza Morejon*

*Marcelino Luiz Gimenes*

**DOI 10.22533/at.ed.8861914038**

**CAPÍTULO 9 ..... 92**

ESTUDO DA CONFORMIDADE DE BLOCOS CERÂMICOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE CHAMOTE E CASCA DE ARROZ

*Ivando Stein*

*Maurício Livinali*

*Éder Claro Pedrozo*

*Lucas Fernando Krug*

**DOI 10.22533/at.ed.8861914039**

**CAPÍTULO 10 ..... 103**

ESTUDO COMPARATIVO DO LIXIVIADO GERADO POR RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICO E ELETROELETRÔNICO EM SIMULAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

*Beatriz Rodrigues de Barcelos*

*Caio Soares Camargos*

*Gabriel Alves Teixeira*

*Lorena Silva Pereira*

*Ygor dos Santos Carneiro*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140310**

**CAPÍTULO 11 ..... 116**

DESMONTAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE LÂMPADAS LED PARA RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS

*Emanuele Caroline Araujo dos Santos*

*Alini Luísa Diehl Camacho*

*Leonardo Daniel Rauber*

*Carlos Alberto Mendes Moraes*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140311**

**CAPÍTULO 12 ..... 126**

CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE PETROLINA/PE

*David José Oliveira da Silva*

*Iago Santos Calábria*

*Walter de Moraes Calábria Junior*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140312**

**CAPÍTULO 13 ..... 136**

AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE COMO MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA A INDÚSTRIA CIMENTEIRA

*Joana Gomes Meller*  
*Letícia Torres Maia*  
*Oscar Rubem Klegues Montedo*  
*Dachamir Hotza*  
*Hiany Mehl Zanlorenzi*  
*Silvana Meister Sommer*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140313**

**CAPÍTULO 14 ..... 147**

ANÁLISE DOS PLANOS MUNICIPAIS DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ESTADO DO PARANÁ

*Daniel Poletto Tesser*  
*Luciana Janoni Botelho de Freitas do Nascimento*  
*Antônio Carlos de Francisco*  
*Cassiano Moro Piekarski*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140314**

**CAPÍTULO 15 ..... 160**

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO AQUECIMENTO DE ÁGUA ATRAVÉS DE UM AQUECEDOR SOLAR FEITO COM MATERIAL RECICLÁVEL

*Maiara Stein Wünsche*  
*Nadine Rech Medeiros Serafim*  
*Rafaela Picolotto*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140315**

**CAPÍTULO 16 ..... 170**

ANÁLISE DA MISTURA DO AGREGADO RECICLADO DE RCD ASSOCIADO AO SOLO LATERÍTICO PARA UTILIZAÇÃO NA CAMADA DE BASE DE PAVIMENTOS

*Natássia da Silva Sales*  
*Caio César Luz Araújo*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140316**

**CAPÍTULO 17 ..... 182**

ANÁLISE DA ECOEFICIÊNCIA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM USINA SUCROALCOOLEIRA NO PIAUI

*Lilian de Castro Moraes Pinto*  
*Maria do Socorro Lira Monteiro*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140317**

**CAPÍTULO 18 ..... 191**

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA NACIONAL E INTERNACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

*Manoela Paiva de Amorim Santos*  
*Rafael de Freitas Taves*  
*Alexandre Lioi Nascentes*  
*Armando Borges de Castilhos Junior*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140318**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 203**

## SUSTENTABILIDADE: USO DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E EDUCAÇÃO AMBIENTAL

**Cristine Machado Schwanke**

Universidade Federal do Pampa

Bagé – Rio Grande do Sul

**Juliana Young**

Universidade Federal do Pampa

Caçapava do Sul - Rio Grande do Sul

**RESUMO:** A incorporação das novas Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) ao processo de ensino-aprendizagem, atendem aos novos paradigmas da educação para o século XXI, ainda que não na velocidade requerida, as escolas e universidades passaram a utilizar essas ferramentas como apoio educacional e não como modismo passageiro. Buscando estar alinhado com essa nova tendência nos processos educacionais, o curso de formação continuada para os profissionais de educação básica, é desenvolvido em módulos na plataforma de ensino EAD, ambiente virtual Moodle, com encontros presenciais para a realização da oficina de produção de biodiesel e palestras. Com essa estratégia, permite-se uma discussão assíncrona e personalizada a cada um dos participantes, que vem de encontro às necessidades do público em questão. Em um primeiro momento, os professores assistem palestras com a fundamentação básica de Produção de Biodiesel com especialistas da área, a seguir inicia-se uma capacitação na

plataforma de ensino, ambiente virtual Moodle. Em um segundo momento realiza-se a oficina, nesta etapa, são auxiliados na produção do biodiesel, desenvolvendo a atividade prática, utilizando o óleo residual de frituras como matéria prima. Através desta interação lhes é oportunizado a construção do conhecimento com troca de saberes e experiências que buscam consolidar o saber pedagógico. Com essa proposta, o objetivo principal que é instrumentalizar os professores para a problematização de temáticas atuais de forma contextualizada como é o caso da destinação adequada do óleo residual de frituras para difusão da ciência e tecnologia é alcançado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biodiesel, óleo residual, educação ambiental.

**ABSTRACT:** The incorporation of the new Information and communication technologies (ICTs) into the teaching-learning process, attends the new paradigms of education for the 21st century, although not at the required speed, schools and universities now use these tools as educational support and not as a passing fad. Seeking to be aligned with this new trend in the educational processes, the course for teachers of the Basic Education Professionals, will be developed in modules in EAD teaching platform, Moodle environment, presential encounters for the realization of the biodiesel production



workshop. With this strategy allows an asynchronous and personalized discussion to each one of the participants, which meets the needs of the public in question. In the first moment, the teachers participate of a lecture on with the basic fundamentation of production of biodiesel with specialists in the area, in the sequence begins a training in the moodle teaching platform. In the second moment is performed a workshop, in this stage, the teachers are assisted in the production of biodiesel, developing practical activity, using the residual oil of frying as raw material. Through this interaction they are given the opportunity to build knowledge, with an exchange of knowledge and experiences that seek to consolidate pedagogical knowledge. With this proposal the main objective is to instrumentalize the teachers, for the problematization of current themes in a contextualized way as is the case of the adequate destination of the residual oil of frying for the diffusion of science and technology is achieved.

**KEYWORDS:** Biodiesel, residual oil, environmental education.

## 1 | INTRODUÇÃO

A utilização de óleos vegetais industriais vem ganhando espaço, não simplesmente porque os resíduos representam matérias primas de baixo custo, mas principalmente devido aos efeitos da degradação ambiental. Estes efeitos geraram uma corrente que defende a produção de tecnologias limpas e o reaproveitamento de resíduos, o que tem levado empresas a buscarem viabilidade econômica para os resíduos, diminuindo os impactos ambientais, estimulando a reciclagem de matérias primas e promovendo a formação de novos postos de trabalho.

A fritura é um processo que utiliza óleos e gorduras como meio de transferência de calor, largamente utilizado para a produção de alimentos, processo que gera um volume significativo de óleos e gorduras, cujo destino final é difícil de ser solucionado (CHRISTOFF, 2007).

Neste contexto o biodiesel produzido a partir de óleos residuais utilizados na cocção de alimentos apresenta-se como uma das soluções imediatas para a substituição parcial ou total do petrodiesel, pois é produzido a partir de fontes renováveis, é biodegradável e seus níveis de emissão de gases causadores do efeito estufa são bem inferiores.

O biodiesel pode ser produzido a partir de plantas oleaginosas, entre elas a mamona, o algodão, o amendoim, o girassol e a soja, além de matérias-primas alternativas como gordura animal, óleos de frituras e gorduras residuais. É um combustível renovável e biodegradável, podendo ser obtido através de processos químicos, como craqueamento, esterificação ou transesterificação.

O biodiesel é um combustível renovável, que apresenta características similares as do diesel convencional (AZEVEDO et al, 2013).

Após a obtenção do óleo (biodiesel), este pode ser usado puro ou misturado ao diesel de petróleo, variando suas proporções, até o biodiesel puro, o B100.

Porcentagens maiores de biodiesel nos combustíveis emitem menos gases do efeito estufa durante a combustão. No entanto, para que o motor do automóvel funcione corretamente e tenha sua eficiência aumentada precisa sofrer algumas adaptações para receber a substância com mais de 20% de biodiesel.

No Brasil foi adotada uma política gradual da adição de biodiesel ao diesel comum, como meio de inserção do produto no mercado, conforme a Lei 11.097/2005 e Lei 13.033/2014. Dessa maneira, ficou estabelecido um incremento obrigatório do biodiesel ao diesel de 2%, de 2005 a 2012; 5%, a partir de 2013 e em março de 2018 este incremento passou para 10%, aprovado pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE).

O biodiesel proveniente de óleo residual é mais viscoso que o diesel de petróleo, para que se possa utilizar o óleo vegetal sem realizar mudanças no motor de ciclo diesel convencional é preciso submeter este óleo a uma reação química de transesterificação, com objetivo de baixar a viscosidade do óleo. (RABELO, 2001).

Contudo, muito pouco adianta qualquer tipo de ação, seja na elaboração de leis, fiscalização efetiva, financiamento de obras ou correntes que defendam a produção de tecnologias limpas e o reaproveitamento de resíduos em prol do meio ambiente se não houver investimentos pesados em educação, com intuito de conscientizar os cidadãos da importância e necessidade vital da preservação/conservação do meio ambiente.

Assim, é fundamental uma educação ambiental mais ativa, com o objetivo de informar crianças, jovens e adultos de seus deveres básicos para com o meio ambiente. Então, o que precisamos buscar é a reorientação da educação como um todo, com vistas à sustentabilidade que envolve todos os níveis de educação, formal e informal em todos os países. (...) A sustentabilidade é, em última análise, um imperativo moral e ético no qual a diversidade cultural e o conhecimento tradicional precisam ser respeitados (AGENDA 21 GLOBAL, 1997).

Com a finalidade de disseminação do conhecimento de tecnologias para minimizar resíduos, foi realizada uma formação continuada através de um curso de Produção de Biodiesel e Educação Ambiental através do ambiente virtual Moodle; e, Oficinas de Produção de Biodiesel (SANTOS et al., 2015; SILVA et al., 2016), tendo como público alvo profissionais de educação básica, sendo estes do ensino de ciências, química e áreas afins.

Assim, ocorreu a formação de multiplicadores de conhecimento, tendo em vista que este público está inserido na comunidade e podem exercer seu papel contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da comunidade, bem como incentivar a prática da tecnologia de energias renováveis e educação ambiental no ambiente escolar com alcance em sua comunidade.

## 2 | OBJETIVOS

Instrumentalizar os profissionais de educação básica, utilizando a metodologia semipresencial que inclui o ambiente virtual Moodle como plataforma de ensino de Educação à Distância (EAD) e oficinas presenciais de produção de biodiesel, permitindo que estes sejam os multiplicadores da ciência e tecnologia; e, agentes de Educação Ambiental (EA) nas comunidades os quais estão inseridos, busca-se ainda uma qualidade de ensino diferenciada num contexto social que se transforma rapidamente exigindo desses educadores cada vez mais um senso crítico apurado no seu fazer pedagógico, disponibilizando a esses, durante os encontros, possíveis e novas estratégias de multiplicação e contextualização dos saberes.

Soma-se a esses, a difusão da ciência e da tecnologia entre os alunos e comunidade com a ideia de preservação dos nossos recursos naturais e a utilização do resíduo, óleo residual de frituras, para a produção de biodiesel; dando assim, a um resíduo potencialmente contaminante, um destino como produto final de maior valor agregado e que ainda serve de alternativa para a substituição do diesel de petróleo, que é extremamente poluente e nocivo ao meio ambiente.

### 3 | METODOLOGIA

A formação é realizada de acordo com a necessidade e/ou possibilidade nas escolas ou no campus Bagé (Laboratório de Tecnologia de Bioenergias - BIOTEC). No início os alunos assistem a palestras com a fundamentação básica de produção de biodiesel com especialistas da área (Figura 1). Com essa abordagem os participantes do curso se familiarizam com os conceitos, definições e tem oportunidade de ampla discussão e debate.



Figura 1: Palestras - Fundamentação de Produção de Biodiesel.

Fonte: Autoria própria.

A seguir, os participantes têm acesso a capacitação na plataforma de ensino, através do ambiente virtual Moodle, onde os alunos são inscritos e encontra-se

disponível o material didático, dividido em módulos, onde é abordado uma introdução as energias renováveis mostrando cada uma das fontes de energias, seus conceitos e aplicações. Após, são vistos os processos de produção de biodiesel e finaliza-se com conceitos e práticas de educação ambiental. Esses módulos são realizados em tempo determinado e com um trabalho de conclusão para que cada participante possa verificar os conhecimentos apreendidos.



Figura 2: Plataforma de Ensino – Ambiente Virtual Moodle.

Fonte: Autoria própria.

Quando o curso no ambiente virtual é finalizado pelos os alunos, estes são conduzidos a UNIPAMPA/Campus Bagé, no Laboratório de Tecnologia em Bioenergias e Sistemas de Fluido Aplicado (BIOTEC/SFA) onde a prática experimental das oficinas de produção de biodiesel é realizada. Durante as oficinas, são realizadas apresentações/ aula expositiva com auxílio de vídeos e apresentações em slides (Figura 3). Neste momento da capacitação é abordado o tema biodiesel, sua importância e relevância da utilização de óleo residual de frituras, proveniente de uso doméstico para sua produção. Assim, é utilizado e reduzido um importante resíduo gerado e que causa grande impacto ao meio ambiente, se descartado incorretamente, o óleo residual de fritura.





Figura 3: Aulas expositivas – Apresentação de slides e vídeos.

Fonte: Autoria própria.

Para a realização da oficina é fornecido aos participantes o roteiro do experimento onde é abordado o processo de transesterificação (Figura 4), apresentado os materiais a serem utilizados e a preparação das soluções. A reação de transesterificação pode ser realizada tanto em meio ácido como em meio básico ou utilizando enzimas. Entre os catalisadores básicos estão os hidróxidos de metais alcalinos, carbonatos e alcóxidos de metais alcalinos (metóxido de sódio, etóxido de sódio, propóxido de sódio e butóxido de sódio). A maior parte dos trabalhos descritos na literatura emprega catalisadores básicos, tais como KOH e NaOH onde foram observados, maior rendimento e seletividade.

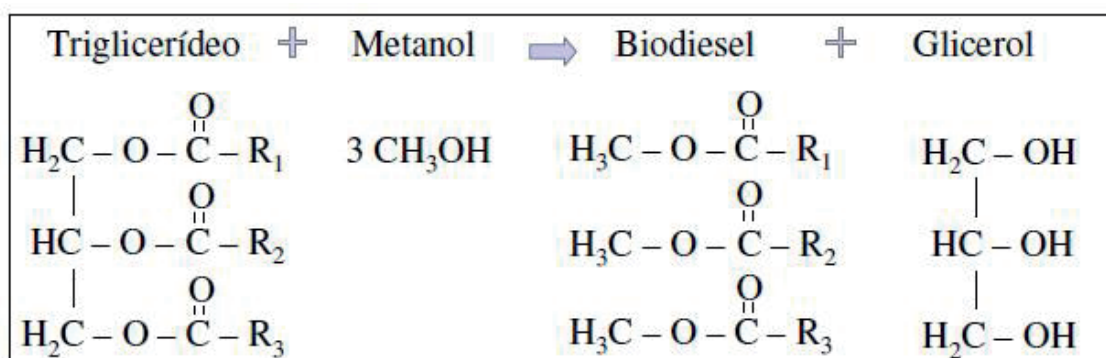


Figura 4: Reação de Transesterificação.

Fonte: Solomons, 2002 apud Encarnação, 2008.

A fim de garantir a segurança, correta utilização de vidrarias e equipamentos relativos a rotina e à prática laboratorial, os participantes são auxiliados por monitores durante a realização da aula prática de produção de biodiesel (Figura 5). Na prática, utiliza-se óleo residual de frituras como matéria-prima, onde os alunos têm a oportunidade de participar ativamente no processo de produção, podendo assim

esclarecer dúvidas com os monitores; e ainda, relacionar alguns conceitos das aulas de química, ciências e práticas de laboratório. Através desta interação lhes é dada a oportunidade de construção do conhecimento, com troca de saberes e experiências que enriquecem ainda mais o saber individual.



Figura 5: Apoio dos Monitores durante as Oficinas.

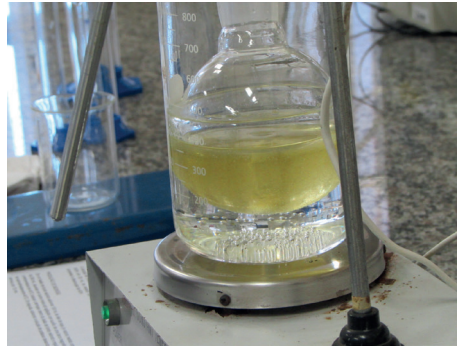
Fonte: Autoria própria.

Além disso, com a realização desta atividade prática no laboratório, conforme Figura 6 (a), Figura 6 (b) e Figura 6 (c), os participantes da oficina têm a oportunidade de reconhecer algumas vidrarias e entender sobre o preparo de soluções, reações químicas, entre outros; facilitando assim a compreensão destes conceitos de maneira prática.

(a) Realização da prática pelo aluno.



Figura 6: Oficina de produção de biodiesel - Prática Experimental.



(b) Realização da prática – etapa 1 do processo



(c) Realização da prática – etapa 2 do processo

Fonte: Autoria própria.

Neste contexto, ainda são abordados conceitos de energias renováveis e enfatiza-se a necessidade do descarte ambientalmente correto dos resíduos.

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da realização desta proposta de ensino, pode-se observar o empenho dos participantes em aprender mais sobre o tema proposto, despertando muitas dúvidas e discussões, as quais são respondidas ao longo do curso e fomentam os fóruns, respectivamente. Esta proposta mostra uma nova visão no conceito de aprendizagem como estratégia para a problematização de temas atuais como gestão de resíduos na forma contextualizada, como mostrada na Figura 7 (a) e, Figura 7 (b). É importante frisar a inovação no uso de tecnologia educacional na realização do curso e a flexibilização na prática experimental, tornando mais acessível a educadores e favorecendo a autonomia no processo de ensino-aprendizagem.

O curso com a prática de laboratório em uma tecnologia, levou aos participantes a refletir sobre o processo de obtenção do biodiesel de maneira global e a destinação

correta de resíduos para redução do impacto ambiental.



Figura 7: Oficina de produção de biodiesel - Estratégia de Ensino

Ensino contextualizado 1



Ensino contextualizado 2

Fonte: Autoria própria.

A equipe executora auxilia em todo o processo, desde a plataforma de ensino como tutores, dando o suporte necessário ao longo do curso, incentivando fóruns de discussões até as aulas práticas (oficinas) como monitores, o que possibilitou que os objetivos fossem atingidos. Na figura 8, é apresentada a equipe executora e participantes de uma das edições do curso (Palestras introdutórias, EAD e Oficina de Produção de Biodiesel).





Figura 8: Equipe Executora e participantes do curso.

Fonte: A autoria própria.

Ao final da prática de oficina, obtém-se como produto um biocombustível, o biodiesel (Figura 9), demonstrando o potencial sustentável do resíduo utilizado, óleo residual de fritura.



Figura 9: Amostras de Biodiesel.

Fonte: A autoria própria.

Cabe ressaltar ainda, a conscientização em relação aos conceitos de meio ambiente e descarte adequado de resíduos, principalmente, relacionados à coleta e reaproveitamento do óleo residual de fritura, já que este é um resíduo extremamente prejudicial ao meio ambiente. Como resultado temos que tais conceitos, a ciência e a tecnologia estão sendo difundidos, pois temos um educador capacitado em novas fontes de energias e multiplicador ambiental (Figura 10). Além disso, tem-se ensino, pesquisa e extensão em uma mesma ação como estratégia de ensino e aprendizagem.



Figura 10: Participantes das Oficinas.

Fonte: A autoria própria.

## 5 | CONCLUSÕES

Com esta capacitação para os profissionais de educação básica, onde a metodologia inclui o ambiente virtual Moodle, como plataforma de ensino, têm-se como resultado o incentivo ao aperfeiçoamento destes profissionais, os quais precisam ser qualificados para usarem a plataforma e suas diversas ferramentas, mostrando que o uso de Tecnologias Educacionais são eficazes; e, ainda a ampla gama de conhecimentos da tecnologia de biodiesel e educação ambiental, apreendidos durante o curso e oficina, podendo assim transmitir aos seus alunos este aprendizado, sendo multiplicadores desse saber e de todo o conhecimento adquirido durante a realização desta capacitação, difundindo ciência e tecnologia.

Esta proposta demonstra uma forma de modernizar a educação empregando metodologias ativas de aprendizagem e estratégias para uma formação continuada eficaz e eficiente.

O conceito tradicional de sustentabilidade está relacionado às ciências biológicas, no sentido do esgotamento dos recursos renováveis causados pela exploração descontrolada dos mesmos. Desta forma, a utilização destes recursos deve ser feita de maneira racional, sejam eles renováveis ou não renováveis, minimizando a geração de poluição e de resíduos (BARBIERI, 2007). Neste contexto, pode-se afirmar que o uso de óleo residual de fritura para produção de biodiesel está em consonância com a Agenda 2030 (2015), ou seja, os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), tendo a Sustentabilidade permeando todas as ações realizadas nesta inovadora proposta de ensino.

Finalmente, pode-se perceber também que esta formação continuada oportuniza aos acadêmicos envolvidos, técnicos de laboratório e docentes da UNIPAMPA a cumprir seu papel como Universidade e dentro da sociedade.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Fomento à Extensão (PROFEXT)/Pró-Reitoria de Extensão (PROEXT) e Programa de Desenvolvimento Acadêmico (PDA)/Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis e Comunitário (PRAEC) da Universidade Federal do Pampa.

## REFERÊNCIAS

AGENDA 21 GLOBAL - **Conferência Internacional em Ambiente e Sociedade**: Educação e Conscientização para a Sustentabilidade, Grécia, 1997.

AZEVEDO, L. A. de et al. Biodiesel a partir de óleo de fritura: uma temática atual para abordagem das relações cts em uma sala de aula de química. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 2, 2013.

BARBIERI, J. C. **Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da Agenda 21**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2007. 160p.

BRASIL. Lei nº 11097 de 13 de janeiro de 2005. **Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências**. Diário Oficial da União - Seção 1 - 14/1/2005, Página 8 (Publicação Original).

BRASIL. Lei nº 13.033 de 24 de setembro de 2014. **Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 8.723, de 28 de outubro de 1993; revoga dispositivos da Lei no 11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências**. Diário Oficial da União □ Seção 1 □ 25/09/2014, Página 3 (Publicação Original).

CHRISTOFF, P. **Produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial estudo de caso: Guaratuba, litoral paranaense**. Curitiba: LACTEC/ITTD, 2007.xv, 82f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC, 2007.

ENCARNAÇÃO, A. P. G. **Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação: Uma avaliação econômica** - Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2007. 134f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Escola de Química - EQ, 2007.

RABELO, I. D. **Estudo de desempenho de combustíveis convencionais associados a biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura**. Curitiba: EdCEFET-PR, 2001.

SANTOS, M. F. P. DOS et al. **Comunidade na Universidade: oficinas de biodiesel**. In: VII Salão Internacional de Ensino Pesquisa e Extensão, Uruguai, nov. 2015. Anais do VII Salão Internacional de Ensino Pesquisa e Extensão, 2015.

SILVA I. A. C. et al. **Oficina de biodiesel e educação ambiental: uma estratégia de aprendizagem**. In: VIII Salão Internacional de Ensino Pesquisa e Extensão, Alegrete, nov. 2016. Anais do VII Salão Internacional de Ensino Pesquisa e Extensão, N.3, Vol. 8, 2016.

SOLOMONS, T. W.; **Química orgânica 2**, 7ª. ed., Rio de Janeiro: Editora LTC, 2002.

## UTILIZAÇÃO DE CARVÃO DE CAROÇOS DE BUTIÁ (*Butia capitata*) COMO MEIO DEPURIFICAÇÃO ALTERNATIVA DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO

### **Beatriz Stoll Moraes**

Universidade Federal do Pampa (Unipampa), São Gabriel, RS

### **Ferdinando Bisogno de Castro**

Universidade Federal do Pampa (Unipampa), São Gabriel, RS

### **Maick Bravo da Silva**

Universidade Federal do Pampa (Unipampa), São Gabriel, RS

### **Paulo Roberto Diniz da Silva**

Universidade Federal do Pampa (Unipampa), São Gabriel, RS

### **Daniela Lilge Silva**

Universidade Federal do Pampa (Unipampa), São Gabriel, RS

**RESUMO:** A água é um elemento natural essencial à vida no planeta, mas a utilização inadequada interfere ao acesso a água de boa qualidade. As áreas rurais ou de difícil acesso tem sido pauta de muitas discussões em vários órgãos públicos. A construção e técnicas de tratamento de água para pessoas que sofrem com difícil acesso é muito importante e, uma sugestão é a construção de um filtro produzido através de carvão de caroços de butiá (*Butia capitata*). Como a presença desta palmeira nativa é farta e seus frutos abundantes e, o endocarpo semelhante ao utilizado em pesquisa premiada no Jovem Cientista de 2013

(Ensino Médio), motivou a repicagem deste projetopremiado. Com o objetivo de tratar águas superficiais de locais com água escassa com qualidade duvidosa, priorizando o meio rural e outros que não são abastecidos de forma regular pelo sistema público, foram testados 6 tipos diferentes de carvões: endocarpo *in natura* com e sem amêndoa, endocarpo ativado com hidróxido de sódio 1 molar com e sem amêndoa e, por último endocarpo ativado a vapor em autoclave com e sem amêndoa. Nos filtros contendo os carvões foi utilizada a mesma água bruta coletada do rio Vacacaí (São Gabriel/RS), mas os resultados apontaram que novos ajustes devem ser feitos, para que o carvão não seja carregado durante a passagem da água pelo meio filtrante. Os valores alertam que os carvões ativados com Hidróxido de Sódio, mesmo lavados em abundância, aumentam o pH da água filtrada, preocupando com relação a sua ingestão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Carvão, *Butia capitata*, inovações, tratamento de água.

**ABSTRACT:** Water is a natural element essential to life on the planet, but inadequate use interferes with access to good quality water. Rural areas or difficult access have been the subject of many discussions in various public agencies. The construction and techniques of treatment of water for people suffering with difficult access



is very important and, a suggestion is the construction of a filter produced by coal of butia stones (*Butia capitata*). As the presence of this native palm tree is abundant and its fruits are abundant, and the endocarp similar to the one used in award-winning research in the Jovem Cientista 2013 (High School), motivated the replication of this design project. In order to treat surface water from poor water quality sites, with priority being given to the rural environment and others that are not regularly supplied by the public system, 6 different types of carbon were tested: endocarp in natura with and without almond, endocarp activated with 1 molar sodium hydroxide with and without almond and, finally, autoclave-activated endocarp with and without almond. In the filters containing the coals the same raw water collected from the Vacacaí river (São Gabriel/RS) was used, but the results indicated that new adjustments must be made so that the coal is not carried during the passage of water through the filter media. The values warn that activated carbon with sodium hydroxide, even when washed in abundance, increases the pH of the filtered water, worrying about its intake.

**KEYWORDS:** Coal, *Butia capitata*, innovations, water treatment

## 1 | INTRODUÇÃO

O difícil acesso a água de qualidade para o consumo humano em regiões rurais e locais isolados é uma problemática que vem sendo discutida em Comitês de Bacias Hidrográficas da Região Centro-Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, Secretarias Municipais de Agricultura e Meio Ambiente e Emater. Comumente utilizado nas estações de tratamento de água para abastecimento público, o carvão vegetal é um material com alta porosidade, capaz de eliminar substâncias que conferem cor e odor a água (AZEVEDO NETTO, 1987).

Pode-se utilizar vários tipos de resíduos para a produção de carvão ativado, como por exemplo: caule, folhas e biomassa de resíduos florestais, casca de arroz, de nozes, ossos de animais e caroços de frutas (WERLANG *et. al.*, 2013).

Pereira e Rodrigues Jr (2013) utilizaram os caroços do açaí para produzir carvão vegetal no Estado do Pará e o resultado foi tão interessante que o projeto foi premiado com o primeiro lugar no Prêmio Jovem Pesquisador de 2013, a nível de Ensino Médio. Com a intenção de tratar águas superficiais da Amazônia, Pereira e Rodrigues Jr utilizaram o carvão do açaí como meio de filtro para purificação de água e tiveram resultados positivos na remoção de metais, chegando a valores entre 41,67% e 67,46% para dois rios responsáveis pelo abastecimento da cidade de Belém (PA), o Rio Guamá e Baía de Guajará.

O Butiazeiro pertence a um pequeno gênero de palmeiras subtropicais com distribuição no sul da América do Sul, ocorrendo naturalmente no sul do Brasil, leste do Paraguai, nordeste da Argentina e no noroeste e sudeste do Uruguai (TONIETTO *et al*, 2009 *apud* SGANZERLA, 2010). Podem ser encontradas em diversas partes do mundo, como na região sul dos Estados Unidos e na Europa, sendo utilizadas como

plantas ornamentais.

O butiazeiro (*Butia capitata*) é uma palmeira nativa (Figura 1) facilmente encontrada no Estado do Rio Grande do Sul, ao sul do Brasil. Seus frutos apresentam elevados teores de açúcares, proteínas, vitaminas e sais minerais, bem como substâncias antioxidantes associadas ao incremento da expectativa de vida e, sua polpa é utilizada na forma de sucos, sorvetes, doces, licores e cachaças (SEBRAE, 2008).

Por ser uma fruta sazonal (dezembro a maio) sua polpa carnuda (Figura 2A) é removida e congelada para ser utilizada posteriormente durante o ano todo. Grandes quantidades de caroços (endocarpos) são descartados em beiras de estradas e mananciais sem o devido tratamento, atraindo insetos e outros animais, além do odor derivado do chorume produzido durante a decomposição do material orgânico aderido no caroço (Figura 2B).



Figura 1: Butiazeiro (*Butia capitata*). Fonte: Autores (2018)



Figura 2: A) Fruto maduro do butiazeiro (*Butia capitata*); B) caroço (endocarpo) da fruta.

Fonte: Autores (2018)

Em suas pesquisas sobre os benefícios do consumo dos frutos do butiazeiro,

Sganzerla (2010) constata que o avanço da agricultura e a falta de interesse por plantas nativas foram os principais motivos para a diminuição do número de butiazeiros em seu habitat natural, destacando *Butia eriospatha* e *Butia capitata* que estão dentro das 600 espécies em vias de extinção.

Da mesma forma que Pereira e Rodriguez Jr (2013) se preocuparam em aproveitar o resíduo gerado do despulpamento do açaí, procurou-se adaptar a experiência destes autores a um resíduo semelhante, ou seja utilizar os caroços (endocarpos) de butiá para também produzir carvão vegetal com o objetivo de filtrar água bruta de localidades que não tenham o abastecimento direto de água potável e que possuam em suas proximidades butiazeiros com capacidade de produção.

Então, inspirado na idéia vencedora do prêmio Jovem Pesquisador de 2013, esta pesquisa teve como objetivo verificar a possibilidade de utilizar o carvão do caroço (endocarpo) do Butiá (*Butia Capitata*) como meio de purificação de águas, preferencialmente de forma simples, para possibilitar a acessibilidade de água de qualidade para regiões rurais e isoladas.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho seguiu as orientações metodológicas relatadas por Oliveira *et. al.* (2016), Pereira *et. al.* (2014), Neves *et. al.* (2011) e Trugilho (2001) para a obtenção dos carvões de butiá, já que metodologia para este tipo de endocarpo especificamente não foi encontrada. Os dois primeiros trabalhos aplicaram testes em endocarpos do fruto de açaí (*Euterpe oleracea mart*) e os dois últimos, em clones de eucaliptos (*Eucalyptus*).

O trabalho foi dividido da seguinte forma:

**Etapa 1:** Coleta da fruta e despulpamento, durante os meses de fevereiro e março, meses relativos a produção da fruta no sul do Brasil;

**Etapa 2:** Produção do carvão vegetal sem ativação

Desidratação do caroço em estufa por 5h a 50°C;

Carbonização do material em forno Mufla por 3h e 350°C, com elevação da temperatura de meia em meia hora, em 50°C, para evitar a autocombustão do material;

Pulverização do carvão desidratado em liquidificador comum. (Figura 3a e 3b).

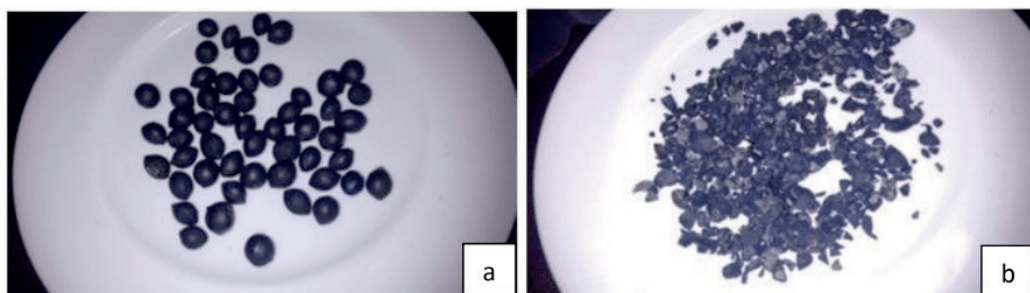


Figura 3: a) Endocarpo com amêndoas após carbonização; b) endocarpo após moagem. Fonte: Autores (2018)

**Etapa 3:** Produção do carvão vegetal ativado (com tratamento):

Desidratação do caroço em estufa por 5h a 50°C;

*Ativação química* do material desidratado com hidróxido de sódio 1Molar por 24h (Figura 4) ou *ativação ao vapor* em autoclave por 45min a 121°C e 1,4 atm de pressão;

Secagem do material tratado ao hidróxido de sódio ou ao vapor por 6h e 50°C, até nova desidratação como inicialmente;

Resfriar e lavar em água corrente somente os endocarpos ativados por hidróxido de sódio para remoção do excesso da soda;

Repetir o processo de desidratação na estufa;

Carbonização dos materiais ativados em forno Mufla por 3h e 350°C, com elevação da temperatura de meia em meia hora, em 50°C, para evitar a autocombustão do material;

Pulverização do carvão já ativo em liquidificador comum.

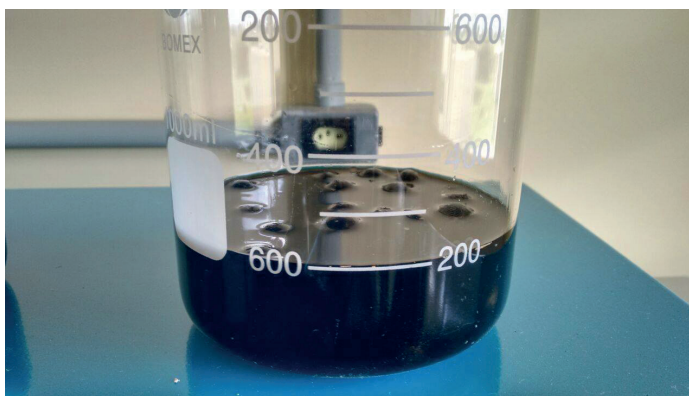


Figura 4: ativação química do endocarpo com hidróxido de sódio 1M. Fonte: Autores (2018)

**Etapa 4:** Testes físico-químicos e microbiológicos presuntivos com águas coletada da fonte de abastecimento pública em diferentes dias, primeiro utilizando diretamente com 0,5g de carvão em 100ml de água bruta, 15 minutos de contato e filtração em filtro de café comum e algodão e depois novo teste utilizando seis filtros caseiros montados com garrafa pet pequena (“caçulinha”), em suporte de madeira, preenchido com brita e areia grossa como meio suporte filtrante, feltro de tecido para evitar que o carvão se misture com o meio suporte filtrante e por fim uma camada de pequena contendo 32g de carvão a ser testado. (Figura 5).



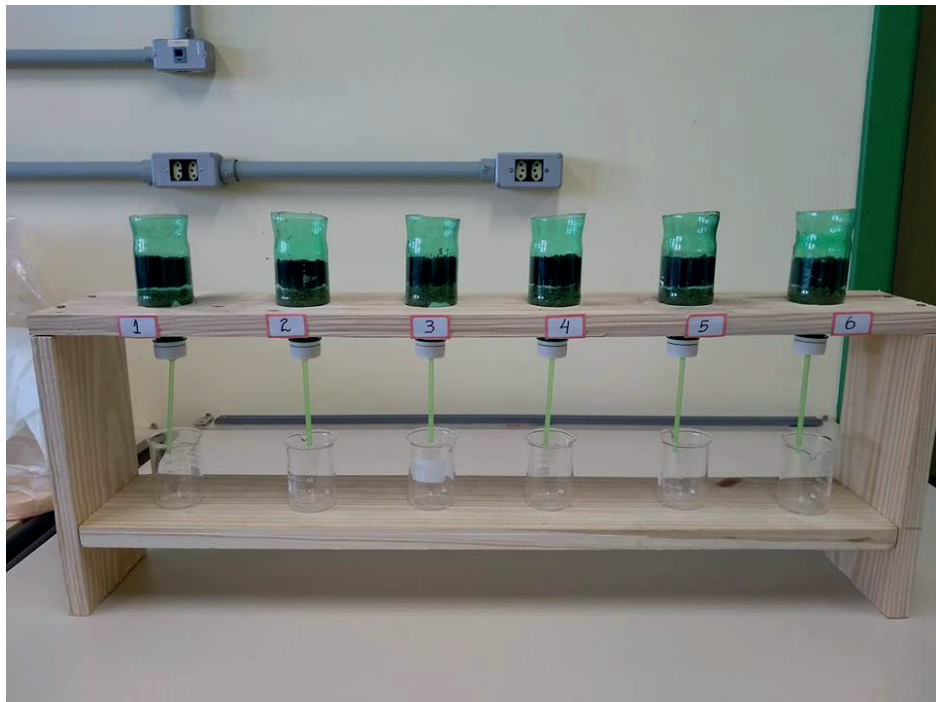


Figura 5: Suporte com filtros prontos de carvão. Fonte: Autores (2018)

**Obs:** antes de sua utilização deve ser lavado com água limpa até a total remoção do pó solto do carvão que pode conferir cor a água tratada. A partir deste momento está pronto para iniciar os testes.

A composição em termos de carvão de endocarpo em cada filtro foi assim estipulado:

1. Sem tratamento com amêndoa;
2. Sem tratamento sem amêndoa;
3. Com tratamento com NaOH com amêndoa;
4. Com tratamento com NaOH sem amêndoa;
5. Com tratamento ao vapor com amêndoa;
6. Com tratamento ao vapor sem amêndoa.

Após todos os preparos, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, potes de vidro (para exposição) e potes de plástico (para envio para futura análise de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV). Estes acondicionamentos são apresentados na Figura 6.





Figura 6: Acondicionamento das amostras com diferentes tratamentos de carvão de endocarpo de butiá. Fonte: Autores (2018)

A água bruta coletada no Rio Vacacaí, mesmo recurso que abastece o município de São Gabriel/RS, bem como as águas filtradas foram submetidas às análises físico-químicas de pH, Cor, Turbidez, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Carbono Orgânico Total (COT), Condutividade, Surfactantes e Nitratos.

Os resultados dos parâmetros analisados foram comparados aos valores máximos fornecidos para águas de distribuição pública, tabelados na Portaria de Consolidação n. 05 do Ministério da Saúde de 28 de setembro de 2017.

### 3 | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos primeiros testes utilizou-se os carvões diretamente na água e após 15 minutos de contato, filtrou-se com papel-filtro para café e algodão. Mesmo assim o carvão passou no meio e forneceu cor as amostras (Figura 7).

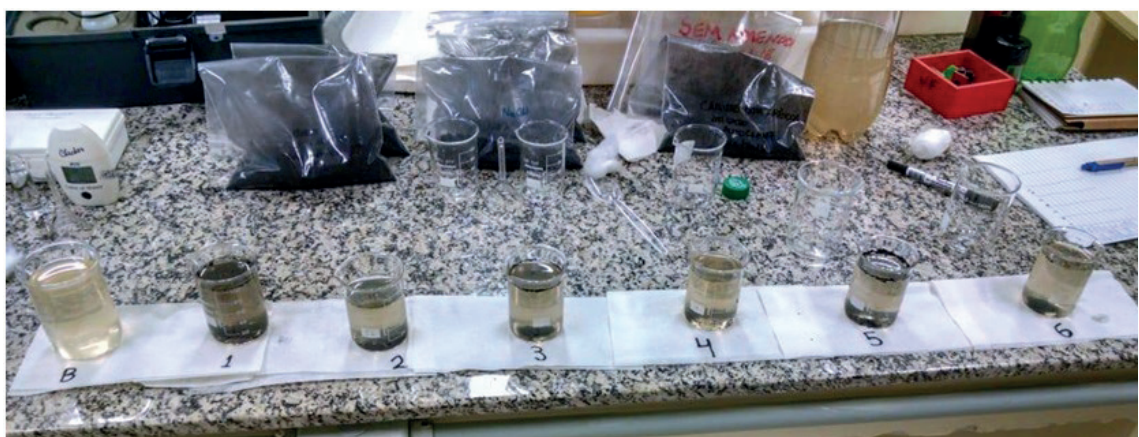


Figura 7: Testes utilizando 0,5g de carvão em 100mL de água bruta. Fonte: Autores (2018)

Optou-se então pela utilização de filtros em camadas, semelhantes aos utilizados em sistemas de tratamento de água, com leito suporte em brita, camada filtrante de areia e carvão. Os resultados foram bem melhores, mas ainda não o ideal (Figura 8).

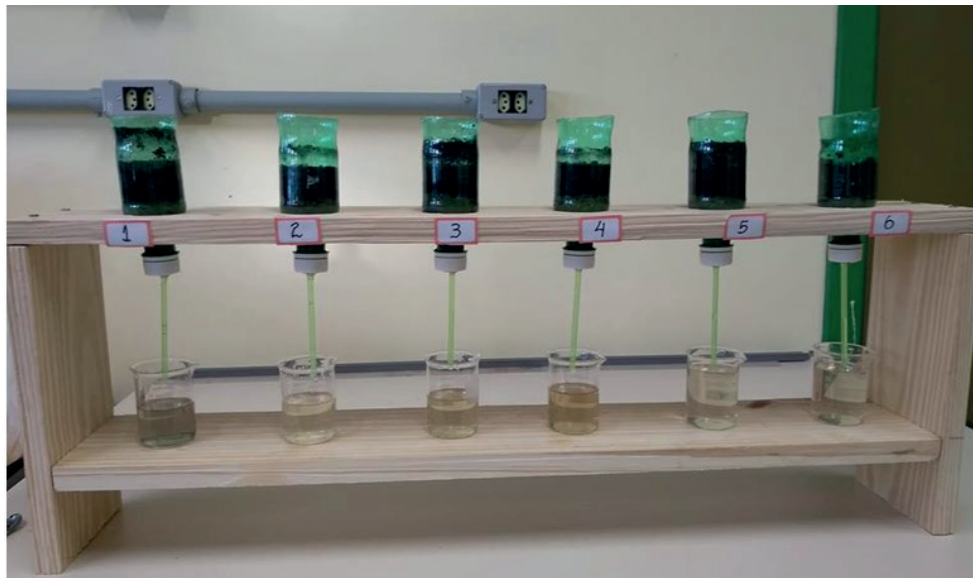


Figura 8: Testes de filtração com diferentes carvões. Fonte: Autores (2018)

Visualmente os melhores resultados foram obtidos com os carvões 2 (sem amêndoa e sem tratamento) e os carvões 5 e 6 relativos a ativação com autoclave. Com estas amostras de águas filtradas, foi elaborada a Tabela 1.

	Bruta	F1	F2	F3	F4	F5	F6
<b>Turbidez (UNT)</b>	28,4	47,2	29,3	25,9	32,2	33,6	31,6
<b>Cor (Uc)</b>	225	405	215	300	410	220	225
<b>Condutividade (<math>\mu\text{S}</math>)</b>	33,4	34,0	28,7	110,3	83,7	27,9	31,4
<b>pH</b>	7,24	7,33	6,5	9,65	9,08	6,94	6,62
<b>SST</b>	83	103	75	62	117	76	73
<b>DQO</b>	152	178	156	168	290	152	152
<b>DBO</b>	72,5	79,5	84	107	176	77,5	82,0
<b>COT</b>	56	62	66	86	140	61	65
<b>Nitratos (<math>\text{N-NO}_3\text{m-g.L-1}</math>)</b>	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
<b>Surfactantes</b>	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,6	<0,5	<0,5

Tabela 1- Resultado obtido para amostras de água bruta e após a passagem da água nos filtros (10/05/2018)

DQO-Demanda Química de Oxigênio ( $\text{mgO}_2\text{.L}^{-1}$ ); DBO-Demanda Química de Oxigênio ( $\text{mgO}_2\text{.L}^{-1}$ ); COT-Carbono Orgânico Total ( $\text{mgC.L}^{-1}$ ); SST-Sólidos Suspensos Totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).

Fonte: Autores (2018).

Foi possível observar que nas amostras ativadas a partir do NaOH ocorreram um aumento significativo no pH, na condutividade e no COT, o que mostra que mesmo passando diversas vezes a água antes de coletar a amostra para análise, a base contida nos carvões ativados com NaOH se mantém nas amostras. Nas amostras que continham amêndoa o que mais chamou a atenção foi a presença de oleosidade em

sua composição. Todos os carvões que não continham amêndoa não apresentaram oleosidade, o que facilitou no processo de filtração.

Contudo, o que causou maior preocupação foram as amostras 3 e 4, onde aumentou significativamente o pH, o que traz riscos à saúde se ingerido. Observou-se também que os carvões sem amêndoa geraram filtrados com pH ligeiramente menor que o correspondente com amêndoa.

Novos testes foram realizados, objetivando aprimorar a técnica de filtração, para verificar a real possibilidade de utilização do carvão do endocarpo do Butiá como forma alternativa para tratamento de águas para regiões rurais e isoladas.

Alterou-se a forma de abastecimento dos filtros para não mexer na camada filtrante de carvão, tentando evitar a liberação de partículas que conferem cor ao material filtrado. Então, adaptou-se na entrada e na saída dos filtros um sistema de pinga-pinga utilizado em soros hospitalares (Figura 9).

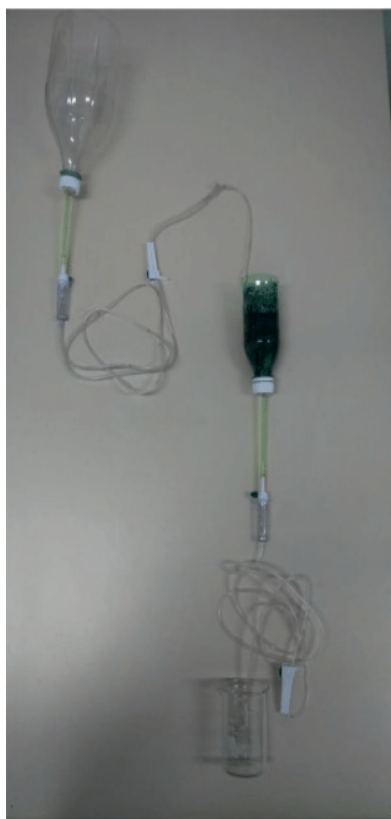


Figura 9: Adaptação de sistema pinga-pinga nos filtros.

Fonte: Autores (2018)

Novas amostras de filtrados foram coletadas e analisadas somente quanto ao pH, cor, turbidez e condutividade (Tabela 2).

	Bruta	F1	F2	F3	F4	F5	F6
<b>Turbidez (UNT)</b>	30,4	34,4	43,8	35,3	36,0	37,2	37,7
<b>Cor (Uc)</b>	195	310	315	195	260	305	220
<b>Condutividade (<math>\mu</math>S)</b>	36,8	25,5	38,5	16,49	27,6	11,95	16,81
<b>pH</b>	6,60	5,79	6,47	5,51	7,69	5,11	4,95

Tabela 2- Resultado obtido para amostras de água bruta e após a passagem da água nos filtros com sistema pinga-pinga (17/10/2018)

Fonte: Autores (2018).

Na Tabela 2 observa-se que o sistema de filtração ainda não foi o ideal, já que os parâmetros de turbidez e cor pioraram após a passagem da água bruta (Figura 10), da mesma forma que explanado na Tabela 1. Quanto a condutividade os filtros 5 e 6 relativos aos carvões ativados com vapor diminuíram se comparados a água bruta e o pH também foi baixo nestas mesmas amostras, apresentando um caráter ácido após 4 meses de armazenamento.

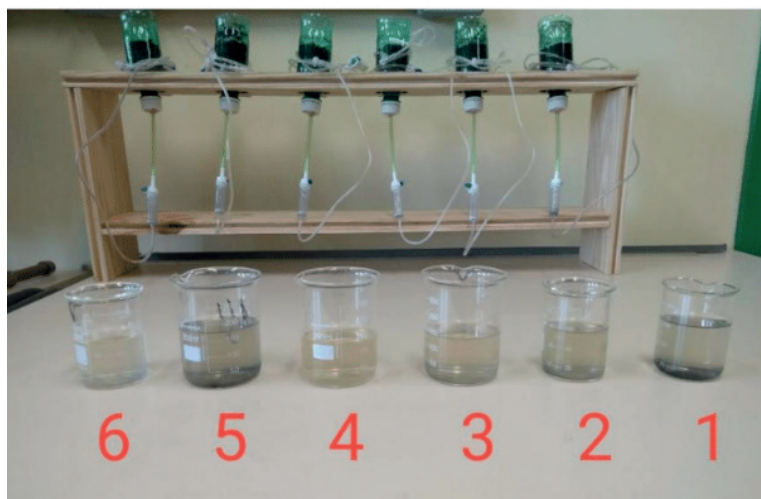


Figura 10: Aspecto das amostras após passagem de água bruta pelo sistema de filtros com pinga-pinga.

Fonte: Autores (2018)

Da mesma forma que na tabela 1, o carvão 4 ativado com NaOH apresentou pH mais elevado o que preocupa com relação a saúde do consumidor que não preparar este carvão de maneira adequada.

Com isto, a pesquisa deve avançar na busca da melhor maneira de dispor o carvão sem que este passe através do meio suporte e contamine a amostra.

Com relação as formas de ativar o carvão optou-se para os demais ajustes a ativação a vapor, para não comprometer a saúde do consumidor com um excesso de soda indesejável.

Estes foram os primeiros testes com carvão de endocarpo (caroços) de butiá. Novos testes ocorrerão ao decorrer dos anos de 2018 e 2019, com ajustes até se obter



uma forma simples e prática de montagem de um filtro direcionado a áreas de difícil acesso ou que não tenham o abastecimento público de água tratada, aproveitando um resíduo que hoje é simplesmente descartado.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes iniciais apontaram da necessidade de se ajustar a forma de filtração para melhor aproveitamento desta tecnologia. Há possibilidade sim do carvão dos caroços de butiá de serem utilizados como meio filtrante. Resta ajustar como dispor deste carvão em um sistema de filtração de tal forma que não contamine com partículas mínimas, influenciando negativamente nos resultados finais. Deverão ser testados os carvões inteiros, sem o processo de moagem.

Os valores obtidos nas Tabelas 1 e 2 alertam que os carvões ativados com Hidróxido de Sódio (NaOH), mesmo lavados em abundância, aumentam o pH da água filtrada, fator preocupante com relação a sua ingestão. O aumento da condutividade comprova o aumento da quantidade de sais dissolvidos, provavelmente o sódio.

Os carvões sem amêndoa obtiveram os melhores resultados em termos de filtração e decantabilidade. Não apresentam aspecto oleoso como aqueles em que as amêndoas foram mantidas. Novos testes serão realizados para ajuste de filtração para que os parâmetros analisados fiquem dentro do permitido pela Consolidação 05/2017 que diz que o máximo permitido para água de abastecimento público é: Cor=15 uC; Turbidez=0,5uT e pH entre 6,0 e 9,5.

A conclusão final sobre a possibilidade da utilização do carvão do endocarpo do Butiá como forma alternativa de purificação de água nas comunidades com dificuldade de abastecimento.

#### REFERÊNCIAS

AZEVEDO NETTO, J. M. **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**. São Paulo:CETESB, 1987.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2. Ed.; São Carlos, SP:RIMA. 2005. 2V.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria da Consolidação 05, de 28 de setembro 2017. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema único de Saúde**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 out. 2017. Disponível em: <[http://www.normasbrasil.com.br/norma/portaria-de-consolidacao-5-2017\\_356387.html](http://www.normasbrasil.com.br/norma/portaria-de-consolidacao-5-2017_356387.html)>. Acesso em: 12 jun. 2018.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P.F.; SILVA, V.O.; VIEIRA, C. M. M. **Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando a produção de carvão vegetal**. Pesquisa Florestal Brasileira, 31 (68), 319-330. 2011.

OLIVEIRA, D. C.; FERREIRA, C. E. C.; SOUZA, G. D. S. C.; SILVA, G. R. A.; TEIXEIRA, L. C. G. M.; CORREA, M. S.; MENDONÇA, N. M. **Efeito da concentração de carvão ativado de caroços**



**de açai com granulometria natural em testes de adsorção.** In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 4, 1176-1183. 2016.

PEREIRA, E. N.; RODRIGUES Jr, V. C. R. **Carvão do caroço de açai (*Euterpe oleracea*) ativado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) e sua eficiência no tratamento de água para o consumo.** Relatório de Projeto de Pesquisa Prêmio Jovem Cientista 2013.

PEREIRA, S. F. P.; MACIEL, A. E. S.; SANTOS, D. C.; MARES, E. K. L.; OLIVEIRA, G. R.; BITTENCOURT, J. A.; OLIVEIRA, J. S. **Remoção de metais de águas superficiais usando carvão vegetal de Açai (*Euterpe oleraceamarf*) Guimarães, Portugal.** In: XIII International Conference on Engineering and Technology Education, 397-401. 2014.

SEBRAE. **Simpósio debate produção de pequenas frutas.** Agência Sebrae de Notícias – RS, 2008. Disponível em: <[sebraers.interjornal.com.br/noticia\\_pdf.kmf?noticia=7587763](http://sebraers.interjornal.com.br/noticia_pdf.kmf?noticia=7587763)>. Acesso em 16 de setembro de 2018.

SGANZERLA, Marla. **Caracterização físico-química e capacidade antioxidante do butiá.** 2010. 107f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, T. J.; MORI, A., F.; LINO, A. L. **Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal.** CERNE, 7 (2), 104-114. 2001.

## USO DE RESÍDUOS DE CELULOSE NA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

### **Genyr Kappler**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos/  
UNISINOS, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, São Leopoldo – RS

### **Carlos Alberto Mendes Moraes**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos/  
UNISINOS, Programas de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, e Engenharia Mecânica, São  
Leopoldo – RS

### **Regina Célia Espinosa Modolo**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos/  
UNISINOS, Programas de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil e Engenharia Mecânica, São  
Leopoldo – RS

### **Juliana Damasio Waschevicz**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos/  
UNISINOS, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica, São Leopoldo – RS

**RESUMO:** Os impactos ambientais impostos pela atividade antrópica têm crescido nas últimas três décadas e intensificar nos próximos 20 anos. Entre as questões mais alarmantes estão o aumento da geração de resíduos, o consumo de energia e a relevância na gestão das águas (OECD, 2002). Um dos maiores desafios da sociedade moderna está centrada na geração e fornecimento de energia elétrica. Um dos elementos que mais tem contribuído para o crescimento desta demanda é a climatização de ambientes residenciais e comerciais, sendo

que os países em desenvolvimento tendem a responder pela maior parte do crescimento. A maneira mais eficiente de se economizar energia é evitando o seu consumo, desta forma, fazer o reaproveitamento de matéria prima já beneficiada pode reduzir a demanda por energia, bem como evitar a extração de novos recursos. Observa-se que diversos países utilizam materiais celulósicos como isolante térmico e que estes apresentam bom desempenho relativamente ao isolamento térmico e acústico. Kappler et al., (2015) propuseram o uso de resíduos celulósicos da indústria gráfica com carga de resíduos da indústria moveleira, ou seja, resíduos de papel misturados com pó e serragem de MDF (*Medium Density Fiber*) formando um compósito. Como demonstrado pelos autores, o uso destes materiais permite a valorização dos resíduos em novos produtos e processos, permitindo ainda a redução no consumo de energia elétrica para climatizar ambientes. A simulação realizada com o uso do *software EnergyPlus®* mostra o quanto de energia podese evitar consumir para manter uma edificação na temperatura de conforto desejada para o clima da região de Porto Alegre, Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reciclagem, Climatização, Eficiência energética.

**ABSTRACT:** The environmental impacts

imposed by anthropic activity have increased over the last three decades and tend to intensify over the next 20 years. Among the issues of greatest concern are the growth of waste generation, increased energy consumption and water management (OECD, 2002). One of the greatest challenges of modern society is centered on the generation and supply of electricity. One of the aspects that have contributed most to the growth of this demand is conditioning the air of residential and commercial environments, where the developing countries tend to account for most of the growth. The most efficient way to save energy is to avoid its consumption, thus, reusing raw material already benefited can reduce the demand for energy as well as to avoid the extraction of new resources. It was observed that several countries use cellulosic materials as thermal insulation and that it presents excellent characteristics of thermal and acoustic insulation. Kappler et al., (2015) proposed the use of cellulosic waste from the printing industry mixed with waste from the furniture industry, that is, paper waste mixed with powder and sawdust of MDF-(Medium Density Fiber), forming a composite. The use of these materials allows the valorization of solid wastes by creating new products and processes, as demonstrated by the authors, while still allowing the reduction in the consumption of electric energy to conditioning the air in the buildings. The simulation performed with EnergyPlus® software shows how much energy use can be avoided to keep the temperature of a building at the desired comfort temperature for the climatic condition of Porto Alegre, Brazil.

**KEYWORDS:** Recycling, Air-conditioning, Energy efficiency.

## 1 | INTRODUÇÃO

A urbanização e o processo migratório para as urbes têm se intensificados a partir do século XVIII com a Revolução Industrial. O aperfeiçoamento do mercado de consumo e a busca por melhor qualidade de vida têm imposto uma sobrecarga na extração de recursos naturais, no consumo de energia e na geração de resíduos, gerando a atual crise ambiental (VLIET *et al.*, 2005) e (SCHUETZE *et al.*, 2013). A depleção dos recursos naturais e a contaminação dos ecossistemas têm posto em xeque a manutenção do desenvolvimento econômico da sociedade e a sustentabilidade da produção industrial, evidenciando a necessidade de uma gestão ambiental mais eficiente e responsável (DIAS, 2010).

A partir do século XVIII o homem passa a produzir substâncias de natureza sintética, que somado ao crescimento demográfico potencializou a degradação do meio ambiente. Com isso a concentração de poluentes sólidos, líquidos e gasosos se intensificou a ponto de exceder a capacidade de suporte dos ecossistemas para determinadas substâncias (SEIFFERT, 2010). Autores como Vliet (2005), Schuetze (2013) e Seifert (2010) têm buscado advertir a sociedade, seus gestores e a classe empresarial sobre a forma como as atividades industriais e a expansão urbana vêm se desenvolvendo e da necessidade da adoção de modelos de menor impacto ambiental.

O modelo de mercado altamente competitivo impõe barreiras ao setor produtivo, que se mostra reticente quanto à adoção de processos mais eficientes, principalmente devido ao custo de mudanças estruturais e tecnológicas, optando por manter o modelo do qual detém domínio em detrimento do mais eficiente, fazendo-se necessária a adoção de regulamentações por parte do Estado. Ainda assim, entre a busca de um resultado ótimo e o simples cumprimento de normas restritivas, a adoção de novos processos, produtos, formas de descarte e reincorporação de resíduos na cadeia produtiva são alternativas interessantes e que trazem bons resultados econômicos e ambientais. McDonough, 2008, acrescenta que, se existe uma solução ela reside no design do sistema produtivo e de produtos. Portanto, deve-se repensar todo o sistema do produzir para descartar, para um processo de ganho contínuo de produção em ciclo fechado, no lugar de apenas externalizar os impactos negativos.

A construção civil é apontada como um dos setores mais impactantes do ponto de vista ambiental, sendo um dos motivos o elevado consumo de energia para produzir alguns de seus materiais empregados no setor e a energia elétrica consumida nas edificações. Estudos de ACV destacam que a etapa operacional é a mais impactante em relação ao consumo de energia em edificações habitacionais (CALDAS *et al.*, 2016). Segundo dados do Balanço Energético Nacional BEN, 2014, foi observado que as edificações habitacionais brasileiras são responsáveis por um consumo de 24,2% de toda energia elétrica brasileira. Muitos pesquisadores afirmam que a utilização de isolantes térmicos no envelope da edificação origina uma redução do consumo de energia em razão da diminuição da utilização do sistema de condicionamento de ar. Este fato está relacionado com a diminuição da carga térmica, pois os isolantes térmicos têm a capacidade de diminuir o fluxo de calor que atravessa as paredes, cobertura e piso (GABRIELLI, 2014).

A introdução de tecnologias que busquem a eficiência energética e viabilizem a redução do consumo de energia por meio da adoção de técnicas construtivas mais eficientes dependem de políticas públicas e modelos de mercado que incentivem a mudança no comportamento dos consumidores. Um dos fatores mais limitantes para se construir habitações com maior eficiência energética é o custo dos materiais usados na confecção do envelope, por serem materiais mais nobres. A reciclagem de materiais celulósicos possibilita seu uso na construção do envelope de edificações, melhorando sua eficiência energética (KAPPLER *et al.*, 2015). Estes autores salientam que a celulose é um excelente isolante térmico utilizado desde a década de 40 por países do norte. O uso de material celulósico proveniente de resíduos da indústria moveleira e da indústria gráfica como isolante térmico se mostra uma alternativa de reciclagem relevante, redirecionando estes materiais de aterros e aripes para novos mercados, lhes conferindo valor comercial e minimizando o impacto ambiental.

Com este artigo se pretende demonstrar que materiais reciclados da indústria podem ser utilizados na confecção do envelope de edificações residenciais. A recuperação destes materiais, além de promover um incremento em sua cadeia de

valores, ainda proporciona um ganho energético pela energia evitada na climatização de habitações.

## 2 | OBJETIVO

Demonstrar, através de simulação computacional com o uso do programa *EnergyPlus*<sup>®</sup>, que materiais reciclados como o pó do lixamento e serragem de MDF da indústria moveleira e resíduos de papel da indústria de impressão podem ser utilizados na confecção do envelope de edificações habitacionais melhorando seu desempenho térmico, podendo reduzir o consumo de energia elétrica para fins de climatização.

## 3 | METODOLOGIA

A simulação computacional permitiu observar a carga térmica requerida por uma residência popular de 50,25 m<sup>2</sup>, comparando duas envoltórias diferentes. Foram quantificadas as cargas térmicas necessárias para climatizar a habitação pelo período de um ano. A quantificação foi obtida pela subtração dos resultados destes dois modelos comparativos utilizando a simulação computacional: Carga térmica com o uso de isolamento de celulose subtraída da carga térmica com o uso de alvenaria tradicional. As simulações permitiram mensurar a carga térmica evitada ao se climatizar uma habitação que utiliza isolamento celulósico.

### 3.1 Simulação no programa *EnergyPlus*<sup>®</sup>

O programa *EnergyPlus*<sup>®</sup> fornece os mecanismos de modelagem aplicados a análise dos materiais utilizados na construção para a simulação da carga térmica. Ele é uma coleção de muitos módulos de programa que trabalham juntos para calcular a energia necessária para aquecimento e resfriamento de um edifício usando uma variedade de sistemas e fontes de energia. Ele faz isso simulando o edifício e sistemas de energia associados quando eles estão expostos a diferentes condições ambientais e operacionais. A simulação da carga no edifício é baseada em princípios de equilíbrio térmico fundamentais.

### 3.2 Isolante térmico de celulose

O isolante proposto é fabricado a partir de resíduos industriais e urbanos, constituído de uma mistura de resíduos de papel jornal triturados, oriundos do processo produtivo da indústria gráfica e dos pós consumo, com pó de serragem e de lixamento do MDF, resultantes da fabricação de móveis. A mistura recebe ainda componentes químicos para evitar insetos, bem como para torná-lo inerte ao fogo com a adição de cargas minerais retardantes de chama como por exemplo compostos halogenados



de bromo (KAPPLER *et al.*, 2015). É um material de pouca densidade, em torno de  $80 \text{ kg m}^3$ , e com condutividade térmica em torno de  $0,039 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$  de acordo com a literatura (FERREIRA, 2012).

### 3.3 Habitação popular

Para a simulação computacional dos dois modelos de envoltória se utilizou o projeto de uma edificação popular do programa Minha Casa Minha Vida, do governo Federal (Planos Casas, 2016), que tem área total construída de  $50,25 \text{ m}^2$ , Figura 1.

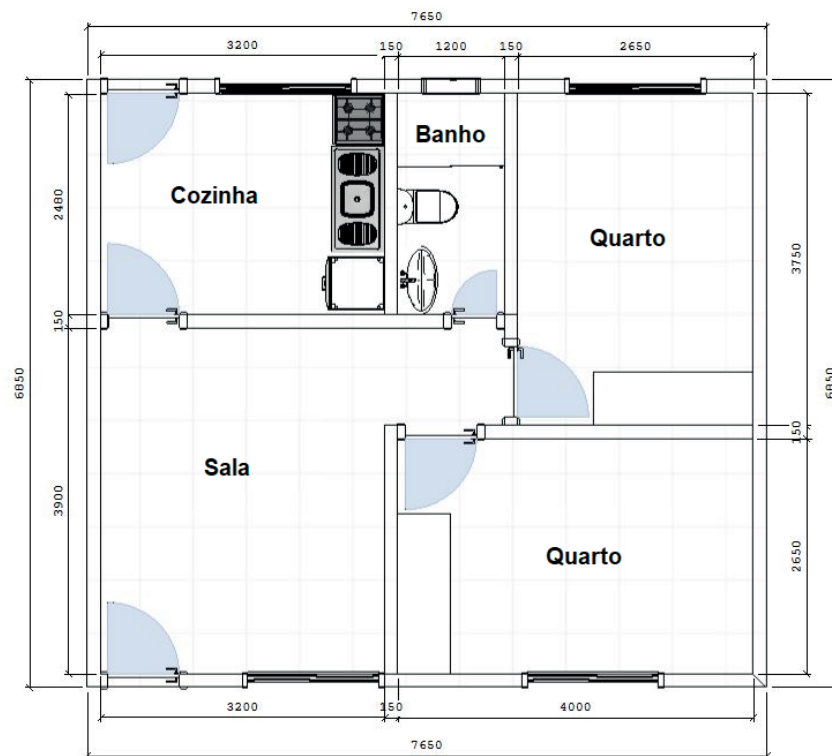


Figura 1: Planta baixa de residência unifamiliar Minha Casa Minha Vida. Fonte: Planos Casas

### 3.4 Configuração e limites do sistema

As simulações computacionais foram feitas para o período de um ano, com a temperatura interna da edificação configurada para o valor mínimo de  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  no Inverno e máximo de  $26 \text{ }^\circ\text{C}$  no Verão. Foram avaliados dados em intervalos de uma hora durante as 8760 horas do ano. Não se considerou o modelo ou tipo do equipamento, sendo consideradas apenas as cargas térmicas necessárias para a manutenção da temperatura dentro dos limites pré-estabelecidos. A taxa de ocupação da residência foi estipulada em 0,1 pessoas por  $\text{m}^2$ , que é o resulta da quantidade de pessoas selecionadas, no caso 5 pessoas, dividido pela área da casa. Não foram consideradas formas de ventilação com o meio externo ou de renovação do ar para as simulações.

Na primeira simulação o modelo foi configurado com as paredes da envoltória com as faces externas compostas por chapas de fibrocimento, e as faces internas revestidas com chapas de gesso acartonado. O espaço entre as paredes é preenchido

com isolamento térmico de celulose reciclada. As paredes internas são compostas por duas chapas de gesso acartonado e para todas as janelas foi considerado o uso de vidro duplo.

Na segunda simulação utilizou-se um modelo com as paredes externas em alvenaria de tijolos com cobertura de argamassa em ambos lados e janelas tradicionais, que usam um vidro apenas. As paredes internas foram compostas por duas chapas de gesso acartonado. A Tabela 1 mostra as principais características dos materiais utilizados na confecção do envelope.

Material	Rugosidade	Espessura (m)	Condu-tiv. tér-mica (W/(m.K))	Massa especí-fica (kg/m <sup>3</sup> )	Calor especí-fi-co (J/(kg.K))	Coefficiente de absorção tér-mica
Placa cimentícia	Média	0,01	0,95	2200	840	0,90
Gesso acartonado	Suave	0,015	0,35	1000	840	0,90
Isolante celulósico	Áspero	0,175	0,039	80	2.200	0,40
Argamassa	Áspero	0,01	1,15	2100	1000	0,90
Concreto (Laje de piso e de cobertura)	Áspero	0,12	1,75	2400	1000	0,90
Piso cerâmico	Média	0,01	0,90	1600	920	0,90
Cobertura de fibrocimento	Média	0,006	0,95	1800	840	0,50
Tijolo	Média	0,20	0,90	1600	920	0,90
Vidro	Suave	0,003	0,90	2500	670	0,90

Tabela 1: Características dos materiais da envoltória

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação mostrou que o uso da envoltória fabricada com placas cimentícias e gesso acartonado preenchidas com celulose reciclada reduzem a troca de calor com o ambiente externo quando comparada com a de blocos cerâmicos. Na simulação foi quantificada a energia elétrica necessária para que um equipamento de ar condicionado mantivesse a temperatura da edificação popular entre os valores mínimos de 18 °C para o inverno e máxima de 26 °C para o verão, considerando todos demais parâmetros iguais.

Sabe-se que a troca de calor pelas janelas tem um importante impacto nas taxas de transferência com o meio externo, porém não se quantificou este dado em separado, sendo que foram usados os mesmos parâmetros para evitar outra variável. A ventilação com renovação de ar, ou seja, trocas de ar entre ambiente interno e externo, também pode ser utilizada em aplicações reais tirando proveito das melhores condições de temperatura do ar do ambiente externo, podendo se reduzir ainda mais a carga térmica para a climatização. A título de experimento, para não incorporar esta

variável no cálculo, não se considerou esta condição.

A Figura 2 mostra o comparativo das potências elétricas consumidas em kWh/ano para aquecimento e refrigeração para os dois tipos de envoltória. Para a condição que simula o uso de paredes externas confeccionadas com blocos cerâmicos revestidos com argamassa, o consumo anual de eletricidade para suprir a carga térmica foi de 5.343 kWh no período, enquanto que a simulação desta habitação substituindo a envoltória de suas paredes externas com a placa cimentícia e gesso acartonado preenchidos com o isolante térmico celulósico, a demanda estimada de energia elétrica foi de 4.816 kWh. Isso representa uma economia de 527 kWh por ano em média. Dos valores observados, cerca de 80% da energia é usada na refrigeração e os 20% restantes no aquecimento para ambos os casos. A carga térmica evitada pode gerar uma economia anual de R\$392,00 de acordo com uma simulação de valores obtida pelo site da CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica – Rio Grande do Sul) para o período de bandeira verde, valor equivalente em reais para o mês de abril de 2017.

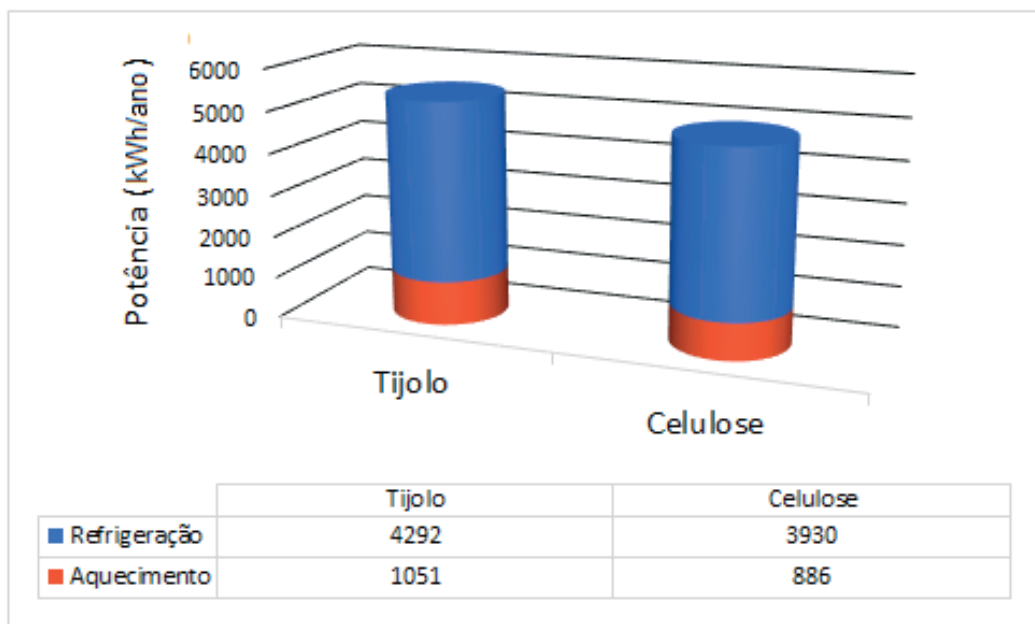


Figura 2: Comparativo do consumo de eletricidade total anual entre as duas envoltórias

## 5 | CONCLUSÃO

A simulação demonstra que edificações que utilizam isolamento térmico em sua envoltória possibilitam reduzir a carga térmica para a climatização em 9,9% no período de um ano. Esta redução da carga térmica pode ser ampliada ao se integrar a este modelo técnicas de ventilação e renovação de ar que considere que o ar que é admitido ocorra em horários em que sua temperatura esteja mais adequada para a manutenção da temperatura desejada.

É importante observa-se que a economia no consumo de energia é um fator relevante por se tratar de uma economia que se estende ao tempo total de uso da

edificação. Entretanto, o uso de materiais celulósicos reciclados da indústria pode atingir um mercado novo para estes resíduos, fomentando uma cadeia de valores entre as indústrias moveleiras, gráficas e de construção civil, numa estreita relação simbiótica.

O uso de celulose reciclada como isolante térmico não é um conceito atual, mas a incorporação de resíduos de serragem e de lixamento do MDF é uma proposta atual e pode colaborar nesta cadeia de valores, trazendo economia para a indústria e fomentar novos mercados.

Apesar do escopo deste trabalho não contemplar aspectos de ordem econômica, acredita-se que o uso desta técnica possa viabilizar, técnica e economicamente, a construção de edificações populares com maior conforto térmico e com menor impacto no consumo e geração de energia elétrica para climatização e minimizar impactos negativos ao evitar o descarte de resíduos celulósicos como MDF e da indústria gráfica.

## AGRADECIMENTOS

Pelo apoio financeiro, provido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que possibilitou a realização desta pesquisa, e as bolsas de mestrado, de pós-doc, e de pesquisador DT dos autores.

## REFERÊNCIAS

MME (Ministério de Minas e Energia), (2014), Balanço energético nacional (BEN) 2014: Relatório Síntese ano base 2013. Brasília DF.

Caldas, Lucas; Pedrosa, Gilson; Sposto, Rosa Maria. Avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) de uma habitação: Estudo para diferentes cenários considerando as etapas do berço ao túmulo. Disponível em <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.191/6012>. Acesso em 26/03/2017.

CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica. Simulador do valor da conta. Disponível em <http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=1248>. Acesso em abril de 2017.

Dias, Reinaldo. Gestão Ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade/Reinaldo Dias. – 1.ed.-7. reimp. -São Paulo: Atlas, 2010. 196 p.

FERREIRA, Rodrigo Manoel Aguiar. Análise da envoltória de um edifício residencial construído em sistema não-convencional no contexto brasileiro. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012. 74 p.

Gabrielli, Ana Luiza Angrimani Norris. Isolamento térmico e conforto ambiental em edifícios residenciais na região sudeste do Brasil: Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e a amplitude térmica interna. CONIC-SEMESP, São Paulo, 2014. 11 p.

Kappler, G., Damasio, J.K., Sousa, S.L., Moraes, C.A.M., Dias, J.B., Wander, P.R. Uso de resíduos industriais na produção de isolante térmico e acústico para edificações sustentáveis: uma relação

simbiótica entre as empresas envolvidas. 6º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. São Paulo, 2015.

Mcdonough, W.; Braungart, M. Cradle to Cradle: remaking the way we make things. London, UK: Vintage, 2008. 199 p.

OECD (Organization for co-operation and development), (2002), Towards Sustainable Household Consumption?: Trends and Policies in OECD countries, OECD, Paris. Apud Vleit, 2005. DOI:<http://dx.doi.org/10.1787/9789264175068-en>

PLANOS CASAS. Plantas de casas populares. Disponível em:

<<http://planoscasas21.blogspot.com.br/2016/01/plantas baixas de casas populares.html>>. Acesso em out. 2016.

Schuetze, T., Lee, T., Lee, J. Sustainable Urban (re-)Development with building integrated energy, water and waste system. Sustainability, 2013. ISSN 2071-1050, doi:10.3390/su5031114.

Seifert, M. E. B. Gestão ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental. 1. ed. São Paulo, Brasil: Atlas, S/A, 2010. 328 p.

Vliet, B. V.; Chappells, H.; Shove, E. Infrastructures of consumption: environmental innovation in the utility industries. Oxford, UK: Earthscan, 2005. 130 p.



## REJEITOS RADIOATIVOS DO MAIOR ACIDENTE RADIOLÓGICO DO BRASIL

**Lení Maria de Souza**

UniEvangélica – PPSTMA – Anápolis - GO  
lenimsouza1@gmail.com

**Francisco Itami Campos**

UniEvangélica – PPSTMA – Anápolis - GO  
itamicampos@gmail.com

**RESUMO:** Esta pesquisa visa conhecer a história do acidente radiológico ocorrido no ano 1987 no setor central da cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás/ Brasil. Tornou-se conhecido como “Césio 137” e foi considerado o maior acidente radiológico envolvendo fonte radioativa em hospitais do mundo. A ignorância dos protagonistas, a negligência dos proprietários da clínica, inclusive, excluídos da relação jurídica processual conforme íntegra da sentença que condenou parcialmente o CNEN pela ineficiência de seus agentes em fiscalizar e monitorar. Objetiva a análise das medidas tomadas pelas autoridades logo após o acidente e a longo prazo, para segregação, armazenamento e construção do depósito definitivo. Analisar a logística do lixo produzido durante o procedimento de descontaminação das áreas afetadas, para onde deveriam ser transferidos os rejeitos radioativos e suas implicações. Os dados analisados permitem concluir que as barreiras de engenharia adotadas para a construção do repositório do

lixo radioativo, nestes 30 anos de segregação, são eficazes e eficientes para manter a segurança do homem e do meio ambiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Césio 137, Rejeitos radioativos, Resíduos perigosos.

**ABSTRACT:** This research aims to know the history of the radiological accident occurred in 1987 in the central sector of the city of Goiânia, capital of the state of Goiás / Brazil. It became known as “Cesium 137” and was considered the largest radiological accident involving radioactive source in hospitals of the world. The ignorance of the protagonists, the negligence of the owners of the clinic, even, excluded from the process relationship as integral of the sentence that partially condemned the CNEN for the inefficiency of its agents to supervise and monitor. It aims to analyze the measures taken by the authorities immediately after the accident and in the long term, for segregation, storage and construction of the final deposit. To analyze the logistics of the garbage produced during the decontamination procedure of the affected areas, to where the radioactive waste should be transferred and its implications. The data analyzed allow us to conclude that the engineering barriers adopted for the construction of the radioactive waste repository, in these 30 years of segregation, are effective and efficient in maintaining the safety of man

and the environment.

**KEYWORDS:** Cesium 137, Radioactive waste, Dengerous waste.

“Eu me apaixonei pelo ‘brilho da morte’”.

Devair Alves

## 1 | INTRODUÇÃO

Precipuaente esta pesquisa visa avaliar a história do acidente radiológico ocorrido no ano 1987 no setor central da cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás/ Brasil. Referido acidente, amplamente divulgado pela mídia, tornou-se conhecido mundialmente como “Césio 137” e foi considerado o maior acidente radiológico envolvendo fonte radioativa em hospitais do mundo, em tempos de paz.

Analisar a logística de todo o lixo produzido durante o procedimento de descontaminação das áreas afetadas, para onde deveriam ser transferidos os rejeitos radioativos e suas implicações.

O acidente com Cs-137 causou muita dor, tristeza, medo, discriminação das vítimas e cidadãos goianos, pelo simples fato residir em Goiânia. Houve várias restrições aos produtos goianos tanto no mercado nacional como internacional, fato que gerou prejuízos à economia goiana.

Foram meses de angústia, desinformação, insegurança e comoção pelas vítimas que se encantaram com o “brilho azul” (R. Césio 25 anos) que acreditavam ter encontrado algo sobrenatural, fantástico, todavia, esse brilho às levaram a morte, deficiências físicas, rejeições e preconceito. Assunto largamente tratado pelos jornais e revistas, da época.

## 2 | OBJETIVO

Este trabalho visa análise dos procedimentos adotados após o acidente, relativamente aos rejeitos contaminados logo após a violação da capsula de Césio 137, inclusive, questões políticas, ambientais e legislação pertinente, sem deixar de olhar para as vítimas dessa tragédia.

Contribuir para o aprofundamento teórico do caso em tela, principalmente neste ano, que se completa 30 (trinta) anos do referido sinistro.

Visa divulgar para prevenir a ocorrência de outros acidentes desta natureza.

### 3 | METODOLOGIA

Apesquisa foi desenvolvida apoiada em matérias produzidas pela imprensa, jornais da época, sites governamentais, sites de Associações de vítimas e documentação arquivada na biblioteca da CNEM em Abadia de Goiás, sentença e acórdão proferidos na ação civil pública, dissertações de mestrado e teses de doutorado, óbvio que não esgotadas todas as publicações. Bem como visita ao repositório para conhecer e averiguar a rotina de monitoramento do depósito.

### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### HISTÓRIA

No dia 13 de setembro de 1987, dois catadores de material reciclável, por desinformação e total desconhecimento das consequências do ato, retiram de uma clínica médica abandonada e em ruínas, nominada Instituto Goiano de Radiologia – IGR, situada entre as Avenidas Tocantins e Paranaíba, no Centro de Goiânia-GO, um aparelho de radiologia, que era utilizado para tratamento do câncer e pesava aproximadamente 200 quilos. A unidade fora negligentemente esquecida dentre os escombros do que seria o Instituto de Radiologia “a cápsula não foi objeto de nenhum ato de fiscalização da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)” durante três anos de abandono, ou seja, de 1985 a 1987. (VIEIRA, 2013)

Referidos trabalhadores estavam interessados apenas no dinheiro que poderiam obter com a venda das peças. Vendida para um ferro velho. Encantados pelo “brilho azul” produzido pelo pó de césio levaram-no para suas casas e distribuíram entre amigos. Leide das Neves, acidentalmente, ingeriu pequenos fragmentos, sendo esta a primeira vítima fatal, uma menina de seis anos de idade, sobrinha de um dos donos do ferro velho. A imagem da menina tornou-se símbolo da luta dos contaminados e irradiados por reconhecimento de seus direitos e tratamentos adequados. Dezesesseis dias depois a peça que continha o material radioativo foi transportada em um ônibus coletivo até a sede da vigilância sanitária, deixando para trás uma trilha de contaminação. (CHAVES, 1998) A partir da constatação de que o brilho azul se tratava de Césio 137 (cloreto de Césio) começou a operação de limpeza e descontaminação das áreas e pessoas afetadas.

*“Parecia uma operação de guerra. Os caixões revestidos de chumbo pesavam cerca de 700 quilos cada um e foi preciso um guindaste para levá-los à sepultura. Houve manifestação de centenas de moradores vizinhos ao Cemitério Parque na tentativa de impedir o enterro das vítimas, um dos momentos de grande comoção da história do povo goiano”. Entrevista concedida por Antônio Faleiros. (R. Césio 137, 25 anos)*

Como bem observou (SILVA, 2007) os aniversários de desastres normalmente, em

sua maioria, seguem os moldes dos demais aniversários, portanto, não seria diferente com o maior acidente radiológico do mundo, próximo a completar três décadas em setembro, o assunto volta a ser manchete nos jornais e as vítimas outrora esquecidas passam a ser notícia novamente. As associações das vítimas civis e militar lançaram o Fórum permanente sobre o acidente com Césio 137, trinta anos depois, no auditório da Assembleia Legislativa de Goiás. Na oportunidade o especialista em questões nucleares, Sérgio Dialetachi afirmou que “as vítimas não são pobres coitados. São vítimas da omissão do Estado brasileiro”. Disponível em [www.opopular.com.br](http://www.opopular.com.br)

## II ADMINISTRAÇÃO DOS REJEITOS RADIOATIVOS

Acidente envolvendo apenas 19.26 gramas de Césio 137 (cloreto de Césio) produziram rejeitos na proporção de seis mil toneladas, acondicionadas em: 1.347 caixas metálicas; 4.223 tambores comuns de 200 litros; 10 contêineres marítimos e 8 recipientes de concreto.

Fonte: “um cilindro metálico 3,6cm de diâmetro e 3,0cm de altura, em seu interior havia pó de cloreto de césio empastilhado, juntamente com um aglutinante e a atividade da fonte era altíssima (cerca de 1375 curies). Calcula-se que a fonte violada liberou uma massa de 90g, sendo 20g de cloreto 137 Cs.” (PERUZZO, 2012, p. 263)

Para se entender melhor o Curie é uma unidade de radioatividade (desintegração por segundos). Posteriormente substituída por Bequerel (Bq). A Atividade de 1g de Césio 137 é de cerca de 87 Ci.

Após a descontaminação dos pontos onde se espalhou o cloreto de Césio, necessário seria a remoção dos rejeitos para local distante das áreas habitadas, inclusive, longe de mananciais de águas e trânsito de pessoas. Desta forma, estando apenas a 25 quilômetros de Goiânia foi escolhido o povoado de Abadia de Goiás para depósito provisório. Travaram-se lutas políticas entre o governo do estado e governo federal, nenhum município queria receber os rejeitos.

Por razão da logística, o local não poderia ser muito longe da capital, tendo em vista que não poderia haver riscos durante o transporte dos rejeitos. Mesmo sobre protestos dos moradores locais, Abadia de Goiás foi designada como local provisório para o depósito dos rejeitos.

O Brasil é signatário da Convenção de Basiléia sobre o controle de Movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e seus depósitos, ratificada através do Decreto 875/1993 e do Decreto nº 4.581/2003 que promulga emendas à Convenção. A Convenção de Basiléia gerou um sistema de controle sobre o transporte de resíduos perigosos, que importa dizer, que tais resíduos devem ser gerenciados o mais próximo possível do lugar sua geração. (NONNA, 2011)

Declaração do Rio de Janeiro em junho de 1992 reafirma a convenção de Estocolmo de junho de 1972, com objetivo de estabelecer alianças mundiais a fim de proteger a integridade dos sistemas ambientais.

“Os objetos pessoais, as ruínas das casas, relíquias de família, animais domésticos, tudo o que constituía o patrimônio dessas pessoas foi transformado em lixo radioativo e enterrado em um depósito de rejeitos radioativos” (VIEIRA, 2013). A CNEN Considera-se rejeito radioativo “todo e qualquer material resultante de atividades humanas, que contenha radionuclídeos em quantidades superiores aos limites estabelecidos pela CNEN, cuja reutilização é imprópria ou não prevista”. (CNEN, 2001). Tudo que esteve em contato com o pó de Césio se tornou rejeitos, com diferentes níveis de radiação, foram acondicionados em embalagens especiais, seguindo procedimentos técnicos a fim de viabilizar uma blindagem para garantir a estabilidade e durabilidade dos rejeitos embalados.

A tabela 1.1 Apresenta rejeitos radioativos divididos em três classes básicas

GRUPO	TIPO DE MATERIAL RECOLHIDO	% EM VOLUME TOTAL
1	Solo removido, entulho, pequenas peças metálicas.	85%
2	Papel, plásticos e tecidos em geral (roupas, etc.)	11%
3	Orgânicos: carcaça de animais, frutos e madeira.	4%

Tabela 1.1 rejeitos radioativos divididos em três classes básicas.

Fonte: relatório – 11-784- E7jpe-001, p. 3

Em princípio, o confinamento do material radioativo é a única forma de impedir os efeitos prejudiciais sobre a saúde humana e ao meio ambiente. (EIA/RIMA, 1994, p. 41). Os rejeitos gerados foram classificados em baixo e médio nível de radiação, essa divisão se fez necessária e imprescindível para determinar o tempo de decaimento da atividade radioativa com o passar do tempo. Foram armazenados no Depósito Provisório e divididos em cinco grupos.

Tabela 1.2 Apresenta o tempo de decaimento da atividade radioativa.

GRUPO	TEMPO DE DECAIMENTO NECESSÁRIO	QUANTIDADE DE CAIXAS METÁLICAS
1	0 anos	404
2	>0 anos <=90 anos	356
3	>90 anos <=150 anos	287
4	>150 anos <=300	275
5	>300 anos	25
TOTAL		1347

Tabela 1.2 Tempo de decaimento da atividade radioativa dos rejeitos de Goiânia.

Fonte: EIA/RIMA – EMOP - CNEN

O Presidente da República na época José Sarney enviou ao Congresso Nacional um projeto de lei no qual regulava que o lixo deve ser responsabilidade de quem o produzisse. “*O acidente com o Césio 137 foi nefasto para os goianos e na época o mundo se mostrou despreparado para lidar com o problema*”. Desabafo do então



governador Henrique Santillo. (R. Césio 137, 25 anos).

A CNEN, responsável pela fiscalização e monitoramento do depósito provisório, sempre alegava que estava tudo sob controle e dentro da normalidade no depósito provisório em Abadia de Goiás. Porém, foram efetuadas várias denúncias de vazamentos. Em 1991 foi realizado pela CNEM um novo empacotamento do lixo radioativo ainda no depósito provisório tendo em vista as denúncias de irregularidades. (BARBOSA, 2009).

Os relatórios técnicos de análise e controle produzidos pela CNEN demonstram que não houve nenhum tipo de vazamento. Os tambores de duzentos litros que apresentavam corrosão porque estavam expostos foram sistematicamente colocados em caixas metálicas. (EIA/RIMA emissão final em 18.03.94)

Circunstância corroborada pelo depoimento dos servidores que exercem a fiscalização do local, como observou Sr. Marcos Antônio Pereira da Silva, Assistente de ciência e tecnologia, funcionário da CNEM, informando que ao contrário do que fora publicado pela imprensa, não existe registrado nenhum vazamento ou qualquer tipo incidente no depósito provisório, respaldado pelo Relatório de avaliação de segurança do Repositório de Goiânia. Parecer técnico COREJ N° 01/96.

### **III ESCOLHA DO LOCAL DEFINITIVO PARA DEPOSITAR OS REJEITOS**

Para designar a melhor localização para o depósito definitivo, o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, documento proveniente de um amplo Estudo de Impacto Ambiental – EIA realizado pela empresa de obras públicas de Goiás – EMOP, tornou-se peça chave para garantir a eleição da área próxima ao local onde situava o depósito provisório. Assim foi construído o repositório, cuja publicidade se deu através de audiência pública. Disponível para consulta na CNEN.

O local escolhido foi a área de um terreno de 300 metros por 300 metros, situado a 400 metros de onde fora o depósito provisório. Não suscetível a terremotos, bastante improvável, projetado para suportar terremotos em uma magnitude sete na escala Richter, inclusive, igualmente projetado para suportar o impacto da queda de uma aeronave de grande porte que em nada prejudicaria sua estrutura.

O trabalho para preparação do depósito definitivo foi longo, trabalhoso, porém, satisfatório. Necessário o nivelamento do terreno e fundação, remoção de terras impróprias, impermeabilização superficial do solo com asfalto, a fim de possibilitar a colocação das plataformas de concreto, numa espessura de cinquenta centímetros. Concretadas as plataformas procedeu-se a impermeabilização, com adesivo de base acrílica e cimento cristalizante, de maneira a se promover o fechamento das fissuras e porosidades normais do concreto, a fim de bloquear à penetração de líquidos superficiais. Construída na parte baixa do terreno uma barragem para evitar inundação das plataformas em caso de chuvas contínuas. (EIA/RIMA, 1994, p. 51)

Repositório basicamente é formado por “uma grande estrutura de concreto,

semelhante a uma caixa”, funcionando como uma barreira blindada. Uma vez preenchido e fechado, o bloco de concreto foi recoberto por várias camadas sucessivas de concreto, com a finalidade de formar uma capa e evitar a penetração de água. A última camada é formada de solo vegetal, recoberto de gramínea. (EIA/RIMA,1994) O repositório assim como o contêiner de grande porte tem a aparência de dois grandes morros. (Imagem 1)

Somente nove anos depois do acidente foi inaugurado o depósito definitivo, localizado no Parque Estadual de Abadia de Goiás, Parque Telma Ortegal.

Os rejeitos do acidente com Césio 137 foram dispostos em 08 embalagens de concreto. Os restos da fonte de CS-137 devem permanecer isolados por no mínimo 300 anos. CNEN é órgão responsável pelo monitoramento, fiscalização e conservação do depósito.



Imagem 1 - Apresenta a fotografia do repositório do Césio 137 em Abadia de Goiás.

Parque Telma Ortegal. Abadia de Goiânia - Arquivo pessoal dos autores

Fonte: Fotografia tirada em 19/04/2017 – visão da torre de vigilância - CNEN.

#### **IV DISPOSIÇÃO FINAL DOS REJEITOS**

As 19,26 gramas de cloreto de césio que se encontravam na cápsula da unidade de teleterapia, violada, geraram seis mil toneladas de rejeitos radioativos de nível baixo e médio.

Os tambores de 200 litros, acondicionados provisoriamente foram classificados por grupo conforme tabela acima.

Grupo 1 que não oferecem riscos à vida humana e ao meio ambiente foram acondicionados em um Contêiner de Grande Porte (CGP) totalizando 40% dos rejeitos radioativos, construído com as mesmas normas de segurança do repositório.

Grupos 2 e 3 foram reencapsulados em embalagens cilíndricas de concreto.

Grupos 4 e 5 foram reencapsulados em embalagens cilíndricas metálicas.

Os restos da fonte de Césio-137, recuperados, já embalados em concreto, foram reencapsulados em uma embalagem metálica especial e envolvidos por uma argamassa de cimento e um material isolante, chamado bentonita.

A caixas metálicas foram preenchidas com argamassa de cimento e bentonita. Todas as caixas foram pesadas. A fim de evitar danos as estruturas de concreto

Durante o procedimento de descontaminação das áreas afetadas foram gerados rejeitos líquidos, a exemplo da água do banho das pessoas envolvidas nos trabalhos, das vítimas, e descontaminação de objetos. Foi necessário retirar todo conteúdo de uma fossa sanitária, uma vez que uma pequena parte do cloreto de césio fora descartado no vaso sanitário. Para evitar evaporação dos líquidos os recipientes antes de entrarem na área de descontaminação recebiam uma camada de cimento seco, depositada no fundo dos mesmos, com a finalidade de solidificar qualquer eventual líquido livre. (Inventário dos rejeitos estocados em Goiânia - CNEN).

TABELA 1.3 Apresenta o tipo e quantidade de embalagens utilizadas para o reencapsulamento.

TIPO DE EMBALAGEM	QUANTIDADE	GRUPO
Caixa metálica	963	2 e 5
Embalagem cilíndrica de concreto com tambores metálicos	90	2 e 3
Embalagem cilíndrica metálica com tambores metálicos	16	4 e 5
VBA'S *	8	4 e 5
Embalagem metálica com os restos da fonte de Cs-137	1	5

TABELA 1.3 Tipo e quantidade de embalagens utilizadas para o reencapsulamento.

\*Blindagem de concreto descartável. (Verlorenbetonabschirmung). Alves, 1988. CPI

Fonte: relatório – 11-784- Ejpe 001. p. 39

## V MONITORAMENTO E CONSERVAÇÃO DO REPOSITÓRIO

A partir de setembro de 2000 as análises radiométricas das amostradas ambientais coletadas são realizadas pelo Laboratório de Radioecologia do CRCN-CO e a análise de dosímetros termoluminescentes a cargo da Supervisão de Meio Ambiente e Técnicas Nucleares do CDTN sendo coletadas para análise Água de Superfície, solo e vegetação.

Na realidade todos os componentes ambientais podem ser afetados por contaminação ou exposição à radiação ionizante: solo, água, ar, fauna, flora e particularmente o homem. Os fatores básicos para proteção contra as radiações externa são: tempo de exposição, distância da fonte geradora e blindagem.

No caso dos rejeitos do Cs-137 a blindagem tornou-se fundamental, pois funciona no sentido de “atenuar a intensidade do feixe de radiação, minimizando seus efeitos.

Arvorando-se na única maneira de se evitar possíveis efeitos da emissão de partículas sobre a biosfera. Uma vez que não se pode destruir a radiação. (EIA/RIMA, 1994, p. 111)

Por trezentos anos o repositório do Césio-137 será inviolável e a CNEN cuida diariamente para que permaneça intocável. Além do laboratório para análise das amostras coletadas, foi montada uma estrutura física para abrigar os servidores, onde conta com uma biblioteca com vasto material para pesquisa, com auditório para promoção de palestras. A CNEM diariamente realiza palestras para alunos de todos os níveis escolares, inclusive, para cursos superiores da área de química interessados em conhecer a estrutura da CNEN e os perigos da radiação. A CENEN recebe aproximadamente dez mil alunos por ano.

## **VI NOVOS REJEITOS RADIOATIVOS**

O repositório em Abadia de Goiás foi construído para segregar exclusivamente o lixo radioativo do acidente com o Césio 137, neste caso não existe outro repositório preparado para receber novos materiais radioativos na unidade mencionada, todavia, toda máquina descartada assim que comunicada a CNEN, os técnicos comparecer ao local recolhem o aparelho que é enviado para uma unidade da CDTN em Belo Horizonte, para as providências que se fizerem necessárias.

Os antigos para-raios possuem uma “janela de irídio” fixada na ponta dos mesmos, razão pela qual devem ser encaminhados a referida unidade, onde serão recebidos, embalados e encaminhados igualmente para Belo Horizonte.

## **VII RESPONSABILIDADE DA CNEN**

Mais de doze anos depois foi proferida sentença nos autos da ação civil pública admitindo que o “acidente radiológico foi causado pela violação da bomba de Césio 137, anteriormente abandonada na antiga sede do Instituto Goiano de Radioterapia – IGR”. Reconhecendo a responsabilidade civil por danos ambientais decorrentes de condutas omissivas, O Juiz Federal proferiu sentença em desfavor da CNEN considerando a excepcionalidade do caso e aplicou a teoria da responsabilidade objetiva, por se “tratar de acidente com material sujeito ao monopólio que lhe foi delegado”. Íntegra da sentença disponível em [www.jf.jus.com.br](http://www.jf.jus.com.br).

Segundo relatório da Comissão de meio Ambiente e desenvolvimento Sustentável da Câmara dos Deputados (2006, p, 135) de 1987 até 2004 aconteceram dezesseis acidentes nucleares no Brasil, sendo o mais grave o causado pelo Césio 137. O único a ser levado a apreciação do Superior Tribunal de Justiça.

## VIII LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

DECRETO Nº 40.110, de 10 de outubro de 1956: cria a comissão Nacional de Energia Nuclear, e dá outras providências.

Lei nº 4.118, de 27 de agosto de 1962: dispõe sobre a política nacional de energia.

Lei nº 5740/71, criou a estatal Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN) responsável por desenvolver negociações nacionais e internacionais referentes aos ciclos de combustível nuclear.

Lei 6.189/74, por meio do artigo 18, determinou que CBTN fosse denominada Empresas nucleares brasileiras S.A.

Lei nº 6.229, de 17 de julho de 1975, Ministério da Saúde desenvolverá programas objetivando vigilância sanitária. Artigo 22, XXVI, da Constituição Federal de 1988 “Compete privativamente à União legislar sobre atividades nucleares de qualquer natureza.

Decreto-Lei nº 2.464/88 alterou a denominação de Empresas Nucleares Brasileiras S.A para Indústrias Nucleares do Brasil S.A. INB e determinou a transferência da totalidade das ações de propriedade da União representativas do capital da INB para a Césio.

Lei 10.308/2001. Dispõe sobre a seleção de locais, a construção, o licenciamento, a operação, a fiscalização, os custos, a indenização, a responsabilidade civil e as garantias referentes aos depósitos de rejeitos radioativos.

Lei 12.789/95 criou o parque estadual de Abadia de Goiás – ficando desde já sujeito ao regime especial previsto na Lei de Política Florestal de nº 12.596, de 14 de março de 1995 e Resolução CEMAM nº 01/94.

## 5 | CONCLUSÃO

Dentre tantos acontecimentos, equívocos, negligência, abandono, despreparo das autoridades de vigilância sanitária, o fator principal para ocorrência do acidente com Césio 137 fora a carência de informação e conhecimento dos trabalhadores, que sobreviviam de recolher material reciclável. Foram eles as primeiras vítimas. Aqueles que tudo perderam e que tudo experimentaram. São os menos culpados nessa relação de poder, caracterizada pela negligência dos órgãos que deveriam fiscalizar e monitorar, todavia, não o fizeram, bem como pelos proprietários da máquina de radiologia, que não poderiam abandoná-la nas ruínas do que fora um dia o Instituto de Radiologia, inclusive, tinham a obrigação de comunicar a CNEN sobre o desinteresse pelo respectivo aparelho, conforme a legislação vigente, mas não o fizeram.

Estes fatores somados a omissão do órgão regulador e sensor de atividades que se utilizam de energia atômica ocasionaram a tragédia conhecida como acidente com



Césio 137 em Goiânia que jamais será esquecido e fará parte da história de luta do povo goiano.

Alguns acreditam que o acidente serviu para criar uma regulamentação mais severa, contribuiu para estudos dirigidos e pesquisas a fim de evitar que outras situações semelhantes possam acontecer, inclusive, criaram regras para o órgão sensor e seus agentes que deverão ser cumpridas e comprovadas por estatísticas. Vale, inclusive, como experiência para evitar outros acidentes com resíduos perigosos. Porém, o preço pago foi muito alto, vidas foram ceifadas. Evidentemente poderia ser evitado. Contudo, em nada adianta fazer conjecturas, importa que a lição foi aprendida. É fundamental divulgar para que nunca mais se repita.

Os dados analisados permitem concluir que as barreiras de engenharia adotadas para a construção do repositório do lixo radioativo, em Abadia de Goiás, nestes 30 anos de segregação, são eficazes e eficientes para manter a segurança do homem e do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

AIEA. **Convención sobre la pronta Notificación de Accidente Nucleraes**. Viena. 1986. AIEA (International Atomic Energy Agency). Disponível no site: [www.iaea.org/publications/](http://www.iaea.org/publications/) último acesso em 30/03/2017.

ALVES, Rex Nazaré. CPI – Césio 137 Goiânia. **Relatório do Acidente Radiológico em Goiânia**. Apresentado a Comissão Parlamentar de Inquérito do Senado Federal, em 10 de março de 1988. Disponível em [www.senado.gov.br](http://www.senado.gov.br) página acessada em 09/04/17.

BARBOSA, Tania Mara Alves. **A resposta a acidentes tecnológicos: o caso do acidente radioativo de Goiânia**. Coimbra. 2009. Dissertação de mestrado em Sociologia. Coimbra. 2009. Disponível [www](http://www.estudogeral.sib.uc.pt). Último acesso em 03/04/2017.

BERNARDES, Juliano Taveira – Justiça Federal - Seção Judiciária do Estado de Goiás. 8ª Vara – Processo nº 95.8505-4. Ação Civil Pública: Autor Ministério Público Federal. Réus União Federal, CNEN e outros. Jurisprudência. **Sentença na ação civil pública no caso de acidente radioativo com césio 137 em Goiânia**. [www.jf.jus.com.br](http://www.jf.jus.com.br) último acesso em 31/03/2017.

BRASIL, Goiânia, (Brazil), 8-11. Dec. 1993. **Anais do 2º. Simpósio Internacional sobre o acidente radioativo com césio-137**. Goiânia: Fundação Leide das Neves Ferreira, 1993, p. 23. Disponível em CNEN/CIN. [www.cnen.gov.br](http://www.cnen.gov.br) Último acesso em 31/03/2017.

CHAVES, Elza Guedes. **Atos e Omissões: acidente com o Césio-137 em Goiânia**. Campinas. 1998. Tese de (Doutorado em Ciências Sociais) Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Estadual de Campinas. Disponível em PDF. [www.bibliotecadigital.unicamp.br](http://www.bibliotecadigital.unicamp.br) Página acessada em 09/04/2017.

CNEN. Comissão Nacional de Energia Nuclear (2001), **Rejeitos Radioativos**. Disponível no site: [www.cnen.gov.br](http://www.cnen.gov.br) último acesso em 29/03/2017.

\_\_\_\_\_. **EIA/RIMA**. EMOP. Empresa Estadual de Obras Públicas. Depósito Definitivo dos Rejeitos Radioativos Oriundos do Acidente Radiológico com 137 Cs ocorrido em Goiânia – GO. XII volumes. Disponível na CNEN em Abadia de Goiás.

HELOU Suzana; NETO, Sebastião Benício da Costa. (Org). **Césio -137 Consequências Psicossociais do acidente de Goiânia**. 2ª Ed. UFG digital. Disponível em [www.cegraf.ufg.br](http://www.cegraf.ufg.br) . Página visitada em 23/04/2017.

NONNA, Silvia. **Ambientes y residuos peligrosos**. 1ª ed. Buenos Aires: Estúdio, 2011.

OLIVEIRA JÚNIOR, Eurípedes Monteiro. **O grande medo de 1987; uma releitura do acidente com o Césio -137 em Goiânia**. Brasília, 2106. Tese Doutorado em História. Instituto de Ciências Humanas da Universidade de Brasília. Disponível em DPF. [www.repositorio.unb.br](http://www.repositorio.unb.br) página acessada em 04/04/2017.

PERUZZO, Jucimar. **Fronteiras da Física**. 1ª Edição. 2012. P. 263. Ebook. Disponível em <http://books.google.com.br>. Página acessada em 20/04/2017.

REVISTA CÉSIO 25 ANOS. **Uma História pra lembrar e prevenir**. Ano 2012. Governo de Goiás. Secretaria de Estado da Saúde de Goiás. Disponível em [www.sgc.goias.gov.br](http://www.sgc.goias.gov.br). Último acesso 05/04/2017.

SLC – COREJ. Parecer Técnico COREJ nº 01/96. Avaliação do relatório de Análise de Segurança do Repositório de Goiânia. Disponível na CNEN em Abadia de Goiás.

SILVA, Telma Camargo. **As Celebrações, A memória traumática e os rituais de aniversário**. Disponível em DPF. [https://portais.ufg.br/joomla\\_proec/revista\\_ufg/.../dossieCelebracoes.pdf](https://portais.ufg.br/joomla_proec/revista_ufg/.../dossieCelebracoes.pdf). Página acessada em 09/04/2017.

VIEIRA, Suzane de Alencar. **Césio- 137, um drama recontado**. Artigo disponível [www.scielo.br](http://www.scielo.br) página acessada em 05/04/2017.

VIEIRA, Suzane de Alencar. **Césio -137 o Drama Azul irradiação em narrativas**. Fapesp. 2014.

## PRODUÇÃO DE CARBOXIMETILCELULASE E AVICELASE PELO BACILLUS SP SMIA-2 EM MEIO CONTENTO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

### **Andréia Boechat Delatorre**

Universidade Estácio de Sá (UNESA), Campus  
Macaé  
Macaé-RJ

### **Silvania Alves Ladeira**

Instituto Federal de Alagoas  
Piranhas, AL

### **Marcela Vicente Vieira Andrade Gonçalves**

Universidade Estácio de Sá (UNESA), Campus  
Macaé  
Macaé-RJ

### **Cristiane de Jesus Aguiar,**

Universidade Estácio de Sá (UNESA), Campus  
Macaé  
Macaé - RJ

### **Thiago Freitas de Almeida,**

Universidade Estácio de Sá (UNESA), Campus  
Macaé  
Macaé-RJ

### **Meire Leis Leal Martins**

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy  
Ribeiro, laboratório de tecnologia de alimentos  
Campos dos Goytacazes - RJ

**RESUMO:** Os estudos foram realizados para investigar a produção de carboximetilcelulase e avicelase pelo termofílico *Bacillus* sp SMIA-2 utilizando substratos sintéticos puros (Avicel e Carboximetilcelulose) e bagaço de cana-de-açúcar (tratados e não tratados). A produção de avicelase e carboximetilcelulase por *Bacillus* sp SMIA-2 cultivado em meio líquido contendo

0,5% de avicel e 0,5% de carboximetilcelulose como fonte de carbono atingiu o máximo em 120 h (37,38 U/mL) e 144 h (124,84 U/mL), respectivamente. O microrganismo também foi capaz de produzir avicelase e carboximetilcelulase quando cultivado em culturas contendo bagaço de cana. No entanto, menores atividades enzimáticas foram obtidas em comparação com a da celulose sintética. O tratamento do bagaço de cana com 4% de  $\text{Ca(OH)}_2$  + 4% NaOH em conjunto com a autoclave, promoveu maior quebra na fibra e aumentou a atividade da carboximetilcelulase e da avicelase.

**PALAVRAS-CHAVE:** bagaço de cana, avicelase, carboximetilcelulase.

**ABSTRACT:** Studies were carried out to investigate the carboxymethylcellulase and avicelase production by thermophilic *Bacillus* sp SMIA-2 using pure synthetic substrates (Avicel and Carboxymethylcellulose) as well as sugarcane bagasse in two different statuses (i.e. treated and untreated). Avicelase and carboxymethylcellulase production by *Bacillus* sp SMIA-2 cultivated in liquid cultures containing 0.5% avicel and 0.5% carboxymethylcellulose as a carbon source reached a maximum at 120 h, (37,38 U/mL) and 144 h (124.84 U/mL), respectively. The microorganism was also capable to produce

avicelase and carboxymethylcellulase when grown in cultures containing sugarcane bagasse. However, lower enzyme activities were obtained compared with that from synthetic cellulose. The treatment of the sugarcane bagasse in conjunction with 4% Ca(OH)<sub>2</sub> + 4% NaOH + autoclave promoted more breakage in the fiber and increased the carboxymethylcellulase and avicelase activity.

**KEYWORDS:** Sugarcane bagasse, avicelase, carboxymethylcellulase.

## INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa um lugar de destaque tanto no setor produtivo quanto no aproveitamento dos resíduos de cana-de-açúcar. Este aproveitamento constitui-se em uma prática bastante generalizada, tanto para os efluentes, principalmente a vinhaça, como também para os descartes sólidos, como as tortas de filtro e o bagaço de cana. Esses resíduos se destacam pela abundância em determinadas regiões do país e pelo baixo custo. De acordo com Pereira (2006), cerca de 350 milhões de toneladas de resíduos agrícolas são produzidos anualmente no Brasil, sendo os resíduos provenientes da cana-de-açúcar os que apresentam o maior volume de geração.

A utilização do resíduo de bagaço de cana como substratos para a produção de enzimas é uma alternativa racional, considerando o elevado teor de carboidratos presente nessa biomassa (Cunha *et al.*, 2005; Pandey *et al.*, 2000). O bagaço de cana contém cerca de 25 a 40% de celulose e o restante de hemicelulose (20 a 35%) e lignina (15 a 35%) (Cowling e Kirk, 1976).

Celulases são enzimas capazes de atuar sobre os materiais celulósicos promovendo sua hidrólise. Neste processo estão envolvidos três principais grupos de enzimas:  $\beta$ -1,4-endoglucanase (EC 3.2.1.4),  $\beta$ -1,4-exoglucanase, que são representadas pelas celobiohidrolases (EC 3.2.1.91) e glucanohidrolases (EC 3.2.1.74) e o grupo representado pelas  $\beta$ -1,4-glicosidases (EC 3.2.1.21) (Lynd, *et al.*, 2002) As carboximetilcelulases ( $\beta$ -1,4-endoglucanase) clivam as ligações das regiões menos compactadas (amorfa) da celulose, diminuindo o comprimento da fibra e gerando novas extremidades livres. Já as avicelases (exoglucanases) agem de maneira progressiva em extremidades redutoras ou não-redutoras da celulose, com maior afinidade por celulose insolúvel ou microcristalina, liberando glicose e principalmente celobiose como produtos. Por outro lado, as  $\beta$ -glicosidases atuam nos resíduos de celobiose liberados e os hidrolisam a glicose (Bisaria e Ghose, 1981; Philippidis e Smith, 1995; Teeri, 1997; Zeilinger, *et al.*, 2000; Lee, *et al.*, 2002; Lynd, *et al.*, 2002; Howard, *et al.*, 2003).

As celulases, juntamente com as hemicelulases constituem um dos mais importantes grupos de enzimas industriais e são amplamente utilizadas em diversos ramos da indústria. Na indústria de alimentos, são empregadas nos processos de extração e clarificação de sucos de frutas. As celulases são também empregadas

na extração de óleos, pigmentos, essências, alcalóides e amido; preparação de alimentos infantis, produtos dermatológicos, produtos estimulantes de digestão, rações animais, produtos estimuladores de ensilagem, adjuvante para o malte da cerveja e no tratamento de lixo orgânico (Bhat, 2000). Também são empregadas em formulações de detergentes domésticos e industriais. Na área energética, as celulasas vêm sendo empregadas em plantas piloto para obtenção de hidrolisado de celulose, que são utilizados na fermentação visando à fabricação de produtos de interesse, tal como etanol (Kubicek, *et al.*, 1993). Celulasas são responsáveis por aproximadamente 20% do mercado mundial de enzimas. Em 2008, estas enzimas movimentaram um montante de USD 1,35 milhões (Pereira e Castro, 2010).

Na natureza, existe uma grande variedade de microrganismos que degradam biomassa, principalmente celulose, produzindo diferentes complexos de enzimas (Lynd, *et al.*, 2002; Castro *et al.*, 2010). A maior parte das bactérias pertencentes ao gênero *Bacillus* sp. apresenta uma variedade de sistemas de enzimas hidrolíticas, incluindo as celulasas, e são capazes de utilizar substâncias orgânicas consistindo de misturas complexas típicas de resíduos. Com exceção do grupo *Bacillus cereus* (que inclui o *Bacillus anthracis*), são saprófitas inofensivos que não produzem toxinas e são incluídos no grupo de organismos geralmente reconhecidos como seguros (GRAS) (Mahmood, *et al.*, 1998).

Atualmente a escolha de novos microrganismos produtores de enzimas é talvez o maior obstáculo na comercialização de novas enzimas. Sendo assim, à escolha de linhagens de microrganismos apropriados, a partir de fontes diversificadas e de baixo custo, como os resíduos agroindustriais, podem levar a uma melhor produção enzimática, além de reduzir os custos de produção. Neste contexto, a bactéria termofílica *Bacillus* sp. cepa SMIA-2, que foi utilizada neste trabalho, foi isolada por Nunes e Martins (2002) de amostras de solo da região norte fluminense do estado do Rio de Janeiro. Neste trabalho foi investigado a habilidade desta bactéria para produzir celulasas em culturas submersas contendo celulose sintética e bagaço de cana de açúcar.

## **METODOLOGIA**

O micro-organismo utilizado neste estudo foi *Bacillus* sp. SMIA-2, uma bactéria termofílica, isolada no Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA) da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) a partir de amostras de solo do município de Campos dos Goytacazes-RJ. O meio de cultura utilizado para a produção das celulasas continha (g/L): peptona 1,0; e traços de metais em várias concentrações. O pH foi ajustado para 7,5 com 1,0M NaOH e este meio foi esterilizado em autoclave a 121 + 2 0C por 15 minutos. A fonte de carbono (Avicel, Carboximetilcelulose e bagaço de cana de açúcar obtido localmente) na concentração de 0,5% foi esterilizada



separadamente e assepticamente adicionada aos erlenmeyers contendo o meio líquido, depois de resfriado. O meio de cultura (25mL em frascos Erlenmeyers de 250 mL), foi inoculado com 0,5 mL de um pré-inóculo preparado no dia anterior e incubado a 50 °C em um shaker orbital operando a 150 rpm. Frascos em triplicata foram retirados a intervalos de tempo pré-determinados para a determinação do crescimento do microrganismo e da atividade das celulases.

### **Preparação do bagaço de cana**

O bagaço de cana foi lavado com água destilada, seco a aproximadamente 70°C por 48 horas e triturado em moinho de facas tipo Wily, peneira 30 mesh e posteriormente peneirado em peneira de 60 mesh. Em seguida, 10g deste material foram suspensos em uma solução contendo hidróxido de cálcio - 4% (p/v) e hidróxido de sódio – 4% (p/v) e posteriormente autoclavado a 121°C por 30 minutos. Após 12 horas de incubação a temperatura ambiente, o bagaço foi separado por filtração em um funil de Buchner usando papel de filtro Whatman no 1 e lavado com água destilada até atingir pH neutro. O controle consistiu no bagaço de cana adicionado apenas de água destilada.

### **Microscopia eletrônica de varredura**

A análise da morfologia do bagaço foi realizada em microscópio eletrônico de varredura 1450 V operando a 20 kW. As amostras foram metalizadas com ouro e as imagens geradas a partir de elétrons secundários a vácuo. As amostras foram dispostas de forma que possibilitasse observar as modificações superficiais das fibras do bagaço depois do pré-tratamento.

### **Determinação da produção de celulases através de ensaio enzimático**

A produção das celulases foi determinada indiretamente através da avaliação da atividade celulásica de extratos brutos do caldo de fermentação. Quando concluídas as fermentações, os meios de cultura foram centrifugados a 4500 x g por 15 min a 4°C, e o sobrenadante livre de células foi utilizado para dosagem da atividade das enzimas. As atividades da carboximetilcelulase (CMCase) e da avicelase foram determinadas baseando-se na técnica descrita por TANAKA *et al.* (1981) que consistiu em conduzir a hidrólise de uma solução de carboximetilcelulose 1,0% (p/v) em tampão Tris-HCl (0,05M e pH 8,0) para a atividade da fração CMCase e de uma suspensão a 1,0% (p/v) no mesmo tampão, de celulose microcristalina (avicel) para a avicelase. A quantidade de açúcares redutores foi determinada pelo método do DNS. A curva padrão foi feita a partir de glicose, nas concentrações de 0,2 a 1,0 g/L.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento de *Bacillus* sp SMIA-2 e a atividade da CMCase foram observados por 192 horas em meio líquido contendo 0,5% de carboximetilcelulose como fonte de carbono (Figura 1). O crescimento exponencial do microrganismo foi observado por um período longo de tempo, iniciando logo após a incubação da cultura e finalizando após 144 horas. A partir deste tempo, a cultura entrou na fase estacionária. A atividade da CMCase aumentou concomitantemente com a densidade ótica da cultura, alcançando a atividade máxima após 144 horas de incubação do microrganismo, com níveis de 124,84 U/mL, quando o crescimento já havia sido cessado e a cultura se encontrava na fase estacionária. Durante esta fase, quando a cultura já havia alcançado a máxima produtividade enzimática, a atividade da CMCase foi reduzida drasticamente, o que sugere que a produção desta enzima está associada ao crescimento e que a mesma foi produzida, quando a cultura estava metabolicamente ativa.

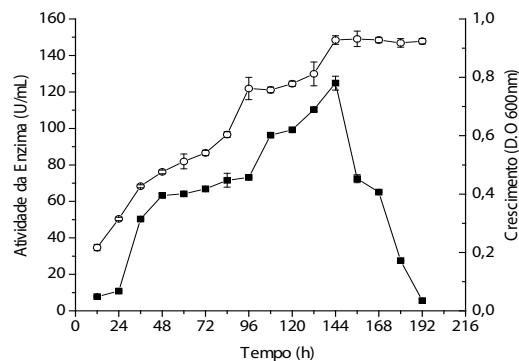


Figura 1. Crescimento (○) e atividade da carboximetilcelulase (■) secretada pelo *Bacillus* sp SMIA-2 cultivado em meio mineral contendo 0,5% de carboximetilcelulose por 192 horas a 50° C. As barras representam o desvio padrão.

Uma das características interessantes de espécies do gênero *Bacillus* é a sua habilidade para degradar substratos amorfos tais como a carboximetilcelulase, apesar de sua incapacidade para degradar Avicel. Entretanto, *Bacillus* sp SMIA-2 também mostrou capacidade para sintetizar a avicelase, quando cultivado num meio de cultura contendo avicel como fonte de carbono. Como mostrado na Figura 2, a atividade desta enzima aumentou concomitantemente com a densidade ótica da cultura, alcançando a atividade máxima após 120 horas de incubação do microrganismo, com níveis de 37,38 U/mL.

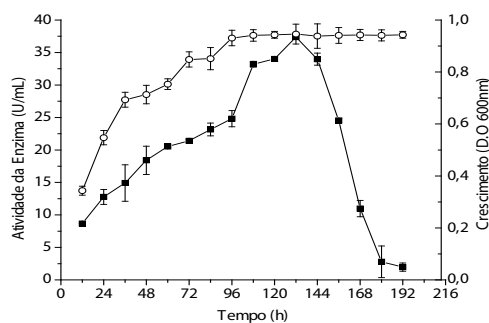


Figura 2. Crescimento (o) e atividade da avicelase (□) secretada pelo *Bacillus* sp SMIA-2 cultivado em meio mineral contendo 0,5% de avicel por 192 horas a 50° C. As barras representam o desvio padrão. A ausência de barras indica que o erro foi menor do que o símbolo.

### Perfil da atividade da Avicelase, e CMCCase secretada por *Bacillus* sp SMIA-2

Um dos critérios importantes considerados na seleção de um microrganismo com potencial biotecnológico para uso industrial é sua habilidade para secretar enzimas, quando cultivado em substratos de baixo custo e localmente disponíveis. Neste sentido, *Bacillus* sp SMIA-2, foi cultivado em meio contendo bagaço de cana de açúcar e a atividade das enzimas CMCCase e avicelase foram determinadas. A secreção da enzima CMCCase iniciou logo após a incubação da cultura, alcançando o valor máximo na fase estacionária de crescimento, com níveis de 21,65 U/mL (Figura 3). A secreção da avicelase também foi iniciada logo após a incubação da cultura, entretanto a atividade máxima desta enzima (20 U/mL) foi mais tardiamente alcançada em relação à CMCCase.

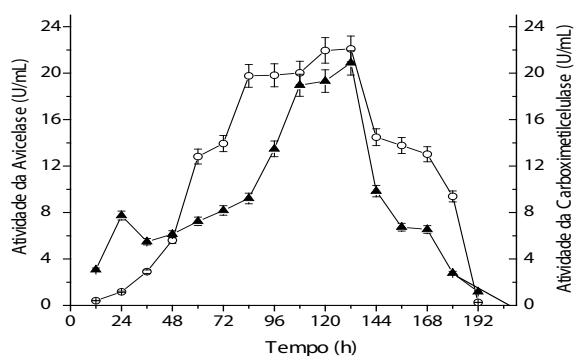


Figura 3. Atividade da carboximetilcelulase (o) e atividade da avicelase (□), secretada pelo *Bacillus* sp SMIA-2 cultivado em meio mineral contendo 0,5% de bagaço de cana por 192 horas a 50° C. As barras representam o desvio padrão.

O tratamento do bagaço de cana (BCT) com uma solução conjugada de 4% Ca(OH)<sub>2</sub> e 4% de NaOH promoveu um aumento de cerca de 4 vezes na atividade máxima da CMCCase, em relação ao bagaço de cana não tratado (BCNT). Ressaltá-se, entretanto, que o valor da atividade obtida (79 U/mL) ainda foi inferior aquele encontrado quando a carboximetilcelulose foi utilizada como substrato (125 U/mL).

Em relação áavicelase, também foi observado um aumento na sua atividade, quando o bagaço de cana foi tratado com a solução alcalina, entretanto, este aumento foi bem menos pronunciado que o observado para a carboximetilcelulase (Figura 4).

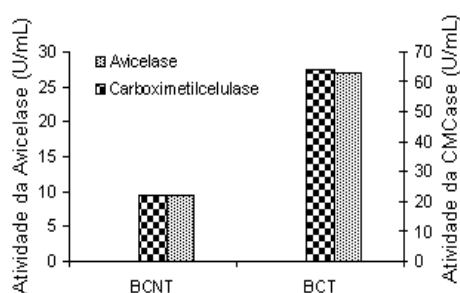


Figura 4. Influência do pré-tratamento do bagaço de cana sobre a atividade da avicelase e da carboximetilcelulase secretadas por *Bacillus* sp SMIA-2 cultivado por 120h a 50° C

A morfologia das fibras do bagaço de cana tratadas e não tratadas superficialmente com hidróxido de sódio e hidróxido de cálcio foram analisadas através da técnica de microscopia eletrônica de varredura. Como mostrado na Figura 5, as superfícies das fibras tratadas com a solução alcalina apresentaram características ligeiramente diferentes em relação às das superfícies das fibras não tratadas.

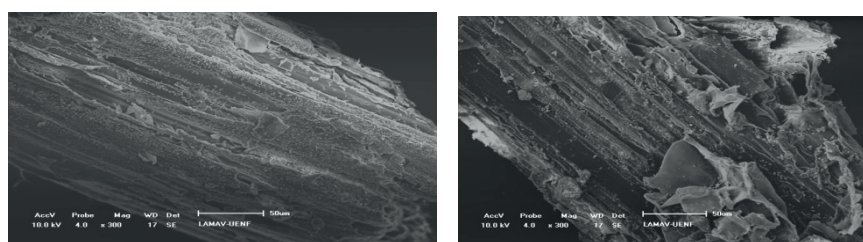


Figura 5. Microscopia eletrônica de varredura para o bagaço de cana não tratado (a) bagaço de cana tratado (b).

No bagaço tratado foi observada uma pequena quebra na estrutura da fibra, indicando perda da consistência fibrilar e desestruturação da lignina. De acordo com Ferreira et al., (2006), o tratamento alcalino, além de remover impurezas e tornar a superfície da fibra mais rugosa, retira parcialmente a lignina da fibra e solubiliza a hemicelulose deixando a celulose mais exposta ao ataque enzimático. A solubilização da hemicelulose em meio alcalino também foi comprovada por Caraschi e Titã (1996).

## CONCLUSÃO

*Bacillus* sp SMIA-2 secretou carboximetilcelulase e avicelase quando cultivado em um meio de cultura contendo como fonte de carbono carboximetilcelulose e avicel, respectivamente. A utilização do bagaço de cana de açúcar como substrato no meio de cultura (em substituição a carboximetilcelulose e avicel) induziu a síntese das enzimas carboximetilcelulase e avicelase. Os níveis de atividade das enzimas foram inferiores

aqueles observados quando carboximetilcelulose e a avicel foram utilizadas como fonte de carbono. O pré-tratamento do bagaço de cana com uma combinação dos álcalis  $\text{Ca(OH)}_2$  e NaOH causou uma quebra na estrutura da fibra como evidenciado pela microscopia eletrônica de varredura. Além disso, promoveu um aumento na atividade da avicelase e carboximetilcelulase, sendo mais pronunciado para a última enzima.

## REFERÊNCIAS

- Bhat, M.K. **Celulases and related enzymes in biotechnology**. *Biotechnol Adv.* 2000, 18, 355. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14538100>. Acesso em: 09 de março de 2017.
- Bisaria, V. S.; Ghose, T. K. **Biodegradation of cellulosic materials: Substrates, microorganisms, enzymes and products**. *Enzyme and Microbial Technology*. 1981, 3, 90. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0141022981900661>. Acesso em: 29 de novembro de 2016.
- Castro, A.M.; Carvalho, M.L.A.; Leite, S.G.F.; Pereira Jr, N.; *J. Ind. Microbiol Biotechnol.* 37, 151, 2010.
- Cowling, E. B.; Kirk, T. K. **Properties of cellulose and lignocellulose materials and substrats for enzymatic conversion processes**. *Biotechnology and Bioengineering Symposium*, 6:95-123, 1976.
- Cunha, M. A. A.; Solva, S. S.; Carvalho, W.; Santos, J. C. **Uso de células imobilizadas em gel de PVA: uma nova estratégia para a produção de xilitol a partir do bagaço de cana de açúcar**. *Ciências Agrícolas*, Terezina, v. 26, p. 61-70, 2005.
- Howard, R. L.; Masoko, P.; Abotsi, E. **Enzyme activity of a phanerochaete chrysosporium cellobiohydrolase (CBHI.1) expressed as a heterologous protein from Escherichia coli**. *African Journal of Biotechnology*. 2003, 2, 296. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/journal/AJB/how-to-cite-article/B35079F10148>. Acesso em: 25 de janeiro de 2017.
- Kubicek, C. P., Messner, R., Gruber, F., Mach, R. L., Kubicek-Pranz, E. M. **The Trichoderma cellulase regulatory puzzle: From the interior life of a secretory fungus**. *Enzyme and Microbial Technology*, 1993, 15, 90. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0141022993900306?via%3Dihub>. Acesso em: 18 de janeiro de 2017.
- Lee, T.I., Rinaldi, N.J., Robert, F., Odom, D.T., Bar-Joseph, Z., Gerber, G.K., Hannett, N.M., Harbison, C.T., Thompson, C.M., Simon, I., Zeitlinger, J., Jennings, E.G., Murray, H.L., Gordon, D.B., Ren, B., Wyrick, J.J., Tagne, J.B., Volkert, T.L., Fraenkel, E., Gifford, D.K., Young, R.A. **Transcription a regulatory networks in Saccharomyces cerevisiae**. *Science*. 2002, 298, 799. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12399584>. Acesso em: 16 de janeiro de 2017.
- Lynd, L. R., Weimer, P. J., Van Zyl, W. H., Pretorius, I. S. **Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology**. *Microbiol Mol Biol Rev.* 2002, 66, 506. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC120791/>. Acesso em 26 de novembro de 2016.
- Pandey, A.; Soccol, C. R. **Economic utilization of crop residues for value addition: a futuristic approach**. *Journal of Scientific & Industrial Research*, v. 59, p. 12–22, 2000.
- Pereira, R. E. **Avaliação do Potencial Nacional de Geração de Resíduos Agrícolas para a Produção de Etanol**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - *Escola de Química*, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.
- Pereira Jr, N.; Castro, A. M. **Produção, propriedades e aplicação de celulases na hidrólise de resíduos agroindustriais**. *Química Nova*. 2010, 33, 181. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v33n1/31.pdf>. Acesso em: 08 de março de 2017.



Mahmood, A. U., Greenman, J., Scragg, A. H. **Orange and potato peel extracts: Analysis and use as Bacillus substrates for the production of extracellular enzymes in continuous culture.** Enzyme Microbial Technology. 1998, 22, 130. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141022997001506>. Acesso em: 06 de março de 2017.

Nunes, A.S.; Martins, M.L.L. **Isolation, properties and kinetics of growth of a thermophilic Bacillus.** Brazilian Journal of Microbiology. 2001, 32, 271. Acesso em: 29 de novembro de 2016.

Philippidis, G. P., Smith, T. K. **Limiting factors in the simultaneous saccharification and fermentation process for conversion of cellulosic biomass to fuel ethanol.** Applied Biochemistry and Biotechnology. 1995, 51, 117. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02933416>. Acesso de 15 janeiro 2017.

Teeri, T. T. **Crystalline cellulose degradation: new insight in to the function of cellobiohydrolases.** Trends in Biotechnology. 1997, 15, 160. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/biotechnology/abstract/S0167-7799\(97\)01032-9](https://www.cell.com/trends/biotechnology/abstract/S0167-7799(97)01032-9). Acesso em: 27 de novembro de 2016.

Zeilinger, S., Haller, M., Mach, R., Kubicek, C. P. **Molecular characterization of a cellulase-negative mutante of hypocreajecorina.** Biochemical and Biophysical Research Communications. 2000, 277, 581. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006291X00937264>. Acesso em: 26 de novembro de 2016.

## O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO MERCADO DE EQUIPAMENTOS GAMER

### Felipe Elsemann Barreto

Universidade Federal do Pampa, campus São Gabriel

São Gabriel – Rio Grande do Sul

### Ana Júlia Senna Sarmento Barata

Universidade Federal do Pampa, campus São Gabriel

São Gabriel – Rio Grande do Sul

### Ricardo Ribeiro Alves

Universidade Federal do Pampa, campus São Gabriel

São Gabriel – Rio Grande do Sul

### Djulia Regina Ziemann

Universidade Federal do Pampa, campus São Gabriel

São Gabriel – Rio Grande do Sul

**RESUMO:** Desde o advento da internet, muitas ramificações derivadas do mercado de eletrônicos se criaram em torno dos mais variados meios de utilização da rede. Um destes mercados, que se encontra em acentuada expansão, é o mercado de equipamentos voltados ao público *gamer*. Com a crescente demanda por itens de entretenimento eletrônico, mostra-se relevante estudar e pesquisar sobre quais ações as fabricantes destes equipamentos buscam para amenizar a problemática do aumento da geração de lixo eletrônico, e assim, colaborar para que o crescimento deste mercado ocorra de

forma menos danosa ao meio ambiente. Sendo assim, esta pesquisa buscou compreender como algumas das mais relevantes fabricantes aplicam conceitos conhecidos da gestão ambiental e administração, e criam novos, a fim de mitigar danos ambientais e obter lucros utilizando menos matéria prima. A partir deste estudo, observou-se que uma das empresas se destaca na aplicação de iniciativas sustentáveis e de cunho social. Notou-se que tal empresa se preocupa com diversas questões ligadas ao meio ambiente e também ligadas as comunidades do entorno, buscando minimizar os impactos ambientais e sociais. Além disso, possíveis poluentes e a reciclagem de pós-consumo são assuntos tratados com evidência pela mesma, assim mostrando que é possível crescer em um mercado novo, utilizando-se de ferramentas que previnam e mitiguem danos ambientais enquanto se obtém melhor aproveitamento da matéria prima, assim aumentando sua lucratividade.

**PALAVRAS-CHAVE:** lixo eletrônico, periféricos *gamer*, jogos digitais, gestão ambiental, sustentabilidade.

**ABSTRACT:** Since the advent of the internet, many branches derived from the electronics market have been built around the means of network utilization. One of these markets, which is in high expansion, is the market for equipment

aimed at the gamer public. With the increasing demand for electronic entertainment items, it is relevant to study and research on what actions the manufacturers of these equipments seek to soften the problem of increasing the generation of e-waste, and thus, collaborate so that the growth of this market occurs in a way less damaging to the environment. Thus, this research sought to understand how some of the most relevant manufacturers apply well-known concepts of environmental management and administration, and create new ones, in order to mitigate environmental damage and to make profits using less raw material. From this study, it was observed that one of the companies stands out in the application of sustainable and social initiatives. It was noted that such company is concerned with several issues related to the environment and also linked to surrounding communities, seeking to minimize environmental and social impacts. In addition, possible pollutants and post-consumer recycling are subjects treated with evidence thereof, thus showing that it is possible to grow in a new market, using tools that prevent and mitigate environmental damages while obtaining better use of the raw material, thus increasing its profitability.

**KEYWORDS:** e-waste, gaming gear, games, environmental management, sustainability.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos a tecnologia tem ocupado um espaço central na vida das pessoas. Cada vez mais, novas tecnologias são lançadas, revelando meios inovadores de interagir, trabalhar e também de entreter-se.

Neste sentido, o mercado de jogos digitais (*games*), principalmente o de jogos *online* (aqueles que necessitam estar conectados a rede de internet para que possam ser jogados), é um segmento que vem ganhando espaço com estes novos meios de interação. Atualmente, existe um mercado em constante expansão em torno dos *games*, mercado este que envolve não somente os jogos em si, mas também equipamentos próprios para que se obtenha a melhor experiência possível durante o jogo.

Juntamente com a ascensão deste mercado, emerge o aumento da geração de lixo advindo de novos setores de produção de eletrônicos.

Para mitigar esta problemática, algumas empresas têm utilizado os princípios da ecoeficiência e do desenvolvimento sustentável. Estes princípios, além de beneficiar o meio ambiente, também visam beneficiar as empresas que veem nestas estratégias, vantagens competitivas que podem posicioná-las a frente das concorrentes. Estas vantagens, segundo Aragón-Correa e Sharma (2003), são resultado do estreito relacionamento entre o desempenho organizacional e as estratégias ambientais adotadas.

Outra, dentre tantas ferramentas adotadas, é o marketing verde. Este por sua vez, inclui diversas mudanças na empresa, tais como a elaboração e modificação de produtos e seus processos produtivos, além da alteração de embalagens e

possivelmente até do perfil de propaganda utilizado pela instituição. Estas atitudes tem a intenção de mitigar os danos ao meio ambiente, por meio da minimização do consumo de recursos renováveis, e a partir disto, externar estas ações buscando fidelizar clientes que se identifiquem com a causa (PEREIRA; AYROSA, 2004).

Sendo assim, baseando-se na problemática ambiental causada pelo exponencial aumento na geração de lixo eletrônico, e atentando para o possível agravamento da situação, principalmente relacionado a expansão de novos segmentos do mercado de eletrônicos, este capítulo discorrerá sobre o mercado de jogos eletrônicos (jogos digitais, *games*), o impacto que ele causa e, principalmente, sobre quais ações as principais empresas deste setor têm optado em relação ao meio ambiente. Para tanto, selecionou-se uma fabricante que se destaca não só na produção de equipamentos *gamer*, mas também na prática de ações socioambientais.

## 2 | A EXPANSÃO DO SETOR DE ELETRÔNICOS

O lixo eletrônico é uma das problemáticas ambientais que mais está em evidência nos dias de hoje. Isto se dá, pois o crescimento no consumo de eletrônicos eleva-se em números expressivos, principalmente em razão de sua rápida obsolescência. Em dados, segundo a Associação Nacional da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), em 2017 o setor cresceu 5% em relação ao ano anterior, resultando em um faturamento de R\$ 136 bilhões (CULVER, 2018, ABINEE, 2018).

Destaca-se também que, em 2017, a produção do setor de eletrônica (que inclui as áreas de informática e telecomunicações) cresceu 6%. No Quadro 1, destaca-se o crescimento nos lucros do setor de informática, figurando como o segundo que mais cresceu em relação aos faturamentos obtidos em 2016 (ABINEE, 2018).

Áreas	2016	2017	2017 x 2016
Automação Industrial	4.167	4.489	8%
Componentes	9.913	10.631	7%
Equipamentos Industriais	23.790	23.448	-1%
Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica	16.580	16.367	-1%
Informática	21.200	23.270	10%
Material de Instalação	7.867	7.426	-6%
Telecomunicações	29.583	32.038	8%
Utilidades Domésticas	16.346	18.353	12%
<b>Total</b>	<b>129.446</b>	<b>136.022</b>	<b>5%</b>

Quadro 1. Faturamento total por Área (R\$ milhões).

Fonte: ABINEE, 2018.

O expansivo crescimento da indústria de eletrônicos tem como reflexo a geração

de resíduo. Segundo Vieira, Soares e Soares (2009), estima-se que 40 milhões de toneladas de lixo eletrônico são produzidos mundialmente. Ainda nos anos 2000, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) (2007) estimava que em alguns países a geração de *e-waste* demonstrava um crescimento de 5 a 10% ao ano.

### 3 | JOGOS DIGITAIS

Os jogos digitais, segundo Mello e Zendrom (2015), são aqueles que são construídos com o uso de tecnologia, em bytes e bites. Eles compartilham com outros tipos de jogos a sua essência, que é a sua capacidade de entreter, divertir, desafiar, demandar esforço de seus participantes, obedecer a regras, e promover interação. Estes, porém, são diferenciados por dependerem de meios digitais para que “se materializem” e assim possam ser jogados. Os meios digitais atualmente são diversificados, compreendendo alguns consoles (vídeo *games*), consoles portáteis, computadores, *notebooks*, *tablets* e *smartphones*, entre outros.

Alguns anos atrás, os jogos eram utilizados a partir de cartuchos e posteriormente CDs. Atualmente, em sua grande maioria, são baixados (realiza-se o download) em arquivos digitais, a partir de um computador, vídeo game, ou outro aparelho conectado a rede, ou então simplesmente acessa-se a o jogo a partir da internet, pois este encontra-se hospedado na nuvem (MELLO; ZENDROM, 2015).

Segundo a Pesquisa Game Brasil (2018), 37,5% dos jogadores costumam utilizar o computador para jogar. Esta escolha ocorre impulsionada pelo acesso a banda larga (conexão rápida de internet) e também pela possibilidade de interação entre os jogadores através da rede e de jogos multiusuários simultâneos, tal como MMORPGs (*Massively Multiplayer Online Role Playing Games*), *Battle Royale* e MOBAs (*Multiplayer Online Battle Arena*), entre outros jogos *online*, que somam 45,3% da preferência dos usuários, e nada mais são do que gêneros de *games* (MELLO; ZENDROM, 2015).

No Brasil, o mercado de *games* é representativo no ramo de entretenimento digital. O país ocupa o quarto lugar mundial em usuários, somando 3,4 milhões de jogadores, atrás somente dos EUA, Japão e China. A estimativa de faturamento gira entre US\$ 1,5 bilhões e US\$ 3 bilhões ao ano. O mercado de *games* nacional pode ser comparado ao setor editorial de livros, que em 2014, registrou valores semelhantes aos obtidos pelo setor de jogos eletrônicos (PESQUISA GAME BRASIL, 2018; FLEURY et. al., 2014; CBL; SNEL; FIPE, 2015).

### 4 | O MERCADO DE EQUIPAMENTOS GAMER

Partindo do evidente crescimento do setor de informática e do impacto do setor de



*games* na economia brasileira, é de suma importância observar que novas tecnologias são lançadas diariamente, derivando a partir destes, novos segmentos. Sendo assim, se faz indispensável que se observe os nichos de mercado em expansão, que são alavancados por estas novas tendências tecnológicas, pois certamente, assim como seus predecessores, impactarão na geração de resíduo eletrônico.

Um destes nichos emergentes é o mercado de equipamentos *gamer*. Estes equipamentos são periféricos que são utilizados para se obter uma melhor experiência durante o jogo, seja ele *online* ou *offline*. Estes equipamentos vão desde mouses “evoluídos” com adição de botões e sensores mais precisos, passando por teclados retroiluminados e de precisão ao toque nas teclas, chegando finalmente em fones focados no conforto, para não ser um empecilho frente as longas horas de jogo, e na nitidez, para que se ouça os mínimos sons. Além dos periféricos, existem outros equipamentos, como notebooks de alto desempenho, monitores com mais nitidez e rapidez na recepção e transmissão da imagem e, atualmente, até *smartphones* com tela e desempenho voltados ao público *gamer*.

O perfil dos usuários e clientes que adquirem estes equipamentos é maduro e financeiramente independente. A maioria (67%) tem entre 25 e 54 anos, mostrando assim que este mercado está bem ancorado (PESQUISA GAME BRASIL, 2018, MELLO; ZENDROM, 2015).

Estes periféricos são considerados Equipamentos Eletrônicos e Elétricos, nomenclatura esta que abrange os mais variados equipamentos, incluindo alguns eletrodomésticos que usam microprocessadores. Quando estes equipamentos chegam ao fim da vida útil, se transformam em lixo eletrônico, convertendo-se assim em uma problemática ambiental. Este problema, segundo Moore (2009) advém da rápida produção e inovação de que depende a indústria de jogos, e que ocasiona forçadamente a obsolescência dos produtos (SCHAFER et al. 2003, HILTY et al. 2005, OERTEL et al. 2005).

Algumas empresas têm se destacado na produção de equipamentos *gamer*, nas inovações referentes a tecnologias e na comercialização destes produtos específicos. Porém, não é somente na questão de produção que as empresas deste setor chamam a atenção, mas também na mitigação da problemática ambiental referente ao lixo eletrônico gerado, na redução do uso de matéria prima e na minimização de danos causados as comunidades onde estão inseridas, sendo estes os temas que serão evidenciados nos demais tópicos.

## 5 | METODOLOGIA

Para iniciar o estudo, fez-se uma pesquisa bibliográfica sobre jogos digitais, mercado em torno dos jogos eletrônicos e lixo eletrônico. Com base no levantamento bibliográfico, elaborou-se um instrumento de coleta de dados que foi disponibilizado

no site Google Formulários, um site gratuito, onde pode-se criar pesquisas de opinião, com diferentes enfoques.

O instrumento de coleta de dados foi composto por questões referentes a faixa etária dos usuários, sua formação, equipamentos eletrônicos e marcas já utilizados, entre outras. Foram obtidas 50 respostas, todas advindas de usuários de produtos *gamer*.

A partir das respostas obtidas, constatou-se a existência de vinte fabricantes de equipamentos *gamer* que se destacam na preferência dos usuários. Destas vinte, oito foram selecionadas por praticarem ações socioambientais relevantes e as expõem nas suas páginas eletrônicas. Por fim, destas oito empresas, uma delas foi selecionada, pois esta se destacou no fornecimento de informações referentes as práticas socioambientais realizadas.

Para a obtenção das informações, buscou-se dados secundários advindos dos sites das empresas e dos seus relatórios de sustentabilidade. Segundo Malhotra (2001), os dados secundários são de acesso fácil, relativamente pouco dispendiosos e de obtenção rápida, e por esta razão, escolheu-se esta fonte de coleta de dados.

Outra fonte de coleta de dados foi a observação. Para tanto, realizou-se uma visita *in loco*, em uma loja física que comercializa produtos *gamer*, a fim de observar se nas embalagens dos produtos *gamer* existem informações quanto a produção sustentável, ou mesmo sobre a produção de produtos verdes.

Os dados obtidos foram analisados, e selecionaram-se as ações mais relevantes realizadas. Estas ações serão descritas no item a seguir.

## 6 | RESULTADOS

A partir do instrumento de coleta de dados, foram obtidas cinquenta respostas advindas de usuários que já haviam adquirido e feito uso de ao menos um equipamento eletrônico *gamer*.

Destas vinte empresas citadas pelos entrevistados, conforme pesquisa em seus sites e em seus relatórios de sustentabilidade, oito se destacam na prática de ações sustentáveis.

As ações sustentáveis mais relevantes, praticadas por estas empresas, serão brevemente salientadas a seguir.

Por fim, na sessão 6.8, serão descritas as ações praticadas pela Empresa 8, que foi a fabricante que mais se destacou quanto a ações praticadas e fornecimento de informações.

### 6.1 EMPRESA 1

A Empresa 1 é uma empresa taiwanesa fabricante de diversos equipamentos

e componentes eletrônicos. Atualmente tem uma linha de produtos *gamer*, onde produzem e comercializam diversos equipamentos que vão desde mouses até smartphones com características voltadas a jogabilidade de jogos eletrônicos.

Esta fabricante conta com uma página eletrônica específica sobre suas ações sustentáveis, onde se intitula campeã em computação ecologicamente sustentável, ganhando diversas premiações desde o ano 2000, quando esta iniciativa foi lançada.

Com o intuito de minimizar os impactos ambientais causados pela sua produção, a empresa possui programas de redução na geração de lixo, onde busca identificar e classificar para depois destinar corretamente. Além disso, busca adicionar componentes recicláveis em seus produtos e reduzir as embalagens.

## 6.2 EMPRESA 2

A Empresa 2 é uma marca brasileira, fundada no final da década de 80. Desde então vem diversificando seus produtos, e hoje conta com uma linha de equipamentos *gamer*.

Desde 2007 conta com um complexo industrial situado em Minas Gerais, onde adota iniciativas sustentáveis e de redução do impacto ambiental. A empresa instrui os clientes a fazer a devolução dos produtos em fim de vida útil, e para isso, conta com um localizador para que seja encontrado o ponto de coleta mais próximo.

## 6.3 EMPRESA 3

Iniciando seus trabalhos como fabricante de memórias RAM, a Empresa 3, sediada nos Estados Unidos, atualmente tem uma linha de equipamentos de alta performance, que inclui seus equipamentos *gamer*.

A empresa pratica ações sustentáveis, como a utilização racional de água na sua produção e, também busca reciclar tanto o seu *e-waste*, quanto outros tipos de resíduos.

## 6.4 EMPRESA 4

A Empresa 4 é uma marca norte-americana, fabricante de diversos equipamentos eletrônicos. Com o intuito de se introduzir no mercado de equipamentos *gamer*, a empresa fez uma parceria com uma marca referência mundial em eletrônicos.

A fabricante possui uma responsabilidade mundial para com o meio ambiente. Em seu site existe uma página onde diversas ações ambientalmente corretas são descritas. Seu compromisso com a reciclagem transpassa as fronteiras da concorrência, fornecendo serviços gratuitos de retirada e recolhimento de produtos, incluindo os de outras marcas.

## 6.5 EMPRESA 5

A Empresa 5 é uma empresa japonesa, fabricante de eletrônicos que vão desde câmeras a televisores. É detentora de um dos vídeo *games* mais vendidos, e juntamente com ele, vendem-se os *joysticks* (controles), que são classificados como periféricos *gamer*.

É na versão mais recente deste console que a fabricante tem realizado melhorias, como a redução de 28% do uso de energia e a redução do tamanho e peso do produto, assim utilizando menos matérias primas para sua produção. Além disso, desde 2004 mantém um programa de coleta de pilhas e baterias.

## 6.6 EMPRESA 6

A Empresa 6 é uma gigante norte-americana e, assim como a Empresa 5, não adentrou com sucesso no mercado de periféricos *gamer*, porém também possui um console, concorrente direto do vídeo *game* da empresa japonesa.

Esta empresa realiza diversas ações relacionadas a redução da emissão de carbono e a otimização do uso de energia, inclusive utilizando energia solar e eólica em algumas de suas fábricas.

## 6.7 EMPRESA 7

A Empresa 7 é outra empresa taiwanesa. Antigamente comercializava projetores, porém conquistou muitos adeptos ao adentrar no mercado de equipamentos *gamer* de ponta, que vão desde monitores a mouses.

Como ações sustentáveis, pode-se citar a busca em diminuir a utilização de recursos naturais em sua produção e também a observância de diversas diretrizes mundiais referentes a emissão de gases de efeito estufa.

## 6.8 FABRICANTE ESTUDADA: EMPRESA 8

Por fim, neste tópico serão apresentadas as ações desenvolvidas pela Empresa 8, a fabricante, que dentre as empresas citadas, se destacou principalmente quanto ao fornecimento de informações referentes a sustentabilidade.

A Empresa 8 é uma multinacional, com sede na Suíça, presente em 5 continentes. Atualmente em seu quadro de funcionários, constam 6,334 colaboradores, sendo destes, 62% homens e 38% mulheres.

Até o ano de 2016, havia ganhado 42 prêmios de design de produtos, e neste mesmo ano, arrecadou 2,21 bilhões de dólares em vendas pela internet. Deste montante, 22% advêm de vendas de combos de mouse e teclado, e 14% da linha *gamer*.

### *6.8.1 A Empresa 8 e A Produção Responsável*

No seu relatório anual de sustentabilidade, a fabricante destaca por meio de infográficos, as metas a serem alcançadas. Esse documento retrata a visão que a empresa tem de seus produtos e sobre os stakeholders, valorizando a produção de produtos responsáveis, que poluam menos, e que estejam em conformidade com as mais variadas diretrizes mundiais.

Também é revelado que as práticas da empresa buscam não afetar negativamente as comunidades locais onde está inserida. Sendo assim, as maiores metas da empresa atualmente são: minimizar a “pegada ecológica” e aprimorar o denominado “handprint social”, nomenclatura que segundo a empresa, significa as boas impressões em relação às pessoas que estão em contato direto ou indireto com seus produtos.

A Empresa 8 utiliza uma ferramenta denominada Análise de Ciclo de Vida para analisar seus produtos. Esta análise abrange desde a extração dos materiais que irão compor o produto, passando pela manufatura, uso pelos clientes e culminando no fim de sua vida útil. Com base nesta análise, a empresa consegue localizar quais componentes são mais representativos, no que tange a geração de gases de efeito estufa e peso/quantidade destes materiais e de suas embalagens. Assim, realizam-se pesquisas a fim de buscar possíveis aprimoramentos ecologicamente corretos que possam ser aplicados nestes produtos.

Com a Análise de Ciclo de Vida em vigor, constatou-se que 62% do carbono gerado pelos dez produtos mais comercializados, são advindos das placas de circuito impresso. Estas placas são o cérebro do produto e, portanto, não podem ser totalmente removidas. Sendo assim, a Empresa 8 buscou maneiras de inovar sem interferir na qualidade do produto, assim minimizando o impacto sentido pelo consumidor ao usar o equipamento reformulado.

No ano de 2016, um dos “mouses” mais vendidos foi reprojetoado para conter esta nova placa, que é menor e mais leve do que a placa utilizada em seu predecessor. Com isso, a sua produção e reciclagem diminuiu as emissões de gases de efeito estufa em 40%. Em outros produtos, como em um combo de teclado e mouse, houve redução de 50% no uso de partes plásticas e de 70% no tamanho da placa de circuito impresso, referente ao seu predecessor.

Outra ação apresentada no relatório foi a redução do uso de plástico excessivo utilizado no interior das embalagens. Reduziu-se 14% das embalagens utilizadas, possibilitando assim a alocação de 18% mais unidades nos pallets e 19% a mais nos containers. Esse redimensionamento possibilitou a redução de 34% dos custos em embalagens e em uma maior facilidade no transporte e armazenamento destes produtos.

### *6.8.2 Preocupação Com Possíveis Poluentes Utilizados Na Cadeia De Produção*



A fabricação de periféricos e equipamentos eletrônicos requer a utilização de múltiplos componentes e de matérias-primas advindas de vários países. Sendo assim, se faz necessária a observância de todo o ciclo de vida dos produtos, incluindo a origem das matérias-primas. Para isso, a empresa conta com fornecedores que revisam as especificações dos materiais utilizados, testando produtos e componentes, buscando encontrar potenciais riscos à saúde e ao meio ambiente. Esta prática ocorre levando em conta diferentes cenários típicos do fim do ciclo de vida útil dos produtos.

Garantir que os produtos estejam em conformidade com as especificidades legais das legislações ao redor do mundo, é primordial, pois qualquer obrigação não cumprida pode causar atraso ao lançamento do produto no mercado, ou causar danos à reputação da empresa frente aos clientes.

Ao longo de sete anos (2010 a 2016), a empresa diminuiu 70% de substâncias nocivas utilizadas em seus produtos. Porém, esta preocupação não vem desde 2010, mas sim de 2002, quando as primeiras substâncias perigosas, causadoras da diminuição da camada de ozônio, entre outras, começaram a ter seu uso banido da produção da empresa.

Apesar da crescente evolução, a empresa cita que sempre há mais a ser feito. No relatório de 2016, foi reportado que três fornecedores haviam utilizado alguns poluentes proibidos em suas produções. Em cada caso foram utilizadas ações corretivas, para que cada fornecedor identificasse a causa central desta não conformidade e pudesse solucionar a questão.

Até 2020, a empresa tem a meta de continuar auditando seus fornecedores em busca de substâncias nocivas que devam ter seu uso banido, e assim, usando materiais não poluentes, buscarão diminuir cada vez mais sua pegada ambiental.

### *6.8.3 A Prática Da Reciclagem De Pós Consumo Na Empresa 8*

No ano de 2002, na Europa, foi introduzida a Diretiva sobre Resíduo Elétrico e Equipamentos Eletrônicos (REEE). Esta diretiva busca promover o reuso, a reciclagem e outras formas de recuperar equipamentos que se encontram no fim da vida útil. Mais importante que estas ideias colocadas em prática, é a instauração do princípio do Produtor Responsável, que como diz o nome, define os produtores e importadores como responsáveis pela coleta e destinação (reciclagem ou outras formas de reuso) dos REEE comercializados.

A Diretiva sobre o REEE é acompanhada pela Diretiva Europeia de Baterias e também pela Diretiva Europeia de Embalagens. Ambas compartilham com a Diretiva sobre REEE o mesmo princípio do Produtor Responsável.

A Empresa 8 não está presente em todos os países onde seus produtos são comercializados, e em razão disto, estes produtos são introduzidos no mercado por uma rede de distribuidores e revendedores. Nestes casos, a empresa busca trabalhar com os distribuidores localizados nos países de origem (exportadores), procurando

assim garantir que os requisitos de reciclagem sejam cumpridos. Existe uma convicção, baseada no contrato firmado entre as empresas, de que estes distribuidores somente distribuem equipamentos para revendedores de confiança, e que cumpram os requisitos pré-estabelecidos. Já nos países onde a Empresa 8 é a importadora registrada, a mesma assume totalmente e diretamente as questões financeiras e administrativas da reciclagem dos produtos em fim de vida útil.

Na Europa, a empresa faz parte da Plataforma Europeia de Reciclagem (ERP), uma agência pan-europeia, estabelecida em 2002, que oferece mais de trinta programas de conformidade em quinze países. Sua abordagem gerencial inclui auditorias regulares, com o objetivo de qualificar os profissionais das empresas encarregadas dos serviços de reciclagem, avaliar riscos e também manter a melhoria contínua na cadeia de suprimentos.

Já nos países onde a ERP não está presente, a Empresa 8 busca empregar programas de reciclagem de nível de credibilidade a altura dos comumente empregados pela ERP, assim ajudando a cumprir as exigências ambientais.

No ano de 2016, a empresa financiou a arrecadação de 3,932 toneladas de REEE, 427 toneladas de baterias e 2,092 toneladas de embalagens. Esta quantidade equivale a 100% dos produtos que foram expostos a venda em países onde a empresa é a importadora e, portanto, é a responsável direta pela reciclagem.

## 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A problemática do REEE é evidenciada nos dias atuais com a crescente produção de equipamentos e inovações. Novos mercados surgem e se expandem com o passar dos anos, e a geração de resíduo eletrônico acompanha este crescimento.

Nas oito empresas estudadas, nota-se que diversas práticas têm sido adotadas para que as problemáticas ambientais sejam mitigadas. Neste quesito, a Empresa 8 é referência, pois preconiza a prevenção de possíveis danos que eventualmente venham a ser causados às comunidades locais onde se faz presente.

Apesar deste exemplo que serve de referência, e de ser notório que algumas empresas do mercado de equipamentos *gamer* seguem esta mesma linha (principalmente as oito citadas), nota-se que estas ainda estão em menor número, ao menos no que tange ao fornecimento das informações referentes as ações que praticam.

A partir disto, é importante ressaltar que dentre estas vinte empresas citadas, algumas são empresas especificamente do mercado *gamer*, enquanto outras alcançam diversos outros mercados de eletrônicos. A preocupação quanto ao fornecimento de informações referentes as ações sustentáveis praticadas se mostram específicas apenas às empresas que não são exclusivamente voltadas a fabricação de equipamentos *gamer*, mostrando que neste nicho há espaço para que políticas

ambientais sejam criadas.

Quanto a Empresa 8, a ferramenta implantada, Análise do Ciclo de Vida, mostra sua eficiência a partir dos dados obtidos sobre diminuição da geração de poluidores. Esta ferramenta, juntamente com a observância dos variados tipos de uso e cenários de fim de vida útil dos produtos, culmina em ações com resultados relevantes, tanto para a empresa, quanto para o planeta, mostrando que a organização está no caminho certo.

As exigências de reciclagem e a introdução do princípio do produtor responsável se mostram de grande valia ao se notar, que nos países onde a empresa administra esta área, ela tem a totalidade de seus produtos reciclados.

Porém, há que se ressaltar que no relatório não constam os dados da reciclagem realizada nos países onde não há a presença direta da empresa. A inclusão destes dados facilitaria uma análise mais profunda das atitudes que a empresa toma ao redor do mundo.

Por sua vez, o site da empresa mostra em sua página inicial a aba “sustentabilidade”, tendo fácil acesso às informações referentes a novos projetos, inovações e relatórios anuais. Com esta prática simples e estrategicamente relevante, a empresa ressalta a importância que dá a esta temática, e reitera o seu compromisso com o desenvolvimento sustentável.

Não obstante, apesar da notória consciência ambiental demonstrada a partir das conquistas obtidas em relação a diminuição do uso de matéria prima e reciclagem, a empresa não utiliza tais informações como estratégia para fidelizar clientes. Suas embalagens não expressam as características ambientais ressaltadas nos relatórios de sustentabilidade e aqui descritas, deixando assim uma possível lacuna a ser explorada.

Ainda assim, nota-se que muitas atitudes positivas têm sido tomadas. Com base nos dados apresentados, a empresa continuará tomando decisões certas em relação ao meio ambiente e quanto às questões sociais, e assim prosseguirá com sua meta de diminuir sua pegada ambiental e maximizar seus impactos positivos para com o planeta.

## REFERÊNCIAS

ARAGÓN-CORREA, J. A.; SHARMA, S. **A Contingent resource-based view of proactive corporate environmental strategy**. *Academy of Management Review*, Briarcliff Manor, v. 28, n. 1, p. 71-88, 2003.

ABINEE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Desempenho Setorial**. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon15.htm>>. Acesso em: 8 mai. 2018.

CBL – CÂMARA BRASILEIRA DO LIVRO; SNEL – SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS; FIPE – FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS. **Produção e vendas do setor editorial brasileiro – Base 2014**. Disponível em: <<https://www.snel.org.br/dados-do-setor/producao-e-vendas-do-setor-editorial-brasileiro/>>. Acesso em: 10 out. 2018.

CULVER, J. **The life cycle of a CPU**. Disponível em: <<http://www.cpushack.com/life-cycle-of-cpu.html>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

FLEURY, A.; SAKUDA, L. O.; CORDEIRO, J. H. D. O. **1º Censo da Indústria Brasileira de Jogos Digitais**. Núcleo de Política e Gestão Tecnológica. São Paulo: USP e BNDES, 2014.

HILTY, L. M.; BEHRENDT, S.; BINSWANGER, M.; BRUININK, A; ERDMANN, L; FROEHLICH, J. **The Precautionary Principle in the Information Society – Effects of Pervasive Computing on Health and Environment**. Ed. 2. Swiss Center for Technology Assesment, 2005.

MALHOTRA, N. **Pesquisa em Marketing**: Uma Orientação Aplicada. Porto Alegre: Bookman, 2001.

MELLO, G.; ZENDRON, P. **Como a indústria de jogos digitais pode passar de fase**. Revista BNDES, set. 42, p. 337-382, 2015.

MOORE, C. L. **Digital Games Distribution**: The Presence of the Past and the Future of Obsolescence. M/C Journal. Vol. 12, n. 3, 2009.

OERTEL, B; WÖLK, M.; HILTY, L.M.; KÖLER, A. **Risks and opportunities of the use of RFID Systems**. Bundesamt für Sicherheit in fer In: Bonn, 2005.

PEREIRA, S. J. N.; AYROSA, E. A. T. **Atitudes relativas a marcas e argumentos ecológicos**: um estudo experimental. Revista Eletrônica de Gestão Organizacional. Vol. 2, n. 2. Mai/Ago, 2004.

PESQUISA GAME BRASIL. **Comportamento, consumo e tendências do gamer brasileiro**. Disponível em: <<https://pesquisagamebrasil.com.br/>>. Acesso em: 12 mai. 2018.

SHAFER, T.; VAN LOOY, E.; WEINGART, A.; PRETZ, T. **Automatic separation devices in mechanical recycling processes**. In: Proc. International Electronics Recycling Congress, 13-15, Jan., 2003.

UNEP. **E-waste volume II**: e-waste management manual. Osaka: Division of Technology, Industry and Economics, International Environmental Technology Centre: 2007.

VIEIRA, K. N.; SOARES, T. O. R.; SOARES, L. R. **A logística reversa do lixo tecnológico: um estudo sobre o projeto de coleta de lâmpadas, pilhas e baterias da Braskem**. Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 3(3), p. 120-136, 2009.

## ESTUDO PARA INSTALAÇÃO DE CENTROS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO RIO DE JANEIRO EM SEROPÉDICA

### **Hélio Fernandes Machado Júnior**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
Instituto de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Química  
BR 465 km 7 Seropédica – RJ  
CEP 23890-000  
hfmjr@ufrj.br

### **Rui de Góes Casqueira**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
Instituto de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Química  
BR 465 km 7 Seropédica – RJ  
CEP 23890-000  
ruigoes@ufrj.br

### **Fabiola Oliveira da Cunha**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
Instituto de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Química  
BR 465 km 7 Seropédica – RJ  
CEP 23890-000  
fabiolacunha@ufrj.br

**RESUMO:** Este trabalho apresenta um estudo sobre algumas opções viáveis para a instalação de Centros de Tratamento de Resíduos Sólidos no município de Seropédica/RJ, considerando os estudos desenvolvidos pela Universidade

Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) sobre os impactos ambientais e sociais, resultantes de uma eventual implantação de um aterro sanitário sobre nascentes de rios e sobre o aquífero de Piranema em Seropédica e pelas avaliações técnicas e ambientais dos pesquisadores da UFRRJ. O Instituto de Tecnologia da UFRRJ, junto com os Professores do Departamento de Engenharia Química do Instituto de Tecnologia (DEQ/IT), da Prefeitura de Seropédica e outros participantes voluntários, formaram uma equipe para levantar e avaliar possibilidades técnicas para o tratamento de resíduos sólidos em contraponto à instalação de um aterro sanitário. Foram convidadas empresas e grupos de pesquisa para apresentação de soluções para tratamento de resíduos sólidos, já observadas as diretrizes da lei 12.305 de 02 de agosto de 2010, que Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Após a avaliação das propostas apresentadas, concluiu-se que os processos que utilizam a redução de volumes de resíduos, tanto para gerar energia quanto para gerar briquetes para geração energia possibilitam a eliminação dos Aterros Sanitários. As áreas ocupadas pelos empreendimentos são da ordem de 10% da área ocupada por um Aterro Sanitário. Nesta área, existe, ainda, a possibilidade de instalação de um pólo de reciclagem de resíduos sólidos (RS), onde microempresas e Institutos de Pesquisa possam



realizar e/ou desenvolver práticas de reuso, reciclagem e beneficiamento, valorizando os resíduos sólidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** PNRS, Aterro sanitário, Reciclagem.

**ABSTRACT:** This paper presents a study of some viable options for the installation of Solid Waste Treatment Centers in Seropédica / RJ. Studies undertaken by the Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ) on the environmental and social impacts of a possible implementation of a landfill over rivers sources and the Piranema aquifer, in Seropédica and the technical and environmental assessments of UFRRJ researchers. The Technology Institute of UFRRJ, along with Professors of the Chemistry Engineering Department (DEQ/IT), the Seropédica City Hall and other voluntary participants, joined up to raise and assess technical possibilities for the treatment of solid waste as opposed to a landfill installation. Some companies and research groups were invited to present solutions for solid waste treatment, in accordance with the National Solid Waste Policy. After evaluating the proposals, it was concluded that the processes used to reduce waste volumes, both to generate power and to generate briquettes for energy generation allow the landfills elimination. The occupied areas by the projects are the order of 10% of the area occupied by a landfill. In this area, there is also the possibility of setting up a center for solid waste recycling, where micro-companies and research institutes to perform and/or develop reuse practices, recycling and processing, valuing the solid waste.

**KEYWORDS:** PNRS, Landfill, Recycling.

## 1 | INTRODUÇÃO

Considerando os estudos desenvolvidos pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) sobre os impactos ambientais e sociais resultantes da implantação de um aterro sanitário sobre nascentes de rios e sobre o aquífero de Piranema em Seropédica e pelas avaliações técnicas e ambientais dos pesquisadores da UFRRJ, considerando que Seropédica já possui um enorme passivo ambiental resultado do extrativismo de areia e terra, para a cidade do Rio de Janeiro e finalmente, observando as manifestações populares em fóruns de debates e audiências públicas que descaracteriza qualquer interesse do Município na implantação deste empreendimento, foi realizada em 16 de setembro de 2010, uma reunião, no Gabinete da Reitoria com a presença dos membros da Administração da UFRRJ, Prefeitura de Seropédica, representada pelo Prefeito, Assessores e Secretários e outras representantes do Município e Instituições de Pesquisa, para discussão do tema Aterro Sanitário em Seropédica. Após discussões ficou decidido que o Instituto de Tecnologia da UFRRJ iria formar uma equipe, junto com os Professores do Departamento de Engenharia Química do Instituto de Tecnologia (DEQ/IT), da Prefeitura de Seropédica e outros participantes voluntários desta reunião, para levantar e avaliar possibilidades técnicas

para o tratamento de resíduos sólidos em contraponto à instalação de um aterro sanitário, atendendo à legislação vigente (BRASIL, 2010).

### **1.1 Propostas iniciais para a redução da quantidade de resíduos a serem depositados em aterros sanitários**

Soluções macro de grandes instalações não são viáveis para quaisquer tipos de tratamento de resíduos que visem à redução dos volumes de resíduos gerados pelos centros urbanos e outros em suas diversas atividades. Soluções micro, que atendam de modo celular o tratamento de resíduos sólidos, são as mais recomendáveis, uma vez que formam “ecopolos” que possibilitam resultados que levam a redução de, aproximadamente, 95% dos resíduos coletados, dependendo menos energia e gerando um resíduo final que poderá ser destinado a aterros sanitários ou finalizado pela construção civil, sendo transformados em materiais cimentícios, cerâmicos e outros. Partindo de resultados das análises da composição dos resíduos, a serem tratados, podem-se propor soluções diretas, tais como (FABIOLA COLOCAR REFERÊNCIAS AQUI):

Primeira Proposta: Segregação dos resíduos. Já que não há coleta seletiva nos municípios onde os mesmos são gerados, a segregação poderá ser parcialmente mecanizada e deverá ser efetuada, pelo menos, pelos seguintes itens: Vidro (incolor e colorido); Metais ferrosos; Metais não-ferrosos; Papel e papelão; Plásticos; Matéria orgânica e Outros.

Uma vez segregados, cada categoria de resíduos terá uma destinação que poderá ser a reciclagem, a “valorização” ou o tratamento do mesmo conforme as diretrizes a seguir:

1. Vidro – o material deverá ser separado em incolor e colorido, e depois moído e enviado para a reciclagem. Existem na região algumas empresas potencialmente interessadas no material (AMBEV e SAINT GOBAIN).
2. Metais ferrosos – o material deverá ser prensado e encaminhado para a reciclagem em empresas siderúrgicas, por exemplo a Gerdau, localizada a aproximadamente 20 Km de Seropédica.
3. Metais não-ferrosos – o material deverá ser prensado e encaminhado para a reciclagem.
4. Papel e papelão – o material deverá ser prensado e encaminhado para a reciclagem (verificando a possibilidade de efetuar a reciclagem do mesmo nas proximidades de Seropédica).
5. Plásticos – a ser reciclados por empresas de reciclagem de plásticos.
6. Matéria orgânica – o material deverá ser misturado a folhas e podas de árvores, todos devidamente cominuídos, a fim de corrigir a relação carbono-

nitrogênio. O material misturado deverá sofrer compostagem ou biodigestão e o composto produzido utilizado em benfeitorias paisagísticas para o município ou na recuperação do “lixão” da cidade.

7. Outros – aqueles resíduos que estiverem muito misturados ou não puderem mais ser segregados, deverão ser incinerados para a geração de eletricidade, onde os gases gerados deverão ser tratados e as cinzas geradas poderão ser utilizadas como base/suporte para a pavimentação de ruas.

Segunda Proposta: Incineração dos resíduos. Já que os resíduos já foram parcialmente separados / tratados em usinas no Rio de Janeiro, grande parte do material reciclável já foi removida. Aliado a isso, o material chegaria ao local de tratamento prensado dificultando a segregação do mesmo. A proposta é incinerar o lixo para a geração de eletricidade, onde os gases gerados deverão ser tratados e as cinzas produzidas poderão ser utilizadas como base/suporte para a pavimentação de ruas. Os créditos de carbono gerados poderão ser negociados e os recursos revertidos em ações educativas de segregação / separação do lixo doméstico.

Terceira Proposta: Biodigestão anaeróbia dos resíduos. São reatores dispostos em série de modo a promover a biodegradação anaeróbia do resíduo (que deverá ser predominantemente orgânico e deverá ser previamente analisado para saber se a digestão é possível e, se necessário, inoculado). O gás metano gerado deverá ser utilizado para a geração de energia elétrica e o lodo restante desidratado e disposto em aterro sanitário ou co-processado para fabricação de cimento para construção civil. Os créditos de carbono gerados poderão ser negociados e os recursos revertidos em ações educativas de segregação/separação do lixo doméstico.

Todas essas ações somadas ou aplicadas serão responsáveis pela geração de empregos e renda nos municípios, precisando das informações governamentais para ser dimensionadas e implantadas na constituição dos “ecopolos”.

## 2 | OBJETIVOS

Objetivo do presente trabalho foi proceder a um levantamento de soluções técnicas para o tratamento de resíduos sólidos em contraponto à instalação de um aterro sanitário no Município de Seropédica/RJ.

## 3 | METODOLOGIA

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), lei 12.305 de 02 de agosto de 2010, define que rejeitos são “Resíduos sólidos que depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação energética não apresentem outra solução

que não a disposição final (aterro)” e estabelece que deverá haver a priorização do tratamento e recuperação de resíduos em detrimento à disposição direta em aterros. Outrossim, a PNRS estabelece que responsabilidade compartilhada pelo Ciclo de Vida dos Produtos é a “transição de ambiente onde o ônus recai sob o fabricante de um produto para comprometimento mútuo entre agentes públicos e privados”. E também trata do incentivo a sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados ao reaproveitamento de resíduos, incluída a recuperação e o aproveitamento energético.

Baseado nestas premissas, algumas empresas e grupos de pesquisa foram convidados para apresentação de soluções para o tratamento de resíduos sólidos. As seguintes empresas foram contatadas:

Foxx Participações e Foxx Soluções Ambientais;

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Institucional – IPDI (Usina Verde);

AGIR - Ação de Gestão Integrada de Resíduos;

ECOMASSA.

Ermel Tecnologia Ambiental Ltda.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como somente as empresas Foxx Participações e IPDI compareceram, as análises subseqüentes, que serão apresentadas de forma sintética, explanam os resultados destas apresentações.

### 4.1 Empresa Foxx Participações

Data da Apresentação: 22/10/2010

Solução: CENTRAL DE RECICLAGEM ENERGÉTICA DE RESÍDUOS

Parcerias: Groupe TIRU e AREVA

O Grupo Empreendedor Foxx é formado por quadro societário resultante da união de forças de capital e experiência na gestão de resíduos sólidos com a 1ª Concessão de Gestão de Resíduos Sólidos, operando nacionalmente desde 2002 – Itapevi/SP e a 1ª Parceria Público Privada para Gestão de Resíduos Sólidos, no prazo de 20 anos, assinada em 2009 – Jacareí/SP.

O Grupo Empreendedor Tiru atua na Gestão de Resíduos Sólidos na França desde 1922. A empresa trata, mundialmente, 3.600.000 toneladas de RSU, sendo a maior operadora do setor na França. São 20 UTEs (16 na França) que juntas são responsáveis por gerar 4.200.000 MWh.

O Grupo Empreendedor Areva é um conglomerado industrial francês que oferece aos seus clientes soluções em geração de energia e transmissão elétrica; possui mais de 100 plantas construídas em Europa, América Latina e Ásia. Seu faturamento foi superior a 61 bilhões de Euros/ano. Adquiriu a Koblitz em 2007, a maior integradora brasileira de projetos de Geração de Energia a partir de biomassa com a mais de 85

plantas instaladas.

### Proposta:

Recebimento de resíduos, após separação de recicláveis, em usina para a combustão dos mesmos e, a partir de um conjunto de Turbina a Vapor e Gerador, garantir a geração de energia através da transformação da energia térmica gerada na caldeira de combustão em energia mecânica e então em energia elétrica. Após a combustão, as cinzas formadas pelo material queimado e pelo material inerte (não combustível) que não foi triado previamente como metais, vidros, terra, pedras e outros, podem ser utilizadas pelo poder público para a pavimentação de vias e/ou produção de materiais cimentícios (Figura 1). Esta cinza representa entre 10% e 15% do total dos resíduos. Os gases gerados na combustão serão tratados em Sistema de Tratamento de Gases, o qual garante as emissões em níveis acima dos exigidos pelos órgãos ambientais brasileiros.

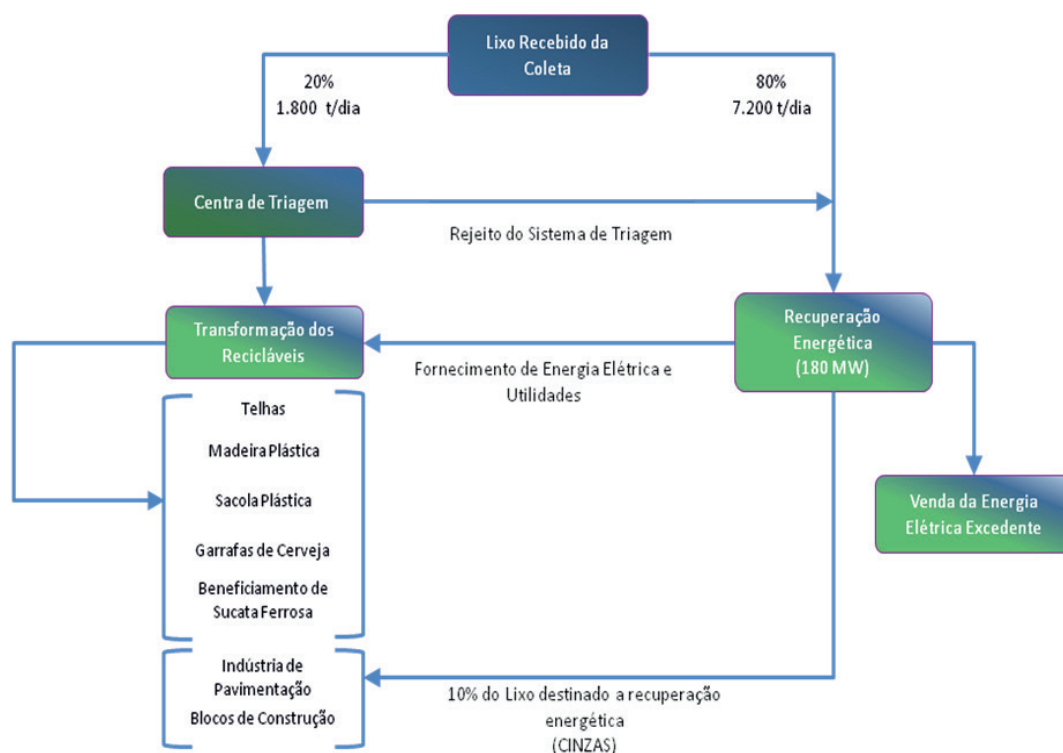


Figura 1. Fluxograma do Processo de Gestão de Resíduos.

	Seropédica (R\$)	%
<b>Unidade de Recuperação</b>	<b>1.408.900</b>	<b>89,73%</b>
<b>Galpões para Reciclagem</b>	<b>20.000</b>	<b>1,27%</b>
<b>Sist. de Triagem</b>	<b>50.000</b>	<b>3,18%</b>
<b>Centro Educacional</b>	<b>2.000</b>	<b>0,13%</b>
<b>Transporte</b>	<b>3.200</b>	<b>0,20%</b>
<b>Outros Custos</b>	<b>6.000</b>	<b>0,38%</b>
<b>Juros</b>	<b>62.300</b>	<b>3,97%</b>



<b>Capital de Giro</b>	<b>17.700</b>	<b>1,13%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.570.100</b>	<b>100%</b>

Tabela 1 - Volume de investimento privado para o tratamento de 9.000t/dia de lixo pelo empreendimento – Tarifa: R\$ 45,00/ton de lixo (recebimento na planta).

Valores em mil Reais– data base: Outubro/2010.

Os benefícios Políticos e Sociais serão:

- Agregar ao projeto, a criação do CENTRO DE REFERÊNCIA PARA CAPACITAÇÃO PROFISSIONAL em gestão social de educação, saúde e meio ambiente;
- Inclusão das COOPERATIVAS DE CATADORES ao projeto investindo na aquisição de modernos equipamentos de coleta e reciclagem (ex: carrinhos elétricos para coleta de recicláveis e implantação de centros de triagem);
- Incentivo à INDÚSTRIA DE RECICLAGEM realizando os investimentos necessários tanto no sistema de triagem mecanizada de resíduos orgânicos quanto na construção de galpões de armazenamento visando a excelência neste tipo de atividade;
- Caracterizar sua administração como MARCO HISTÓRICO agregando a sua imagem a marca de MODELO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA SUSTENTÁVEL, focada em modelo sustentável de gestão dos problemas do meio ambiente urbano;
- Ser reconhecida em razão de sua contribuição à REDUÇÃO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA;
- Valorização da AUTO-ESTIMA DA POPULAÇÃO, em razão do orgulho pelo reconhecimento de sua cidade como exemplo de CIDADE SUSTENTÁVEL.

Os benefícios Econômicos serão:

- Redução dos custos atuais com o transporte e destinação final dos resíduos;
- Aumento na arrecadação de impostos municipais (ISS);
- Todas as instalações serão revertidas para o Município ao término do contrato.

Os benefícios Ambientais serão:

- Geração de energia através de fontes renováveis;
- Ampliação da reciclagem de materiais;
- Minimização da utilização de aterros sanitários;
- Redução das emissões de gases de efeito estufa;
- Modelo definitivo para a destinação de resíduos.

- Os benefícios Diretos serão:
- Tornar-se referência na gestão de resíduos: Cidade Verde;
- Eliminar riscos de contaminação do aquífero;

Gerar energia de fonte renovável capaz de suprir aproximadamente 1.000.000 de habitantes;

Criação de indústria de transformação;

Geração de aproximadamente 1.000 novos postos de trabalho.

#### 4.2 Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Institucional – IPDI (Usina Verde)

Data da apresentação: 05/11/2010

Solução: Implantação de sistema *coreano* que separa automaticamente o lixo e gera energia com parte do lixo separado

O Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Institucional - IPDI, Instituição sem fins lucrativos, de caráter social, cultural e educacional, focada, em parceria com outras entidades públicas e privadas da sociedade civil, na implantação e desenvolvimento de projetos para Administração Pública, capazes de contribuir para o aperfeiçoamento dos modelos atuais de planejamento e gestão.

Proposta: Extinguir definitivamente lixões, viabilizando nestas áreas a implantação de um Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos, utilizando os resíduos retirados do lixo para gerar energia renovável.

Os objetivos específicos são:

- Alta eficiência na separação de resíduos;
- Recuperação eficiente de aterros;
- Reutilização de aterros fechados ou encerrados;
- Aumento de valores utilitários do lixo aproveitável;
- Reciclagem de materiais recuperados;
- Extinção de diversos lixões existentes;
- Eliminação de vários focos de poluição ambiental (solo, ar e recursos hídricos);
- Controle da proliferação de vetores biológicos de grande significação na transmissão de doenças infecciosas;
- Eliminação da prática de “catação” de lixo por homens, mulheres e crianças;
- Geração imediata empregos diretos e indiretos.
- Os benefícios esperados são:
- Geração de materiais limpos separados para reciclagem a partir de lixo armazenado (SUSTENTABILIDADE – com renda da venda de produtos para reciclagem);
- Geração de produtos para construção civil (Segregação de pedras, pneus e

areia). A economia da prefeitura com a geração deste material contribui para sustentabilidade do projeto;

- Redução de armazenamento de lixo nas cidades (Redução do passivo ambiental de aterros já encerrados). Com isso, as prefeituras poderão explorar o Crédito de Carbono;
- Ganho de áreas revitalizadas, antes utilizadas como local para construção de aterros ou lixões;
- Organização e otimização das atividades da população de catadores de lixo (Inclusão Social).

Processo: Recuperação de lixo velho através do *Supex System*, liberando as áreas ocupadas pelos lixões e MBT (Lixo Novo Recebido) para separação e briquetagem do lixo recebido para geração de energia, conforme fluxogramas (Figuras 2 e 3):

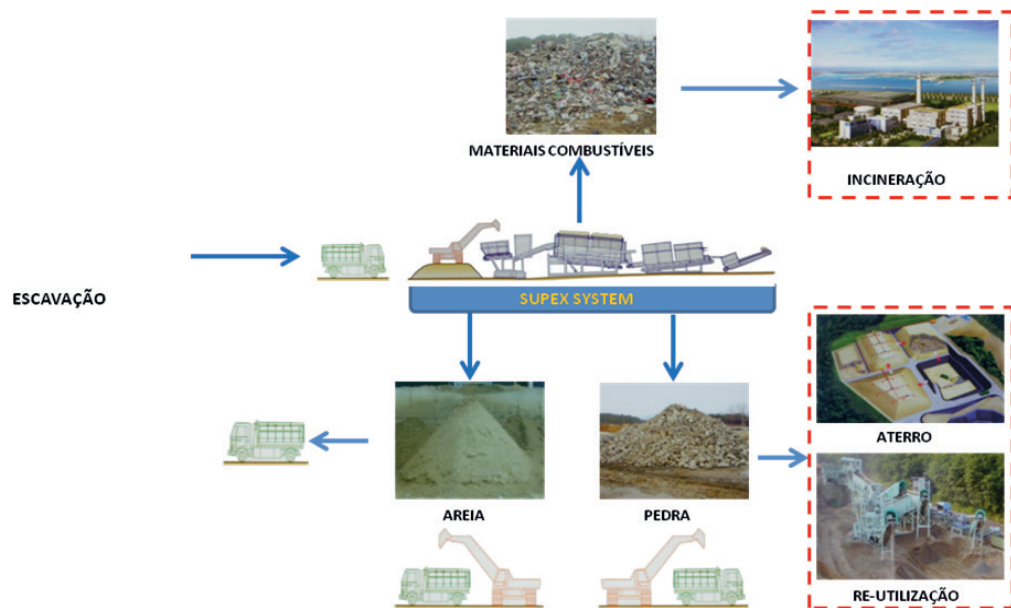


Figura 2. *Supex System* – Diagrama de Processo de Beneficiamento do Lixo Velho detalhado.

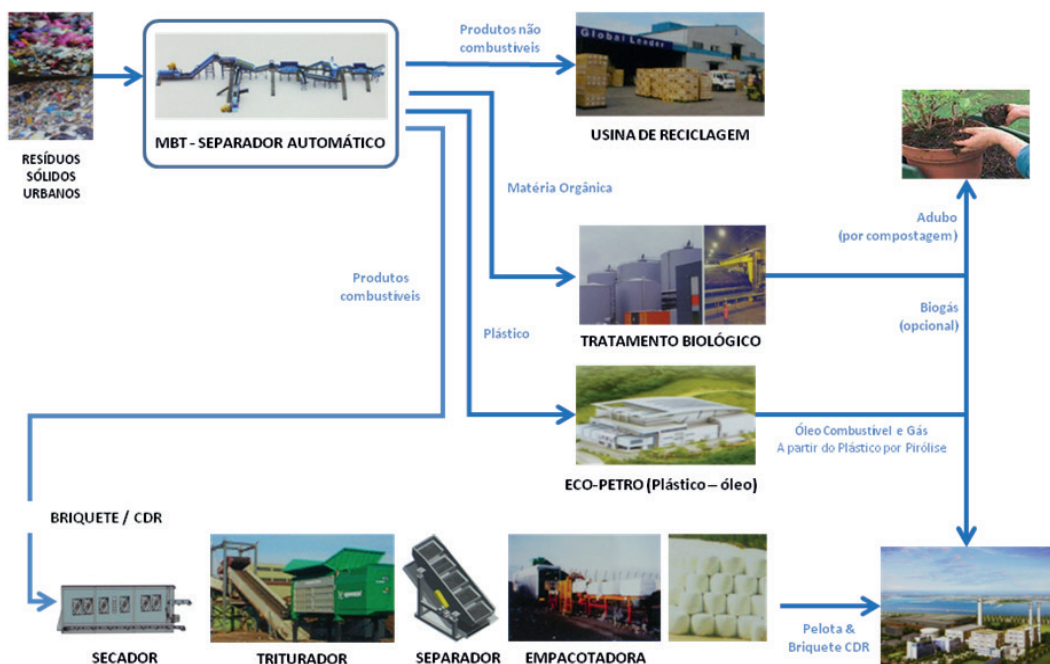


Figura 3. MBT – Diagrama de Processamento do Novo Lixo Recebido detalhado.

Esta empresa não apresentou custos operacionais e nem investimentos público-privados.

## 8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Outras empresas foram convidadas para apresentar soluções, algumas enviaram material de propaganda (AGIR, ECOMASSA e ERMEL) sem apresentar custos operacionais e/ou investimentos necessários para o beneficiamento dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) e outras simplesmente não apareceram.

Todas as soluções apresentadas visam à redução dos volumes de RSU gerados a fim de eliminar os Aterros sanitários, condizente com a PNRS. Observadas as soluções apresentadas e a PNRS, conclui-se que os processos que utilizam a redução de volumes de resíduos, tanto para gerar energia quanto para gerar briquetes para geração energia possibilitam a eliminação dos Aterros Sanitários.

As áreas ocupadas pelos empreendimentos são da ordem de 10% da área ocupada por um Aterro Sanitário. Nesta área, existe, ainda, a possibilidade de instalação de um pólo de reciclagem de resíduos sólidos (RS), onde microempresas e Institutos de Pesquisa possam realizar e/ou desenvolver práticas de reuso, reciclagem e beneficiamento, valorizando os resíduos sólidos. As questões sociais, ambientais, econômicas e políticas continuam sendo plenamente atendidas quando o Aterro Sanitário é eliminado da solução.

A centralização de unidades de Tratamento de Resíduos e/ou a descentralização tem sempre um limite mínimo de resíduos a ser utilizado pelos empreendimentos, isto é, 1.500 t/dia para tornar viável a sua instalação.

Como todas as técnicas viabilizam a produção de energia elétrica a partir da decomposição térmica dos resíduos sólidos, a utilização de área próxima a Via Dutra para instalação do empreendimento, facilitaria a transferência da energia gerada para o sistema de distribuição.

As empresas deverão agregar ao processo de instalação de unidades de tratamento de resíduos sólidos, sua devida manutenção e operação, cuja mão-de-obra deverá ser capacitada no próprio município de Seropédica, além da implantação de uma política educacional, voltada às questões de segregação, reciclagem e reuso de resíduos sólidos e possibilidade real da remediação do Lixão de Seropédica.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 12305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Lei*: 12305. Brasil, 2010.

## ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DA SERICINA EM PÓ RESULTANTE DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DESIDRATADA EM “*SPRAY DRYER*”

### Ana Paula Sone

Universidade Estadual do Oeste do Paraná,  
Toledo, Paraná, Brasil.  
anapaulasone@hotmail.com

### Camilo Freddy Mendoza Morejon

Universidade Estadual do Oeste do Paraná,  
Toledo, Paraná, Brasil.  
camilo\_freddy@hotmail.com

### Marcelino Luiz Gimenes

Universidade Estadual de Maringá, Maringá,  
Paraná, Brazil  
marcelino.gimenes@gmail.com

**RESUMO:** Nas indústrias de seda destaca-se a grande quantidade de efluente líquido com elevado teor de sericina e o aproveitamento desse material requer, além dos processos de extração a desidratação e a caracterização dos mesmos. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi estudo e caracterização da sericina em pó resultante do aproveitamento de resíduos industriais desidratada em *spray dryer*. A metodologia contemplou as análises do espectro de dicroísmo circular da sericina desidratada em “*spray dryer*”, caracterização colorimétrica, solubilidade, espectroscopia de absorção no infravermelho com transformada de fourier, difração de raios-x e a microscopia eletrônica de varredura correspondente a cinco métodos de extração de sericina. Os resultados apontam com que a secagem por “*spray*

*dryer*” produziu partículas de sericina que não apresentam diferença na estrutura secundária, sendo amorfas (pico bem definido e estreito em 19,9° e um ombro em 23,1°), esféricas e não ocorre mudanças estruturais na proteína (grupos funcionais). Desta forma explicita-se as diferenças estruturais e morfologias que a proteína pode apresentar para o caso da desidratação em “*spray dryer*”.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sericina, Secagem, Aproveitamento de resíduos.

**ABSTRACT:** In the silk industries, the high amount of liquid effluent with high sericin content is highlighted, and the use of this material requires, in addition to the dehydration extraction processes and their characterization. In this context, the objective of the study was to study and characterize the sericin powder resulting from the use of industrial waste dehydrated in *spray dryer*. The methodology included analyzes of the circular dichroism spectrum of dehydrated sericin in *spray dryer*, colorimetric characterization, solubility, infrared absorption spectroscopy with fourier transform, x-ray diffraction and scanning electron microscopy corresponding to five methods of extraction of sericin. The results indicate that *spray dryer* drying produced sericin particles that did not show any difference in the secondary structure, being amorphous (well defined and narrow peak



at 19.9° and one shoulder at 23.1°), spherical and not there are structural changes in the protein (functional groups). In this way the structural differences and morphologies that the protein can present in the case of spray dryer dehydration are explained.

**KEYWORDS:** Sericina, Drying, waste utilization.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os bichos-da-seda mais explorados comercialmente são os pertencentes ao filo Arthropoda, ordem Lepidoptera, classe Insecta e família Bombycidae, pois produzem seda de melhor qualidade e são obtidos a partir do bicho-da-seda comumente domesticado, *Bombyx mori*, que se alimentam de folhas da planta conhecida popularmente como amoreira, *Morus* spp (KUNDU et al., 2008).

O processo de secagem por “*spray-dryer*” é vantajoso pela sua simplicidade, reprodutibilidade, baixo custo e condições brandas de operação, além de ser um processo esterilizável e escalonável (ALVES, 2003). O processo é composto por quatro etapas básicas que são: atomização da solução de alimentação; contato das gotículas produzidas com o fluido de secagem (normalmente ar); evaporação do solvente; e recuperação do produto (NATH e SATPATH, 1998).

Considerando que se tem elevados custos para o tratamento do efluente proveniente da extração do fio de seda, pode-se substituir o tratamento do efluente para recuperação da sericina e utiliza-la como matéria prima para vários fins (VAITHANOMSAT, 2008).

A sericina, que até recentemente era considerada um produto residual da indústria de processamento da seda, possui várias propriedades e utilidades importantes, como: excelente absorção de umidade (GENÇ et al., 2009), a resistência à radiação ultravioleta (PATEL et al., 2011), anticoagulante, antioxidantes (SAROVART et al., 2003), ação inibitória da tirosinase (ARAMWIT et al., 2007) e tratamento em curativos de queimaduras (SONE, 2017).

## 2 | OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi estudo e caracterização da sericina em pó resultante do aproveitamento de resíduos industriais desidratada em *spray dryer*.

## 3 | METODOLOGIA

A sericina em pó, obtida por meio da secagem em “*spray dryer*”, foram caracterizados quanto: colorimetria, solubilidade em água, dicroísmo circular, espectroscopia de absorção no infravermelho com transformada de Fourier, difração

de raios-X e a microscopia eletrônica de varredura. Todas essas análises foram realizadas com as cinco amostras obtidas por secagem no “spray dryer”.

### 3.1 Análise de Cor

A cor do pó de sericina foi determinada em colorímetro Minolta, modelo CR-300, utilizando o sistema CIELAB (GONÇALEZ, 1993). No espaço colorimétrico CIELAB, definido por  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h$ . Onde a coordenada  $L^*$  corresponde à luminosidade, coordenada cromática verde-vermelho ( $a^*$ ), coordenada cromática amarelo-azul ( $b^*$ ), cromaticidade ( $C^*$ ) e ângulo de tinta ( $h$ ). Para o cálculo desses parâmetros, foi utilizado o mesmo procedimento adotado por Gonçalves (1993), segundo o sistema CIELAB 1976, por meio das equações 1 e 2:

$$C = (a^{*2} + b^{*2})/2 \quad (1)$$

$$H^* = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (2)$$

Os pigmentos vermelho, verde, amarelo e azul são definidos, respectivamente, pelas coordenadas  $+a^*$ ,  $-a^*$ ,  $+b^*$  e  $-b^*$  que variam de 0 a 60 adimensionais.

As análises de cor do pó de sericina foram realizadas no Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Maringá - UEM.

### 3.2 Análise de solubilidade em água

A análise de solubilidade em água foi realizada com o objetivo de determinar a quantidade do pó de sericina que se dissolve em água, e verificar se o método de obtenção de sericina incluindo a secagem alterou a solubilidade da mesma em água.

A solubilidade em água foi realizada da seguinte maneira. Em 40 mL de água destilada adicionou-se aproximadamente 0,4 g de sericina em pó obtendo aproximadamente uma concentração de  $10 \text{ g L}^{-1}$ , misturando-se em uma rotação de 1000 rpm, em um mixer da marca Quimis, por 5 minutos. A solução foi colocada em tubos com tampas e centrifugada a 3000 rpm durante 10 minutos. Uma alíquota de 10 mL do sobrenadante foi colocada em placas de Petri previamente pesadas, que foram submetidas à secagem em estufa a vácuo à temperatura de  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  por 5 horas. A solubilidade (%) foi calculada por diferença de peso, segundo a metodologia modificada proposta por Eastman e Moore (1984) que sugere a Equação 3. As análises foram realizadas em triplicata no Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá - UEM.

$$\% \text{ de solubilidade} = \frac{ms \cdot 4}{ma} 100 \quad 3$$

Sendo:  $ms$  a massa do sólido no sobrenadante e  $ma$  a massa da amostra inicial.

### 3.3 Dicroísmo Circular

A técnica de espectropolarimetria de dicroísmo circular em pós de sericina informa sobre as características da estrutura secundária, quais mudanças ocorrem na conformação da proteína, e permite correlacioná-las com as características do meio circundante. Estima-se que os solventes são capazes de modificar a estrutura da proteína, e se essas modificações de estrutura afetam a atividade biológica da macromolécula (CARNEIRO, 2006).

Realizaram-se os experimentos no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa – COMCAP da UEM no espectropolarímetro JASCO J-815 CD, com a temperatura controlada através de um sistema interno de controle de temperatura JULABO AWC-100. Os espectros de dicroísmo circular no UV distante (190 – 400 nm) foram obtidos utilizando-se uma cubeta de quartzo de 5 mm de caminho óptico, com velocidade de varredura de 200 nm.min<sup>-1</sup>, tempo de resposta de 1 segundo e resolução de 1 nm. Obteve-se o espectro final através da acumulação de 3 varreduras. Todos os espectros de dicroísmo circular foram obtidos a temperatura constante de 25 °C. A concentração de sericina em solução foi de 0,5 % (m / v). O “software” utilizado para tratamento dos dados foi o SpectraAnalysis, acoplado ao equipamento Jasco.

### 3.4 Espectroscopia de absorção no infravermelho com transformada de Fourier

Esta análise foi realizada no Laboratório de Espectrofotometria no Infravermelho do complexo de centrais de apoio a pesquisa (COMCAP). Os espectros de absorbância na região do infravermelho (400 a 4000 cm<sup>-1</sup>) com transformada de Fourier (FTIR), da mesma quantidade de amostra na forma de pastilhas, foram obtidos em um instrumento Bruker modelo Vertex 70v, com resolução de 4,0 cm<sup>-1</sup> e 100 varreduras para cada espectro. As amostras de sericina em pó (1,5 mg) foram homogeneizadas em almofariz e pistilo de ágata com 150 mg de brometo de potássio (KBr) grau espectroscópico (Vetec) previamente seco a 140 °C. A mistura foi submetida à compressão de 6,0 ton min<sup>-1</sup> em prensa hidráulica Perkin-Elmer modelo 4037.

### 3.5 Difração de raios-X

O equipamento utilizado para análise foi o difratômetro de raios-X D8 AdvanceBruker, com fonte de Cu 40 kV e 50 mA. Os parâmetros utilizados foram: ângulo (2θ) entre 5 e 50°; tempo/passo de 10s; e velocidade de 0,015°s<sup>-1</sup>, do Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa – COMCAP da Universidade Estadual de Maringá - UEM.

### 3.6 Microscopia Eletrônica de varredura

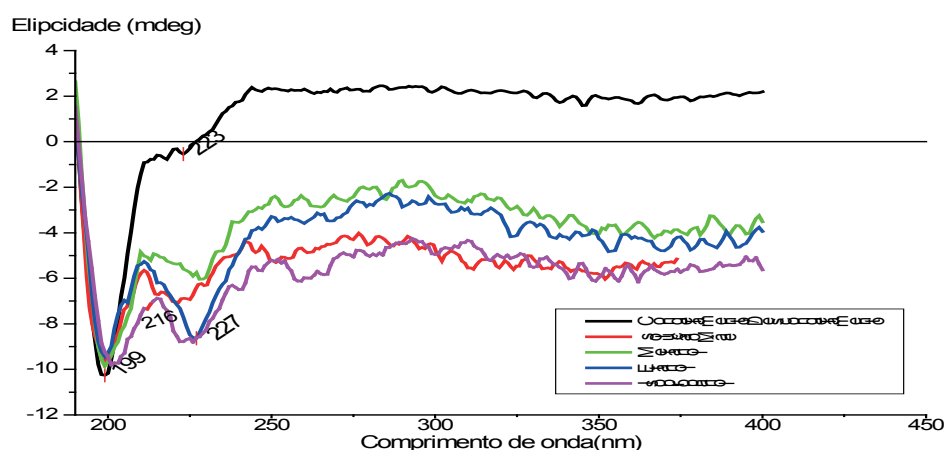
As micrografias do pó de sericina foram obtidas por meio de um microscópio eletrônico de varredura (Shimadzu SS-550) do Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa – COMCAP da UEM. Esta técnica permite uma observação superficial de sólidos. Por meio de um estreito feixe de elétrons, varre-se a superfície da amostra,

ponto a ponto, em seqüência de tempos determinados. Os sinais obtidos são captados por detectores, capazes de produzir imagens tridimensionais aumentadas. Para realizar a análise as amostras foram aderidas a um porta amostra, com a utilização de uma fita dupla-face condutora de carbono, metalizadas com ouro, para garantir a condutividade elétrica de sua superfície de observação. O tratamento dos dados foi realizado com auxílio do software Superscan SS-550.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Dicroísmo Circular

Na Figura 1, se apresenta os resultados do espectro de dicroísmo circular da sericina em pó obtido pelo processo de desidratação em “spray dryer”. Nesse gráfico pode-se verificar modificações na estrutura secundária da sericina para os diversos métodos de extração. O espectro de dicroísmo circular, que analisa a estrutura secundária de uma proteína, pode ser comprovado pela posição de intensos picos positivos e negativos. Para a estrutura  $\alpha$ -hélice um pico positivo em 192 nm e dois picos negativos em 208 e 222 nm que são corrente observadas em proteínas. Já para a estrutura folha beta é identificada por um pico negativo, próximo a 216 nm, e um pico positivo próximo a 198 nm. A estrutura aleatória é identificada por um pico negativo próximo a 198 nm (Oh et al., 2011). Picos ou ombros abaixo de zero no comprimento de onda de aproximadamente 220 nm sugerem a existência de outras estruturas, coexistindo com a aleatória. Folha beta e a beta turn exibem picos negativos próxima de 216 e, entre 220 e 230 nm, respectivamente (HUANG et al., 2003).



**Figura 1** Espectro de dicroísmo circular da sericina obtida por secagem em “spray dryer”.

Conforme Figura 1, o pó de sericina obtido a partir de separações utilizando solventes orgânicos e da solução mãe (logo após extração) apresentam espectros semelhantes, com um pico mais intenso e negativo em 199 nm e outro negativo entre

223 e 227 nm, mais no decorrer de toda a varredura os picos estão presentes na região negativa. O pico forte negativo em 199 nm é característico da estrutura aleatória, e os picos negativos em 223 e 227 nm é característico da estrutura beta turn. Comparando os picos da sericina precipitada com solvente orgânico e da solução mãe, nota-se somente diferenças em relação a intensidade, concluindo que conforme aumenta a intensidade do pico maior é a interação proteína-solvente. O pico mais intenso é da sericina precipitada com isopropanol mostrando mais estrutura beta turn e menos estrutura aleatória. O pico menos intenso é a sericina precipitada com metanol apresentando menos estrutura beta turn e mais estrutura aleatória.

Os autores Cho et al. (2003), Tsukada et al. (1979), Lee et al. (2003), Dash et al. (2007) reportam que a sericina apresenta um pico intenso negativo em 199 nm e um pico negativo de baixa intensidade em 223 nm. Kunduet al. (2008) e Dash et al. (2007) defenderam que a sericina se apresenta parcialmente no estado desdobrado, com 63% de estrutura aleatória, 35% de estrutura folha beta e 10,6% de estrutura beta turn, sem traços de estrutura helicoidal. Conforme resultados obtidos não se observa para os materiais investigado a existência dessa estrutura helicoidal, uma vez que não existe pico positivo no espectro, em 192 nm.

Wu et al. (2007), no que se refere ao espectro de dicroísmo circular com sericina obtida por “*spray dryer*” a partir da sericina precipitada com etanol, observaram a presença de um pico negativo em 198 nm, representativo de estrutura aleatória, e um pico negativo em 218 nm, representativo de estrutura folha beta.

Em relação à sericina em pó precipitada pelo método de congelamento/descongelamento, apresenta um forte pico negativo em 199 nm e um ombro negativo próximo 223 nm. O pico em 199 nm caracteriza presença de estrutura aleatória presente em maior quantidade, e o ombro em 223 nm indica a presença de estrutura beta turn. Comparativamente, a sericina precipitada utilizando alcoóis apresenta uma quantidade maior da estrutura folha beta característica do pico negativo em 216 nm que não foi observada na sericina separada pelo congelamento/descongelamento. Concluindo assim que a forma de separação altera a estrutura secundária da proteína

## 4.2 Análise de cor

Na Tabela 1, se apresenta os resultados dos parâmetros colorimétricos da sericina em pó, este desidratado pelo método da secagem em “*spray dryer*”.

	Variáveis				
	L*	a*	b*	C	h*
SM	92,67	-5,01	12,53	13,49	111,79
Cong/ Desc	90,40	-3,94	20,31	20,69	101,05
MeOH	94,15	-4,86	10,64	11,69	114,59
EtOH	94,05	-4,72	10,20	11,24	114,85
IsoOH	94,34	-4,76	10,12	11,18	115,19

**Tabela 1** Valores médios de caracterização colorimétrica do pó de sericina pelo método de secagem em “spray dryer”

Em que: L\* = luminosidade; a\* = (+) vermelho, (-) verde e b\* = (+) amarelo, (-) azul; C = saturação; h\* = ângulo de tinta.

Pode-se observar que dentre as amostras de pó de sericina obtidas pelo método de secagem em “spray dryer”, a mais clara (variável L\*) é a amostra que foi precipitada com isopropanol, e a menos clara é aquela precipitada pelo método de congelamento/descongelamento. De certa forma, todas as amostras apresentaram valores de luminosidade elevado (são claras) e bastante próximos entre si.

Todas as amostras acima, apresentaram quantidade de pigmentação verde (definido pelo valor -a\*), sendo que a amostra mãe (-5,01), apresenta uma maior quantidade dessa pigmentação em relação as demais amostras, e a amostra precipitada pelo método de congelamento/descongelamento apresenta a menor quantidade dessa pigmentação (-3,94).

A variável b\* identifica que a amostra precipitada pelo método descongelamento/descongelamento é mais amarela que as demais (+20,31), e o parâmetro C, mostra a saturação do pigmento, mostrando assim que o método de congelamento/descongelamento apresenta coloração mais saturada, conseqüentemente, mais escura que foi confirmada pelo método h\* que apresenta o menor ângulo de tinta, e esse valor mais próximo do parâmetro b\* (pigmentação amarela).

#### 4.3 Análise de solubilidade de sericina em pó em água

Na Tabela 2, para os diversos métodos de extração, apresenta-se os resultados da solubilidade em água da sericina em pó.



Método de separação	Solubilidade em água (%)	
	Método de secagem “spray dryer”	
SM	21,8293 ± 0,9383 <sup>a</sup>	
Cong/Desc	37,3319 ± 0,2743 <sup>b</sup>	
MeOH	8,8340 ± 0,2593 <sup>c</sup>	
EtOH	9,5575 ± 0,2503 <sup>c</sup>	
IsoOH	9,6412 ± 0,5062 <sup>c</sup>	

**Tabela 2** Solubilidades em água do pó de sericina.

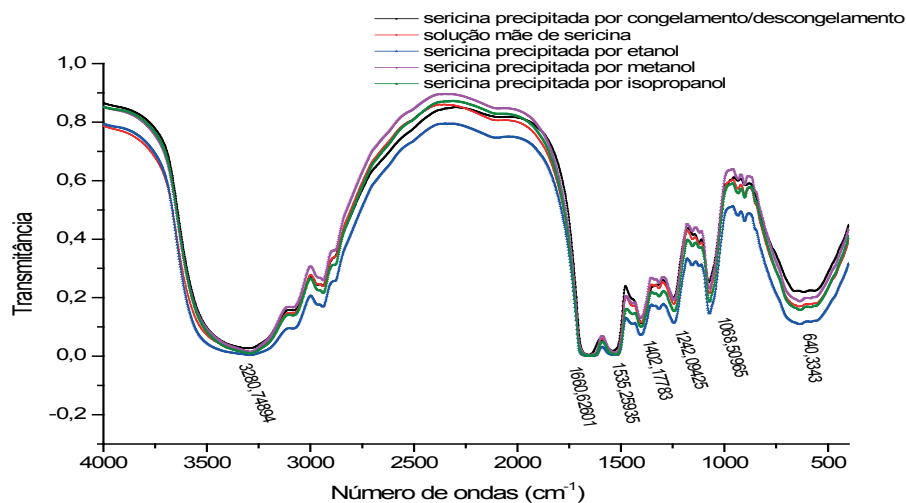
Média ± desvio padrão (3 repetições). Nota: letras diferentes, na mesma coluna, representam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as médias obtidas através do Teste de Tukey, as diferenças são apresentadas somente entre os reagentes, e não entre o método de secagem.

Observa-se na Tabela 2, que a sericina obtida pelo método de separação por congelamento/descongelamento seca por “spray dryer” é bem mais solúvel em água, do que aquelas obtidas quando se usou solvente orgânico. O efeito do solvente contribui para mudar a conformação da proteína, possivelmente diminuindo a exposição de grupos hidrofílicos que facilitam a hidratação, fazendo com que o material sericina obtido seja menos solúvel na água.

Comparando somente os pós de sericina obtido utilizando solvente orgânico, verificou-se que o isopropanol, etanol e metanol se comportam de maneira similar, estatisticamente.

#### 4.4 Espectroscopia de absorção no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Na Figura 2, se apresenta o resultado da FTIR de amostras de sericina em pó da solução mãe, separadas com solvente orgânico (metanol, etanol e isopropanol) e pelo método de congelamento/descongelamento. As referidas amostras foram secas em “*spray dryer*” e a técnica de espectroscopia de absorção no infravermelho mostra a frequência vibracional específica do eixo principal dos polipeptídios e possibilita analisar as ligações e grupos funcionais, determinando as mudanças conformacionais nas moléculas de proteína.



**Figura 2** Espectro de FTIR da sericina obtida pelo método de secagem em “spray dryer”.

Os espectros FTIR da sericina em pó exibiram bandas de absorção características de amidas. Existem quatro diferentes bandas de vibração distinta associado a essa proteína: As bandas das amida I, II e III e IV presentes nos espectros de FTIR que são características do composto devido às amins ricas em resíduos de glicina e prolina e estão diretamente relacionadas à conformação peptídica (Anghilieriet *al.* 2007). Segundo Anghilieriet *al.* (2002, 2007) a banda da amida I, com frequências características entre 1600 e 1700  $\text{cm}^{-1}$  é associada principalmente com as vibrações de estiramento de grupos carbonila (C=O). Há também contribuições em menor escala das vibrações de estiramento de C-N e de flexão de N-H. As frequências de vibração de cada ligação C=O dependem da força das ligações de hidrogênio com o oxigênio da carbonila, bem como das interações entre as unidades de amidas, ambas influenciadas pela conformação peptídica local relacionada com a estrutura secundária. Na região da amida II há bandas entre 1520-1545  $\text{cm}^{-1}$ , estas bandas vibracionais estão relacionadas a uma combinação fora de fase de flexão de ligações N-H e estiramento de ligações C-N. Na amida III, as bandas estão localizadas entre 1243-1253  $\text{cm}^{-1}$ , e são relacionadas com as vibrações de estiramento C-N e amida IV (640- 660  $\text{cm}^{-1}$ ). Pode-se observar uma banda de absorção larga entre 3280  $\text{cm}^{-1}$ , característico de ligações de hidrogênio intramolecular com carbonila (TERAMOTO et. al., 2005).

Muyongaet al. (2004) relatam que as mudanças nas bandas destas amidas para menores comprimentos de onda, aumento ou diminuição na intensidade de absorbância da amida III e a ampliação da da amida I estão associados ao aumento de interações intermoleculares (através de ligações de hidrogênio).

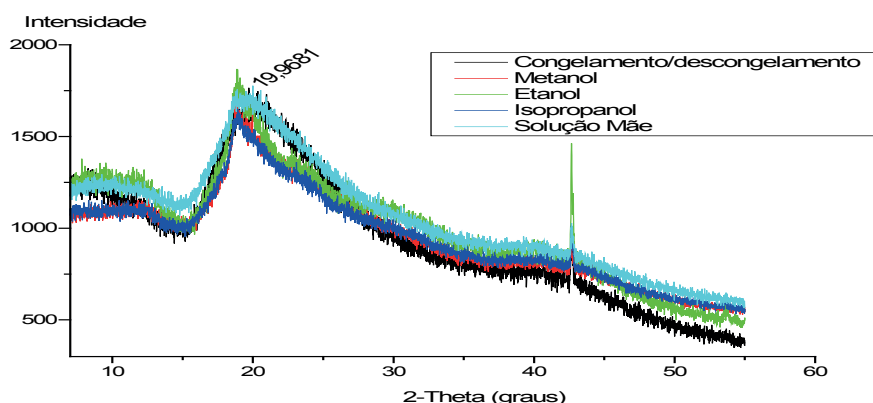
Tomadon (2011) revela que a sericina secada por “spray dryer” e a sericina comercial apresentam espectros similares, ao contrário da sericina precipitada por congelamento/descongelamento. A sericina secada por “spray dryer” apresenta estrutura folha beta, com pico em 1527  $\text{cm}^{-1}$ , estrutura aleatória, com pico em 1650

cm<sup>-1</sup> e estrutura beta turn, com pico em 1672 cm<sup>-1</sup>. Nesse estudo são visualizados picos próximos a esses valores.

Dos resultados apresentados, na Figura 2, verifica-se que não houve diferenças nos espectros no que se refere ao perfil, mostrando que todas as amostras apresentam as mesmas bandas, assim, a sericina não foi alterada em relação a ligações e grupos funcionais, ocorreu somente mudanças nas intensidades dos picos, mostrando que o pó de sericina precipitado por etanol apresenta maior intensidade, isto indica que o etanol induz a proteína se conformar com estrutura folha beta.

#### 4.6 Difração de raios-X

Na Figura 3, se apresenta o resultado da difração de raio-X da sericina em pó precipitada com os três diferentes solventes orgânicos, pelo método de congelamento/descongelamento e com a solução mãe de sericina. Todas as amostras foram secadas por “spray dryer” e os resultados conferem informações sobre a estrutura cristalina da sericina e suas conformações.



**Figura 3** Espectro de difração de raio X da sericina obtida pelo método de secagem em “spray dryer”.

A sericina separada por diferentes solventes orgânicos e pelo método de congelamento/descongelamento apresentaram pouca diferenças em seu material, pois como se observa na Figura 3, todas as amostras apresentam um pico bem definido e estreito em 19,9° e um ombro em 23,1°, que é característico de um material amorfo, mas diferenças em relação a intensidade. Conforme verificado em Lee et al. (2003), o primeiro pico ( 19,9°) representa as ligações de hidrogênio intermoleculares da sericina que, por sua vez, corresponde à estrutura folha beta.

A diferença de intensidade observada nas amostras ocorreu devido à diferença na estrutura, pois quanto mais intenso o difratograma, maior a sua estrutura cristalina. A sericina obtida com o uso do solvente etanol foi a que apresentou estrutura um pouco mais cristalina, conseqüentemente maior quantidade de estrutura folha beta, seguido por sericina obtida com uso de congelamento/descongelamento estrutura mais aleatoria, e sericina obtida com metanol e por último a obtida com uso de isopropanol.

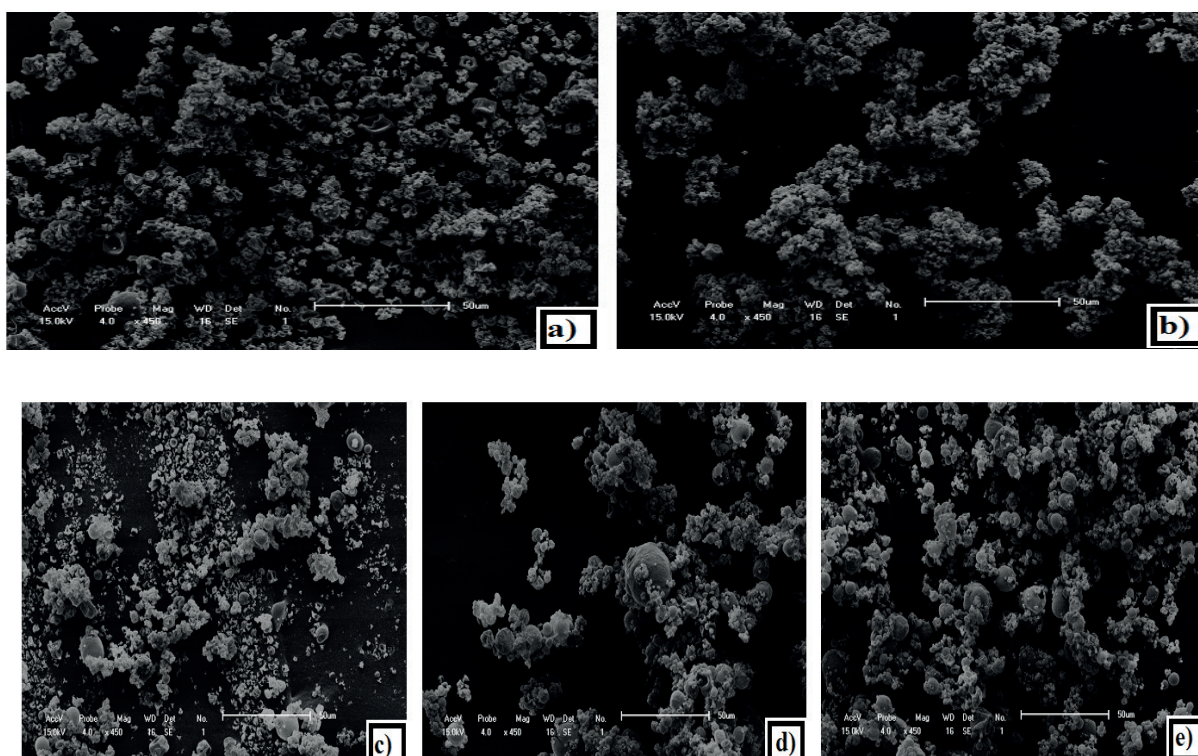
Tomadon (2011) afirma que a adição de etanol causa ainda mais mudança na estrutura secundária da sericina, isto é, além da mudança estrutural ocorrida durante o processo de extração, o etanol induz a um aumento ainda maior na quantidade de estrutura cristalina presente na sericina, fato representado pela estrutura folha beta.

Dash et al. (2009) também observaram modificações na estrutura secundária da sericina através da adição de etanol. Seus difratogramas mostraram uma transformação de estrutura aleatória para folha beta devido às pontes de hidrogênio intermoleculares, ou seja, constataram um aumento na cristalinidade com a adição de etanol.

Pode-se verificar com as Figura 3, que a sericina em pó obtida é predominantemente um material amorfo apresentando pouca estrutura cristalina.

#### 4.7 Microscopia Eletrônica de varredura

Para realizar o estudo morfológico da sericina em pó, obtida com diferentes métodos separação/insolubilização e secagem em “spray dryer”, fez-se a microscopia eletrônica de varredura (MEV), cujos resultados são apresentados na Figura 4.



**Figura 4** Microscopia das partículas obtidas quando se utilizou a) solução mãe, b) separação por congelamento/descongelamento, c) separação com solvente metanol, d) separação com solvente etanol e e) separação com solvente isopropanol.

A Figura 4, demonstra que a estrutura de partículas de sericina quando seca por “spray dryer” apresenta-se na forma de pós muito finos. Esses pós de sericina, quando aumentado, apresentaram forma esférica bastante irregular. Esta forma de partículas é característica do processo de secagem “spray dryer” em que se inicia a secagem com uma gotícula (esférica) formando uma partícula que teria forma final relativamente esférica. Como a concentração de proteínas na gotícula não é tão elevada à saída de

água com a secagem faz as partículas terem forma muito irregular.

Tomadon (2011) descreve que a sericina, secada por “spray dryer”, apresenta partículas de tamanhos diminutos, ultrafinas, e sua forma se assemelha a uma gota enrugada. Reporta o autor que esta estrutura é característica do processo de secagem por “spray dryer” onde uma gota de sericina é lançada de encontro a uma corrente de ar quente e isto provoca uma evaporação muito rápida da água. O fenômeno faz com que as partículas de sericina permaneçam com a forma de gota, porém pela evaporação da água, a partícula enrugada.

Gençet al.(2009) estudaram e caracterizaram sericina seca por “spray dryer”. Observaram que, após secagem, uma variedade de partículas desde esferas porosas até partículas não porosas lisas ou enrugadas coexistem. Eles reportam que as fotos apresentaram diferentes formas de partículas, tamanhos e distribuição de tamanho da sericina em pó. Como aquelas que tiveram uso de álcoois que apresentam-se com tamanho menor.

#### 4 | CONCLUSÃO

Com base em todo este estudo concluiu que a secagem por “spray dryer” produziu partículas que não apresentam diferença na estrutura secundária. Partículas de sericina obtidas quando se usa “spray dryer” são luminosas e solúveis. No geral, as partículas de sericina obtidas são amorfas não ocorrendo mudanças estruturais na proteína (grupos funcionais). Mudanças morfológicas visualizadas na microscopia eletrônica de varredura mostram partículas produzidas por “spray dryer” são esféricas.

#### REFERÊNCIAS

- ALVES, G.P. **Estudo do processo de produção de partículas lipídicas sólidas e lipossomas: estudo de variáveis e Encapsulação de medicamentos de primeiro tratamento para tuberculose**. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Química – Unicamp, Campinas, São Paulo, 2003.
- ARAMWIT, P.; SANGCAKUL, A. **The effects of sericin cream on wound healing in rats**. *Bioscience Biotechnology Biochemistry*, v.71, n. 10, p. 2473-2477, 2007.
- CARNEIRO, F. R. G. **Análises Estruturais e Estudos das interações das Proteínas Int6 e NyRen-21**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2006.
- CHO, K. Y.; MOON, J. Y.; LEE, Y. W.; LEE, K. G.; YEO, J. H.; KWEON, H. Y.; KIM, K. H.; CHO, C. S. **Preparation os self-assembled silk sericin nanoparticles**. *Int.J. Biol. Macromol.*, v. 32, p. 36-42, 2003.
- DASH, R.; GHOSH, S.K.; KAPLAN, D. L.; KUNDU, S.C. **Purification and biochemical characterization of a 70 kDasericin from tropical tasar silkworm, *Antheraea mylitta***. *Comp. Biochem. Phys. B.*, v. 147, p. 129-134, 2007.
- DASH, R.; MANDAL, B. B.; KUNDU, S.C. **Silk gland sericin protein membranes: fabrication**



**and characterization for potential biotechnological applications.** J. Biotechnol., v. 144, p. 321-329, 2009.

EASTMAN, J.E.; MOORE, C.O., **Cold water soluble granular starch for gelled food composition** .U.S. Patent 4465702, 1984.

GENÇ, G., BAYRAKTAR, O., BASAL, G., **A research on the production of silk sericina powders by using spray drying method.** Tekstil ve Konfeksiyon 19 (4), p. 273- 279. 2009.

GONÇALEZ, J. C. **Caracterisation technologique de quatre especes peu connues da la forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couler, propriétés physiques et mécaniques.** Nancy, 1993. 446f. : il. Thèse (Doctorat) – Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Nancy, 1993.

HUANG et al., 2003

KUNDU S.C., DASH B.C., DASH R., KAPLAN D.L. **Natural protective glue protein, sericin bioengineered by silkworms: potential for biomedical and biotechnological applications.** Prog. Polym.Sci., 33, p. 998–1012, 2008.

LEE, K.; KWEON, H. Y.; YEO, J. H.; WOO, S. O.; LEE, Y. W.; CHO, C.; KIM, K. H.; PARK, Y. H. **Effect of methyl alcohol on the morphology and conformational characteristics of silk sericin.** Int. J. Biol. Macromol., v. 33, p. 75-80, 2003.

MUYONGA J.H COLE., C.G.B., DUODU K.G., **Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopic study of acid soluble collagen and gelatin from skins and bones of young and adult Nile perch (Latesniloticus).** Food Chemistry, 86, p. 325–332, 2004.

NATH, S.; SATPATHY, G. R. **A systematic approach for investigation of spray drying processes.** Dry. Technol., v.16 (6), p. 1173 – 1193, 1998.

OH, H.; LEE, Y.; KIM, M. K.; UM, I. C.; LEE, K. H. **Refining hot -water extracted silk sericin by ethanol-induced precipitation.** Int. J. Biol. Macromol., v.48, p. 32-37, 2011.

PATEL, R.J., MODASIYA, M.K., **Sericin-pharmaceutical applications.** Int. J. Res. Pharm. Biomed. Sci. 2, p.919-917, 2011.

SAROVART, S., SUDATIS, B., MEESILPA, P., GRADY, B.P., MAGARAPHAN, R., **The use of sericin as antioxidant and antimicrobial for polluted air treatment.** Rev. Adv. Mater. Sci. 5, p. 193-198, 2003.

SONE, A. P. **Utilização da sericina no preparo de biomaterias para aplicação como curativos destinados a queimaduras.** 2017. 142f. Tese (Doutorado em Engenharia de Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá: 2017.

TERAMOTO, J., MIYAZAWA, M. **Molecular orientation behaviour of silk sericin film as revealed by ATR infrared spectroscopy.** Biomacromolecules, v. 6, p. 2049-2057, 2005.

TOMADON JR., J. **Obtenção da proteína sericina, com alta massa molecular, a partir de casulos *Bombyx mori*.** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, Dissertação de Mestrado, 2011.

TSUKADA, M.; KOMOTO, T.; KAWAI, T. **Conformation of liquid silk sericin.** Polym.J. v. 11 (6), p. 503-505, 1979.

VAITHANOMSAT, P, KITPREECHAVANICH. V. **Sericin separation from silk degumming wastewater. Separation and Purification Technology.** 59, p. 129–133, 2008.



WU, J. H., WANG, Z., XU, S.Y. **Preparation and characterization of sericin powder extracted from silk industry wastewater**. FoodChemistry, v. 103, p.1255–1262, 2007.

## ESTUDO DA CONFORMIDADE DE BLOCOS CERÂMICOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE CHAMOTE E CASCA DE ARROZ

### Ivando Stein

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul  
UNIJUI Santa Rosa – RS

### Maurício Livinali

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul  
UNIJUI Santa Rosa – RS

### Éder Claro Pedrozo

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul  
UNIJUI Santa Rosa – RS

### Lucas Fernando Krug

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul  
UNIJUI Santa Rosa – RS

**RESUMO:** Toda atividade econômica gera resíduos, seja pela própria extração de recursos naturais ou por rejeitos gerados. O rejeito de cerâmica gerado no processo de quebra de tijolos pós-queima (chamote), na maioria das vezes, é descartado de maneira inadequada no meio ambiente, o mesmo ocorre com o resíduo da casca de arroz: resíduo agrícola, de difícil degradação, que se não descartado adequadamente, constitui fonte de poluição e de contaminação ambiental. Uma saída segura para o problema dos resíduos é o emprego em materiais da construção civil, principalmente no setor de cerâmica vermelha. Assim, com o intuito de dar uma destinação a esses resíduos,

a pesquisa analisou a conformidade de blocos cerâmicos de vedação (tijolos de 6 furos) fabricados com adição de chamote e casca de arroz agregada com argila. A produção dos tijolos realizou-se diretamente em uma indústria cerâmica, localizada na cidade de Santa Rosa. Através da caracterização em laboratório, em relação a parâmetros normativos da NBR 15270 (ABNT, 2017) das propriedades físico-mecânicas dos blocos, na qual realizou-se a verificação dimensional, absorção de água e resistência à compressão, verificando sua viabilidade e atestando o uso para produção em grande escala, uma vez que o traço de 75% de argila, 15% de chamote e 10% de casca de arroz obtiveram resultados dos parâmetros ensaiados dentro dos limites preconizados pela NBR 15270.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos industriais, construção civil, blocos cerâmicos, chamote, casca de arroz.

**ABSTRACT:** All economic activity generates waste, either by the extraction of natural resources or by generated rejects. The ceramic dispenser generated in the process of post-burn brick breakage, most of the time, is discarded inadequately in the environment, the same occurs with the residue of the rice husk: agricultural residue, of difficult degradation, if not disposed adequately, it constitutes a source

of pollution and environmental contamination. A safe exit to the problem of waste is employment in construction materials, mainly in the red ceramics sector. Thus, in order to give a destination for these wastes, the research analyzed the conformity of ceramic blocks of sealing (six-hole bricks) manufactured with the addition of the name and rice husk aggregated with clay. The production of the bricks was carried out directly in a ceramic industry, located in the city of Santa Rosa. Through the laboratory characterization, in relation to normative parameters of NBR 15270 (ABNT, 2017) of the physical-mechanical properties of the blocks, in which the dimensional verification, water absorption and compression resistance were carried out, verified its Feasibility attesting to its use for large-scale production, since the 75% clay, 15% name and 10% of rice husk obtained results of the parameters tested within the limits recommended by the standard.

**KEYWORDS:** Industrial waste, civil construction, ceramic blocks, call, rice husk.

## 1 | INTRODUÇÃO

Atualmente, segundo Cavalli e Bertoldi (2016), há uma grande preocupação por parte da sociedade devido a quantidade crescente de resíduos industriais, já que, praticamente toda a atividade econômica gera resíduos, com quantidades variáveis e características próprias. A disposição inadequada desses resíduos pode gerar impactos ambientais principalmente em solo e águas superficiais e subterrâneas. (PENKAITIS 2012). Para Medeiros (2010), a indústria da construção civil apresenta elevado potencial de incorporação desses resíduos industriais que podem ser utilizados como matéria-prima alternativa, uma vez que disponíveis em grandes quantidades e sem destinação pela indústria que o produz, sua utilização pode levar a vantagens econômicas, técnicas e ecológicas, ademais solução de muitos problemas da indústria. O aproveitamento de resíduos, além de minimizar os problemas ambientais, é visto como atividade complementar, que pode contribuir para a diversificação dos produtos e para a diminuição do custo final (MEDEIROS, 2010). Um exemplo é o resíduo de cerâmica, gerado no processo de quebra de tijolos pós-queima que, na maioria das vezes, é descartado inadequadamente no meio ambiente, uma vez que para Prado, Bedoya & Mercury (2016) poderiam ser reutilizados como materiais não-plásticos ou chamote em novas formulações. O mesmo ocorre com os resíduos agroindustriais, no caso a casca de arroz (CA) já que, segundo Tashima *et al.* (2011), de difícil degradação no meio ambiente e, se não for descartado adequadamente, constitui fonte de poluição e de contaminação ambiental. Uma solução para amenizar o problema gerado por esses resíduos é o emprego em materiais da construção civil, principalmente no setor de cerâmica vermelha. Segundo Vieira (2000), a adição de chamote na massa cerâmica para produção de blocos cerâmicos, pode ter reflexos positivos devido a adição contribuir com o melhoramento do grau de empacotamento das partículas. Para Candido (2012), além de minimizar os prováveis impactos

causados ao ambiente pelo descarte indevido, o chamote interfere nas propriedades cerâmicas como redutor de plasticidade, diminuindo a quantidade de água adicionada à massa e assim reduzindo a retração de secagem, melhorando a qualidade do produto final. Já Rambo (2009), ressalta que o aproveitamento da casca de arroz tem se revelado uma possível alternativa econômica para o setor, devido a possibilidade de geração de bioprodutos com elevado valor agregado. Ainda, segundo o autor, as cascas quando não são queimadas visando o aproveitamento energético, na maioria das vezes, são deixadas no meio ambiente, razões suficientes para se investir na pesquisa e no desenvolvimento de tecnologia que faça uso desses resíduos.

Diante do exposto, o presente estudo visa incorporar resíduos de chamote e casca de arroz na produção de blocos cerâmicos utilizados para vedação, buscando obter uma avaliação quanto a possibilidade de destinação desses resíduos na produção industrial de blocos cerâmicos. O traço pesquisado é de 75% de argila, 15% de chamote e 10% de casca de arroz.

## 2 | OBJETIVOS

Assim, o objetivo da presente pesquisa é analisar, com base em estudos laboratoriais, conforme a NBR 15270 (ABNT, 2017), a conformidade de blocos cerâmicos moldados com a incorporação em seu traço de resíduos, para a possibilidade de produção e comercialização industrial desse tipo de produto, visando fomentar uma possível destinação dos resíduos de chamote e casca de arroz na produção de blocos cerâmicos.

## 3 | METODOLOGIA

A indústria cerâmica, na qual foi utilizada para produção dos tijolos, é de médio porte, semi-automatizada, onde predominam técnicas mecanizadas de fabricação, produzindo atualmente, blocos estruturais, de vedação e telhas cerâmicas. A determinação do traço utilizado dá-se com base na revisão bibliográfica de resultados anteriores realizados com este resíduo e em comum acordo entre os técnicos da indústria cerâmica, na qual adotou-se para a pesquisa: 75% de argila, 15% de chamote e 10% de casca de arroz em sua composição, respeitando os limites recomendados, conforme Figueiredo (2008), de teores com até 25% de materiais não-plásticos na composição de massas cerâmicas. O resíduo de chamote (Figura 1.a) é oriundo da própria indústria cerâmica em questão, resultante das quebras de tijolos pós-queima, na qual estavam armazenadas, sem destinação, por um longo período. Já a casca de arroz, demonstrada na Figura 1.b, é proveniente de uma indústria cerealista de São Luiz Gonzaga.

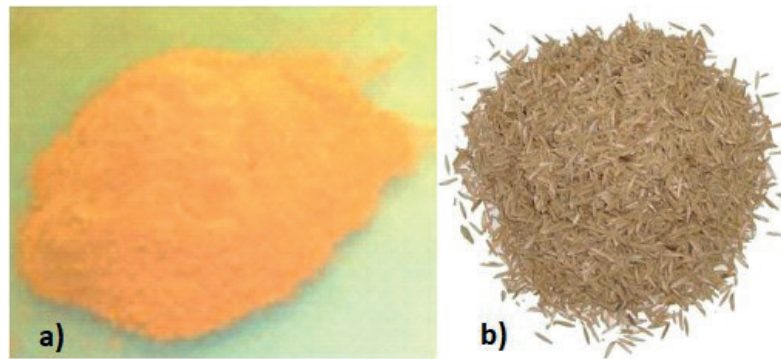


Figura 1: Resíduos de chamote e casca de arroz. Fonte: Autor do Trabalho.

A massa preparada foi introduzida no caixão alimentador acoplado ao misturador e posteriormente adicionado água até atingir um percentual de aproximadamente 28 % de umidade, seguindo para o laminador e, por meio de uma correia, transportada para a extrusão, com capacidade para produção de 80 blocos por minuto, equipado com câmara de vácuo para retirada do ar incorporado. Foram conformados blocos cerâmicos de vedação com dimensões nominais de 90x140x190 mm, de 6 furos na horizontal. Após secagem artificial em temperatura controlada de 110°C, durante 48 horas, os blocos foram queimados em forno intermitente tipo túnel, sendo que necessitam de 16 horas até chegar ao patamar, na qual permaneceram durante 10 horas na temperatura de 950°C, e 24 horas para resfriamento, conforme a forma de produção do local. Algumas das etapas do processo de fabricação do bloco estão demonstradas na Figura 2.



Figura 2: Processo de fabricação do bloco cerâmico em estudo. Fonte: Autor do Trabalho.

Para o prosseguimento da pesquisa, os blocos foram submetidos a testes de caracterização físico-mecânicas, sendo que os requisitos mínimos são apresentados



na NBR 15270-1 (ABNT, 2017), e os procedimentos de ensaio na NBR 15270-2 (ABNT, 2017). As características geométricas avaliadas são: dimensões das faces, espessuras das paredes e septos, desvio em relação ao esquadro e planeza das faces. Para as características físicas e mecânicas foram analisadas, respectivamente, a absorção de água e a resistência mecânica à compressão. Todos ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil (LEC) da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI. Em relação à quantidade de amostras para cada ensaio, realizou-se conforme a NBR 15270-1 (ABNT, 2017), na qual torna-se necessária a utilização de 13 amostras para a verificação das seguintes características geométricas e mecânicas: dimensões efetivas, espessura dos septos e das paredes externas, desvio em relação ao esquadro, planeza das faces e resistência à compressão. Já para o índice de absorção de água são necessárias 6 amostras.

Para a verificação das características geométricas, realizou-se em uma superfície lisa e nivelada, como exigido pela NBR 15270-1 (ABNT, 2017), efetuando-se as medições conforme demonstra a Figura 3. Foi utilizado um esquadro de alumínio de 200 mm de comprimento, uma trena metálica *Starrett* de 5,0 m de comprimento, com resolução de 1mm e um paquímetro digital, marca *Stainless Hardened*, com precisão de 0,01 mm. Os blocos enquadram-se, segundo a norma na classe VED15 - indicado exclusivamente para uso em vedação - com dimensões nominais definidas de 90x140x190mm (largura, altura, comprimento) que serviram de referência para a avaliação das medidas das faces. A verificação da espessura das paredes externas consiste em determinar a espessura das paredes externas dos blocos de acordo com os pontos indicados na norma. A verificação do desvio em relação ao esquadro realiza-se as medições entre as faces destinadas ao assentamento e ao revestimento do bloco. A planeza das faces foi determinada para as faces destinadas ao revestimento, pela flecha na região central de sua diagonal.



Figura 3: Análise em relação às características geométricas. Fonte: Autor do Trabalho.



Para as características físicas, a NBR 15270 (ABNT, 2017) exige o ensaio de absorção de água, regulando os limites entre o mínimo de 8% e o máximo de 25% de absorção. O objetivo do ensaio proposto é a verificação da água absorvida no período de 24 horas, à temperatura ambiente, isto é, quanto mais água absorvida, maior a porosidade existente na massa cerâmica. O ensaio de absorção de água, demonstrado na Figura 4, foi determinado através da diferença entre o peso úmido e peso seco dos blocos. A massa seca foi determinada através da pesagem, em intervalos de uma hora, após permanecerem na estufa à temperatura de 105°C, até não apresentarem variação de massa. Já o peso úmido foi obtido através da imersão dos blocos em água por 24 horas, à temperatura ambiente.



Figura 4: Realização do ensaio de absorção de água. Fonte: Autor do Trabalho.

Para o ensaio de resistência à compressão, utilizou-se uma prensa modelo EMIC PC200 com capacidade para 200.000 Kg. Para regularização da superfície, torna-se necessário proceder o capeamento das faces do bloco com pasta de cimento com resistência superior a 70% da resistência do bloco. Manteve-se o bloco na condição saturada durante 6 horas. A Figura 5 mostra a realização do ensaio. Nesse ensaio, verifica-se a capacidade de carga, que os blocos cerâmicos suportam, quando submetidos a forças de compressão, simulando a pressão exercida pelo peso da construção sobre os blocos. O não atendimento aos parâmetros normativos mínimos, segundo Almeida, Grippe & Goulart (2016), indica que a parede poderá apresentar problemas estruturais, como rachaduras e, conseqüentemente, oferecer riscos para a construção.



Figura 5: Ensaio de resistência mecânica à compressão. Fonte: Autor do Trabalho.

#### 4 | RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta uma relação das 13 amostras analisadas em relação às características geométricas conforme definidas pela NBR 15270 (ABNT, 2017). com as medidas das faces dos blocos (largura, altura e comprimento) nos pontos definidos pelo Anexo A da NBR 15270-2, onde é apresentado como tolerância individual do bloco  $\pm 5\text{mm}$ , e na média  $\pm 3\text{mm}$ . Observa-se que para a largura medida foi de 89,81 a 93,24 mm, já na altura obteve-se de 140,87 a 144,50 mm e no comprimento a medida foi de 185,90 a 193,00 mm. Assim, todas as amostras demonstraram-se dentro dos limites, uma vez que se apresentam abaixo da tolerância dimensional individual e na média das medições. Portanto, em relação as características geométricas, os tijolos cerâmicos produzidos pela presente pesquisa apresentam-se aptos para sua comercialização.

Amostras	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Altura (mm)	Desvio em relação ao esquadro (mm)	Septos (mm)	P. Externas (mm)	Planeza das Faces (mm)
1	91.62	187.00	140.87	1.01	9.29	9.20	1.15
2	92.02	190.00	144.50	2.75	8.27	9.42	0.95
3	92.90	190.00	143.00	0.97	9.67	9.83	0.95
4	91.53	189.00	141.84	1.80	9.63	9.22	1.00
5	93.24	193.00	144.33	1.66	9.20	10.26	1.07
6	92.86	191.00	142.98	2.97	8.88	8.87	1.06
7	91.10	189.00	143.72	2.35	7.97	8.58	1.00
8	89.81	185.90	141.15	3.00	8.81	9.90	1.59
9	92.08	188.40	142.98	2.97	9.02	8.88	0.73
10	91.20	187.80	142.79	1.96	8.03	8.51	1.59
11	92.04	188.00	141.77	2.88	8.64	10.78	2.11
12	91.84	190.00	144.18	2.98	8.00	10.24	2.07
13	91.57	188.00	141.16	2.97	8.67	9.87	1.20
<b>Média</b>	<b>91.83</b>	<b>189.01</b>	<b>142.71</b>	<b>2.33</b>	<b>8.78</b>	<b>9.50</b>	<b>1.27</b>

Tabela 1. Relação das características geométricas.

Fonte: Autor do Trabalho.

Nas medições da espessura das paredes externas, todas as amostras atendem a dimensão mínima de 7mm exigida pela norma, cujos resultados são vistos conforme a Figura 6. Vale salientar que na atualização da NBR 15270, não há parâmetros referente à espessura mínima dos septos, contudo, mediu-se a nível de conhecimento.

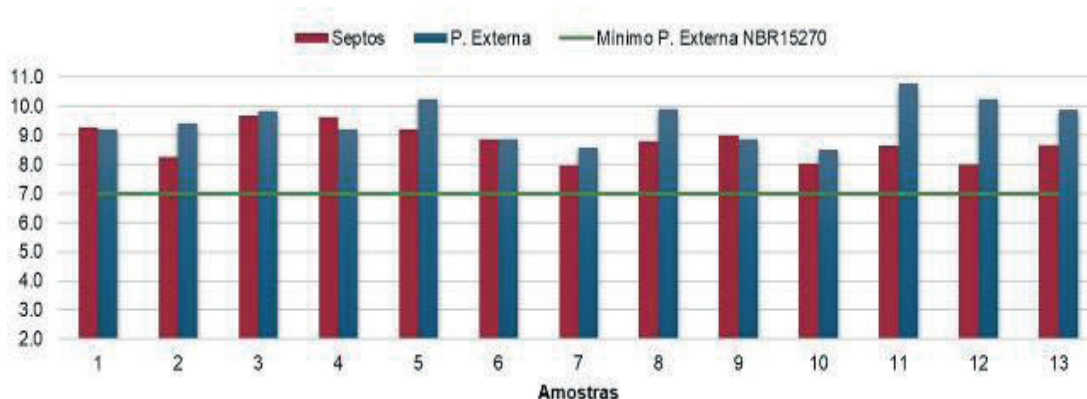


Figura 6: Espessura das paredes e septos. Fonte: Autor do Trabalho.

Realizou-se medições quanto ao desvio em relação ao esquadro de cada amostra, na qual a norma define um limite máximo de 3mm para aceitação. De acordo com os resultados obtidos na Figura 7, os blocos estão abaixo do valor especificado na norma, apresentando uma média de 2,33 mm.

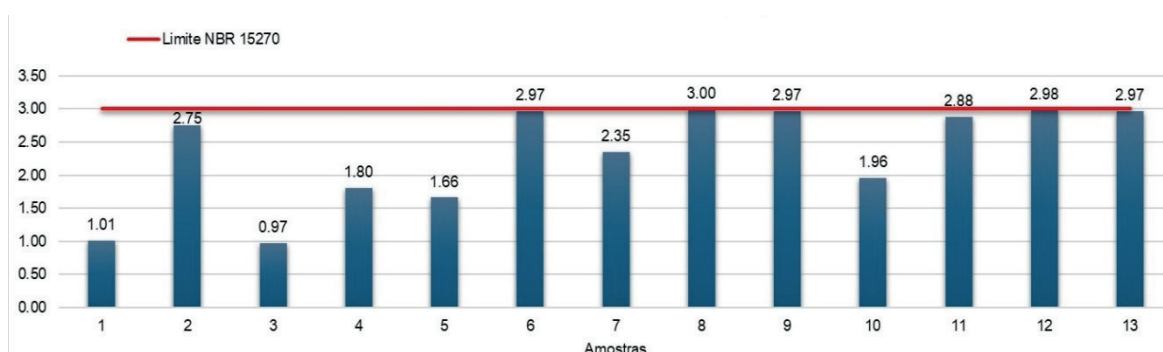


Figura 7: Desvio em relação ao esquadro. Fonte: Autor do Trabalho.

Em relação à medição da planeza das faces, demonstrados na Figura 8, apresenta-se muito abaixo do limite máximo estabelecido pela NBR 15270 de 3 mm, uma vez que não se verifica a presença de concavidades ou convexidades nas faces dos blocos analisados. A média obtida foi de 1,27 mm, sendo que a flecha máxima verificada foi de 2,11 mm.

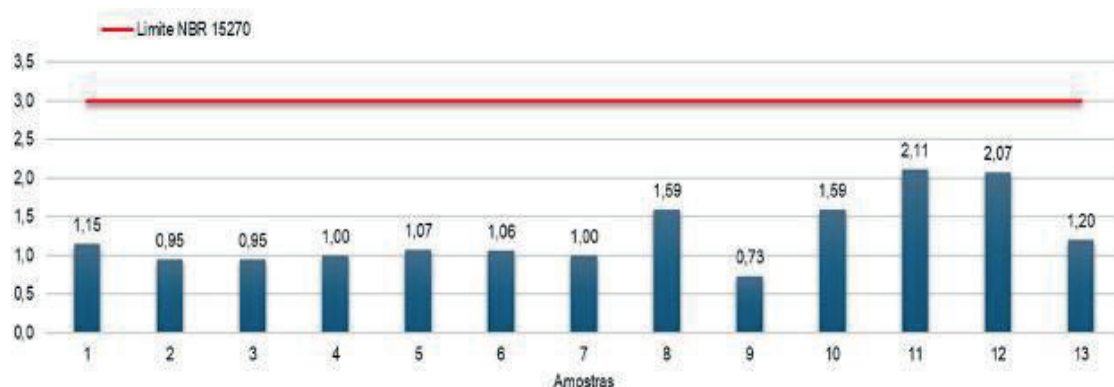


Figura 8: Planeza das faces. Fonte: Autor do Trabalho.

Na Figura 9, estão apresentados os resultados do ensaio de absorção de água, na qual verificou-se que todos os blocos atenderam as especificações da norma, não comprometendo a qualidade técnica do material. Vásquez (2005) salienta a importância da observância dos limites de absorção de água, já que se muito baixa compromete a aderência da argamassa, enquanto muito alta pode reduzir a resistência do bloco.

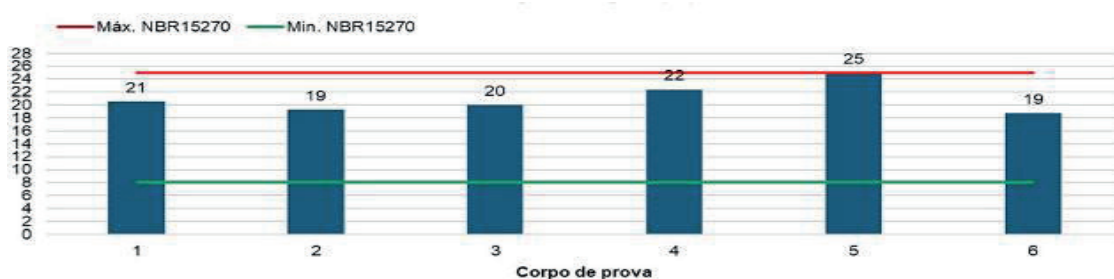


Figura 9: Absorção de água. Fonte: Autor do Trabalho.

Os resultados obtidos para o ensaio de resistência mecânica são demonstrados na Figura 10. Nota-se que dois dos treze blocos não atingiram o valor mínimo exigido de 1,5Mpa, porém a NBR 15270-1 prevê essa variação, adotando um limite máximo de duas unidades desconformes em uma amostra de treze blocos. Tal regulação define que a amostra estudada está de acordo também quanto as características mecânicas.

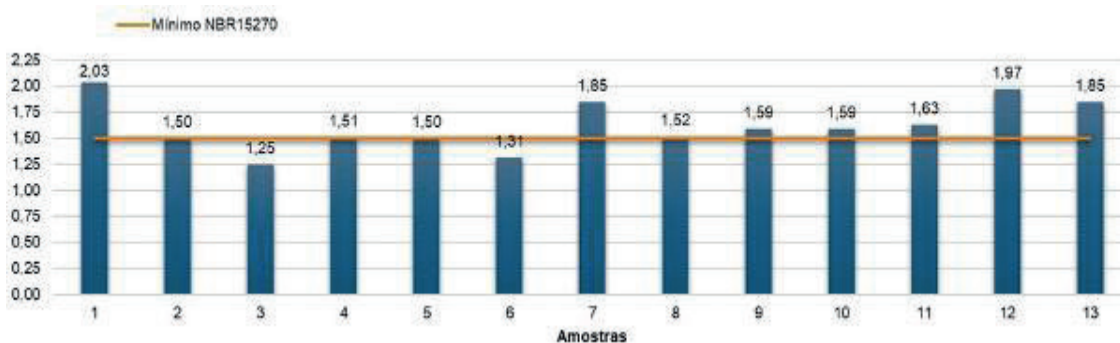


Figura 10: Resistência à compressão. Fonte: Autor do Trabalho.

## 5 | CONCLUSÕES

Diante dos resultados expostos na presente pesquisa, conclui-se que o bloco cerâmico produzido com o aproveitamento de resíduos de chamote e casca de arroz, no traço de 75% argila, 15% chamote e 10% casca de arroz, apresenta-se em conformidade em relação aos parâmetros mínimos exigidos pela NBR 15270. Para as características geométricas, os blocos cerâmicos apresentaram-se dentro dos limites estabelecidos pela norma. Os ensaios físicos de absorção de água, ficaram na faixa de 19 a 25%. Os resultados da resistência mecânica à compressão, apresentaram-se uma média de 1,62 Mpa, observa-se ainda, que o bloco 1 ficou bem acima do mínimo exigido, na qual apresentou 2,03 Mpa.

Conclui-se que, tecnicamente há um grande potencial para a utilização de resíduos de chamote e casca de arroz para a produção de blocos cerâmicos, tornando-se uma opção real para uma destinação de forma sustentável desses resíduos, podendo ser fabricado e comercializado em escala industrial.

Por fim, faz-se a indicação da continuidade do trabalho de novas combinações, com diferentes traços de resíduos na massa cerâmica do estudo em questão, a fim de verificar a que apresenta a melhor constituição em relação às características geométricas, mecânicas e físicas exigidas pela norma regulamentadora vigente e, ademais analisar a massa cerâmica e os blocos produzidos em relação a parâmetros que visam obter constituintes com melhor rendimento e economia para o processo de fabricação.

## REFERÊNCIAS

Almeida, P. H. S.; Grippe, V. Y. Q.; Goulart, J. V. Análise estrutural de blocos cerâmicos de vedação ou estruturais incorporados com lodo de lavanderia industrial. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 22., Natal, 6 a 10 nov. 2016. **Anais eletrônicos...** Natal: CBECiMat, 2016. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/104-010.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15270 –1:2017** Componentes cerâmicos– Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.



\_\_\_\_\_. **NBR 15270-2:2017**: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios, Rio de Janeiro, 2017.

Candido, Verônica Scarpini. **Utilização de argilito e chamote de blocos de vedação na composição de massa de pavimento intertravado cerâmico- adoquim**. 2012. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2012.

Cavalli, Raquel, Bertoldi, Loivo. Reaproveitamento de resíduo sólido industrial, constituído por areia de fundição residual, na produção de concreto. **Unoesc % Ciência - ACET**. Joaçaba, v. 7, n. 2, p. 235-246, jul/dez. 2016. Disponível em: <<http://editora.unoesc.edu.br/index.php/acet/article/view/12000>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

Figueiredo, Samia Cordeiro. **Estudo exploratório de incorporação da lama de Filtros Rotativos a Vácuo (LFRV), gerada na Millennium Inorganic Chemicals, em uma matriz cerâmica vermelha**. 2008. 164f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

Medeiros, Elisandra Nazaré Maia de. **Uso da técnica de planejamento experimental para otimização de massa cerâmica com a incorporação de resíduos de cinza de casca de arroz, cinza de lenha e lodo de ETA**. 2010. 166f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

Penkaitis, Gabriela. **Impacto ambiental gerado pela disposição de areias de fundição: estudo de caso**. 2012. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Departamento de Tecnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Prado, Artidônio Dantas; Bedoya, Ricardo Neves; Mercury, José Manuel Rivas. Influência da incorporação de chamote nas propriedades físico-mecânicas de materiais cerâmicos estruturais. **ENGEVISTA**. [Niterói], v. 18, n. 1, p. 158-173, jul. 2016. Disponível em: <<http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/view/712/366>>. Acesso em: 14 mar. 2018.

Rambo, Magale Karine Diel. **Aproveitamento da casca de arroz para a produção de xilitol e sílica xerogel**. 2009. 117f. Dissertação (Mestrado em Química) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

Tashima, Mauro Mitsuuchi *et al.* Reaproveitamento da cinza de casca de arroz na construção civil. In: **HOLOS**. [S.l.], v. 11, n. 1, p. 81-88, 2011. Disponível em: <<https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/download/5435/4238>>. Acesso em: 6 abr. 2018.

Vásquez, Gilberto Antonio Gorrichátequi. **Avaliação da conformidade dos blocos cerâmicos produzidos em algumas cerâmicas no Rio Grande do Norte**. 2005. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

Vieira, Amanda. **Análise do processo produtivo dos tijolos cerâmicos no Estado do Ceará: Da extração da matéria-prima à fabricação**. 2009. 104f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, 2009.



## ESTUDO COMPARATIVO DO LIXIVIADO GERADO POR RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICO E ELETROELETRÔNICO EM SIMULAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

### **Beatriz Rodrigues de Barcelos**

Universidade Católica de Brasília  
Brasília – Distrito Federal

### **Caio Soares Camargos**

Universidade Católica de Brasília  
Brasília – Distrito Federal

### **Gabriel Alves Teixeira**

Universidade Católica de Brasília  
Brasília – Distrito Federal

### **Lorena Silva Pereira**

Universidade Católica de Brasília  
Brasília – Distrito Federal

### **Ygor dos Santos Carneiro**

Universidade Católica de Brasília  
Brasília – Distrito Federal

**RESUMO:** Com o crescimento populacional e o desenfreado consumo de bens, diariamente são geradas toneladas de resíduos sólidos urbanos que, conforme legislação brasileira, devem ser destinados em aterros sanitários que em função da degradação da matéria orgânica disposta gera como subproduto, o lixiviado, que vem se tornando um passivo ambiental em função da carga poluidora. Para destinação de resíduos sólidos, conforme estabelecido pela atual Política de Resíduos Sólidos, nos aterros é necessário realizar a separação dos diferentes resíduos produzidos pela população, em especial os eletrônicos,

visto que sua decomposição ocorre de forma diferente do resíduo orgânico, contribuindo assim para reduzir a carga poluidora do lixiviado. Nesse sentido, o presente estudo visa comparar a produção dos diferentes lixiviados na disposição de diferentes resíduos sólidos. O trabalho foi realizado por meio de projeto piloto onde se utilizou lisímetros para simulação de aterro utilizando resíduos orgânico e eletrônico. Ao analisar os resultados obtidos, é possível averiguar que o resíduo eletrônico apresenta parâmetros de degradação muito diferente do lixo orgânico. O lixiviado produzido no lisímetro contendo apenas resíduos eletrônico apresentou pH mais alcalino, turbidez, cor aparente, sólidos dissolvidos, suspensos e demanda química de oxigênio foram mais baixos que os valores encontrados no lixiviado do lisímetro contendo resíduos orgânico. Assim, verifica-se que é essencial realizar a segregação dos resíduos e monitorar a produção de lixiviado produzida nos aterros sanitários.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lixo eletrônico, Lixiviado, Aterro Sanitário.

**ABSTRACT:** With the population growth and the uncontrolled consumption of goods, daily losses of urban waste are generated that, according to the Brazilian legislation, should be placed in landfills, generating a by-product from the degradation of matter, the leachate, which has

become an environmental liability due to the polluting load. Please refer to the Social Wastes Policy for information on the results obtained. the leaching load. In this sense, the present study aims to compare the production of different leached ingredients in the solid waste disposal. The work was carried out through a pilot project to use lysimeters for ground simulation, using electronic and electronic resources. The analysis of the obtained results, is an indicator that has the possibility to make a process of degradation very different from the organic waste. The leachate did not produce a lysimeter with a minimum of temperature dissipation, showed more alkaline pH, turbidity, apparent color, dissolved in solids, suspended and more chemical of origin were lower than the levels found in the lysimeter leachate. Therefore, make sure that it is essential to carry out segregation of waste and to monitor leachate production as in landfills.

**KEYWORDS:** Junk mail; Leachate; Landfill.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são materiais heterogêneos resultantes das diversas atividades desenvolvidas pelos seres humanos, sendo classificados por sua tipologia. A composição dos RSU varia dependendo da situação socioeconômica e das condições e hábitos de vida. Além disso, a produção dos resíduos acompanha o desenvolvimento humano em função de diversos fatores, tais como: crescimento demográfico dos centros urbanos, mudanças de hábitos de consumo e o desenvolvimento industrial. Tais fatores são indicados como os grandes responsáveis pelo aumento na produção de resíduos e suas variações qualitativas.

No Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRALPE), no ano de 2015 foram produzidos cerca de 218.874 toneladas/dia de RSU, um crescimento de 1,7% em relação ao ano de 2014. Com relação a disposição final, para o mesmo ano foi constatado que 3.326 municípios ainda fazem disposições inadequadas e em desacordo com normas técnicas.

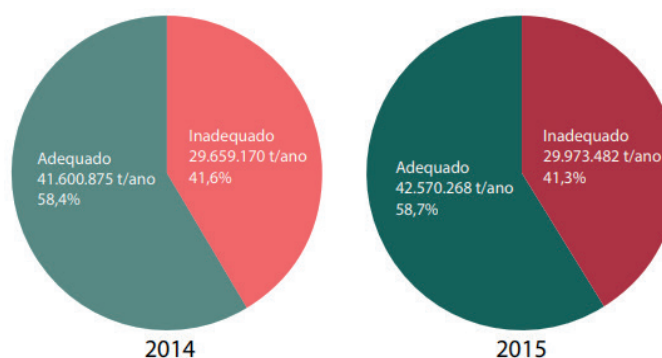
Com relação a produção por tipologia, de acordo com Vieira (2018) o Brasil produz cerca de 774 milhões de toneladas por ano. Resíduo eletroeletrônico são 1,5 milhão de toneladas, de acordo com o relatório internacional elaborado pela Universidade das Nações Unidas (UNU) publicado pela Global E-waste Monitor em 2017. Destacando que somente 20% do eletroeletrônico é reciclado (BALDÉ et al., 2017).

Em função do grande quantitativo de resíduos produzidos agregado as diversas tipologias, trata-se de problema sanitário importante principalmente quando não são acondicionados, coletados, transportados, tratados e dispostos de adequada e em conformidade com as normas técnicas e legislação vigente.

Buscando solucionar os problemas gerados pelos RSU urbanos, várias formas de tratamento e disposição final vêm sendo estudadas e aplicadas. Pela legislação vigente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o aterro sanitário é a forma indicada

para a disposição final de resíduos inservíveis, todavia ainda não é a mais praticada.

Corroborando com isso, de toda a produção de RSU no país somente 58,4% ou 41,7 milhões de toneladas foram enviadas para aterros sanitários no ano de 2016, o restante dos resíduos produzidos foi encaminhado para aterros controlados ou lixões. (ABRELPE, 2016). A Figura 1 apresenta comparativo entre a disposição final de RSU nos anos de 2014 e 2015 onde se percebe que a disposição adequada dos RSU ainda é pequena e pode configurar na geração de degradação ambiental.



**Figura 1.** Disposição final de RSU

Fonte: Panorama, 2015.

Como no aterro sanitário a disposição final não ocorre apenas para resíduos inservíveis, mas também de materiais eletroeletrônicos e matéria orgânica, a vida útil desses locais fica limitada. Ademais, em função da digestão do material orgânico disposto nos aterros, ocorre a formação de um líquido denominado lixiviado, que possui carga orgânica elevada, e com a presença de material eletrônico esse líquido pode conter ainda elementos de metais pesados o que acarreta em toxicidade ao meio ambiente.

Avaliar a presença desses materiais e os impactos sobre a produção dos lixiviados é essencial para os gerenciamentos dos resíduos dispostos nos aterros sanitários. Nesse sentido o presente trabalho, utilizando lisímetros, realizou a simulação de aterros sanitários com diferentes tipologias de resíduos sólidos.

## 2 | OBJETIVO

O objetivo geral desta pesquisa foi realizar análise comparativa do lixiviado produzido da decomposição de resíduos sólidos urbanos orgânicos e eletroeletrônico avaliar.

Ademais têm-se como objetivos específicos:

- realizar análise físico-química de lixiviado produzido por resíduo orgânico, eletroeletrônico e da mistura entre orgânico e eletroeletrônico;
- analisar os lixiviados supracitados em condições de solo compactado e não

compactado.

### 3 | METODOLOGIA

O trabalho foi realizado em escala piloto na Universidade Católica de Brasília entre 2017 e 2018. As etapas consistiram em: construção dos lisímetros, Monitoramento do lixiviado, análises laboratoriais,

#### 3.1 Construção dos lisímetros

Inicialmente projetou-se a construção de lisímetros de acordo com a NBR 8419:1992, que trata sobre a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, com adequações necessárias as suas dimensões. Em seguida coletou-se amostras de solo do Aterro Sanitário de Brasília (ASB), no qual foram realizados ensaios de caracterização do solo, são eles: limite de plasticidade (LP), NBR 7180/1984; limite de liquidez (LL), NBR 6459/1984; ensaio de massa específica dos grãos, NBR 6508/1984; análise granulométrica, NBR 7181/1984; compactação, NBR 7182/2016; e ensaio de determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável, NBR 14545/2000, adotando a umidade ótima para a compactação do corpo de prova.

Tendo como base as duas normas supracitadas, seguiu-se com a construção e moldagem de seis lisímetros conforme a Figura 3, simulando a composição de um aterro sanitário. Foi determinado que três lisímetros conteriam solo compactado, onde um lisímetro possuiria em sua composição somente lixo orgânico, outro somente lixo eletrônico e o terceiro, a mistura de ambos, os demais três lisímetros apresentariam os mesmos resíduos, só que com o solo na condição de não compactado.

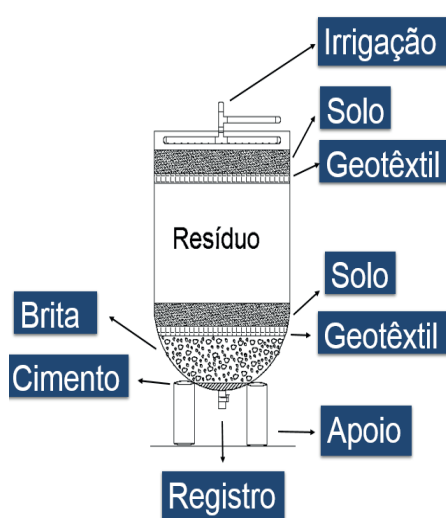


Figura 3. Ilustração interna dos lisímetros.

Fonte: os autores.

Após a construção dos lisímetros, adicionou-se 2l de água em cada um através do

sistema de irrigação, que distribuía por igual a água dentro do lisímetro, para simular a água proveniente da precipitação, fator crucial para a produção do lixiviado. A quantidade de água adicionada inicialmente se deu de modo exagerado para acelerar o processo de geração do lixiviado.

### 3.2 Monitoramento dos lixiviados

Determinou-se que a coleta dos lixiviados seriam quinzenais e que quando observado a necessidade de se adicionar mais água no sistema, o mesmo seria feito. Ressaltando que as amostras (Figura 4) foram coletadas, identificadas e transportadas de acordo com a NBR 9898:87.



**Figura 4.** Amostras dos lixiviados.

Fonte: os autores.

A análise laboratorial das amostras dos lixiviados foram realizadas no mesmo dia em que foram coletados, para evitar que sua composição fosse alterada por motivos de armazenamento.

Para questão de identificação, foi previamente determinado que os lisímetros 1 e 2 conteriam em sua composição lixo eletrônico, os lisímetros 3 e 4 a mistura do lixo eletrônico juntamente com o orgânico e os lisímetros 5 e 6, somente lixo orgânico. Além disso, os lisímetros ímpares seriam com solo na condição compactada, e os pares com solo não compactado.

### 3.3 Análise laboratorial

As análises dos lixiviados foram realizadas no laboratório de caracterização de resíduos com base na metodologia preconizada pelo Standard Methods. Os parâmetros monitorados foram: pH, Turbidez, Sólidos Dissolvidos Totais, Cor Aparente, DQO, Sólidos em Suspensão

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do Solo

A granulometria do solo apresentou as seguintes proporções de composição, de acordo com a NBR 6502/1995 e ASTM (Tabela 1):

Classificação do solo	NBR 6502/1995	ASTM
Areia		
Grossa	14%	0
Média	28%	22,7%
Fina	20%	30,3%
Silte	29%	33,3%
Argila	9%	13,7%

Tabela 1. Composição granulométrica do solo do aterro de Samambaia.

Fonte: os autores.

A Tabela 2 dispõe os demais resultados a respeito de caracterização do solo do aterro de Samambaia.

Parâmetro	Resultado
Limite de liquidez (LL)	44,47%
Limite de plasticidade (LP)	34,39%
Massa específica dos grãos	2,50 g/cm <sup>3</sup>
Umidade ótima	23,94%
Coefficiente de permeabilidade	7,46x10 <sup>-5</sup> cm/s

Tabela 2. Resultados do limite de liquidez, limite de plasticidade, massa específica dos grãos, compactação e coeficiente de permeabilidade.

Fonte: os autores.

A partir dos valores encontrados foi possível classificar o solo, de acordo com o sistema unificado de classificação de solo, em SC, ou seja, areia argilosa.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1993), possui valores de referência que parametrizam o solo de aterro sanitário, os quais aparecem dispostos na tabela 3, comparativamente aos dados do solo em estudo.

Parâmetro	Solo em estudo	CETESB	
Limite de liquidez (LL)	44,47%	≥30%	Atende
Índice de plasticidade (LP)	10,08%	≥15%	Não atende
Classificação SUCS	CL, CH, SC ou OH	SC	Atende
Coefficiente de permeabilidade (cm/s)	7,46*10 <sup>-5</sup> cm/s	<1x10 <sup>-7</sup> cm/s	Não atende



Porcentagem passante na peneira de abertura 0,075 mm (#200)	47%	≥30%	Atende
---	-----	------	--------

Tabela 3. Comparação entre os resultados do solo em estudo e os parametrizados pela CETESB (1993).

Fonte: os autores.

Um aspecto relevante para aterros sanitários é o coeficiente de permeabilidade. Segundo a NBR 13896/1997: “O aterro deve ser executado em áreas onde haja predominância no subsolo de material com coeficiente de permeabilidade inferior a  $5 \times 10^{-5}$  cm/s”; portanto o solo em estudo apresenta resultado um pouco superior que o valor de referência. A composição granulométrica indica baixo percentual de material argiloso, sendo a argila a maior contribuinte para a diminuição da condutividade hidráulica.

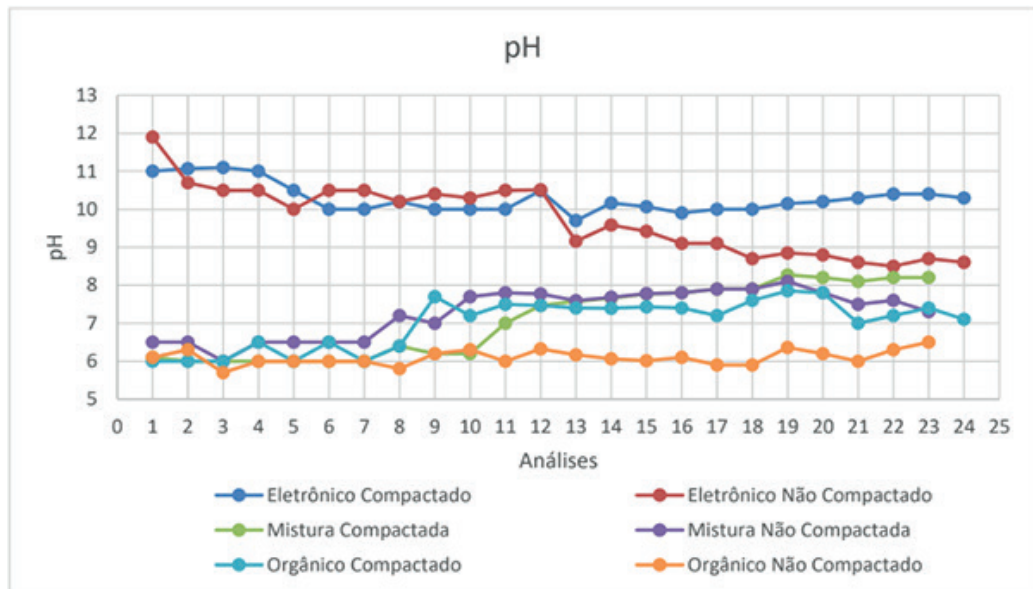
A CETESB é ainda mais rigorosa quanto ao coeficiente de permeabilidade, apresentando valor de referência menor que a NBR 13896/1997, entretanto, em ambos os parâmetros, o solo não atende ao requerido.

Outro aspecto que o referido solo não atende é o índice de plasticidade, que corresponde a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade. Embora o solo estudado e o requerido pela CETESB, possuam plasticidade média, há uma diferença de quase 5% em relação ao limite inferior parametrizado.

Quanto a classificação SUCS, o material em estudo encaixa-se em um dos grupos requeridos: areia argilosa. A mesma apresenta característica de solo grosso com presença de mais de 12% de finos.

## 4.2 Análises dos lixiviados

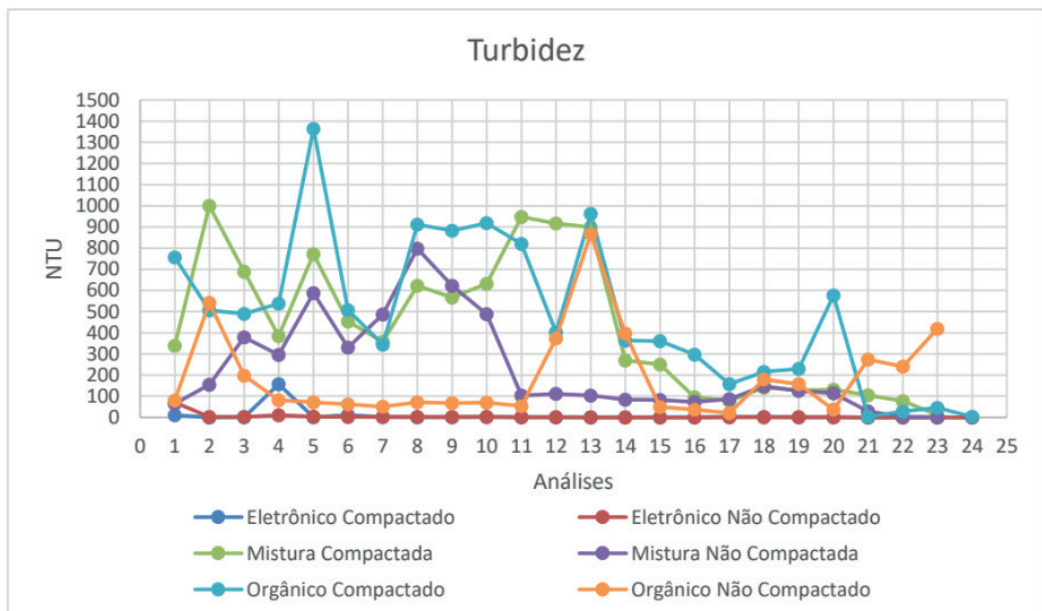
Os dados obtidos com os ensaios laboratoriais são apresentados nos gráficos a seguir. O pH mede o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de determinada solução, onde 0 representa acidez máxima, 7 neutralidade e 14 a alcalinidade máxima, pode-se verificar na Figura 5 que os lisímetros que continham lixo eletrônico apresentaram níveis de pH na faixa dos 10, mostrando que tal resíduo promove à alcalinidade do lixiviado, contendo possivelmente em sua presença sais de ácidos fracos, bicarbonatos, carbonatos, assim como hidróxidos. Já os demais resíduos apresentaram pH constantes, na faixa da neutralidade.



**Figura 5.** Resultado de pH.

Fonte: os autores.

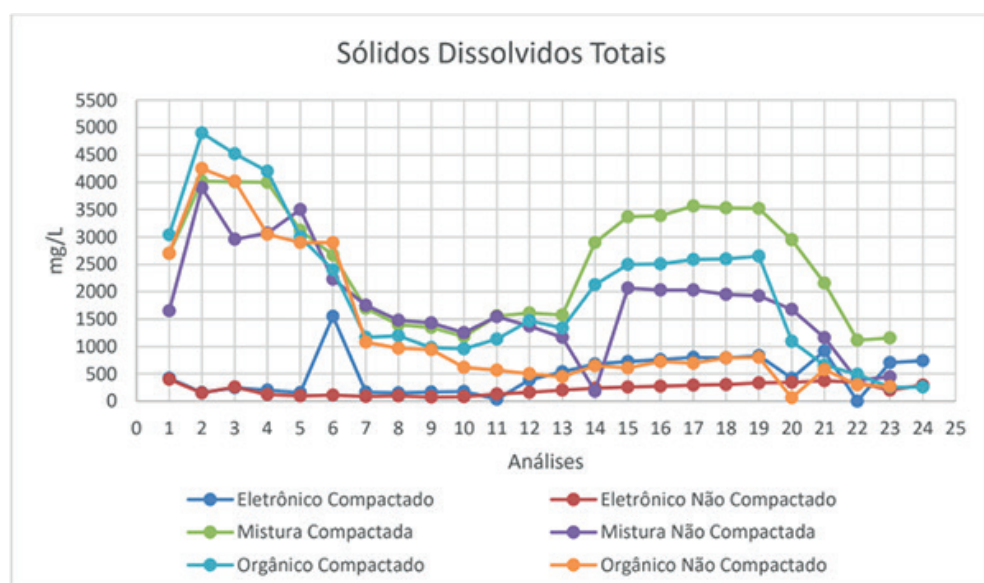
A turbidez representa a propriedade óptica de absorção e reflexão da luz e é promovida por partículas sólidas em suspensão, quanto menor a turbidez, menor a presença de finos na amostra, tais como frações de argila ou matéria orgânica. A Figura 6 apresenta os resultados de turbidez das supracitadas amostras, dos gráficos da figura pode-se inferir que os resultados não se mantiveram constantes ao longo do tempo, e foram elevados para Analisando a turbidez das amostras (Figura 6), é possível verificar que os resultados não se mantiveram constantes ao longo do tempo, apresentaram-se elevados para os lisímetros que continham somente lixo orgânico na condição compactada e nos lisímetros que possuíam a mistura de ambos os lixos, já na nos lisímetros com lixo eletrônico, a turbidez foi extremamente baixa. Vale salientar que o solo na condição compactada nos casos de lixo orgânico e a mistura de ambos em determinadas análises apresentaram condições de turbidez muito mais elevada que em caso de solo não compactado, o que não era esperado, já que a compactação do solo promove a redução do número de vazios do solo dificultando a percolação da matéria orgânica no solo, mas podemos verificar que não foi o ocorrido.



**Figura 6.** Resultado de Turbidez.

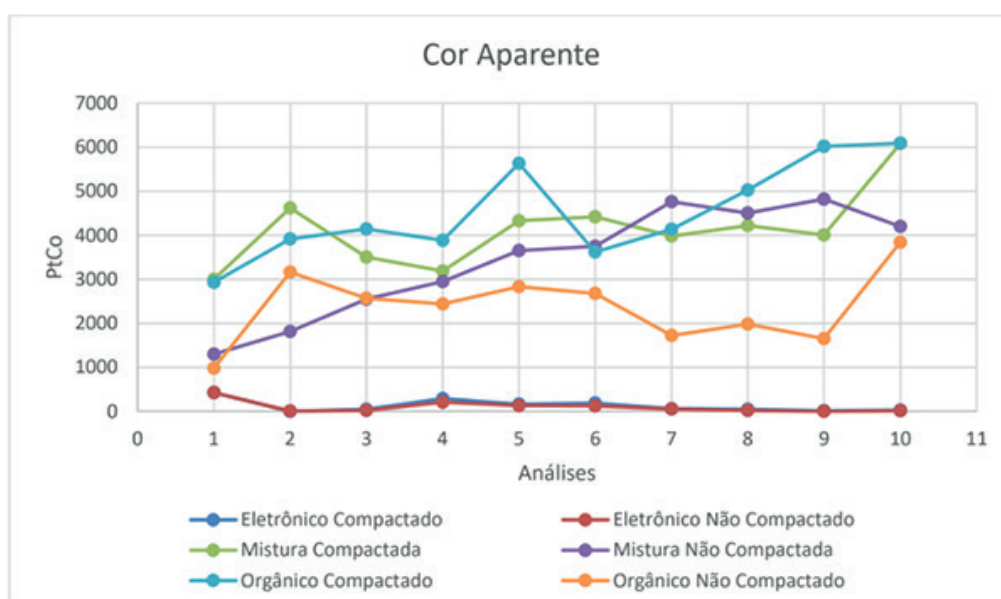
Fonte: os autores.

Os teores de sólidos dissolvidos totais apresentaram-se de forma elevada nas primeiras análises das amostras que continham material orgânico, como verifica-se na figura 7 a seguir, isso pois, os sólidos dissolvidos é o conjunto de substâncias orgânicas ou não, contidas em um líquido, e essa elevada taxa se dá para o processo de degradação da matéria orgânica, por isso que todas as análises que contém material orgânico apresentaram teores elevados, já se tratando do lixo eletrônico, esse teor se manteve constante ao longo das análises, pois o seu percentual de substância que contribui para a composição dos sólidos dissolvidos é muito baixo. Podemos ainda verificar que após a sexta análise, o teor de sólidos dissolvidos apresentou pouca variação, isso pois se espera que o processo de degradação da matéria orgânica já tenha sofrido um decaimento.



**Figura 7.** Resultado de Sólidos Dissolvidos Totais.

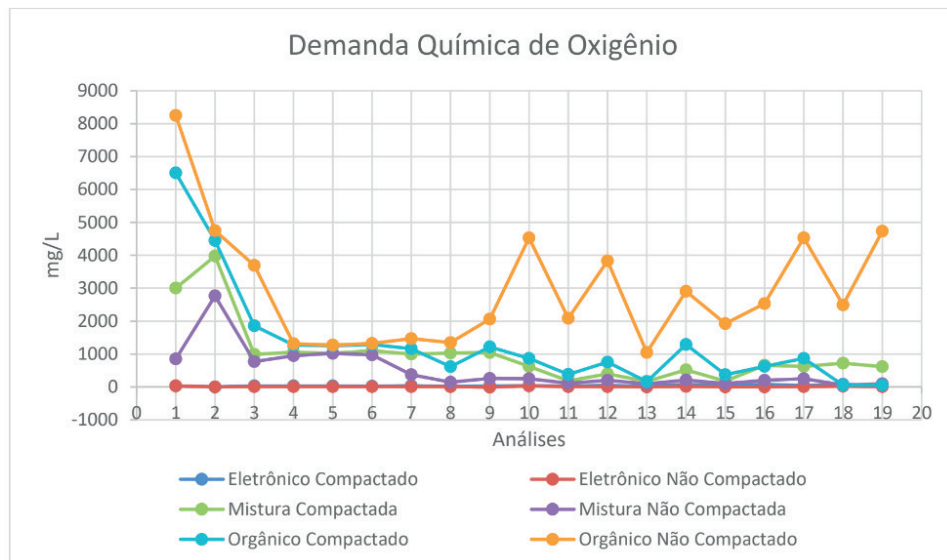
A análise de cor aparente (Figura 8) refere-se à determinação de cor em amostras com turbidez, tanto que ao analisar o gráfico de turbidez com o de cor aparente, os resultados apresentados são semelhantes. Como a cor geralmente é um indicador da presença de húmus (matéria orgânica proveniente da degradação), era esperado que os lisímetros que contivessem lixo orgânico em sua composição, apresentasse um alto valor de cor aparente, o que é comprovado. Por já ser esperado tal resultado, foi decido realizar somente 10 análises deste parâmetro, por achar que não seria necessário dar continuidade a análise de cor.



**Figura 8.** Resultado de Cor Aparente.

Fonte: os autores.

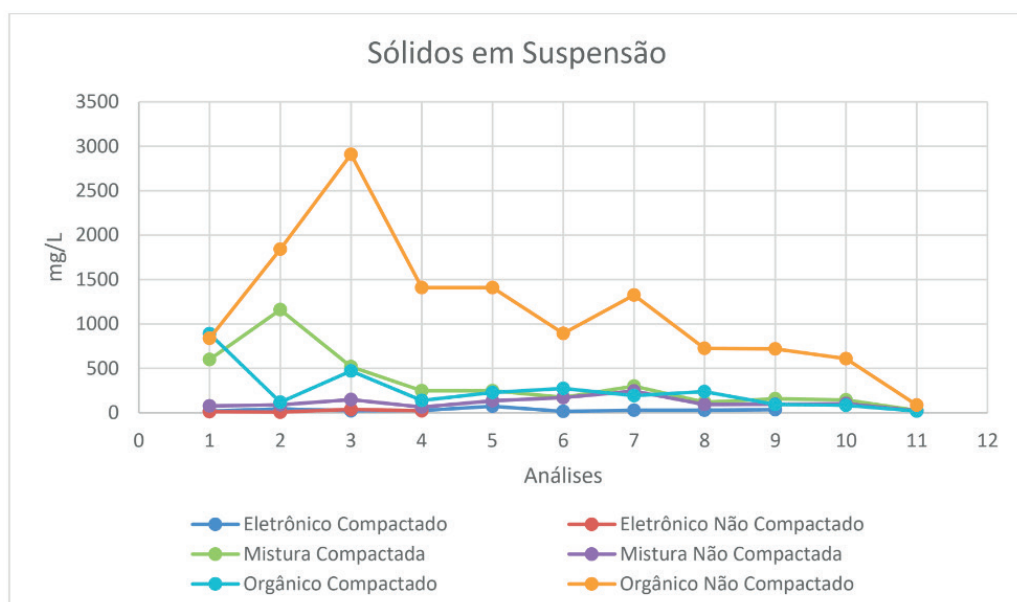
A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um parâmetro que avalia a quantidade de oxigênio dissolvido consumido que leva a degradação da matéria orgânica. Ao se analisar a figura 9 percebe-se que os lisímetros que contêm matéria orgânica em sua composição, a taxa de DQO é mais elevada, percebe-se também que a DQO do lixo eletrônico é praticamente nula. Nas primeiras análises a taxa é extremamente alta pois se está no início da degradação da matéria orgânica, logo a taxa de oxigênio consumida é muito maior, tanto que após a quinta análise, a DQO se estabiliza. Ressaltando que as análises 2, 4, 6 e 9 não foram realizadas por falta de reagente no laboratório.



**Figura 9.** Resultado de Demanda Química de Oxigênio.

Fonte: os autores.

O último parâmetro em análise é o Sólidos em Suspensão (Figura 10), que são partículas que permanecem suspensas na água devido ao movimento da água ou pelo fato da densidade da partícula ser inferior que a da água, são provenientes da matéria orgânica ou inorgânica, logo já era esperado que o lixo orgânico apresentasse uma maior taxa de sólidos em suspensão, justamente por apresentar um maior teor de matéria orgânica, contribuindo para a geração de pequenas partículas suspensas na água. Este parâmetro só começou a ser analisado a partir da 11ª análise por achar que o lixo eletrônico contribuiria com um percentual considerável de sólidos em suspensão, mas não foi o caso.



**Figura 10.** Resultado de Sólidos em Suspensão.

Fonte: os autores.

## 5 | CONCLUSÃO

Os resultados das análises supracitadas sintetizam que o lixiviado gerado por resíduo eletrônico e o orgânico possuem comportamentos distintos quando depositados no solo. O orgânico possui um lixiviado mais ácido e carrega taxas mais significantes de sedimentos ao percolar no solo, enquanto o eletrônico carrega uma quantidade praticamente nula de sedimentos, porém, carrega uma considerável taxa de metais pesados, como mercúrio, cádmio, berílio e chumbo, provenientes da decomposição dos equipamentos que compõem esse lixo, por ser inorgânico esse tipo de lixo apresenta dificuldades para controle, não podendo ser reduzido com o uso de controle biológico, por meio de microrganismos. Pesquisas recentes demonstraram que os lixos não são separados corretamente por tipo, sendo necessário que o governo federal e demais competências reforcem a conscientização do usuário desses tipos de produtos a importância da separação do lixo eletrônico dos demais lixo, visto que estes podem vir a contaminar a água dos aquíferos, a atmosfera quando queimados, o próprio solo e à nossa saúde.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE): **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13896**: Aterro de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14545**: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm - determinação da massa específica. 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo - Ensaio de compactação. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. 1992.
- BALDÉ, C. P., FORTI, V., GRAY, V., et al. **Quantities, Flows, and Resources**. The Global E-waste Monitor, 2017.



CETESB. Companhia de tecnologia e de saneamento ambiental de São Paulo. **Resíduos sólidos industriais**. São Paulo/SP. 1993.

GOUVEIA, N. **Resíduos sólidos urbanos**: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. p. 1503-1510, 2012.

MAUS, V. W., COSTA, A. B. da., RIGHES, A. A. **Tratamento do lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos por processo fenton**. V.13, n.1, p. 52-59, 2009.

Organização Nações Unidas Meio Ambiente. **Lixo eletrônico representa 'crescente risco' ao meio ambiente e à saúde humana, diz relatório da ONU**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/lixo-eletronico-representa-crescente-risco-ao-meio-ambiente-e-a-saude-humana-diz-relatorio-da-onu/>>. Acesso 27 mar. 2018.

VIEIRA, F. **Menos de 1% do lixo orgânico é reciclado no Brasil**. Disponível em: <<http://felipevieira.com.br/site/menos-de-1-do-lixo-organico-e-reciclado-no-brasil/>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio prestado pela Universidade Católica de Brasília (UCB) e pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF), pois sem eles, não teríamos conseguido desenvolver o presente trabalho.

## DESMONTAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE LÂMPADAS LED PARA RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS

### **Emanuele Caroline Araujo dos Santos**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos,  
Engenheira ambiental  
São Leopoldo – RS

### **Alini Luísa Diehl Camacho**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil  
São Leopoldo – RS

### **Leonardo Daniel Rauber**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos,  
Graduação em Engenharia Ambiental  
São Leopoldo – RS

### **Carlos Alberto Mendes Moraes**

Universidade do Vale do Rio dos Sinos,  
Programas de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil e Engenharia Mecânica  
São Leopoldo – RS

**RESUMO:** Com o rápido desenvolvimento de tecnologias eletrônicas, a iluminação por lâmpadas LEDs está se tornando cada vez mais presente nas residências e nas indústrias. Com preços reduzindo, melhor eficiência energética do que as lâmpadas convencionais e maior vida útil, as LEDs têm começado a ser a primeira opção na compra de equipamentos de iluminação. No entanto, esta tecnologia requer muitos materiais considerados críticos, o que exige uma logística reversa cuidadosa

ao seu fim de vida. Há ainda muita dificuldade em termos de tecnologia para separação e reaproveitamento da maioria destes materiais. Com isso, o objetivo deste trabalho foi realizar a desmontagem e balanço de massa de lâmpadas LED do tipo bulbo a fim de se averiguar os materiais presentes nas mesmas. Observou-se certa complexidade na desmontagem das lâmpadas e encontrou-se grande quantidade de materiais altamente recicláveis como o alumínio, além de diversas partes poliméricas. Os resultados obtidos sugerem potencial na recuperação destes materiais, no entanto, observou-se também a necessidade de estudos mais aprofundados na separação e recuperação dos materiais contidos nos LEDs para garantir a logística reversa eficiente, assim como repensar o design destes produtos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lâmpada LED. Desmontagem. Reciclagem. Logística Reversa.

**ABSTRACT:** From the rapid development of electronic technologies, LED lighting is becoming more and more present in homes and industries. With reducing prices, better energy efficiency than conventional bulbs and longer life, LEDs have begun to be the first choice when purchasing lighting equipment. However, this technology requires many materials considered critical, which obliges a very careful reverse logistics to their end-of-life. There is still much

difficulty in terms of technology for separation and reuse of most of these materials. Under this context, the objective of this work was to perform the disassembly and mass balance of bulb type LED bulbs in order to ascertain the materials present in them. It was observed a certain complexity in disassembling the lamps and found a large quantity of highly recyclable materials such as aluminum, as well as several parts of polymer. The results suggest potential in the recovery of these materials, however, it was also observed the need for further studies on the separation and recovery of the materials contained in the LEDs, guaranteeing an efficient reverse logistic, and also rethinking the products design.

**KEYWORDS:** LED lamp. Disassembly. Recycling. Reverse logistic.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com o aumento populacional e o desenvolvimento cada vez mais acelerado da indústria, assuntos como crise energética, escassez de recursos naturais e descarte de resíduos tem sido o foco de diversas discussões e questionamentos.

As lâmpadas por tecnologia de Diodo Emissor de Luz (LED, sigla de Light Emitting Diode) se enquadram em todos os tópicos acima citados, uma vez que se tornaram populares nos últimos anos devido ao seu baixo consumo energético, porém, necessitam de materiais específicos e críticos para seu funcionamento e ao seu fim de vida necessitarão de logística reversa.

Lâmpadas e luminárias LED se enquadram na categoria de equipamento eletroeletrônico, uma vez que, necessitam de uma placa de circuito impresso (PCI) para seu funcionamento, portanto quando descartadas necessitam de logística reversa obrigatória prevista pela PNRS. (BRASIL, 2010). Elas são citadas no anexo IV da diretiva europeia 2012/19/UE como equipamentos eletroeletrônicos de iluminação. (UNIÃO EUROPEIA, 2012, p. 59).

Segundo Teixeira, Rivera e Reiff (2016), o LED já era conhecido há mais de meio século e vinha sendo usado em diversas aplicações simples como mostradores e indicadores de status. Porém com pesquisas e inovações, como o desenvolvimento do LED azul, o aumento da vida útil e a diminuição de custos pode-se iniciar uma nova era da indústria de iluminação, onde esses componentes vêm sendo utilizados em substituição às formas convencionais de iluminação. (TEIXEIRA; RIVERA; REIFF, 2016).

Em comparação às formas de iluminação convencional (incandescentes e fluorescentes), a iluminação por LED possui como vantagens a maior vida útil e maior eficiência energética. O LED consome 75% menos energia do que as incandescentes e fluorescentes. (JANG, YOON e LEE, 2013).

O LED é uma tecnologia em ascensão que começa a trazer efeitos consideráveis em diversos setores da economia, aumentando cada vez mais sua quota no mercado

de iluminação. A queda dos preços e surpreendente evolução desta tecnologia como, por exemplo, produtos de alta potência, desencadeia a aceitação cada vez maior por parte dos consumidores. Sua eficiência e qualidade de luz foram substancialmente melhoradas desde a sua introdução no mercado. Somado a isso, as lâmpadas LED são isentas de mercúrio e tem uma liberdade de design que não é possível para outras tecnologias de iluminação. (ASCURRA, 2013; GASSMANN et al., 2016; JANG, YOOK e LEE, 2013).

Desde meados de 2007, as lâmpadas LED para casas particulares estão disponíveis no mercado. Atualmente pode-se escolher entre diversos modelos com formas e soquetes diferentes. No mercado não existem apenas lâmpadas para substituição das convencionais, mas também inúmeras luminárias com módulo LED fixa. Essa grande diversidade de produtos dificulta a quantificação e qualificação dos materiais característicos utilizados em equipamentos de iluminação de LED. (GASSMANN et al., 2016).

Os materiais/elementos que compõem o LED são considerados críticos citando alguns elementos terras raras como, por exemplo, o Lutécio (Lu) Cério (Ce) ou Európio (Eu), metais tecnológicos como o Gálio (Ga) e o Índio (In) e metais preciosos como o ouro (Au) e a prata (Ag). (GASSMANN et al., 2016).

Para a obtenção desta tecnologia inovadora, materiais considerados críticos como Gálio, Índio, Ítrio, Cério, Ouro, Prata, dentre outros, são utilizados combinados em pequenas quantidades. Neste sentido, se forem consideradas questões como: 1) consumo desenfreado de produtos contendo estes equipamentos, 2) escassez de matérias primas, 3) consumo energético, 4) disposição de resíduos, e principalmente, 5) a PNRS, o estudo de métodos de recuperação e reciclagem destes materiais torna-se de suma importância para o futuro do gerenciamento dos resíduos eletrônicos gerados.

## **2 | OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho foi desmontar e realizar balanço de massa em lâmpadas LED do tipo bulbo visando a recuperação dos materiais presentes nas mesmas.

## **3 | METODOLOGIA**

O modelo escolhido para o trabalho foi a Lâmpada LED do tipo bulbo (conforme ilustra a Figura 1), pois se trata da sucessora direta das lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas. Estas foram adquiridas por doação e compra em lojas de materiais de construção e decoração.



Figura 1 - Lâmpada LED tipo bulbo adquirida

Fonte: Elaborada pelos autores.

Assim que adquiridas as lâmpadas foram catalogadas por marca, potência, ano de comercialização quantidade, e materiais utilizados nas três partes externas: bulbo, base e parafuso de Edison. Após isso, foram pesadas inteiras em balança semi analítica da marca Bel Engenharia, localizada no Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais (LCVMat) na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Para a etapa de desmontagem utilizou-se ferramentas manuais como alicate, chave de fenda, chave philips e alicate de corte.

Após a desmontagem das lâmpadas realizou-se a catalogação das diferentes partes da lâmpada e a pesagem de cada uma, a fim de se fazer um balanço de massa e determinar a proporção que cada peça/ material representa na massa total da lâmpada.

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram adquiridas 7 lâmpadas LED do tipo bulbo de 3 marcas diferentes, com ano de comercialização em 2017. Optou-se por nomeá-las em códigos (Marca A, Marca B e Marca C) para preservar as marcas. As potências das lâmpadas ficaram na faixa de 4,8 e 5W. A primeira parte da catalogação das lâmpadas deu-se de maneira visual, onde se avaliou materiais que compõe a parte externa das lâmpadas como: o bulbo (polímero ou vidro), o material da base e o fundo do parafuso de Edison (polímero ou vidro).

O Quadro 1 apresenta a catalogação, potências, ano de comercialização, quantidades, massas por marca e materiais das partes: bulbo, base e fundo do parafuso de Edison das lâmpadas estudadas. Além disso, no Quadro 1 encontram-se também as potências equivalentes para lâmpadas fluorescentes compactas, indicadas

nas embalagens das LEDs.

Marca Lamp.	Pot. (W)	Equiv. (W)	Ano de Com.	Quant.	Massa média (g)	Bulbo	Base	Fundo parafuso de Edison
A	4,8	10	2017	3	39,690	Pol.	Pol.	Pol.
B	5	10	2017	3	31,122	Pol.	Pol.	Pol.
C	5	10	2017	1	36,850	Pol.	Pol.	Pol.

Quadro 1 - Catalogação das lâmpadas LED adquiridas

Fonte: Elaborada pelos autores.

Todas as lâmpadas catalogadas apresentaram bulbo de polímero ao contrário das lâmpadas fluorescentes e incandescentes, cujo bulbo é fabricado em vidro, o que é positivo, pois oferece menos risco de acidentes aos trabalhadores que irão manusear estes resíduos.

Todas as bases também são produzidas em polímero trazendo, assim, a primeira semelhança com os soquetes de lâmpadas fluorescentes compactas, caracterizados por Santos et al. (2013), que tinha sua base (nomeada pelos autores de invólucro da PCI) toda de polímero.

Santos et al. (2013) encontraram parafusos de Edison com fundos variando entre vidro e polímero. Com relação ao fundo do parafuso de Edison das lâmpadas adquiridas para este trabalho todas apresentavam o mesmo fabricado em polímero.

Segundo Tarantili, Mitsakaki e Petoussi (2010), geralmente os polímeros de REEE continuam apresentando boas propriedades após o fim de vida do equipamento. Porém, Achilias et al. (2009) afirmam que a reciclagem dos principais polímeros utilizados em equipamentos eletroeletrônicos, mesmo que muitas técnicas tenham sido desenvolvidas, ainda apresenta alto custo o que faz com que a destinação destes polímeros acabe sendo em aterros. Segundo os autores a diversidade de polímeros misturados e a adição de compostos aromáticos bromados (usados para retardantes de chamas) dificultam a recuperação destes materiais. (ACHILIAS et al., 2009).

Após a desmontagem pode-se dividir as lâmpadas em cinco partes: bulbo, módulo de LEDs, placa de circuito impresso, base e parafuso E27, como pode ser observado na Figura 2.



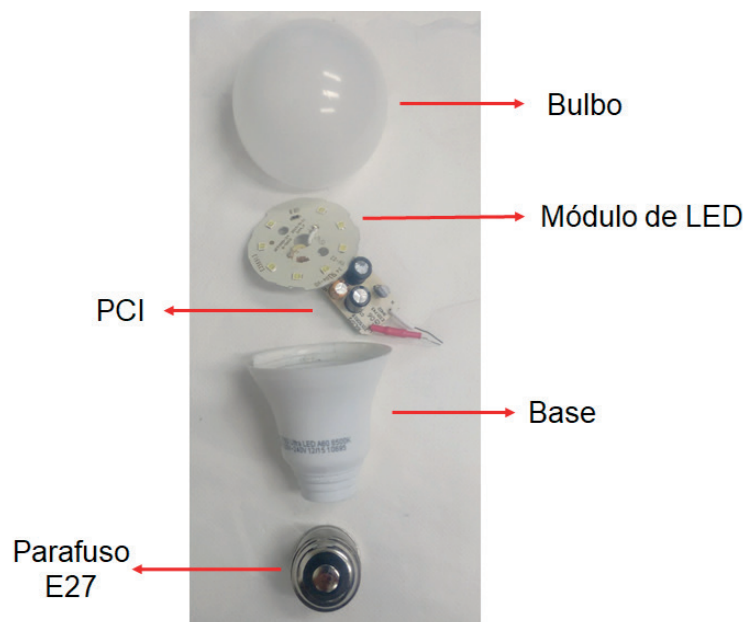


Figura 2 - Principais partes constituintes de uma lâmpada LED simples

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com relação a forma de desmontagem também houveram variações nas lâmpadas, algumas apresentaram maior dificuldade na desmontagem do que outras que precisavam apenas serem desrosqueadas com a mão. Encontrou-se também diferença na forma como a placa de circuito impresso estava conectada ao módulo de LEDs, enquanto que algumas lâmpadas apresentavam as duas soldadas, outras possuíam um mecanismo de conexão mais modernos sendo apenas encaixado, o que facilita a logística reversa, utilizando a presente metodologia de segregação antes de qualquer moagem.

A separação dos LEDs de sua placa base mostrou-se como a etapa de maior dificuldade durante o processo de desmontagem, pois necessitou de um estilete e de força manual. Além disso, os LEDs se desmanchavam durante o processo ou saíam incompletos. A Figura 3 ilustra como os LEDs ficaram após a desmontagem.

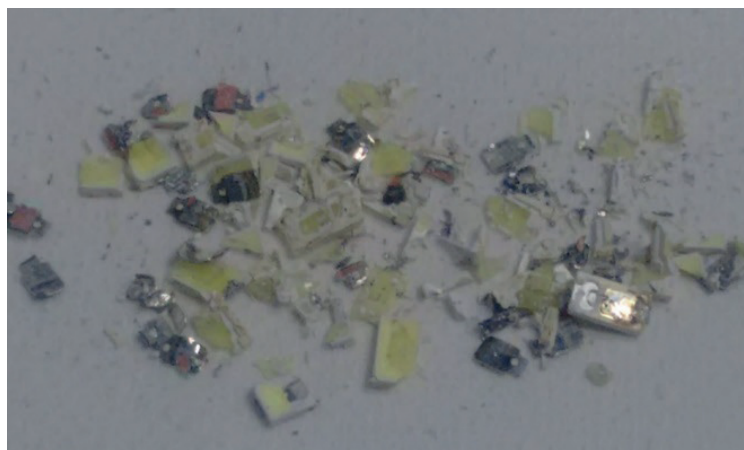


Figura 3 - LEDs retirados.

Fonte: Elaborada pelos autores.

No entanto esta etapa pode ser de extrema importância para recuperação dos materiais críticos utilizados para produção e equipamento de LED, uma vez que, ao separá-lo da base de alumínio pode-se concentrar mais estes elementos. Segundo Ayres e Pieró (2017) e Buchert, Schuler e Bleher (2009), a concentração destes materiais em produtos acabados é muito baixa, o que dificulta e torna desafiadora a classificação e separação destes ao fim de vida dos equipamentos. Estudos recentes vem sendo abordados em busca de técnicas de recuperação do Gálio de resíduos da produção de LED e de produtos finais. (SWAIN; MISHRA; KANG; PARK; LEE; HONG; PARK, 2015; ZHAN; XIA; YE; XIANG; XIE, 2015; MANEESUWANNARAT; TEAMKAO; VANGNAI; YAMASHITA; THIAVETYAN, 2016; MANEESUWANNARAT; VANGNAI; YAMASHITA; THIAVETYAN, 2016; SWAIN; MISHRA; LEE; PARK; LEE, 2015; SWAIN; MISHRA; KANG; PARK; LEE; HONG, 2015).

O parafuso de Edison pôde ser dividido em três partes: corpo, pino e fundo, conforme a Figura 4. Esta subdivisão vai ao encontro com o que foi estabelecido por Santos et al. (2013) onde os autores também puderam dividir o E27 nestas mesmas três partes.

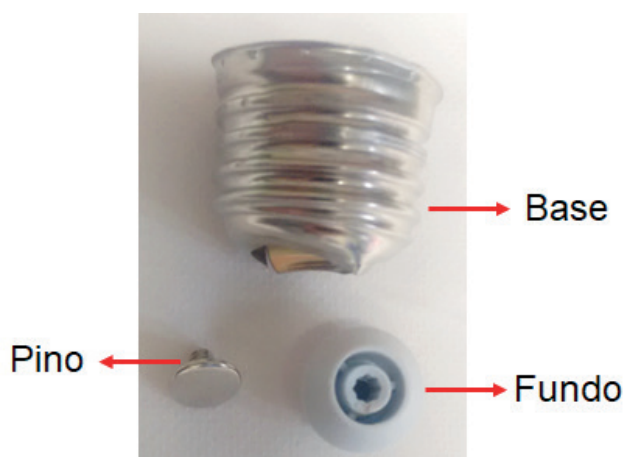


Figura 4 - Parafuso de Edison desmontado

Fonte: Elaborada pelos autores.

Além disso, todas as lâmpadas desmontadas apresentaram um adesivo utilizado para junção de algumas peças, conforme pode ser ilustrado pela Figura 5.

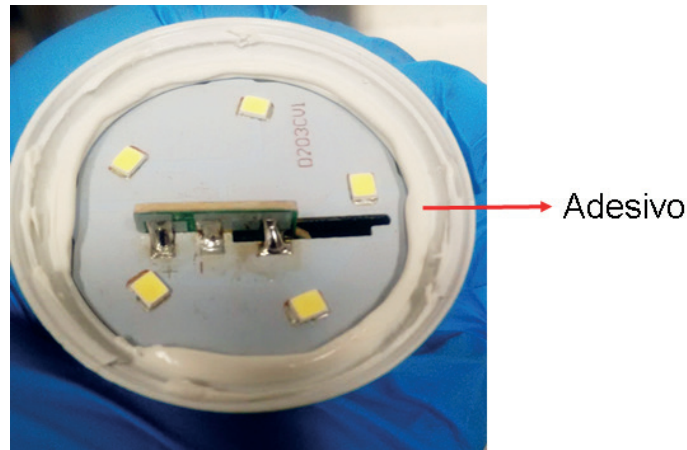


Figura 5 - Adesivo utilizado par junção das peças

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 1 apresenta as massas das lâmpadas inteiras e de cada uma de suas partes.

Parte	Marca C	Marca D	Marca F
<b>Inteira</b>	39,690	31,122	36,850
<b>Base de pol.</b>	14,208	9,710	13,962
<b>Bulbo</b>	9,162	8,911	9,029
<b>E27</b>	2,389	2,374	3,114
<b>PCI</b>	8,899	6,389	6,328
<b>Mód. LED</b>	3,992	3,167	3,825
<b>Adesivo</b>	1,037	0,706	0,590
<b>Base E27</b>	1,344	1,208	1,313
<b>Pino E27</b>	0,214	0,190	0,225
<b>Fundo E27</b>	0,854	0,971	1,576

Tabela 1 - Porcentagens mássicas das partes de cada Lâmpada LED

Fonte: Elaborada pelos autores.

Pode-se perceber que a base de plástico detém a maior massa para quase todas as lâmpadas variando entre 9 e 14% aproximadamente. Em seguida o bulbo apresenta a massas de 9% aproximadamente. As PCIs apresentaram massas entre 6 a 8%. Os módulos de LED apresentaram cerca de 3% da massa das lâmpadas.

Gassmann et al. (2016), ao realizar o balanço de massa de uma lâmpada LED de 9,5W, encontrou o dissipador de calor de alumínio como parte mais expressiva em massa na lâmpada (42,3%), contudo sua base de polímero apresentou 21,3% da massa da lâmpada estando próximo aos valores encontrados neste trabalho para as lâmpadas LED. O driver/PCI da lâmpada desmontada pelos autores apresentou fração mássica de 16% também indo ao encontro com os resultados obtidos para

este trabalho. O bulbo da lâmpada estudada por Gassmann et al. (2016), apesar de ser feito de vidro, apresentou 15% da massa da lâmpada, estando dentro dos valores encontrados nas lâmpadas desmontadas para este estudo. Porém o módulo de LED da lâmpada desmontada por Gassmann et al. (2016) apresentou apenas 3,5% da massa da lâmpada, os autores não mencionaram a existência de uma placa de Al extra, portanto este valor apresentou discrepância aos valores encontrados neste trabalho.

Santos et al. (2013) desmontaram e realizam balanços mássicos de soquetes de lâmpadas fluorescentes compactas de diferentes potências (40, 45, 65, 25, 15 e 22W) e encontraram uma média de PCI correspondendo a 54,10% em relação a massa total dos soquetes, 32,69% para o invólucro da PCI, 4,39% para o E27. Vale ressaltar que no estudo dos autores apresentaram a média para todos os equipamentos enquanto que no presente trabalho dividiu-se as marcas.

## 5 | CONCLUSÃO

A desmontagem das lâmpadas variou de acordo com as marcas. Deste modo, seria muito interessante que fosse adotado um padrão quanto ao sistema de montagem das lâmpadas, como por exemplo, uma rosca para o bulbo e o parafuso de Edison. Além disso, esta inovação poderia eliminar o adesivo utilizado para junção de algumas peças, sendo como um contaminante a menos nos materiais. A técnica de conexão da PCI com o módulo de LED, encontrado em algumas marcas, apresenta-se como uma excelente saída para eliminar a necessidade de dessoldagem destas peças.

Com relação aos polímeros encontrados nas lâmpadas, é imperativo a necessidade de identificação dos mesmos a fim de se facilitar a segregação e reciclagem dos mesmos. Sabe-se que existem diversas técnicas e estudos para reciclagem destes materiais.

Apesar da separação dos LEDs de sua placa base ter sido a etapa de maior dificuldade, esta apresenta-se de grande relevância. Pois, uma vez que os materiais críticos presentes neste componente se encontram em pequenas quantidades, um processo em que o módulo seria todo moído significaria a diluição destes elementos causando maior dificuldade na sua recuperação.

A complexidade na desmontagem destas lâmpadas, e portanto da logísticas reversa, conclusão já obtida anteriormente pelos autores para as lâmpadas fluorescentes compactas, mostra a necessidade também de se repensar o projeto de design destes produtos.

## REFERÊNCIAS

- ACHILIAS, D.S.; ANTONAKOU, E. V.; KOUTSOKOSTA, E.; LAPPAS, A. A. **Chemical Recycling of Polymers from Waste Electric and Electronic Equipment**. Journal of Applied Polymer Science. v.114, p. 212-221, 2009.
- AYRES, R. U.; PIERÓ, L. T. **Material Efficiency: Rare and Critical Metals**. The Royal Society Publishing. Fontainebleau, France, 2017.
- Buchert M, Schuler D, Bleher D. **Critical Metals for Future Sustainable - Technologies and Their Recycling Potential**. UNEP, Paris, 2009.
- Directive 2012/19/UE of the European Parliament and of the Council. Of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). Official Journal L 197, p. 59, 2012. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2012:197:FULL&from=PT>. Acesso em: 23 fev. 2018.
- GASSMANN, A. et al. **Led lamps recycling technology for a circular economy. LED professional**. Review (LpR), Dornbirn, 56, July/Aug. 2016. Disponível em: <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/led-lamps-recycling-technology-for-a-circular-economy>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- JANG D, YOON S, LEE K (2014) **Optimum design of a radial heat sink with a fin-height profile for high-power LED lighting applications**. Appl Energy 116:260-268
- MANEESUWANNARAT, S.; TEAMKAO, P.; VANGNAI, A.S.; YAMASHITA, M. THIAVETYAN, P. **Possible mechanism of gallium bioleaching from gallium nitride (GAN) by Arthrobacter creatinolyticus: Role of aminoacids/peptides/proteins bindings with gallium**. Process Safety and Environmental Protection. v. 103, p. 36-45, 2016.
- MANEESUWANNARAT, S.; VANGNAI, A.S.; YAMASHITA, M.; THIAVETYAN, P. **Bioleaching of gallium from gallium arsenide by Cellulosimicrobium funkei and its application to semiconductor/electronic wastes**. Process Safety and Environmental Protection. v. 99, p. 80-87, 2016.
- SANTOS, E. C. A.; PICOLI, R. C. F.; CALHEIRO, D.; MARQUES, A.; MORAES, C. A. M. **Caracterização de Soquetes de Lâmpadas Fluorescentes Compactas**. In: 4º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Porto Alegre, RS, 2013. Disponível em: <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/559>. Acesso em: 24 fev 2018.
- SWAIN, B.; MISHRA, C.; KANG, L.; PARK, K.; LEE, C.G.; HONG, H.S.; PARK, J. **Recycling of metal-organic chemical vapor deposition waste of GaN based power device and LED industry by acidic leaching: Process optimization and kinetics study**. Journal of Power Sources. v. 281, p. 265-271, 2015.
- SWAIN, B.; MISHRA, C.; LEE, C.G.; PARK, K.; LEE, K. **Valorization of GaN based metal-organic chemical vapor deposition dust a semiconductor power device industry waste through mechanochemical oxidation and leaching: A sustainable green process**. Environmental Research. v. 140, p. 704-713, 2015.
- TARANTILI, P.A.; MITSAKAKI, A.N., PETOUSSI, M.A. **Processing and properties of engineering plastics recycled from waste electrical and electronic equipment (WEE)**. Polymer Degradation and Stability. v. 95, p. 405-410. 2010.
- TEIXEIRA, I.; RIVERA, R.; REIFF, L. O. **Iluminação LED: sai Edison, entram Haitz e Moore – benefícios e oportunidades para o país**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 43, p. 363-412. Mar. 2016. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9576>. Acesso em: 12 Mar. 2018.
- ZHAN, L.; XIA, F.; YE, Q.; XIANG, X.; XIE, B. **Novel recycle technology for recovering rare metals (Ga, In) from waste light-emitting diodes**. Journal of Hazardous Materials. v. 299, p.388-394, 2015.

## CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE PETROLINA/PE

### **David José Oliveira da Silva**

Mestrando em Engenharia de Produção,  
Universidade Federal de Pernambuco  
Recife (UFPE) – Pernambuco, MBA em  
Gerenciamento de Projetos (FGV), Especialização  
em Gestão e Controle Ambiental (UPE).

### **Iago Santos Calábria**

Pós-Graduando em Engenharia de Saneamento  
Básico e Ambiental, Instituto Brasileiro de  
Educação Continuada  
Recife - Pernambuco

### **Walter de Moraes Calábria Junior**

Pós-Graduado em Engenharia de Saneamento  
Básico e Ambiental, Instituto Brasileiro de  
Educação Continuada  
Recife - Pernambuco

**RESUMO:** O presente artigo mostra de forma resumida o estudo de caracterização dos resíduos sólidos, realizado em 2017, no município de Petrolina em Pernambuco. Este estudo vai apresentar a composição qualitativa e gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos obtida pela determinação da sua composição percentual em peso de cada tipo de material encontrado nos resíduos sólidos urbanos segundo as especificações técnicas amplamente adotada na literatura técnica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gravimetria; caracterização; resíduos.

**ABSTRACT:** This paper summarizes the solid waste characterization study carried out in 2017 in the city of Petrolina in Pernambuco. This study will present the qualitative and gravimetric composition of the urban solid waste obtained by determining its percentage composition by weight of each type of material found in municipal solid waste according to the technical specifications widely adopted in the technical literature.

**KEYWORDS:** Gravimetry; characterization; waste.

## 1 | INTRODUÇÃO

Atualmente, a problemática ambiental da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), em face de sua complexidade e diversidade, constitui um sério desafio a ser enfrentado, considerando que o crescimento populacional e o aumento do grau de urbanização não têm sido acompanhados com as medidas necessárias para dar um destino adequado ao RSU produzido (COELHO, 2000). Entre as fontes de degradação ambiental, os resíduos sólidos gerados oferecem risco potencial ao ambiente. Essa questão tem sido cada vez mais objeto de preocupação de órgãos de saúde e ambientais, prefeituras, técnicos e pesquisadores da área,



pois o crescimento acelerado das metrópoles faz com que as áreas disponíveis para a destinação dos resíduos sólidos urbanos se tornem escassas (SISINNO & OLIVEIRA, 2000).

A caracterização dos resíduos sólidos urbanos é indispensável na implementação de programa de coleta seletiva, reciclagem e/ou compostagem. A reciclagem é uma prática que vem crescendo nos países de primeiro mundo, embora nos países subdesenvolvidos ainda seja realizada de forma rudimentar e pouco organizada. Esta prática se tornou um fator econômico importante, pois além de gerar renda, coloca um resíduo descartado novamente no mercado e não traz desvantagens ao meio ambiente (RIBEIRO; LINS, 2000).

## **2 | OBJETIVO**

A caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de Petrolina foi elaborada para obter dados significativos mais atualizados dos resíduos sólidos urbanos coletados na cidade de modo a subsidiar a elaboração do Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, haja visto, que a última avaliação foi realizada em 2012. Nesse sentido, foi estabelecido o universo amostral através dos setores de coleta que seriam amostrados.

## **3 | METODOLOGIA**

Os processos adotados seguiram as especificações técnicas estabelecidas pelo Método de Quarteamento desenvolvido pelo Eng. Pedro José Stech, da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, e foram baseadas no estudo elaborado em outubro de 2000 pelo Departamento de Limpeza Urbana daquele município e até amplamente adotada pela literatura técnica.

O quarteamento é um processo de mistura pelo qual uma amostra bruta é dividida em quatro partes iguais (quartis), sendo tomadas duas partes opostas entre si para constituir nova amostra, descartando-se as duas partes restantes. As partes não descartadas são novamente misturadas e o processo de quarteamento é repetido até que se obtenha a volume da amostra desejada.

### **3.1 Levantamento preliminar de dados**

Foram pesquisados dados referentes ao sistema de limpeza pública existente, tais como, números de setores de coleta, frequência das coletas, características dos veículos coletores (tipologia, capacidade, quantidades, etc.), distância aos locais de tratamento e disposição final, e quantidade de resíduos gerado.

De forma sintetizar a região amostrada, buscou-se agrupá-los, utilizando-se

características homogêneas entre zonas, bairros e setores censitários da área em estudo, tais como, características e uso das edificações, densidade populacional, perfil de renda familiar, costumes da população e forma de acondicionamento dos resíduos. Como o universo amostral é todo o resíduo gerado no município, este procedimento busca restringir o espaço amostral, otimizando as amostras a serem avaliadas, sobretudo em municípios de médio e grande porte, em que a quantidade de setores de coleta é bastante elevada tornando o uso de recursos (tempo e custos) elevados para uma amostragem de todos os setores de coleta.

Como podemos ver na tabela 1, que apresenta a divisão territorial a partir do censo realizado pelo IBGE em 2010, o município de Petrolina está subdividido em quatro distritos: Petrolina (Sede), Curral Queimado, Rajada e Cristália. O seu distrito-sede compreende a zona urbana e é o mais populoso do município, com 260.892 habitantes, representando 88,75% da população do município, enquanto os demais distritos compreendem a zona rural e representam 11,25% da população do município.

DISTRITO	HABITANTES			DOMICÍLIOS PARTICULARES
	HO-MENS	MULHERES	TOTAL	
Petrolina (sede)	126.167	134.725	260.892	80.600
Curral Queimado	10.680	10.035	20.715	1.197
Rajada	5.077	4.765	9.833	3.681
Cristália	1.328	1.194	2.522	831

**Tabela 1.** Divisão territorial em distritos do município de Petrolina

## 3.2 Recursos Utilizados

### 3.2.1 Materiais/Equipamentos

Na realização do trabalho foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: Materiais de segurança e proteção dos trabalhadores (Equipamentos de proteção individual): óculos, luvas, botas, máscaras; Lonas/mantas plásticas: para confinamento dos resíduos, impedindo perdas de material e contaminação das amostras; Enxadas, garfos, facões para rompimento de embalagens: para separar e revolver o material e formação das pilhas de quarteamento; Sacos plásticos: para acondicionar e transportar amostras; Balança Digital (com certificado de calibração do INMETRO) com capacidade máxima de 200 kg – intervalo de leituras de 50 g: para aferição de pesos dos materiais; Recipientes, pás e rastelos: para a coleta e homogeneização das amostras (06 tambores de 100 L, 02 tambores de 20 L e 07 tambores de 10 L).

### 3.2.2 Equipe

Foi utilizada mão de obra de três funcionários da CTR Petrolina e de cinco catadores

de materiais recicláveis da Cooperativa COOMARCA, além de um engenheiro de campo para a coordenação das atividades, com um total de nove pessoas envolvidas.



**Figura 1.** Mão de obra utilizada com respectivos EPI's



**Figura 2.** Manta plástica para confinamento dos resíduos



**Figura 3.** Balança e recipientes plásticos

### 3.3 Fases

#### 3.3.1 Planejamento

Antes da equipe começar a realização in loco do trabalho, foram realizadas as seguintes etapas: Elaboração de cronograma de recepção de resíduos por setor / bairros, com a respectiva identificação do número dos caminhões coletores; Elaboração de planilha relacionando os setores de coleta, informações do veículo coletor, características da área amostrada (uso e ocupação) e materiais a serem segregados na amostra (material orgânico, materiais recicláveis e rejeitos); Aferição/calibragem das balanças; Identificação, pesagem e estabelecimento de tara dos tambores e galões; Treinamento dos envolvidos na atividade.

#### 3.3.2 Execução

O caminhão coletor, após a pesagem e identificação do roteiro de coleta escolhido, é direcionado para a descarga dos resíduos sobre a área pré-selecionada na área de transbordo do CTR Petrolina. Em seguida, com auxílio de uma escavadeira hidráulica foi realizada a pré-homogeneização da pilha.



Figura 4. Descarga dos resíduos



Figura 5. Pré-homogeneização



Da pilha resultante da descarga, foram retiradas amostras nos tambores de 100L, três na base e laterais e uma no topo da pilha inicial, totalizando 400 kg de amostra inicial.



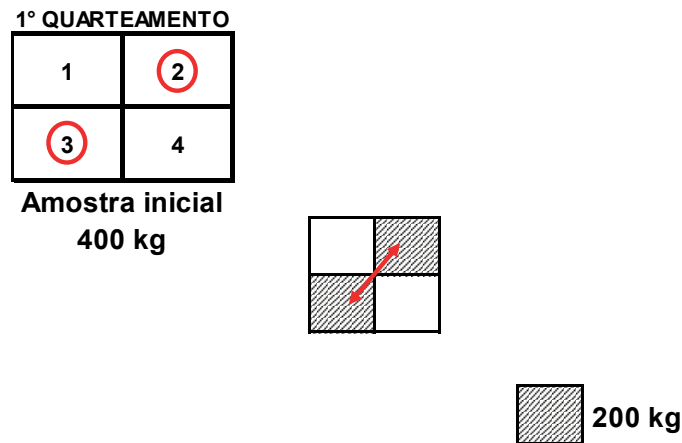
**Figura 6.** Coleta inicial

O material foi levado para área pavimentada e coberta do Pátio de Compostagem do CTR Petrolina, para que a equipe de triagem procedesse o rompimento dos invólucros plásticos de acondicionamento dos resíduos e a primeira homogeneização da amostra inicial.



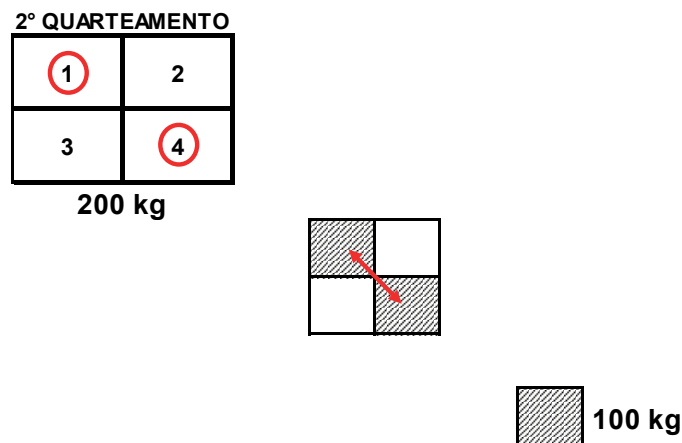
**Figura 7.** Primeira homogeneização

Em seguida foi realizado o 1º quarteamento: dividiu-se conceitualmente a amostra inicial de 400 kg em quatro partes iguais. De cada parte desta que prioritariamente também possuem um formato quadrado, selecionou-se duas amostras de posições diametralmente opostas. Cada quartil equivale a aproximadamente 100 kg resultando numa amostra final de 200 kg. Os resíduos não selecionados foram descartados.



**Figura 8.** Diagrama do 1º quarteramento

Depois foi realizado o 2º quarteramento: novamente dividiu-se conceitualmente a amostra de 200 kg em quatro partes iguais. De cada parte desta que prioritariamente também possuem um formato quadrado, seleccionou-se duas amostras de posições diametralmente opostas. Cada quartil equivale a aproximadamente 50 kg resultando numa amostra final de 100 kg. Os resíduos não seleccionados foram descartados.



**Figura 9.** Diagrama do 2º quarteramento

Da amostra final de aproximadamente 100 kg, realizou-se a separação dos materiais diferenciando-os nas seguintes categorias: Matéria orgânica, papel e papelão, embalagem longa vida, plástico duro, plástico mole, vidro, alumínio, outros metais e rejeitos. Após a separação, os materiais segregados foram pesados individualmente, obtendo-se a fração gravimétrica da amostragem. Após o processo de pesagem os resíduos utilizados na amostragem foram removidos para a destinação final e o pátio limpo para recebimento de nova amostra.

#### **4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Observou-se uma diferença nos pesos da amostra antes e após o processo



de separação dos materiais da amostra final de aproximadamente 100 kg. Atribui-se este fator a perda de unidade ao longo do processo, tendo em vista que o material inicialmente apresentava-se confinado em sacos plásticos e sendo posteriormente expostos em maior período a ventilação e temperatura ambiente normalmente mais elevada que a situação inicial, principalmente nos períodos do dia de insolação intensa. Outro fator analisado foi o peso específico aparente, que é a densidade do lixo solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, expresso em kg/m<sup>3</sup>. Sua determinação é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e instalações. Levando esses fatores em consideração, foi possível compilar os das amostras coletadas e compor a tabela 2, que mostra a porcentagem média de cada tipo de resíduo, que é produzido no município de Petrolina.

Tipo de resíduo	Amostras							Amostragem média
	1	2	3	4	5	6	7	
Matéria Orgânica	25,14%	38,39%	37,09%	34,18%	50,96%	31,04%	44,11%	<b>37,27%</b>
Papel / Papelão	4,38%	2,34%	1,78%	4,19%	1,63%	7,24%	4,93%	<b>3,78%</b>
Longa vida	0,91%	0,17%	0,23%	0,66%	1,38%	0,15%	0,61%	<b>0,59%</b>
Plástico duro	3,83%	2,39%	2,07%	3,83%	3,16%	4,39%	5,79%	<b>3,64%</b>
Plástico mole	18,12%	16,40%	20,28%	4,09%	4,15%	16,57%	3,81%	<b>11,92%</b>
Borracha	1,41%	0,26%	0,52%	0,20%	0,00%	0,00%	0,00%	<b>0,34%</b>
Vidro	2,37%	1,07%	1,13%	1,07%	0,44%	0,95%	3,51%	<b>1,51%</b>
Alumínio	0,32%	0,38%	0,19%	0,56%	0,40%	0,20%	0,51%	<b>0,37%</b>
Outros metais	0,46%	0,72%	1,41%	1,43%	0,49%	2,40%	1,32%	<b>1,18%</b>
Rejeitos	41,53%	35,88%	19,81%	31,73%	34,75%	36,58%	33,64%	<b>33,42%</b>
Perda de Umidade	1,52%	2,00%	15,49%	18,04%	2,62%	0,50%	1,78%	<b>5,99%</b>

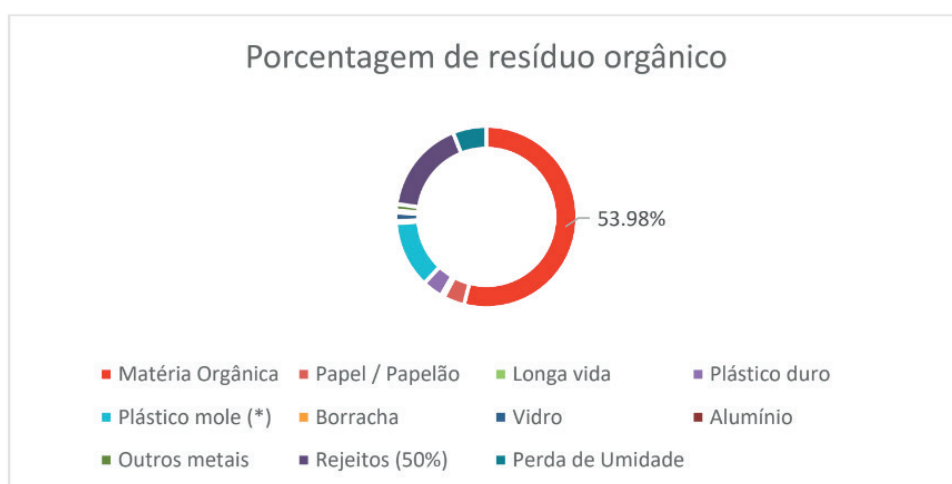
**Tabela 2.** Amostragem média

## 5 | CONCLUSÃO

A composição gravimétrica traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de lixo analisada. Os componentes mais utilizados na determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbano são os materiais recicláveis (papel/papelão, plásticos, vidros, metais), matéria orgânica e os rejeitos em geral, sendo utilizados como base para elaboração de estudos envolvendo a gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos, como avaliação do potencial para

aproveitamento em coleta seletiva, reciclagem e a produção de composto orgânico, bem como o dimensionamento das unidades e serviços que compõem o sistema de limpeza urbana, tais como: Serviços de acondicionamento, coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos, unidades de triagem de materiais recicláveis, unidades de compostagem, unidades de destinação final.

Os resultados apresentados confirmam que a matéria orgânica ainda representa grande percentual dos resíduos sólidos do município, pois verificou-se que cerca de 50% do material de rejeito, ou seja, aproximadamente 17% ainda apresentava fração orgânica, desta forma podemos afirmar que a fração orgânica representa de 50 à 55% do total da amostra, conforme apresentado no gráfico a seguir.



**Figura 10.** Gráfico comparativo

Outro material que apresenta destaque nas amostras estudadas foi o plástico, sobretudo o plástico de embalagens em geral, inclusive os próprios sacos plásticos utilizados para acondicionamento dos resíduos que não deixam de ser resíduos e necessitam de um tratamento e destinação adequados. Isto reforça a necessidade de políticas públicas que atuem para a minimização desta tipologia de resíduos.

O estudo das características físicas dos resíduos sólidos foi realizado em conformidade com as recomendações da literatura técnica correlata e serviu como base para a elaboração do Plano de Gerenciamento Integrado de resíduos Sólidos, conforme preconiza a Lei Federal nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos) e a Lei Estadual nº 14.236/2010 (Política Estadual de Resíduos Sólidos).

## REFERÊNCIAS

ABNT - **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**, 2004. Resíduos sólidos: classificação – NBR 10.004/2004.

APHA (1998). **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20<sup>th</sup> ed. Washington.

COELHO, Hamilton. Manual de gerenciamento de resíduos sólidos de serviços de saúde. In: **Manual de gerenciamento de resíduos sólidos de serviços de saúde**. 2000.

LIMA, Samuel do Carmo; RIBEIRO, Túlio Franco. A coleta seletiva de lixo domiciliar: Estudos de casos. **Caminhos de geografia**, v. 2, p. 50-69, 2000.

MANUAL DE GERENCIAMENTO INTEGRADO. 1995. Lixo municipal: **Manual de gerenciamento integrado**. Tecnológicas: Cempre, - publicação IPT 2163.

ORTH, M.H.A.; MOTTA, F.S., Pesquisa de caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos sólidos domiciliares. **Revista de limpeza pública**. v. 1, n. 48, p. 9-16, 1998.

RIBEIRO, Túlio Franco; DO CARMO LIMA, Samuel. Coleta seletiva de lixo domiciliar - Estudo de casos. **Caminhos de geografia**, v. 2, n. 2, 2000.

LIMPURB. 2000. Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos sólidos domiciliares no município de São Paulo. **Secretaria de Serviços e Obras**.

SISINNO, Cristina Lucia Silveira; OLIVEIRA, Rosália Maria de. Impacto ambiental dos grandes depósitos de resíduos urbanos e industriais. **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, p. 59-78, 2000.

SOARES, E. L. S. F. Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos. **Programa de pós-graduação em engenharia civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado**, v. 13, 2011.

STECH, Pedro José et al. Resíduos sólidos domésticos; tratamento e disposição final-curso. In: **CETESB série didática solo**. CETESB, 1990.

## AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE COMO MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA A INDÚSTRIA CIMENTEIRA

### **Joana Gomes Meller**

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC  
Blumenau – SC

### **Letícia Torres Maia**

Universidade do extremo sul catarinense –  
UNESC  
Criciúma – SC

### **Oscar Rubem Klegues Montedo**

Universidade do extremo sul catarinense –  
UNESC  
Criciúma – SC

### **Dachamir Hotza**

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC  
Florianópolis – SC

### **Hiany Mehl Zanlorenzi**

KLABIN S.A  
Telêmaco Borba-PR

### **Silvana Meister Sommer**

KLABIN S.A  
Telêmaco Borba-PR

**RESUMO:** O aumento da atividade industrial conduz a um maior consumo de recursos naturais e conseqüentemente maior geração de resíduos. Portanto, estudos que tendem a valorização destes subprodutos têm atraído cada vez mais interesse. Este trabalho objetiva apresentar uma visão geral da possibilidade da utilização de três resíduos gerados no processo para obtenção da celulose: Os grits,

as cinzas volantes e o lodo de estação de tratamento de efluente, como matérias-primas alternativas, caracterizando-os através de análises físico-químicas e também em relação a sua periculosidade quanto a norma ABNT NBR 10004:2004, visando a incorporação dos mesmos em processos para obtenção de materiais cimentícios. A análise de Fluorescência de Raio – X, mostrou a predominância de carbonato de cálcio (51,10%), sílica (43,63%) e perda ao fogo (74,47%) para grits, cinzas volantes e lodo de estação de tratamento de efluentes, respectivamente. Os difratogramas de raios X, identificaram fases calcita e quartzo para ambos os resíduos. A análise térmica mostrou pico endotérmico (745°C) para o grits, referente a descarbonatação e picos exotérmicos (359 °C e 434 °C) para o lodo de estação de tratamento de efluente, possibilitando a utilização deste material como combustível alternativo no processo de clínquerização. Os resultados referentes a umidade para grits, cinza volantes e lodo de estação de tratamento são de 13,43%, 21,65 % e 87% respectivamente. Deste modo, as conclusões apontam os resíduos como materiais alternativos com potencial para a obtenção de clínqueres, pois suas características são semelhantes com as das matérias-primas usualmente utilizadas nas cimenteiras.

**PALAVRAS-CHAVE:**

Resíduos,

**ABSTRACT:** The increase of industrial activity leads to a higher consumption of natural resources and, consequently, a larger generation of waste. Therefore, studies that tend to value these by-products have attracted a greater interest. Hence, this paper presents an overview of the possibility of using three residues from the pulping process: grits, fly ash and effluent treatment sludge as an alternative raw material, characterizing them through physical-chemical analysis and also in relation to their dangerousness according to the norm ABNT NBR 10004:2004, aiming to incorporate the same in processes to obtain cementitious materials. The x-ray fluorescence analysis showed the *predominance of calcium carbonate (51.10%), silica (43.63%) and loss on ignition (74.47%) for grits, fly ash and effluent treatment sludge, respectively.* The x-ray diffraction identified calcite and quartz phases for both residues. *The thermal analysis showed endothermic peak (745°C) for the grits, referring to decarbonation and exothermic peaks (359 °C and 434 °C) in effluent treatment sludge, making it possible to use this material as an alternative fuel in the clinkering process. The results for the humidity to grits, fly ash and effluent treatment sludge are 13.43%, 21.65% and 87% respectively. Thus, the conclusions point out the residues as potential alternative materials to obtain clinkers, once their characteristics are similar to those of the raw materials usually used in cement plants.*

**KEYWORDS:** Wastes, Potentiality, Cementitious materials.

## 1 | INTRODUÇÃO

O consumo de recursos naturais (matérias-primas) e de energia aumenta proporcionalmente ao crescimento e ao desenvolvimento da população mundial, o que acarreta conseqüentemente em uma maior geração de resíduos (PEREIRA, 2006).

A preocupação ambiental diz respeito, entre outras coisas, ao consumo excessivo ou ineficiente de recursos naturais não renováveis, e ao fato do meio ambiente ser o destino final de todos os resíduos gerados nas etapas de processos. Sabendo que apenas 6% do fluxo de materiais no mundo acabam em produtos de consumo, e que o restante retorna ao meio ambiente na forma de resíduos, efluentes e emissões, cresce cada vez mais estudos relacionados à reutilização e reciclagem destes resíduos, como uma possível fonte de matéria-prima para outros processos produtivos (MEHTA e MONTEIRO, 2005).

Como em todo processo industrial, a produção de pasta de papel e celulose por via química gera resíduos sólidos com diferenças em termos de composição e teor de umidade, e em grandes volumes. Alguns destes resíduos são: os grits, provenientes do sistema de recuperação de reagentes químicos, cuja composição predominante é carbonato de cálcio, as cinzas volantes, geradas na produção de energia nas caldeiras de biomassa, que são ricas em sílica e os lodos das estações de tratamento

de efluentes (lodo de ETE) que são ricos em matéria orgânica (ARROJA, et al., 2006). A crescente produção de celulose no Brasil abre espaço para a pesquisa da correta disposição dos resíduos gerados, tanto do ponto de vista econômico, quanto do ponto de vista ambiental. Sabendo que para cada 1,0 tonelada de celulose produzidas, são gerados 0,212 tonelada de resíduos sólidos, aumenta a necessidade de se encontrar uma destinação adequada para os mesmos (CENIBRA, 2015).

Nesta temática, os resíduos de uma indústria são reutilizados como substitutos de matérias-primas virgens para outros segmentos, reduzindo o impacto ambiental de ambos os processos (MEHTA e MONTEIRO, 2005).

Dentre as propostas de valorização dos resíduos provenientes da indústria de papel e celulose, pode-se citar o reaproveitamento do grits e das cinzas volantes como substitutos se não por completo, mas parcial das matérias primas na fabricação de clínqueres e cimentos, e também do lodo de ETE, que por ser composto basicamente de material orgânico, pode aportar energia ao processo durante a fase de calcinação do material (LYN, et al., 2012).

A lama de cal, um outro resíduo gerado no processo de obtenção da celulose, devido a sua composição ser rica em carbonato de cálcio, também pode ser reaproveitada juntamente com as cinzas volantes como fontes de matérias primas alternativas para obtenção de clínqueres. (SEABRA, et al., 2015). Uma outra forma de viabilidade para o reaproveitamento dos resíduos grits, seria como substituto em diferentes percentuais em massa à areia na argamassa de cimento, pois os resultados obtidos em relação a durabilidade quando comparados à uma argamassa padrão, mostraram-se semelhantes. (ZANELLA, et al., 2015).

O setor de materiais cimentícios se destaca como um ótimo receptor dos mais variados resíduos industriais e a substituição das suas matérias primas irá contribuir para o crescimento do setor, com estimativa de demanda anual em 2050, na ordem de 18 bilhões de toneladas (MEHTA e MONTEIRO, 2005).

A valorização de resíduos em materiais cimentícios tem sido bastante utilizada na atualidade, pois estes materiais reúnem algumas características que inertizam/estabilizam os efeitos tóxicos de alguns elementos. Além disso, alguns tipos de resíduos possuem composições químicas e mineralógicas que os potencializam como substitutos parcial ou total das matérias-primas tradicionais (MARTINS et al., 2007).

Assim, este trabalho tem por objetivo propiciar uma visão geral da possibilidade da utilização de três resíduos gerados no processo para obtenção da celulose: O grits, as cinzas volantes e o lodo de ETE como materiais alternativos, caracterizando-os através de análises físico-químicas e também em relação a sua periculosidade quanto a norma ABNT NBR 10004:2004, visando a incorporação dos mesmos em processos para obtenção de materiais cimentícios.

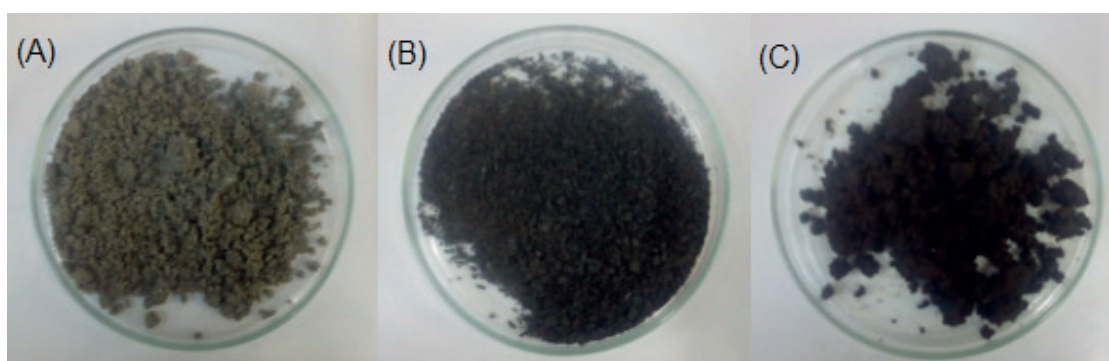


## 2 | OBJETIVO

Avaliar através de caracterizações físico-químicas e periculosidade (ABNT NBR 10004:2004) a possível potencialidade de três resíduos gerados pela indústria de papel e celulose (grits, cinza volante e lodo de ETE) como possíveis materiais alternativos para o setor da construção civil.

## 3 | METODOLOGIA

Dentre os resíduos gerados pela indústria de papel e celulose, foram escolhidos três (Figura 1) para o desenvolvimento do presente estudo em relação a potencialidade dos mesmos como possíveis materiais alternativos para obtenção de materiais cimentícios: o grits, resíduo oriundo da etapa de caustificação do licor verde, as cinzas volantes provenientes da queima da biomassa nas caldeiras e o lodo de ETE de todo o processo produtivo.



**Figura 1** - Resíduos utilizados: (A) Grits (B) Cinzas volantes (C) Lodo de ETE.

Para a caracterização e avaliação dos resíduos, foram realizadas análise química por fluorescência de raios X (FRX), análise de difratometria de raios X (DRX), análise térmica diferencial e termogravimétrica (ATD/TG), teor de umidade, teor em sólidos, determinação dos tamanhos de partícula, densidade e também em relação a sua periculosidade baseado-se na norma NBR 10004:2004 (ABNT, 2004a).

A análise química quantitativa foi realizada pela técnica de espectrofotometria de fluorescência de raios X (FRX, Philips PW 2400). As amostras foram secas a 105°C e posteriormente moídas e peneiradas (200 mesh). Uma parte da amostra foi fundida com tetraborato de lítio (proporção de 1:10 respectivamente) para análise no espectrofotômetro e uma parte calcinada a 1000°C para determinação da perda ao fogo.

A composição mineralógica dos resíduos foi determinada por Difração de Raios X (DRX). As amostras foram secas a 105°C e posteriormente moídas e peneiradas (200 mesh). O equipamento utilizado no ensaio foi um difratômetro Bruker – D8 com goniômetro theta – theta, que opera com radiação K.α.Cu ( $\lambda = 1,5418$ ) nas condições

de 40kV e 40mA. A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro são 1 grama de pó a 1 segundo para 0,02° do goniômetro de 2° a 72° 2 theta, respectivamente.

O comportamento térmico foi avaliado através de análises térmicas gravimétrica (TG) e diferencial (ATD) em um calorímetro diferencial de varredura (DSC, SDT Q600). As amostras foram secas a 105°C, moídas, peneiradas (200 mesh) e colocadas em cadinhos de alumina. O ensaio foi realizado com atmosfera de ar sintético até 1400 °C e taxa de aquecimento de 10 °C/min.

Para determinação do teor de umidade e conseqüentemente do teor de sólidos dos resíduos, foram considerados relacionando-se seus pesos iniciais (como são gerados) e seus pesos após secagem em estufa à 105°C ± 5°C, por 24 horas.

A determinação da distribuição de tamanhos de partícula dos resíduos foi realizada por difração a laser (Mastersizer, 2000 Hydro).

Para a determinação da densidade, as amostras foram previamente secas a 105°C, moídas e peneiradas (200 mesh). O ensaio foi realizado utilizando um Picnômetro a gás (Ultrapyc 1200e).

A classificação dos resíduos em relação a sua periculosidade foi determinada de acordo com a norma NBR 10004:2004, avaliando sua inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade.

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química dos resíduos reflete a sua origem e o tratamento pelo qual os mesmos passam no processo produtivo. Hipótese esta, confirmada pelos resultados obtidos nas análises químicas por espectrofotometria de fluorescência de raios X (Figura 2).

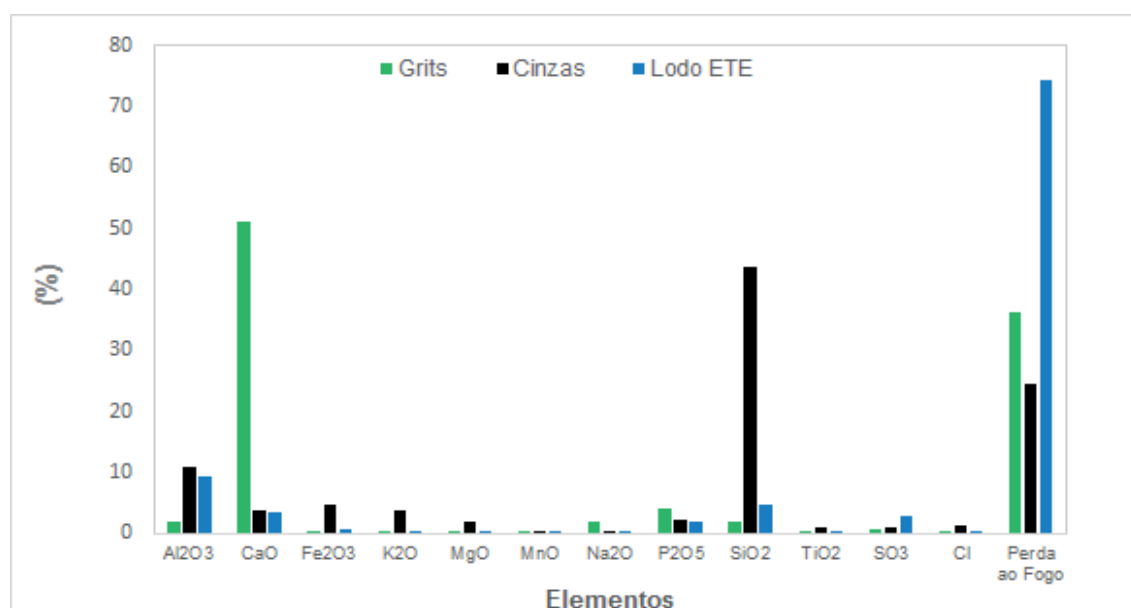


Figura 2 - Composições químicas (% em massa) dos resíduos.

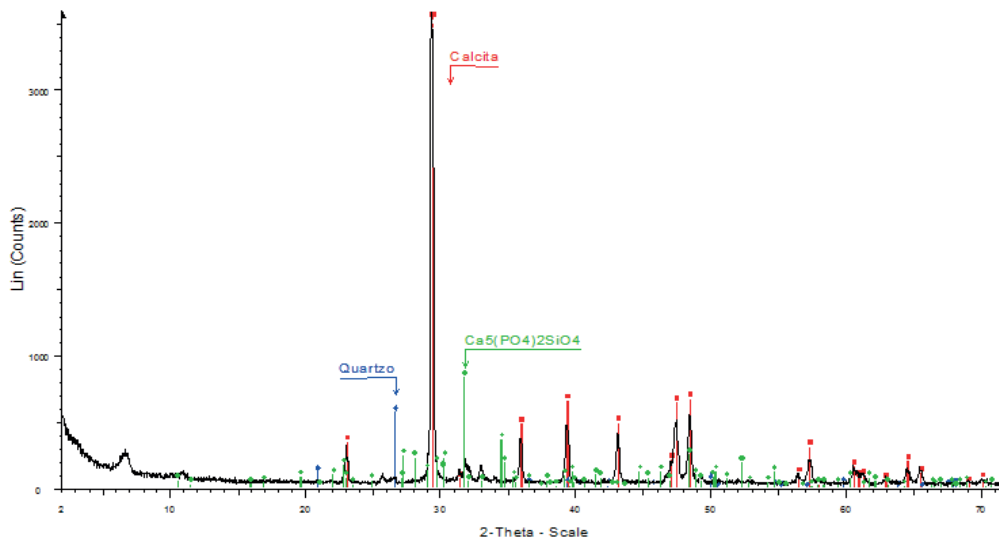
Os Grits, resíduo oriundo do circuito de recuperação de químicos, mais especificamente nos caustificadores, apresentou uma alta concentração de óxido de cálcio (51,18%), sendo coerente com o valor obtido para a perda ao fogo (36,3%), pois este valor corresponde majoritariamente ao dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) produzido na decomposição do carbonato de cálcio. Ele também possui um teor de sódio (2,01%) mais elevado que os demais resíduos, devido a composição dos reagentes contidos no licor negro durante as etapas de recuperação química do processo industrial. Esses elementos de ação fundente, provêm maior formação de fase líquida, diminuindo a porosidade e conseqüentemente favorecendo a densificação do material na clínquerização.

As cinzas volantes são geradas na combustão da biomassa utilizada para produção de energia. Sua composição química apresentou uma alta concentração de sílica (43,63%), além de conter percentuais consideráveis de outros óxidos importantes no processo para obtenção de materiais cimentícios, como  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10,96%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (4,8%) e  $\text{CaO}$  (3,85%).

Já o lodo de ETE, por ser gerado no tratamento primário/secundário das águas residuais, apresenta elevada perda ao fogo (74,47%), demonstrando que seus elementos sólidos presentes, são majoritariamente de natureza orgânica, sendo um elemento que pode ser utilizado como combustível alternativo na reação do processo na indústria cimenteira. Também apresentou em sua composição química (Figura 2), um valor de  $\text{SO}_3$  (2,9%) superior ao grits (0,8%) e as cinzas volantes (1,02). Este é um parâmetro importante, já que interfere nas proporções das fases cristalinas formadas durante a clínquerização.

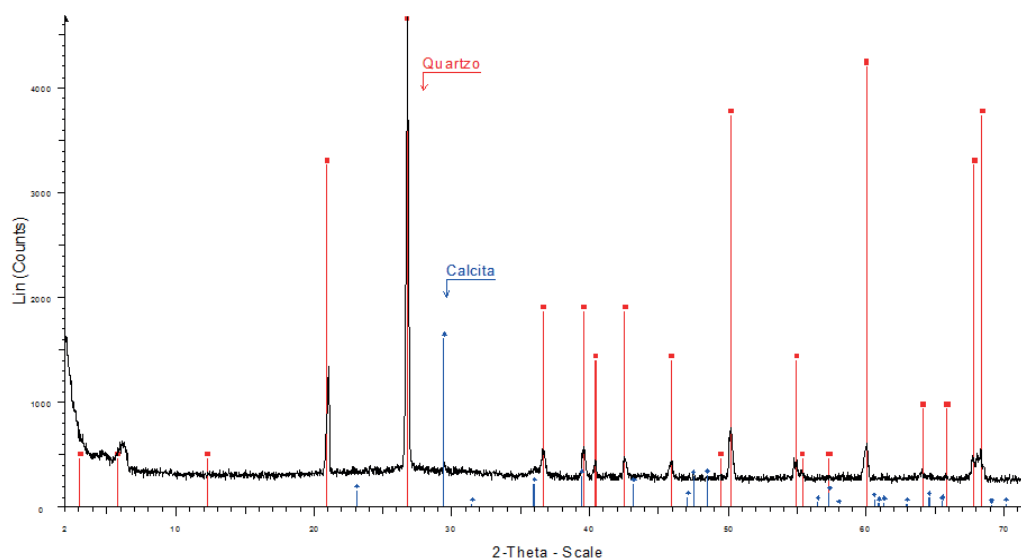
Sendo assim, os resultados obtidos por FRX demonstraram potencialidade dos resíduos para substituição das matérias-primas na produção de clínquer.

Os resultados obtidos para o difratograma de raios X do grits (Figura 3) detectou a presença das fases calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e também foi identificado um pico de  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2\text{SiO}_4$ , o que foi coerente com os resultados obtidos para a análise química (Figura 2), onde observou-se a predominância do óxido de cálcio e também a presença de sílica e pentóxido de fósforo. Compostos minoritários identificados na análise química (Figura 2) não foram identificados nos difratogramas de raios X devido ao seu baixo teor nos resíduos.



**Figura 3** - Difratoograma de raios X do resíduo Grits.

A composição mineralógica e química das cinzas volantes depende fundamentalmente da fonte de biomassa florestal utilizada. Os resultados obtidos para o difratograma de raios X detectaram a presença das fases cristalinas quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), sendo coerentes com a presença majoritária de sílica e a presença de óxido de cálcio observados nos resultados de FRX (Figura 2).



**Figura 4** - Difratoograma de raios X das cinzas volantes.

Para as amostras do lodo de ETE, não foi realizada a análise mineralógica, pois de acordo com o observado na análise química (Figura 2), o resíduo é maioritariamente orgânico.

O comportamento térmico dos resíduos foi estudado mediante a realização de análises térmicas diferencial (ATD) e gravimétrica (TG). Os resultados obtidos na análise de ATD do grits, observada na Figura 5, mostra uma banda endotérmica centrada nos  $744,63^\circ\text{C}$ , característica da decomposição da calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), causada principalmente pela liberação de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Fato este, comprovado com a perda de

massa de aproximadamente 33,57% observada na análise termogravimétrica (TG) (Figura 6) e com a o valor de perda ao fogo (36,3%) observado na análise química.

O ATD da amostra de cinzas volantes (Figura 5) apresenta um pico exotérmico em 455,01°C correspondente à liberação de água e à decomposição de matéria orgânica.

O comportamento térmico do lodo de ETE (Figura 5), mostra um pico exotérmico intenso centrado nos 433,62°C, correspondente à queima de matéria orgânica. Também neste caso, a perda total de peso estimada pela curva de TG (cerca de 64,51%) é coerente ao valor de perda ao fogo (74,47%) indicado na análise química (Figura 2).

Essas reações exotérmicas são relevantes para as cimenteiras, já que promovem a redução do consumo de combustíveis no processo de clínquerização.

Conforme demonstrado na análise química (Figura 2), os três resíduos apresentam grande perda ao fogo, seja pela descarbonatação dos compostos presentes nos grits, ou pela queima de material orgânico presente nas cinzas volantes e no lodo de ETE.

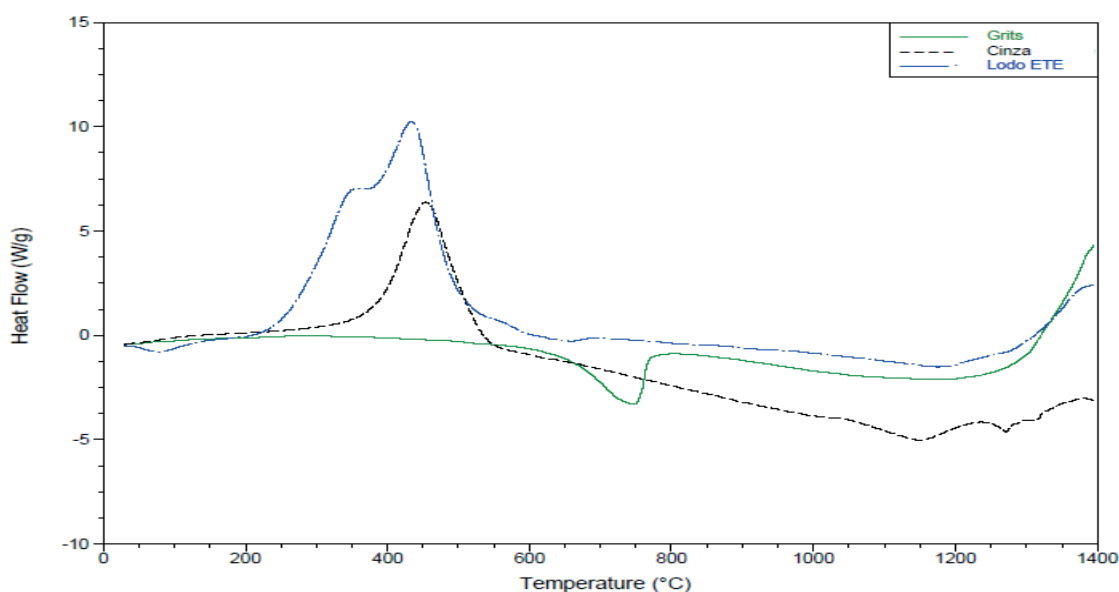


Figura 5 - Análise Térmica Diferencial dos resíduos estudados.

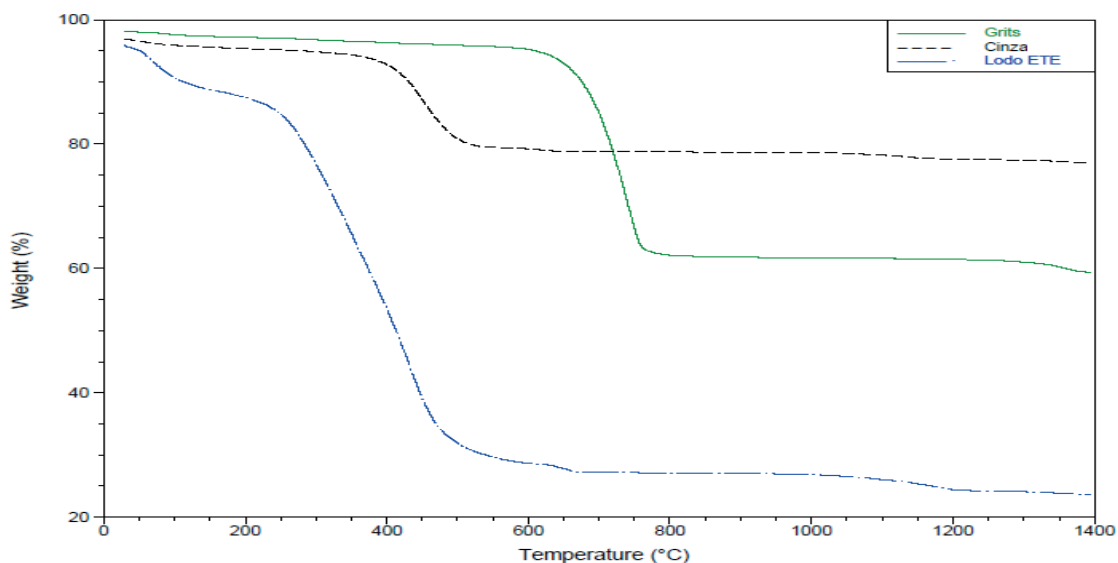
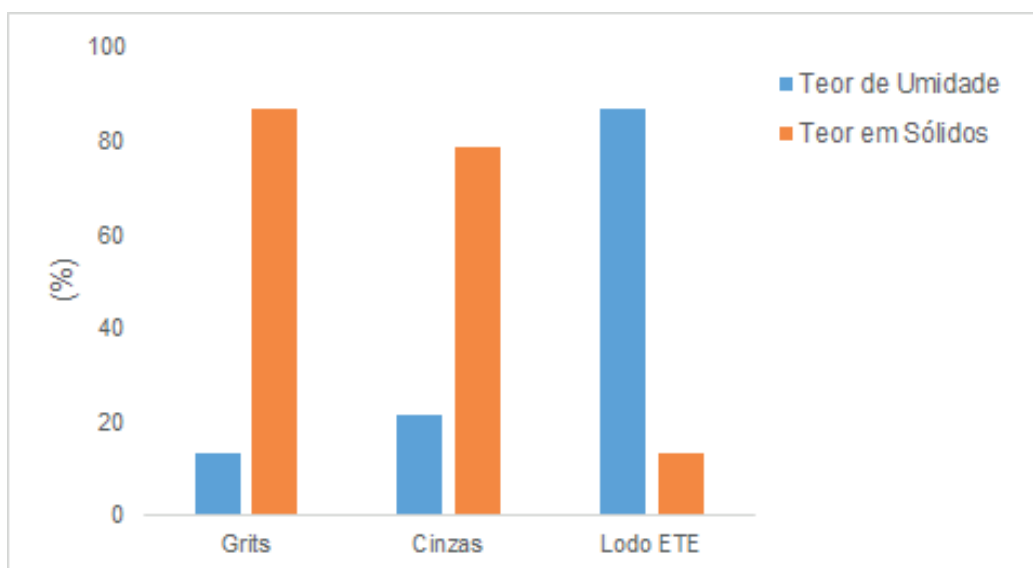


Figura 6 - Termogravimetria dos resíduos estudados.

Os resultados obtidos em relação ao teor de umidade e teor de sólidos dos resíduos estão descritos na Figura 7.



**Figura 7** – Teor de umidade e de sólidos dos resíduos estudados.

Os resíduos grits e cinzas volantes, apresentam umidade relativamente baixa, na ordem de 13,22 e 21,34% respectivamente. Já o lodo de ETE, apresenta uma umidade na ordem de 87%, esse baixo valor teor de sólidos (13%) é devido a maior parte dos sólidos em suspensão no efluente (areias, fibras, carbonatos e resíduos de madeira) serem retirados já no tratamento primário.

Os teores de umidade dos resíduos são importantes, uma vez que um alto teor de umidade inviabilizaria seu uso em formulações para obtenção de materiais cimentícios. Neste sentido, caso o lodo de ETE seja utilizado como material alternativo, o seu percentual nas formulações deve ser controlado e a umidade resultante da mistura com os demais resíduos é que deve ser levada em consideração, viabilizando assim, a obtenção de formulações de farinhas cruas com umidades aceitáveis para o processo de clínquerização.

A distribuição de tamanhos de partículas é outro fator importante quando se trata da análise de potencialidade da utilização de resíduos no processo de clínquerização, uma vez que quanto maior for a área superficial, ou seja, menor for o tamanho das partículas, mais fácil ocorrerá a reação nos fornos. A análise granulométrica permite verificar se há necessidade ou não de um pré-processamento dos resíduos, antes da sua incorporação em uma matriz cimentícia, pois segundo Mehta e Monteiro (2005), o tamanho de partícula ideal seria abaixo de  $75\mu\text{m}$ .

Os resultados obtidos para os resíduos em estudo, mostram tamanhos médios de partículas variados. Os grits, por serem mais arenosos, apresentam partículas entre 170 a  $643\mu\text{m}$ . Dos resíduos, é o que tem uma maior variação na sua faixa de distribuição de tamanhos, isso é resultado de uma formação por aglomeração de partículas de meios diversos, provavelmente não só da incorporação de impurezas da rocha calcária calcinada para produção de cal, como também de resíduos do próprio



forno e da lama de cal reprocessada. As cinzas volantes apresentam tamanhos médios de partículas de 118  $\mu\text{m}$ , enquanto o lodo da estação da ETE possui um valor de tamanho médio mais elevado que o da cinza (232  $\mu\text{m}$ ) devido ao seu elevado teor de umidade (Figura 7), que facilita a aglomeração das partículas.

Os valores médios observados nestes resíduos potencializam a sua incorporação como materiais alternativos para obtenção de materiais cimentícios, não havendo, portanto, dificuldade para processar esses materiais.

Na tabela 1, estão demonstrados os valores obtidos referentes a densidade dos resíduos em estudo.

Resíduos	Densidade (g/ $\text{cm}^3$ )	Desvio Padrão
Grits	2,8673	0,0015
Cinzas Volantes	2.4167	0.0100
Lodo ETE	1.6115	0.0005

**Tabela 1** – Densidade dos resíduos em estudo.

Em relação a classificação dos resíduos quanto a sua periculosidade pela NBR 10004 (ABNT, 2004a), os resultados mostram que nem um dos resíduos apresentam características de inflamabilidade.

O resíduo grits foi classificado como Classe I - Resíduo Perigoso, devido a sua corrosividade por apresentar pH igual a 12,80 em sua mistura com água na proporção de 1:1 em peso, ultrapassando o limite estabelecido pela norma (2,0 a 12,5). Por não constituir em sua composição íons cianeto e sulfeto acima dos estabelecidos pela norma, o resíduo foi caracterizado como não reativo. O ensaio de lixiviação não identificou nem um parâmetro acima dos estabelecidos por norma, caracterizando-o como não tóxico. Já no ensaio de solubilização, a concentração de alumínio (1,07 mg/L), índice de fenóis (0,11mg/L) e sódio (2230 mg/L) ultrapassaram os limites máximos permitidos pela norma (0,2; 0,01 e 200 mg/L, respectivamente).

As cinzas volantes, por apresentarem pH igual a 10,07 foram caracterizadas como não corrosivas, não reativas e não tóxicas pois nenhum dos parâmetros analisados ultrapassaram o limite estabelecido pela norma. No ensaio de solubilização, a concentração de alumínio (18 mg/L) e sulfato (1120 mg/L) apresentam concentrações superiores aos padrões (0,2 mg/L e 250mg/L respectivamente), caracterizando-a como um resíduo não perigoso - classe II A - não inerte.

O lodo de ETE apresenta concentrações de manganês (284,07 mg/L) e sódio (0,19 mg/L) acima dos limites permitidos pela norma (0,1 e 200 mg/L) em relação ao ensaio de solubilização, sendo classificado como classe II A – não inerte.

## 5 | CONCLUSÃO

As análises dos resultados obtidos neste estudo permitem identificar potencialidade nos três resíduos provenientes da fabricação de papel e celulose (grits, cinzas volantes e lodo de ETE) como possíveis materiais alternativos para a indústria cimenteira. Isso se dá ao fato dos resíduos apresentarem compatibilidade química com as matérias-primas tradicionalmente utilizadas para fabricação de clínquer/cimento. Esta compatibilidade é devido a presença majoritária dos óxidos presentes nos resíduos ( $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Os difratogramas de raios X identificaram as fases cristalinas calcita e quartzo, comprovando os resultados obtidos na análise química. Os teores de umidade não são prejudiciais no presente estudo, já que apenas o lodo de ETE apresentou valor elevado, necessitando apenas de ajustes nas formulações para que os teores total da mistura da farinha não ultrapasse os valores ideais. Do ponto de vista ambiental, tem-se resíduos não perigosos (lodo de ETE e cinzas volantes) e também perigoso (grits), que ao sofrer o processo de clinquerização pode resultar em um produto final não perigoso, sendo necessário um ensaio de lixiviação para comprovar. O estudo desenvolvido demonstra viabilidade técnica e ambiental para o reaproveitamento destes materiais.

## REFERÊNCIAS

ARROJA, L.; LOURO, M.; CAPELA, I. **Gestão integrada de resíduos em fábricas de pasta para papel em Portugal**. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, 2006.

CENIBRA – CELULOSE NIPO-BRASILEIRA S/A. **Relatório de sustentabilidade, 2015**. Disponível em: < [http://www.cenibra.com.br/wp-content/uploads/2015/06/RELATORIO\\_SUSTENTABILIDADE-2014\\_FINAL.pdf](http://www.cenibra.com.br/wp-content/uploads/2015/06/RELATORIO_SUSTENTABILIDADE-2014_FINAL.pdf) >. Acesso em: 03 Março. 2017.

LIN, Y.; ZHOU, S.; LI, F.; LIN, Y. **Utilization of municipal sewage sludge as additives for the production of eco-cement**. Journal of Hazardous Materials. V.213, p.457-465, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 3. ed. [S.l.]: [s.n.], 2005.

RAUPP-PEREIRA, F. **Valorização de resíduos industriais como fonte alternativa mineral: composições cerâmicas e cimentícias**. Aveiro, 235 p., 2006. Tese (Doutorado) - Universidade de Aveiro.

SEABRA, J.A.; BURUBERRI, L.H.; LABRINCHA, J.A. **Preparation of clinker from paper pulp industry wastes**. Journal of Hazardous Materials. V.286, p.252-260, 2015.

ZANELLA, B.P.; TRANNIN, I.C.B. **Recycling residues from the pulp and paper industries in the civil construction**. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, v. 20

## ANÁLISE DOS PLANOS MUNICIPAIS DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ESTADO DO PARANÁ

### **Daniel Poletto Tesser**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Ponta Grossa - Paraná

### **Luciana Janoni Botelho de Freitas do Nascimento**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Ponta Grossa - Paraná

### **Antônio Carlos de Francisco**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Ponta Grossa - Paraná

### **Cassiano Moro Piekarski**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Ponta Grossa - Paraná

**RESUMO:** A criação da Lei Federal 12.305/2010 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos propôs a obrigatoriedade de alguns instrumentos de gestão de resíduos, entre eles os Planos Municipais de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS), a serem elaborados pelos municípios. Este trabalho busca analisar a adesão dos municípios paranaenses, com população superior a 20.000 habitantes, a esta legislação e a adequação dos instrumentos aos requisitos previstos na lei. O estudo propôs uma metodologia de busca para identificar quais municípios disponibilizam o documento para consulta a população por meio digital. Em seguida, a partir das metodologias propostas por Oliveira e Galvão

Júnior (2016) foi elaborado um procedimento de análise para avaliar se os documentos atendiam aos requisitos legais propostos na lei. Verificou-se que o estado do Paraná conta com 399 municípios sendo 92 com a população correspondente a seleção em estudo. Foram encontrados PMGIRS em apenas 19 deles. O município com maior atendimento aos requisitos atendeu 80% dos requisitos e em mais de 60% dos casos menos de 35% dos requisitos foram atendidos. Ressalta-se como conclusão, a necessidade avaliações contínuas dos documentos e seu aprimoramento, tanto por parte dos municípios como por parte das secretarias estaduais e órgãos fiscalizadores ambientais. O desenvolvimento de novas metodologias de análise dos conteúdos e requisitos devem ser incentivados como forma de aprimorar a gestão de resíduos sólidos urbanos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos sólidos (PMGRS), Indicadores de Sustentabilidade, Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Resíduos Sólidos Urbanos.

**ABSTRACT:** The creation of the Federal Law 12.305/2010 that deals with the national solid waste policy has proposed the obligation of some waste management instruments, among

them the Municipal Plans for Solid Waste Integrated Management (PMGIRS), to be Prepared by the municipalities. This work seeks to analyse the adequacy of the instruments elaborated by the municipalities of Paraná, with a population greater than 20,000 inhabitants, to the requirements laid down in the law. The study proposed a search methodology to identify which municipalities provide the document to consult the population by digital means. Then, based on the methodologies proposed by Oliveira and Galvão Júnior (2016), an analysis procedure was elaborated to assess whether the documents complied with the legal requirements proposed by law. It was found that the state of Paraná has 399 municipalities, being 92 with the population corresponding to the selection under study. PMGIRS were found in only 19 of them. The municipality with the highest attendance to the requirements met 80% of the requirements and in more than 60% of cases less than 35% of the requirements were attended. It is noteworthy the need for continuous assessments of the documents and their improvement, both by the municipalities and by the state secretariats and environmental inspector agencies. The development of new methodologies for content analysis and requirements should be encouraged as a way to improve the management of urban solid waste.

**KEYWORDS:** National solid waste policy (NSWP), Municipal solid waste management plans (MSWMP), sustainability indicators. Solid Waste Management, Urban Solid Waste.

## 1 | INTRODUÇÃO

O histórico das atividades humanas tem como característica essencial, a modificação do local em que este grupo ou população está. Para que tais transformações ocorram, são utilizados diversos materiais, parte deles serão descartados após cumprir sua função; conforme é abordado por Bibone e Povinelli (1999, p.120). Da mesma forma como a humanidade evoluiu, a complexidade dos materiais descartados no decorrer de seu desenvolvimento, também. O que inicialmente eram materiais com características de composição basicamente orgânica, tornou-se complexa, como componentes eletrônicos, plástico, pilhas, baterias, entre outros.

A partir do momento que um recurso ou material deixa de ter empregabilidade no setor em que é ou deveria ser consumido, ele passa a ser um resíduo, mas não necessariamente deixa de ter potencial de utilização em outra atividade. Ou seja, este ainda pode contar com novas aplicações para outros setores produtivos e/ou potenciais consumidores.

Uma das preocupações da sociedade atual tem sido a respeito dos significativos impactos causados ao meio ambiente pela destinação final dos resíduos sólidos, provenientes de diferentes fontes dentre eles os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), gerados na busca por melhor qualidade de vida (ARCILA, 2008, p.1). Ainda de acordo com a autora (ARCILA, 2008, p.1): “O cuidado com a disposição dos RSU não tem crescido na mesma proporção que a sua produção, tornando um fato preocupante a

má disposição dos RSU,...”.

Neste sentido muitos estudos tem surgido para avaliar a gestão de resíduos sólidos. Wilson et. al. (2012) analisou 20 cidades do mundo considerando alguns aspectos indicadores que considerou universais para avaliar a gestão dos resíduos sólidos urbanos. Outros trabalhos se seguiram como Allesch e Brunner (2014) que realizou um estudo bibliográfico para propor uma seleção de métodos de avaliação para auxiliar na tomada de decisão em relação ao gerenciamento de resíduos. Outros ainda, como Starostina et al. (2018) utilizam simulações para comparar alternativas para a gestão de resíduos sólidos considerando o impacto ambiental das alternativas.

No Brasil a gestão dos resíduos sólidos tem avançado especialmente a partir da evolução da legislação pertinente. A legislação também tem evoluído buscando responder ao aumento do volume e da complexidade dos resíduos gerados. Vilhena (2010, p.307) destaca algumas dela: a Lei Nacional de Saneamento Básico, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010), o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e o artigo 23 da Constituição Federal que trata das responsabilidades perante a fauna e a flora e o combate à poluição em qualquer forma. Por estas e outras legislações complementares o conjunto de instrumentos e parâmetros legais e técnicos disponíveis está posto para tratar da questão está definido.

A PNRS (BRASIL, 2010) foi instituída em 2010 e, desde então, dita o conteúdo mínimo que deve estar disposto em planos de gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil. E tem como um de seus objetivos a proteção ambiental e da população do município, promovendo metas de redução de geração de resíduos, iniciativas de comercialização dos resíduos com potencial reciclável, promoção da capacitação das pessoas envolvidas direta e indiretamente ao processo de gerenciamento, entre outros.

A PNRS prevê para municípios com população superior a 20.000 habitantes, a obrigatoriedade de elaboração de um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) com conteúdo descrito nos incisos do Art. 19, a fim de que a cultura de gerenciamento dos resíduos sólidos possa ser aplicada de acordo com o perfil de cada município em relação aos requisitos destacados.

Desta feita, no caso brasileiro é mister considerar os elementos propostos pela legislação para a gestão dos resíduos sólidos. Assim, apesar de existirem propostas de ferramentas e indicadores para avaliar e comparar a gestão de resíduos em cidades de diferentes países este trabalho será voltado para analisar o desempenho das ferramentas de gestão de resíduos impostas aos municípios pela PNRS. Apesar de restringir a comparação com cidades de outros países a metodologia proposta pode permitir uma melhor avaliação das iniciativas dos municípios brasileiros devido a homogeneidade dos requisitos legais a que estão submetidos.

O estudo teve como objeto analisar em que condição os municípios paranaenses com mais de 20.000 habitantes atendem a legislação vigente no que refere-se a

## 2 | METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em duas etapas. A primeira envolveu a definição da amostra e obtenção dos PMGIRS a serem analisados. A segunda etapa tratou da estruturação dos requisitos a serem analisados por meio de um modelo desenvolvido a partir da proposta apresentada por Oliveira e Galvão Júnior (2016) e a análise propriamente dita. Cada uma destas etapas está descrita abaixo.

### 2.1 Definição da amostra de municípios e planos para a coleta de dados

Os dados referentes aos municípios do estado do Paraná que foram utilizados neste trabalho para compor a amostra foram obtidos com base na última versão desenvolvida pelo Sistema Nacional de Informação sobre Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR) em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) no ano de 2015. Foi realizada uma pesquisa à página digital do SINIR na rede mundial de computadores a fim de obter dados referentes aos municípios que contam com a população superior a 20.000 habitantes no estado do Paraná. Vale salientar que as informações referentes ao número de habitantes dos municípios declarados no SINIR, tem como base os dados apresentados pelo IBGE em 2013. Assim, a amostra de trabalho definida foi composta por 92 municípios.

De acordo com a PNRS, o conteúdo referente à gestão e ao gerenciamento de resíduos sólidos pode estar disposto tanto nos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) quanto em planos destinados exclusivamente para o tema (PMGIRS ou PMGRS).

Ressalte-se que a PNRS tem como um de seus princípios o controle social, ou seja:

“conjunto de mecanismos e procedimentos que garantam à sociedade informações e participação nos processos de formulação, implementação e avaliação das políticas públicas relacionadas aos resíduos sólidos” (BRASIL, 2010).

Desta forma, o PMGIRS, como principal ferramenta da gestão de resíduos no município deveria estar disponível e acessível a toda a sociedade. Além, é claro, de garantir-se a participação da comunidade na sua elaboração. Isso, somado a outros princípios da administração pública como a transparência foi ponto de partida para a busca da documentação em *sites* na Rede Mundial de Computadores conforme descrito a seguir.

Os Planos Municipais de Gerenciamento de Resíduos (PMGR) podem ter diversas nomenclaturas como: Plano de Gestão integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (PGIRSU), Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), Plano



Municipal de Gestão integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), Plano Municipal de Coleta Seletiva (PMCS), Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) e ainda pode ter o conteúdo referente ao gerenciamento de RS incluso no Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB).

Com base nas declarações de existência de planos, para cada município, na base documental no SINIR, foram buscados os documentos propriamente ditos, na Internet, por meio do buscador *Google*, com o uso das expressões: “Plano Resíduos Sólidos (nome do município)”, “Gestão/Gerenciamento Resíduos Sólidos (nome do município)”, “PMGIRS (nome do município)”, “PGRS (nome do município)”; “PMSB (nome do município)”. E, por fim, foram pesquisadas nas páginas oficiais competentes a cada prefeitura que havia declarado possui tal documentação no SINIR as legislações e o Plano Diretor, utilizando as mesmas expressões anteriormente citadas e, ainda, em alguma página anexa à legislação municipal quando disponível. As buscas foram realizadas respectivamente nesta ordem.

A partir do conteúdo encontrado, deu-se sequência para próxima etapa de análise dos conteúdos.

## 2.2 Análise do conteúdo dos planos encontrados

A metodologia empregada nesta etapa foi inspirada na utilizada por Oliveira e Galvão Júnior (2016). Estes autores realizaram um trabalho no qual tiveram uma amostra de 17 cidades com população superior a 200.000 habitantes. Todavia, a pesquisa realizada por aqueles autores foi direcionada à coleta seletiva de resíduos e foram selecionados apenas alguns dos requisitos compulsórios aos PMGIRS previstos nos incisos do Art. 19 da PNRS.

Para construir o sistema de avaliação dos planos municipais, utilizado neste estudo, em relação ao conteúdo completo previsto na PNRS, os incisos do artigo 19 foram separados nas seguintes categorias: Diagnóstico; Metas, Programas e Ações, e; Sistemas de Monitoramento. A partir de então para cada inciso foi atribuída uma pontuação condizente com a quantidade de itens nele abordados, por exemplo: um inciso que aborda conteúdos referentes a reciclagem, reutilização e redução, aborda 3 aspectos diferentes; logo será composto por 3 pontos de avaliação. Desta forma desdobrou-se os 19 incisos em 35 elementos a serem considerados na análise dos planos encontrados nos municípios.

Desta feita, a análise desenvolveu-se em três etapas. Na primeira etapa da análise foram verificados os itens relacionados a categoria Diagnóstico referentes a situação dos RSU de cada município e ao conteúdo declarado pelo seu plano. Nesta etapa foram analisados 8 aspectos que representam cerca de 22% do total da avaliação.

Os aspectos contidos na categoria Metas, Programas e Ações são os que norteiam os planos, nelas são definidos os objetivos de curto, médio e longo prazo e as formas como se pretende atingi-los. É importante que o planejamento seja gradativo, para que

cada conquista esteja bem consolidada e possa ser duradoura, por meio da alocação ideal de recursos para cada uma das etapas (OLIVEIRA e GALVÃO JUNIOR, 2016). Tendo ao todo 19 elementos para serem analisados esta categoria representa 54% da pontuação total que um plano pode obter.

E, por fim, os aspectos da categoria Sistemas de Monitoramento contidos (ou não) nos planos permite desenvolver indicadores de desempenho, limitações, as medidas emergenciais, entre outras informações. Com 8 elementos definidos como critérios para avaliação desta categoria ela representa pouco mais de 22% do total de elementos avaliados.

Assim, este modelo permite não apenas constatar quais municípios possuem planos mais completos e quais os incompletos, mas, também, identificar os pontos de maior deficiência de cada município, e ainda, verificar quais os critérios com maior dificuldade de adesão pelo conjunto de municípios. Desta forma, o modelo permite um processo de avaliação e melhoria contínua individualizado, assim como do conjunto, possibilitando acompanhar a evolução do Planos e a criação de políticas estaduais e regionais para melhoria dos pontos com baixo desempenho.

### **3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Com base nos dados das populações dos municípios paranaenses disponibilizados pelo SINIR através de dados do MMA, dos 399 que compõem o estado, apenas 23% (92 municípios) se enquadraram no perfil estabelecido nesta pesquisa (municípios com mais de 20 mil habitantes). Destes, 78 declararam possuir PMGIRS, conforme dados do SNIR, em cumprimento com os requisitos da lei 12.305.

Partindo desta amostra de foram encontrados PMGIRS em apenas 11 e PMSB em 8 municípios. No restante dos 59 municípios não foi encontrado nenhum dos planos. Tampouco, algum conteúdo nas legislações municipais que fizesse menção aos RSU para que fosse possível identificar o posicionamento do município ao tema. Todavia houve apenas menção, em alguns casos, às formas de identificação e a classificação dos RS e orientações para elaboração de PGRS não tendo sido identificado nenhum outro documento que, pelas características das informações, pudesse ser submetido à continuidade da análise pretendida por esta pesquisa. Para estes municípios não houve continuidade para a etapa de análise de conteúdo dos documentos. Neste caso a primeira constatação é que 80% dos municípios com mais de 20 mil habitantes ou não possuíam, na data em que os dados foram coletados, os PMGIRS ou, se possuíam, eles não estavam facilmente acessíveis à população, ao menos nos meios de comunicação digitais, conforme espera-se ao considerar o atendimento do princípio do acesso a informação e ao controle social, previstos na própria PNRS.

Nos 19 municípios onde foi possível encontrar algum dos planos, sejam eles PMGIRS, PMSB, deu-se continuidade para o processo seguinte de análise do conteúdo

conforme proposto no objetivo deste estudo.

Diferentemente da abordagem realizada por Oliveira e Galvão Júnior (2016), cada um dos incisos selecionados contou com uma respectiva pontuação atribuída a eles. Conforme representado nos quadros que seguem, eles apresentam os incisos separados nas categorias de análise considerados nesta pesquisa e com a pontuação relativa ao número de aspectos considerados em cada inciso.

Observam-se, a partir do Quadro 1, que apenas seis municípios, 31%, obtiveram pontuação igual a 2 ou inferior, ou seja, praticamente foram ignorados requisitos em seus planos PGRS. Os aspectos avaliados nesta primeira etapa são importantes pois a partir deles serão desenvolvidos os demais critérios fundamentados no cenário enfrentado pelo município. Com base dos dados avaliados no Quadro 1 observa-se que apenas 25% dos municípios analisados, avaliaram 75% ou mais dos requisitos relacionados a identificação do cenário que enfrentam. O que leva a questionamentos sobre a efetividade dos planos propostos.

Uma das principais dificuldades encontradas neste primeiro quesito de avaliação, o Diagnóstico, se deu na identificação dos passivos ambientais. Entre a questão dos passivos a preocupação com a extinção de áreas inconformes de disposição final dos resíduos também foi pouco abordada nos planos. Não havia estipulação de prazos ou análises de locais ideais à esta prática.

Outro elemento com baixa adesão nos planos foi referente a identificação dos resíduos e dos geradores sujeitos ao PMGIRS ou a logística reversa. Em alguns municípios foram encontrados apenas formulários para cadastro dos grandes geradores, mas não havia a lista destes, tampouco informações referentes a sistemas de logística reversa em funcionamento, ou não, no município.

Quadro 1 – Pontuação parcial dos municípios paranaenses que possuíam planos na forma de busca adotada no quesito Diagnóstico

DIAGNÓSTICO																				
Incisos	Pontos atribuídos por artigo das PNRS	Pontuação dos Municípios aos artigos da PNRS																		
		Andará	Arapongas	Campina Grande do Sul	Campo Largo	Cascavel	Colombo	Curitiba	Fazenda Rio Grande	Foz do Iguaçu	Guarapuava	Maringá	Palotina	Paranaguá	Pinhais	Ponta Grossa	Pontal do Paraná	Rio Negro	Toledo	Umuarama
I	4	4	3	0	2	4	0	4	0	3	1	1	1	4	4	4	4	4	4	
II	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0
III	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1
IV	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
XVIII	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
<b>Total Parcial</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>
Incisos que compõem o quesito																				
I – diagnóstico da situação dos RS gerados no respectivo território, contendo a origem (item 1), o volume (item 2), a caracterização dos resíduos (item 3) e as formas de destinação e disposição final adotadas (item 4);																				
II - identificação de áreas favoráveis para a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observado o plano diretor e o zoneamento ambiental, se houver; (item único)																				
III - identificação das possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros Municípios, considerando, nos critérios de economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e as formas de prevenção dos riscos ambientais; (item único)																				
IV - identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos a plano de gerenciamento específico ou a sistema de logística reversa, observadas as disposições desta Lei e de seu regulamento, bem como as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS; (item único)																				
XVIII - identificação dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, incluindo áreas contaminadas, e respectivas medidas saneadoras (item único);																				

Fonte: elaborado pelos autores

Neste quesito, apenas um dos municípios atendeu mais de 75% dos requisitos legais. Os municípios têm dificuldade em estabelecer metas que sejam direcionadas exclusivamente para seu território. A maioria descreve de maneira genérica, podendo ser empregada em qualquer município.

Um dos itens que apresentou pior desempenho foi o relacionado a responsabilidade compartilhada. Esta, por sua vez, consiste na integração de todos os setores que participam do ciclo de vida do produto/material/item. O mau desempenho deste item acaba refletindo no desempenho de outros que envolvem as especificações para disposição final e as regras para o transporte. Percebeu-se que estes critérios foram ignorados, pois na grande maioria não existe nenhuma forma de identificação ou separação do resíduo antes de disponibilizá-lo ao sistema de coleta municipal ou dispô-lo no local destinado a esta função.

METAS, PROGRAMAS E AÇÕES																				
Incisos	Pontos atribuídos por artigo das PNRS	Pontuação dos Municípios aos artigos da PNRS																		
		Andirá	Arapongas	Campina Grande do Sul	Campo Largo	Cascavel	Colombo	Curitiba	Fazenda Rio Grande	Foz do Iguaçu	Guarapuava	Maringá	Palotina	Paranaguá	Pinhais	Ponta Grossa	Pontal do Paraná	Rio Negro	Toledo	Umuarama
V	2	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
VII	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
VIII	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
IX	2	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	2
X	4	0	1	0	3	1	0	4	0	1	0	0	0	0	1	0	4	0	4	
XI	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
XII	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
XIII	2	1	0	0	2	2	0	1	0	2	0	2	1	1	2	1	1	0	2	
XIV	4	2	0	0	0	4	0	4	0	1	1	0	1	0	3	0	1	0	0	
XV	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
<b>Total Parcial</b>	<b>19</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>12</b>
<b>Incisos que compõem o quesito</b>																				
V – procedimentos operacionais (item 1) e especificações mínimas (item 2) a serem adotadas nos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de RS, incluída a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;																				
VII - regras para o transporte e outras etapas do gerenciamento de resíduos sólidos, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS e demais disposições pertinentes da legislação federal e estadual (item único);																				
VIII - definição das responsabilidades quanto à sua implementação e operacionalização, incluídas as etapas do plano de gerenciamento de resíduos sólidos a cargo do poder público (item único);																				
IX – programas e ações para a capacitação técnica voltadas para sua implementação (item 1) e operacionalização (item 2);																				
X – programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração (item 1), a redução (item 2), a reutilização (item 3) e a reciclagem de RS (item 4);																				
XI – programas e ações para a participação dos grupos interessados, em especial das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, se houver (item único);																				
XII – mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos RS (item único);																				
XIII – sistemas de cálculo dos custos (item 1) da prestação de serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de RS, bem como a forma de cobrança desses serviços (item 2);																				
XIV – metas de redução (item 1), reutilização (item 2), coleta seletiva (item 3) e reciclagem (item 4), entre outra, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;																				
XV - descrição das formas e dos limites da participação do poder público local na coleta seletiva e na logística reversa e de outras ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (item único);																				

Quadro 2 – Pontuação parcial dos municípios paranaenses que possuíam planos na forma de busca adotada no quesito Metas, Programas e Ações

Fonte: Autoria própria

Os programas de não geração, redução, reutilização e os voltados às cooperativas, têm pouca participação nos planos analisados. Não existe a preocupação em mobilizar a comunidade, apenas a ideia de intenção.

As metas só foram consideradas válidas nos planos que contavam com uma descrição plausível do cenário enfrentado pelo município, para que o alcance dos programas de conscientização, capacitação, educacionais, de redução de indicadores de geração de resíduos, coleta de materiais com potencial reciclável; entre tantas outras para poder relatar em que ponto se pretendia chegar com eles.

De maneira geral no item planejamento o desempenho deixou muito a desejar. Em metade dos requisitos do grupo o desempenho geral dos municípios foi de menos

de 25% da pontuação esperada.

SISTEMAS DE MONITORAMENTO																				
Incisos	Pontos atribuídos por artigo das PNRS	Pontuação dos Municípios aos artigos da PNRS																		
		Andirá	Arapongas	Campina Grande do Sul	Campo Largo	Cascavel	Colombo	Curitiba	Grande	Foz do Iguaçu	Guarapuava	Maringá	Palotina	Paranaguá	Pinhais	Ponta Grossa	Pontal do Paraná	Rio Negro	Toledo	Umuarama
VI	2	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0
XVI	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
XVII	3	0	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0
XIX	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<b>Total Parcial</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Incisos que compõem o quesito</b>																				
VI – indicadores de desempenho operacional (item 1) e ambiental (item 2) dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de RS.																				
XVI - meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito local, da implementação e operacionalização dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos (item 1) e dos sistemas de logística reversa (item 2);																				
XVII – ações preventivas (item 1) e corretivas (item 2) a serem praticadas, incluindo programa de monitoramento (item 3);																				
XIX - periodicidade de sua revisão, observado prioritariamente o período de vigência do plano plurianual municipal (item único).																				

Quadro 3 – Pontuação parcial dos municípios paranaenses que possuíam planos na forma de busca adotada no quesito Sistemas de Monitoramento

Fonte: Autoria própria

Este quesito de análise foi o que obteve pior desempenho, visto que grande parte dos planos considerados ignoraram estes critérios, e os que consideraram, tiveram desempenho mediano. Os municípios apresentaram dificuldade em desenvolver sistemas de monitoramento para os programas que já são ou serão implementados. A falha neste tópico compromete as futuras versões dos PMGIRS, porque sem esta não é possível consolidar um histórico para acompanhamento do comportamento futuro.

Todavia, o péssimo desempenho dos municípios neste grupo era de certa forma esperado considerando a grande dificuldade e desempenho baixo obtido no grupo anterior, Metas, Programas e Ações. Afinal, se já existe uma dificuldade em planejar as atividades é de se esperar que os sistema de monitoramento e avaliação também fiquem a desejar.

O controle e a fiscalização da logística reversa não foram apresentados em nenhum dos planos envolvidos na análise, sequer a intenção de desenvolvê-la. Os critérios com melhor desempenho foram os direcionados ao monitoramento, período de revisão e ao desempenho operacional; que permite constatar que algumas cidades apresentam a preocupação com o futuro e querem se posicionar de forma crítica com os objetivos estabelecidos para que a versão seguinte de seus planos sejam mais ambiciosas.



## 4 | CONCLUSÃO

Com o intuito de conhecer em que condições os municípios paranaenses estão frente à PNRS, os incisos do Art. 19 da Lei nº 12.305 foram desmembrados para análise individual dos critérios considerados essenciais aos PMGIRS.

Considerando que a PNRS possuía mais de 6 anos de vigência na data da realização do estudo e que, tanto os estados, quanto os municípios tiveram 2 anos para se adequar, a situação encontrada foi a seguinte: em um estado com 399 municípios, 92 deles com população superior a 20.000 habitantes para compor a amostra da pesquisa; e, em tal amostra, foram encontrados apenas 19 municípios com PMGIRS no critério de busca adotado. Ou seja, apenas 21% dos municípios.

A primeira dificuldade encontrada no desenvolvimento desta pesquisa foi justamente com a forma de busca designada para os PMGIRS ou PMSB. Nos municípios em que não os foram encontrados é de se esperar que estes ainda estejam em processo de desenvolvimento ou não estejam disponíveis para a forma de pesquisa adotada. Todavia, é essencial que os órgãos públicos tenham ciência da importância de tornar documentos como PMGIRS da forma mais acessível à comunidade. A própria Lei da PNRS prevê isso ao considerar o controle social como princípio de referência da legislação.

Em seguida, foram encontradas algumas legislações municipais com menção a autorização ao processo de elaboração de PMGIRS, mesmo que com datas anteriores a PNRS, estes planos também não foram encontrados utilizando-se a metodologia proposta no estudo. Ou seja, esta legislação municipal anterior a PNRS também não foi atendida. E existem ainda conceitos e conteúdos desatualizados dispostos nestas legislações que não sofreram revisão. Sem mencionar ainda os municípios em que nenhum conteúdo foi encontrado.

Nos municípios em que planos foram encontrados, a maioria conta com conteúdo disposto como forma de instrução de como proceder, ou seja, um conteúdo genérico podendo ser aplicado a qualquer município. O PMGIRS de um município deve conter dados exclusivos de seu local de atuação, pois a partir de sua elaboração que se desenvolve um histórico de indicadores para estipular metas e planos de ações para o processo; deve ser o reflexo da realidade vivenciada para que se busque transformá-la.

Quando o conteúdo descrito no plano aborda dados característicos do que é vivenciado, se torna mais compreensível acompanhar as transformações. As metas são condizentes e bem estruturadas, para que quando houver a revisão do conteúdo disposto no plano, os novos objetivos estejam adequados ao que foi desenvolvido pela edição antecessora e se busque o sucesso da sucessora.

Por se tratar de uma política pública relativamente recente, é de se esperar que adesão e adequação correta ao conteúdo apresentado nela exijam um tempo para se tornar satisfatório. Mas, ainda assim, surgem dúvidas no que se refere a forma como

o monitoramento dos órgãos responsáveis é realizado, vista a realidade encontrada na pesquisa.

Dos 19 municípios envolvidos na pesquisa, nenhum atingiu os 35 pontos empregados na pesquisa e a maior pontuação feita por um município foi de 80%, alcançada por Curitiba, a capital do estado. E ainda 12 dos 19 municípios envolvidos, não superaram 30% da pontuação empregada na análise, o que levanta questionamentos a respeito da real validade destes PMGIRS.

Encerrando, é importante que haja acompanhamento constante tanto dos conteúdos dispostos nos Planos, quanto da execução dos conteúdos declarados, para avançar no aperfeiçoamento da ferramenta e no desempenho ambiental do município.

O estado do Paraná ainda tem o que melhorar neste assunto. A forma de pesquisa realizada neste trabalho demonstrou isso, e a mesma poderá ser refeita periodicamente para que se acompanhe a evolução da adesão e adequação dos municípios a PNRS e dos conteúdos dispostos nos planos, a fim de monitorar o desenvolvimento do tema no decorrer dos períodos em estudo. De forma análoga sugere-se a realização de estudos semelhantes em outras unidades da federação como forma de avaliar e identificar oportunidades de melhoria nos planos e mesmo na capacitação das pessoas envolvidas em sua elaboração, implementação e avaliação.

## REFERÊNCIAS

ALLESCH e BRUNNER. Assessment methods for solid waste management: A literature review. *Waste Management & Research*. V. 32, n. 6, p.461-473, 2014.(2014).

ARCILA, Rafaela Iliana Alves. Panorama dos resíduos sólidos urbanos nos municípios de pequeno porte do Brasil. 2008. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento em Meio Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; POVINELLI, Jurandyr. Conceitos básicos de resíduos sólidos. São Carlos: EESC/USP, 1999. 120 p.

BRASIL - Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pnsb/default2000.asp?>>. Acesso em: 27 set. 2016.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Conceitos e principais aspectos da Política Nacional de Resíduos sólidos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/contextos-e-principais-aspectos>>. Acesso em: 10 out. 2016.

OLIVEIRA, Thais Brito de; GALVÃO JUNIOR, Alceu de Castro. Planejamento municipal na gestão dos resíduos sólidos urbanos e na organização da coleta seletiva. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [s.l.], v. 21, n. 1, p.55-64, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41520201600100155929>.

SINIR – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Pesquisa de Informações Básicas Municipais - MUNIC. Ano de referência: 2013. Disponível em: <<http://www.sinir.gov.br/web/guest/2.5-planos-municipais-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 22 set. 2016.

STAROSTINA ET AL.. Waste management in the Irkutsk region, Siberia, Russia: An environmental assessment of alternative development scenarios. Waste Management & Research. p. 1-13, 2018.

VILHENA, André (coord. geral). Lixo municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. 3. ed. São Paulo: Cempre, 2010. (Publicação CEMPRE)

WILSON ET AL.. Comparative analysis of solid waste management in 20 cities Waste anagement & Research. V. 30, N.3 ,p. 237-254, 2018.

## ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO AQUECIMENTO DE ÁGUA ATRAVÉS DE UM AQUECEDOR SOLAR FEITO COM MATERIAL RECICLÁVEL

### **Maiara Stein Wünsche**

Universidade do Vale do Itajaí, Escola do Mar  
Ciência e Tecnologia, Curso de Engenharia  
Ambiental e Sanitária.  
Itajaí – Santa Catarina

### **Nadine Rech Medeiros Serafim**

Universidade do Vale do Itajaí, Escola do Mar  
Ciência e Tecnologia, Curso de Engenharia  
Ambiental e Sanitária.  
Itajaí – Santa Catarina

### **Rafaela Picolotto**

Universidade do Vale do Itajaí, Escola do Mar  
Ciência e Tecnologia, Curso de Engenharia  
Ambiental e Sanitária.  
Itajaí – Santa Catarina

**RESUMO:** O Projeto Aquecedor Solar com Materiais Recicláveis criado pelo Laboratório de Gestão e Valoração de Resíduos da Universidade do Vale do Itajaí, teve como objetivo analisar a viabilidade técnica do aquecimento de água através de um aquecedor solar construído com materiais recicláveis. Para isso, foram feitas as análises do potencial de aquecimento da água através de medições de temperatura dentro e fora do aquecedor, e avaliação da aceitação das pessoas por meio de fichas de avaliação do projeto. Obtendo-se resultados positivos, visto que, após confeccionado o aquecedor solar com materiais recicláveis, observou-se potencial de aquecimento da água eficiente nos

dias de medição, ocasionando posteriormente na apresentação do projeto em escolas e grupos interessados com o intuito de disseminar a técnica envolvida na elaboração e confecção do aquecedor, incidindo numa aceitação de 5,4% por parte das pessoas que tiveram contato com o projeto para replicá-lo em suas unidades de ensino de Itajaí (SC). Desta forma, comprova-se a viabilidade técnica do aquecimento da água através do aquecedor solar construído a partir do reaproveitamento de materiais, que vem a resultar implicitamente também no reaproveitamento de resíduos em forma de matéria-prima, impedindo que sejam dispostos de maneira ineficiente ou incorreta.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo;  
Reaproveitamento; Aquecedor Solar.

**ABSTRACT:** The Solar Heater Project with Recyclable Materials created by management laboratory and waste valuation from UNIVALI (Universidade do Vale do Itajaí), had as objective to analyze the technical feasibility of water heating through a solar heater built with recyclable materials. To achieve this goal, were made analysis of the water heating potential through temperature measurements inside and outside the heater and assessment of people's acceptance through project evaluation sheets. Positives results were achieved, since after making the solar heater with recyclable

materials, an efficient water heating potential was observed on the measurement days, resulting later on the presentation of the project in schools and interested groups with the intention of disseminating the technique involved in the elaboration and preparation of the heater, resulting in an acceptance of 5.4% by the people who had contact with the project to replicate it in its educational units from Itajaí (SC). Therefore, it proves the technical feasibility of heating the water through the solar heater built from the reuse of materials, also, generating an implicit result on reuse of waste in the form of raw material, preventing them from being disposed of inefficiently or incorrectly

**KEYWORDS:** Residue; Reuse, Solar Heater.

## 1 | INTRODUÇÃO

A radiação enviada pelo sol para a planeta, também conhecida como energia solar é considerada como uma fonte de energia limpa e renovável, pois em seu processo de produção de energia não lança poluentes para a atmosfera e os impactos provocados ao meio ambiente diante sua geração é mínima (SHAYANI, 2006). Essa radiação solar transmitida pode ser convertida em energia térmica, também conhecida como energia termosolar ou energia elétrica (PACHECO, 2006). Uma das aplicações da energia termosolar é o seu uso em aquecedores solares para aquecimento de água (OTTINGER, 1991).

Uma alternativa que está sendo explorada é a confecção de aquecedores solares com materiais recicláveis, que além de promover o uso de uma energia limpa, surge para solucionar outro problema sério nos dias de hoje, a geração de resíduos sólidos (MAIA, 2013). Tendo em conta que anualmente a geração de resíduos sólidos no Brasil vem aumentando consideravelmente (ABRELPE, 2016) e conseqüentemente o volume de resíduos depositado nos aterros sanitários está crescendo também. Muitos dos resíduos depositados nos aterros poderiam ter outro destino, como por exemplo, o reaproveitamento para a produção de novos produtos, dentre eles os aquecedores solares, pois o reuso destes resíduos demonstra-se uma ferramenta mais que viável na gestão de recursos e é capaz de promover não só o uso consciente, mas também a redução de custos e geração de lucro (MARCHI, 2011).

Percebe-se que os temas resíduos sólidos e energia renovável são dois assuntos muito abordados ultimamente por serem entendidos como possíveis soluções para vários problemas socioeconômicos e ambientais, por tanto, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar a viabilidade técnica do uso de um aquecedor solar fabricado com materiais recicláveis e como objetivos específicos confeccionar um aquecedor solar usando materiais recicláveis, avaliar o potencial de aquecimento d'água e analisar a aceitação das pessoas frente a está solução alternativa e inovadora.

O projeto Aquecedor Solar está voltado para o aproveitamento de energia e reaproveitamento de resíduos sólidos, este vem de encontro diretamente a proposta

dos aquecedores solares feitos com material reciclável, pois além de promover o aproveitamento de uma fonte de energia limpa, barata e abundante (PALZ, 2003), apresenta uma nova maneira de reutilização de materiais pós-consumo.

## 2 | OBJETIVO

Analisar a viabilidade técnica do uso de um aquecedor solar fabricado com materiais recicláveis.

### 2.1 Objetivos específicos

- a) Confeccionar um aquecedor solar usando materiais recicláveis;
- b) Avaliar o potencial de aquecimento da água; e
- c) Analisar a aceitação das pessoas frente a esta solução alternativa e inovadora.

## 3 | METODOLOGIA

O Laboratório de Gestão de Valoração de Resíduos (LGVR) da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) está desde 2015 trabalhando com o modelo de aquecedor solar desenvolvido em 2005 por José Alcino Alano morador de Tubarão – SC.

O projeto de Aquecedor Solar com Materiais Recicláveis tem como princípio o funcionamento por termossifão. À medida que a água esquentada sobe pelas colunas do aquecedor/coletor, seguindo a tubulação e regressando a parte superior da caixa ou reservatório. A água fria por ser mais pesada flui para a parte inferior do coletor mantendo o aquecedor sempre cheio de água e fechando o ciclo do aquecimento.

Este coletor solar diferencia-se dos demais na parte de materiais utilizados na sua fabricação. Com o intuito de reduzir custos e incentivar reciclagem desses materiais, são utilizados nas colunas de absorção térmica, tubos e conexões de PVC (substituindo os tubos de cobre ou alumínio convencional). As garrafas PET e embalagens longa vida reaproveitadas, substituem a caixa metálica, o painel de absorção e o vidro utilizado nos aquecedores convencionais. O calor absorvido pelas embalagens longa vida, pintadas de preto fosco, é retida no interior das garrafas e transferidas para a água através das colunas de PVC, também pintadas de preto fosco. As garrafas PET têm como função proteger o interior do coletor das interferências externas (Alano, 2004).





**Figura 01:** Aquecedor Solar construído com materiais recicláveis confeccionado pelos bolsistas do projeto Aquecedor Solar

Fonte: Autores

### 3.1 Confeção do aquecedor

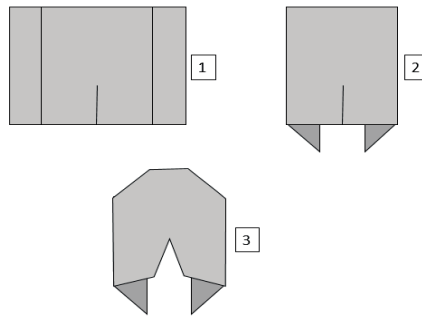
A confecção do aquecedor solar de materiais recicláveis depende do dimensionamento do projeto, pois cada local tem sua necessidade própria de energia tornando inviável desenvolver um modelo específico de aquecedor. Em linhas gerais a matéria-prima necessária para a confecção do painel solar de materiais recicláveis confeccionado pelo LGVR foram os seguintes:

- Garrafas PET de 2 litros;
- Embalagens Tetra Park de leite;
- Canos de PVC;
- Tinta preta fosca;
- Materiais de trabalho (tesoura, pincel, régua, etc.)

Para a confecção do aquecedor solar iniciou-se a montagem dos módulos com os materiais acima citados (Alano, 2005), seguindo os passos a seguir:

**Passo 1:** Com um cano de PVC 100 mm, com comprimento de 31 cm (garrafas de formato cinturado) ou 29 cm (garrafas de formato liso) foi feito um corte longitudinal e encaixou-se na garrafa PET da marca usada. Colocou-se o PVC moldado à garrafa do gargalo até o fundo (pelo lado de fora) para o corte da garrafa com auxílio de um estilete.

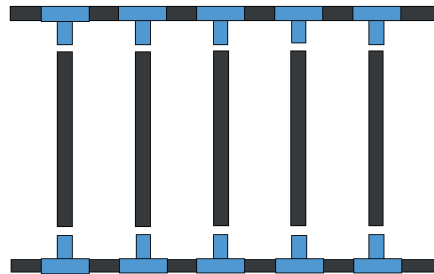
**Passo 2:** Cortou-se a embalagem Tetra Park no tamanho de 22,5cm e depois um corte de 7 cm feito na parte inferior central da embalagem para que esse corte servisse de encaixe do gargalo para a próxima garrafa PET. Fez-se dobras na embalagem longa vida de forma que a emenda da cola na embalagem ficasse para baixo. A dobra da embalagem seguiu os vincos da própria embalagem e dobradas as abas formadas de forma diagonal. Na parte central do corte realizado anteriormente, foi feito duas dobras para que a base ficasse no formato triangular e as pontas soltas de forma diagonal. Em seguida pintou-se as embalagens com tinta preta fosca e deixou-se secar.



**Figura 02:** Etapas da confecção das embalagens Tetra Park

Fonte: Adaptado de Alano (2015)

**Passo 3:** Para a montagem das colunas do aquecedor solar, foram utilizadas conexões de PVC em formato de “T” e tubos de 20,5 mm de PVC pintados com a tinta preta fosca. Recomenda-se deixar um espaço de 8cm entre as conexões. A montagem foi feita segundo as colunas da figura 02.

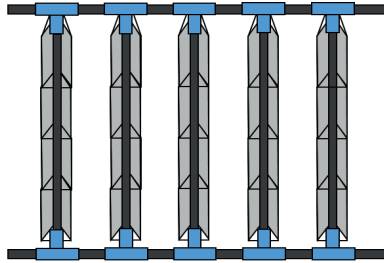


**Figura 03:** Estrutura das colunas do painel solar

Fonte: Adaptado de Alano (2015)

**Passo 4:** Na pré-montagem das colunas do módulo foram utilizadas 4 garrafas encaixadas umas nas outras que formaram uma coluna. As garrafas foram encaixadas uma dentro da outra de forma que não ficassem amassadas ou mal encaixadas para não comprometer o funcionamento final do aparelho.

**Passo 5:** Depois de colocada uma garrafa PET em cada coluna, colocou-se uma embalagem de leite longa vida já pintada e dobrada dentro da garrafa, de modo que ficasse por baixo do tubo de PVC, a parte pintada para cima e as dobras para trás. Repetiu-se esse processo com as quatro garrafas que compõem cada coluna do módulo do aquecedor. Finalizado o painel este foi conectado a caixa d’água através das conexões com os materiais de PVC já utilizados nas etapas anteriores de acordo com o espaço disponível para instalação.



**Figura 04:** Estrutura do painel solar finalizado

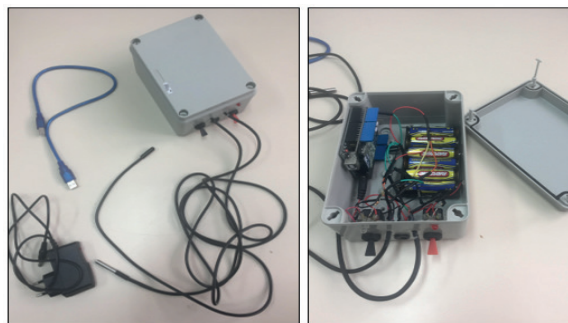
Fonte: Adaptado de Alano (2015)

### 3.2 Avaliação do potencial de aquecimento da água

Para a comprovação da temperatura a qual o aquecedor solar com material reciclável pode alcançar se viu a necessidade de monitoramento, o qual foi realizado de maneira remota através de um sistema de hardware integrado com sensores e outros dispositivos eletrônicos. A parte do hardware a ser utilizada será o micro controlador Arduino Uno Rev3, em conjunto de um shield com um cartão de memória acoplado para coletar os dados processados no Arduino.

O Arduino se trata de um projeto que engloba software e hardware e tem como objetivo fornecer uma plataforma fácil para elaborar protótipos de projetos interativos, utilizando um micro controlador.

Os sensores utilizados para a medição da temperatura foram dois termômetros a prova d'água (DS18B20), e um sensor de temperatura externa e umidade (DHT 11). A programação dos mesmos proporcionará a coleta de dados simultaneamente em um cartão de memória em um tempo (t) pré-definido.



**Figura 05:** Arduino com os sensores utilizados acoplados e equipamentos periféricos.

Fonte: Autores

### 3.3 Avaliação da aceitação

Tão importante quanto apresentar uma solução é saber se essa solução está sendo bem recebida pelas pessoas que poderão se beneficiar dela. O projeto Aquecedor Solar com Materiais Recicláveis foi apresentado a escolas públicas do município e outros grupos interessados no intuito de disseminar a técnica envolvida na elaboração e confecção do aquecedor e também de trabalhar as temáticas como

educação ambiental, energias renováveis e reaproveitamento de resíduos sólidos.

Para determinar o grau de aceitação das pessoas que participaram das oficinas e palestras e avaliar a aceitação do projeto, foram entregues formulários durante o evento que permitiu indicar se as pessoas possuíam interesse em dar seguimento ao projeto do aquecedor solar em suas residências.

## **4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Oficinas e palestras**

O laboratório desenvolveu, em 2015, atividades teóricas e práticas referente a energia renovável através do aquecedor solar, e registrou a presença de 20 alunos de uma escola pública do município de Itajaí, como também 3 alunos do curso de graduação de Engenharia Ambiental, que realizaram essas atividades.

No ano de 2016, o LGVR desenvolveu as mesmas atividades, só que nessa ocasião, com a Escola Guilhermina Büchele Muller, com um público girando em torno de 20 pessoas, com alunos e professores. O projeto teve início na escola, ocorreu a compra e confecção dos materiais, entretanto, não foi possível dar continuidade pois ocorreram trocas de funcionários na escola o que acarretou na interrupção do projeto do aquecedor solar.

No ano de 2017 o projeto estendeu-se para além do ambiente escolar e teve seu espaço durante na programação das palestras de formação continuada dos professores da rede de ensino do município de Itajaí/SC. As palestras foram voltadas para a temática de Resíduos Sólidos e o projeto foi apresentado durante a palestra sobre Alternativas e Soluções Sustentáveis. Estes encontros contaram com a participação de mais de 30 profissionais da educação e tiveram uma duração total de 20 horas. Foram apresentados os princípios de funcionamento do aquecedor solar, os materiais utilizados, as aplicações e a técnica de confecção do mesmo. Os telespectadores da palestra demonstraram-se bem interessados quando ao tema e o projeto e disposto a aceitar a iniciar os projetos em suas unidades no ano de 2018 com o apoio técnico do LGVR.

### **4.2 Medição do aquecimento d'água**

Com o auxílio do equipamento Arduíno e sensores foi possível verificar em tempo real a variação da temperatura entre o ambiente interno e externo no boiler do sistema do aquecedor solar de materiais recicláveis. As coletas foram realizadas em horários pré-estabelecidos durante cinco dias a fim de se verificar o comportamento da temperatura no ambiente condicionado pelo aquecedor e do ambiente livre de influência do sistema.

Seriam realizadas uma medição em cada horário estabelecido para verificar a temperatura em tempo real dos ambientes, entretanto, o Arduíno foi programado para coletar dados a cada 1 segundo durante 2 minutos e armazená-los em um arquivo “.txt”

no cartão de memória do equipamento. Desta forma foi possível identificar previamente dados com valores absurdos e descartá-los para não causarem anomalias nos valores das médias das temperaturas. Os valores apresentados no Quadro 01 representam a temperatura média dos dados medidos durante o período de 120 segundos.

Dados medidos com Arduíno						
Data	Temperatura (°C)					
	09:00		13:00		17:00	
	Interno	Externo	Interno	Externo	Interno	Externo
07/10/17	23,75	20,75	-	-	24,75	24,5
26/10/17	32	32,25	-	-	32,5	32,25
22/11/17	-	-	29,55	28,93	31,35	23,88
23/11/17	31,08	28,91	25,25	23,63	24,75	22,62
24/11/17	26,51	25,44	45,95	28,76	-	-

**Quadro 01:** Medições realizadas com o Arduíno

Fonte: Autores

Foi possível observar que o aquecedor solar apresentou uma temperatura maior em seu interior do que no ambiente exterior na maioria das análises. Deve-se considerar que algumas medições foram realizadas em períodos nublados ou de baixas temperaturas, mas mesmo com estas interferências o aquecedor solar mostrou-se capaz de aquecer a água no sistema.

Percebe-se que não é possível estimar um potencial de aquecimento do equipamento apenas pelas dimensões do painel solar ou de outros componentes, pois como foi observado pelos dados apresentados o aquecimento e a temperatura do aquecedor dependem diretamente das condições climáticas do ambiente externo.

A utilização do equipamento Arduino mostrou-se viável pois trata-se de uma ferramenta para análise que este dispõe de sistemas e controladores automatizados que podem ser programados de acordo com as necessidades de cada coleta e não necessita da presença de uma pessoa no local para fazer as medições.



**Figura 05:** Bolsista do Projeto Aquecedor Solar com Materiais Recicláveis ajustando o Arduíno para realizar as medições

### 4.3 Avaliação do projeto aquecedor solar com materiais recicláveis

O projeto Aquecedor solar com Materiais Recicláveis foi apresentado a escolas e outros grupos interessados no intuito de disseminar a técnica envolvida na elaboração e confecção do aquecedor e também de trabalhar as temáticas como educação ambiental, energias renováveis e reaproveitamento de resíduos sólidos. Após a finalização das palestras desenvolvidas com os professores do município de Itajaí/SC foram analisadas as avaliações feitas pelos mesmos a fim de se identificar o grau de aceitação do projeto pelos representantes das unidades de educação. Ao total foram contabilizadas 23 avaliações sendo que destas 5,4% dos participantes demonstraram interesse em implementar o projeto Aquecedor Solar com Materiais Recicláveis em suas unidades de ensino. Este não foi um resultado muito bom considerando o número de participantes. Possivelmente o motivo do desinteresse das pessoas foi causado pela falta de um contato direto com o projeto. Durante as palestras foi apresentado somente a conteúdo teórico do aquecedor solar, pois por motivos de tempo não foi possível realizar as oficinas práticas e confecções com os educadores e desta forma estabelecer um contato maior destes com o projeto e seus benefícios.



**Figura 06:** Bolsista do Projeto Aquecedor Solar com Materiais Recicláveis realizando as palestras para os educadores do município de Itajaí/SC

Fonte: Autores

## 5 | CONCLUSÃO

Através do processo de confecção, aplicação e avaliação do projeto Aquecedor Solar com Materiais Recicláveis foi possível identificar soluções e alternativas sustentáveis para diversos problemas, principalmente na área de energia renovável e resíduos sólidos. A disseminação da técnica não apresentou dificuldades em relação a aceitação das pessoas, pelo contrário, estas demonstraram grande interesse em conhecer a técnica e de replicar a montagem e uso do aquecedor solar de materiais recicláveis.

A confecção do aquecedor solar reciclável permite não só o reaproveitamento de resíduos sólidos como também a economia de energia elétrica, além de trabalhar o



conceito de reciclagem e uso consciente de recursos com as pessoas envolvidas. Seu desenvolvimento é viável tecnicamente pois trata-se de um sistema solar compacto e de baixo custo devido ao reaproveitamento de materiais que deixaram de ser destinados de maneira ineficiente ou incorreta.

É importante conhecer projetos como o Aquecedor Solar com Materiais Recicláveis, pois são ações como as deste projeto que buscam alcançar o desenvolvimento sustentável e um futuro melhor.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil- 2016**. São Paulo: Abrelpe, 2016.

ALANO, J. A. **Manual sobre a construção e instalação do aquecedor solar com descartáveis**. Curitiba: Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná, SEMA, 2004.

ALANO, J. A. **Manual de construção e instalação do aquecedor solar de materiais descartáveis**. Florianópolis: Centrais Elétricas de Santa Catarina, CELESC, 2005.

COSTA, R.N.A. **Viabilidade Térmica, Econômica e de Materiais de um Sistema Solar de Aquecimento de Água a Baixo Custo para Fins Residenciais**. Masters dissertation in mechanical engineering, Universidade Federal de Rio Grande do Norte, Natal, RN. 77 p. 2007.

MAIA, J. F. *et al.* **Avaliação da viabilidade energética de aquecedores solares de materiais descartáveis na região de Montes Claros-MG**. Revista Intercâmbio, v. 4, n. 1, p. 41-55, 2013.

MARCHI, C. M. D. F.. Cenário mundial dos resíduos sólidos e o comportamento corporativo brasileiro frente à logística reversa. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, v. 1, n. 2, p. 118-135, 2011.

OTTINGER, R. L. **Environmental costs of electricity** / prepared by Pace University center for environmental legal studies. New York : Oceana Publications, 1991

PALZ, W. **Energia Solar e Fontes Alternativas**. Bruxelas: Hemus, 2003.

PACHECO, Fabiana. Energias Renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, v. 149, p. 4-11, 2006.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. de; CAMARGO, IM de T. **Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais**. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (V CBPE). Brasília. 2006.

## ANÁLISE DA MISTURA DO AGREGADO RECICLADO DE RCD ASSOCIADO AO SOLO LATERÍTICO PARA UTILIZAÇÃO NA CAMADA DE BASE DE PAVIMENTOS

**Natássia da Silva Sales**

Instituto Federal do Piauí - IFPI

Teresina – Piauí

**Caio César Luz Araújo**

Centro Universitário UNINOVAFAPÍ

Teresina – Piauí

**RESUMO:** Os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) são gerados em grandes quantidades e nem sempre o seu descarte é feito de maneira sustentável. Quando esses resíduos são descartados de maneira clandestina, além de prejudicar o meio ambiente e ocasionar uma poluição visual, ele ainda proporciona uma série de doenças para a população. Experiências realizadas no Brasil e no mundo tem demonstrado que o agregado reciclado de RCD é uma alternativa interessante para utilização nas camadas de pavimentos. Neste contexto, a presente pesquisa propõe uma solução para a destinação correta do RCD, que é a sua utilização na camada de base de pavimento, a partir da mistura do agregado reciclado de RCD com o solo convencional. Neste sentido, foram realizados ensaios laboratoriais, afim de se obter o desempenho e as principais propriedades dessa associação. Os experimentos foram realizados em três proporções da mistura Solo – RCD, e para comparação, foram realizados

os ensaios em uma amostra com 100% do solo laterítico. As proporções de RCD foram de 20%, 30% e 40%. Foram escolhidas essas proporções porque a maioria das pesquisas analisadas utilizavam volumes muito alto de RCD, e os resultados não eram satisfatórios frente aos desejáveis para essa pesquisa. Os resultados obtidos mostraram que a mistura Solo-RCD é de uso promissor na pavimentação, pois mesmo reduzindo a resistência do solo, suas propriedades físicas e mecânicas ainda ficaram aceitáveis, de acordo com as normas impostas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo; Reciclagem; Pavimento.

**ABSTRACT:** Construction and demolition residues (CDR) are generated in large quantities and are not always discarded in sustainable ways. When these residues are disposed of clandestinely, besides harming the environment and causing a visual pollution, it still provides a series of diseases for the population. Experiments carried out in Brazil and all over the world have demonstrated that the recycled CDR aggregate is an interesting alternative for the use in pavement layers. In this context, the present research proposes a solution for the correct destination of CDR, which is its application in the base layer of pavement, from the mixture of recycled CDR aggregate with conventional

soil. In this sense, laboratory tests were performed in order to obtain the performance and the main properties of this association. The experiments were performed in three proportions of the Soil – CDR mixture, and for comparison, the tests were performed in a sample with 100% of lateritic soil. The proportions of CDR were 20%, 30% and 40%. These proportions were chosen because most of the researches analyzed used very high volumes of CDR, and the results were not satisfactory compared to the desirable ones for this research. The results showed that the Soil – CDR mixture is of promising use in paving, because even reducing soil resistance, its physical and mechanical properties were still acceptable, according to the norms imposed.

**KEYWORDS:** Residues; Recycling; Paving.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com o crescimento acelerado e desenfreado da construção civil, houve um aumento nos problemas ambientais, seja pela geração de resíduos, pelo consumo dos recursos naturais, ou pela alteração da paisagem. Os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) são um problema que deve ser tratado urgentemente pelas autoridades, pois segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2015) os entulhos gerados nas construções representam cerca de 40% a 70% de todos os resíduos sólidos das cidades brasileiras, e geralmente esses resíduos são depositados em aterros clandestinos, a margem de rios ou em terrenos baldios (CRISTO et al., 2014).

Os impactos negativos causados por esses entulhos são devastadores, causando prejuízos enormes para cidades, pois a deposição clandestina e irregular desses materiais irá obstruir os seus sistemas de drenagem, impedindo a percolação da água, causando enchentes e oferecendo condições favoráveis a proliferação de transmissores de doenças, levando riscos à saúde da população e gastos desnecessários ao poder público. (CARDOSO et al., 2014).

Uma forma de minimizar esse problema é a utilização do agregado reciclado desses resíduos na camada de base de pavimentos, devido a simplicidade do processo de reciclagem do RCD e de sua execução no pavimento, além da possibilidade de uso dos mais diversos materiais presentes no entulho, precisando somente de uma separação para eliminar os materiais indesejáveis: gesso, madeira, plásticos, entre outros (ABDOU e BERNUCC, 2007).

Com isso, a problematização dessa pesquisa é verificar corpos de prova utilizando diferentes proporções da mistura Solo-RCD, afim de obter o seu desempenho e suas propriedades físicas e mecânicas, e, após analisar os resultados, verificar qual a proporção mais adequada para ser utilizada, dentre as porcentagens estudadas.

Tendo em vista que o agregado reciclado de RCD é um material com valor inferior aos agregados convencionais, que através da utilização desse entulho, estaríamos prolongando a vida dos resíduos, evitando o desperdício e contribuindo para a

diminuição da escassez dos recursos naturais, já que precisaríamos de um volume menor de solo laterítico, e levando em conta que o comportamento e as características dos agregados de RCD, possivelmente, são tão boas quanto as dos agregados convencionais, dessa forma, a base de pavimentos pode ser constituída da mistura solo-RCD, sem comprometer a estrutura do pavimento.

A partir desse cenário, esta pesquisa visa obter resultados sobre o desempenho e as principais características estruturais de corpos de prova contendo a mistura de solo laterítico e agregado reciclado de RCD do tipo classe A (CONAMA N °307, 2002), que são os componentes cerâmicos, argamassas, cimento e solos provenientes de reparos na pavimentação, verificando a viabilidade para sua utilização nas camadas de base, oferecendo uma alternativa para que as grandes empresas possam dar um destino final aos seus resíduos, diminuindo o desperdício de materiais e contribuindo para o melhoramento da economia da empresa que irá aderir a esse programa, além de minimizar os impactos que esses resíduos iriam causar ao meio ambiente.

## **2 | METODOLOGIA**

### **2.1 Tipo de Estudo**

Trata-se de um estudo para a determinação do comportamento mecânico e das principais características de amostras contendo diferentes proporções da mistura de resíduos da construção e demolição associados ao solo laterítico, comparando-as com uma amostra contendo 100% desse mesmo solo, buscando a proporção mais adequada da mistura, e assim analisar a viabilidade de sua utilização na camada de base de pavimento.

Pode-se concluir que esta pesquisa se enquadra na área de análise de intervenção, pois analisará o desempenho e as principais características de amostras contendo misturas solo-RCD, sendo norteadas por indicadores quantitativos, pois será empregada a estatística e a matemática como principais recursos para análise das informações (CANDIOTTO et al, 2011).

### **2.2 Local e Período de Realização dos Ensaios**

A pesquisa foi realizada no período de agosto a outubro de 2017 no laboratório de solos do Centro Universitário UNINOVAFAPI, localizado na cidade de Teresina (PI).

### **2.3 Amostra**

Para a realização do estudo foi utilizado RCD do tipo classe A, de acordo com os critérios da NBR 15113. Esse resíduo foi disponibilizado pela Construtora Artes e foi triturado por meio de máquina trituradora, disponibilizado pela Construtora Sucesso SA. O solo laterítico foi coletado na cidade de Picos-PI. O agregado reciclado de RCD foi misturado com o solo manualmente.

## 2.4 Coleta de dados

Para avaliar o comportamento mecânico, foram executadas três variações da mistura solo-RCD e para comparação, foi executada uma contendo 100% de solo laterítico:

- Na primeira amostra foi utilizado na sua composição 80% de solo laterítico e 20% de RCD.
- Na segunda foi utilizado 70% de solo laterítico e 30% RCD.
- Com relação a terceira amostra, foi utilizado 60% de solo laterítico e 40% de RCD.
- Completando as amostras, foi executado corpos de provas utilizando 100% de solo laterítico na sua composição.

De acordo com o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), para o solo ser utilizado na camada de base, o mesmo deve passar por ensaios para a determinação da granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, compactação e índice de Suporte Califórnia.

## 2.5 Análise de Dados

A análise de dados foi feita por meio de tabelas e gráficos, onde foram registrados os resultados de cada ensaio.

Após registrar os resultados, foram verificadas quais as proporções da mistura solo-RCD que estavam dentro das normas específicas do Manual de Pavimentação do DNIT, que determina as características de um solo para ser utilizado como base estabilizada, o mesmo deverá apresentar limite de liquidez máximo de 25%, índice de plasticidade máximo de 6%, apresentar o Índice de Suporte Califórnia deverá ser maior ou igual a 80%, expansão máxima deverá ser 0,5% e a granulometria deverá estar enquadrada em uma das faixas impostas pelo Manual de Pavimentação do DNIT.

As proporções que estiveram com os resultados dentro desses padrões, foram comparadas com os resultados da amostra contendo 100% de solo laterítico, verificando, também, se essa amostra estava dentro dos requisitos que o Manual do DNIT explicita. Essa comparação foi feita para determinar se as proporções da mistura solo-RCD têm melhores ou piores características, quando confrontadas com as do agregado convencional (solo laterítico). A porcentagem solo-RCD mais adequada para ser utilizada na base de pavimento, foi a que atendeu todas as especificações que o Manual de Pavimentação do DNIT determina, como mais de uma proporção atendeu aos requisitos impostos, a escolhida foi a de melhor Índice de Suporte Califórnia.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.6 Agregado Reciclado de RCD: Trituração e Caracterização

Em posse do RCD, o mesmo foi levado para uma máquina trituradora, que foi disponibilizada pela Construtora Sucesso SA, onde obteve-se o agregado reciclado. O material foi recolhido do local e levado para o laboratório da Faculdade Uninovafapi, onde foi realizado o ensaio de granulometria para a para caracterização do solo. Foi realizado o ensaio de granulometria, de acordo com a NBR NM 248/2003 e os resultados obtidos foram que o material possui uma granulometria uniforme, apresentando dimensão máxima característica de 6,3 mm (1/4”), que é determinada pela peneira que possui porcentagem retida acumulado igual ou inferior a 5%, apresentando, também, uma curva granulométrica bastante íngreme.

### 2.6 Obtenção e caracterização geral do Solo Laterítico

A coleta do material foi realizada na cidade de Picos/PI e levado para o laboratório da Faculdade Uninovafapi, onde foi realizado o ensaio de granulometria de acordo com a NBR NM 248/2003. Com os resultados obtidos, chegou-se à conclusão de que o solo possui poucos vazios, pois as partículas menores ocupam os vazios deixados pelas maiores criando um bom entrosamento, resultando em melhores condições de compactação e de resistência.

### 2.7 Limite de Liquidez / Limite de Plasticidade

O ensaio para determinação do Limite de Liquidez foi realizado de acordo com a NBR 6459/2016 e os resultados foram registrados por meio da Tabela 1.

Cápsula	N.º	01	02	03	04	05
Golpes	G	12	22	32	38	48
Peso Bruto Úmido	G	16,23	14,65	13,41	16,35	14,71
Peso Bruto Seco	G	14,75	13,27	12,22	14,61	13,28
Peso da Cápsula	G	7,78	7,29	7,33	7,65	7,93
Peso da Água	G	1,48	1,38	1,19	1,74	1,43
Peso do Solo Seco	G	6,97	5,98	4,89	6,96	5,35
Umidade	%	21,2	23,1	24,3	25,0	26,7

Tabela 1: Peso das amostras do Ensaio de Casa Grande

Para a execução do gráfico do limite de liquidez, que está representado pelo Gráfico 1, foram colocados os pontos correspondentes a tabela e traçado uma reta tangenciando os pontos mais próximos. Em seguida, traçou-se uma outra reta do ponto de 25 golpes até a outra reta e depois ligou-se para o ponto de umidade, obtendo o



valor de 24,1, que é o limite de liquidez do material.

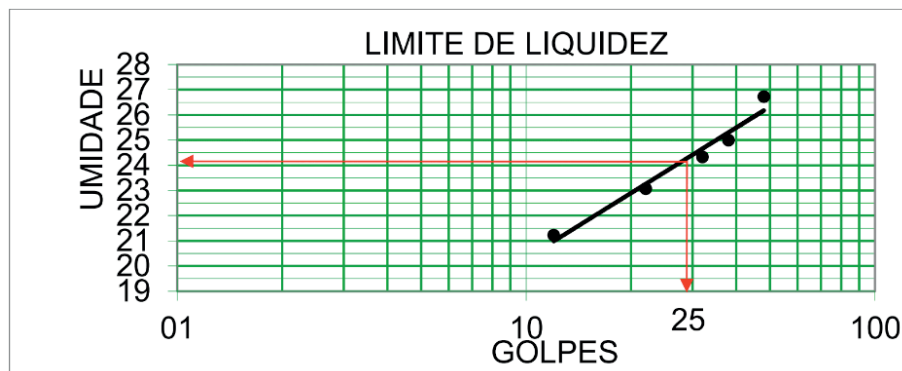


Gráfico 1: Limite de Liquidez

O ensaio para determinação do Limite de Plasticidade foi baseado na norma NBR 7180/2016. Os resultados estão descritos na Tabela 2, onde foram registrados os pesos das amostras moldadas, e assim, foi determinado o limite de plasticidade, que é uma média aritmética dos cinco pontos, desde que o valor da média não defira em 5% das outras porcentagens (NBR 7180/2016).

LIMITE DE PLASTICIDADE								
Cápsula	N.º	08	04	59	01	13	LL	24,1%
Peso Bruto Úmido	g	9,31	9,20	8,69	9,06	9,01	LP	19,5%
Peso Bruto Seco	g	9,00	8,92	8,45	8,81	8,75		
Peso da Cápsula	g	7,38	7,48	7,22	7,53	7,44		
Peso da Água	g	0,31	0,28	0,24	0,25	0,26	OBS:	4,6%
Peso do Solo Seco	g	1,62	1,44	1,23	1,28	1,31	IP:	
Umidade	%	19,1	19,4	19,5	19,5	19,8		

Tabela 2: Determinação do Limite de plasticidade

## 2.8 Ensaio de compactação

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 7182/2016. Com os resultados obtidos, montou-se as curvas de compactação, que estão descritas por meio dos Gráficos 2, 3, 4 e 5.

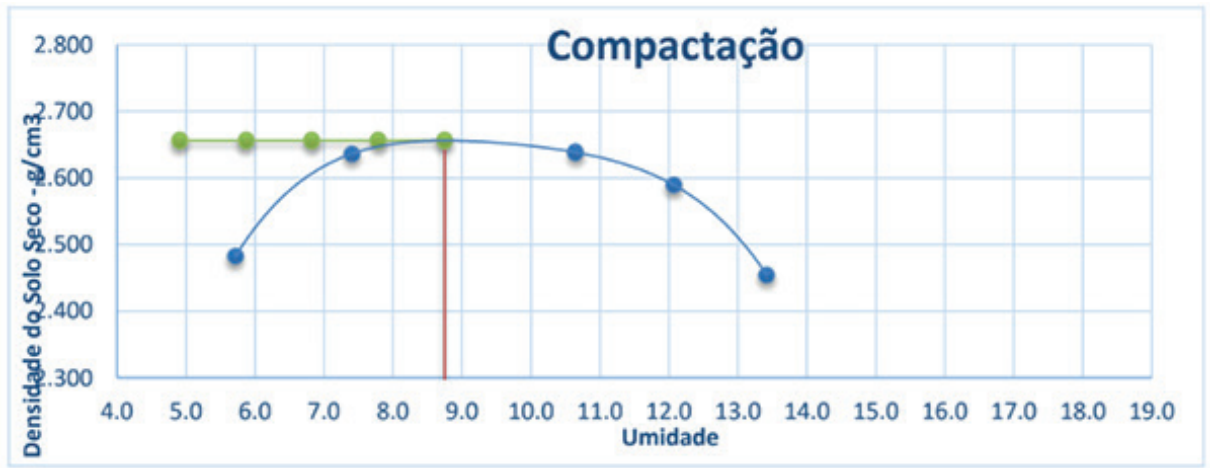


Gráfico 2: Curva de Compactação (100% Solo Laterítico)

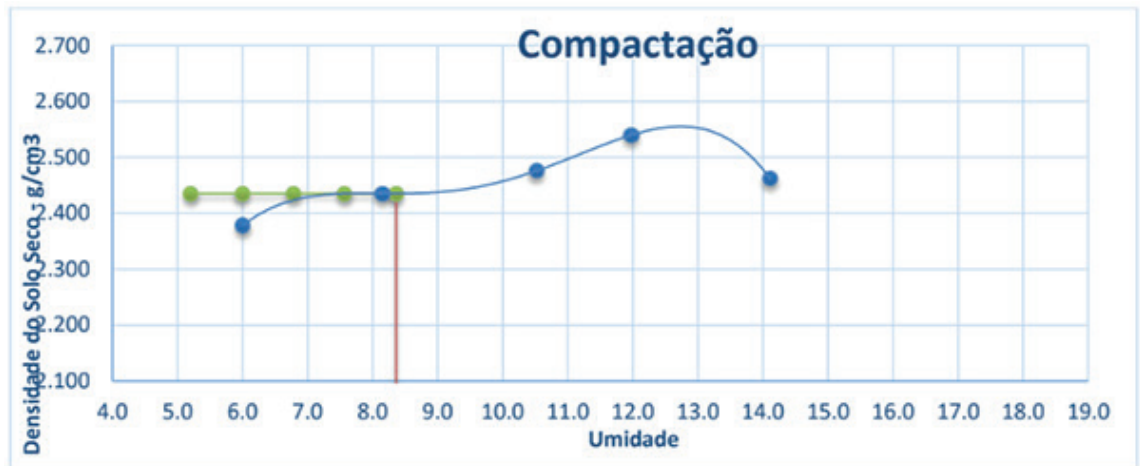


Gráfico 3: Curva de Compactação (20%RCD-80%Solo)

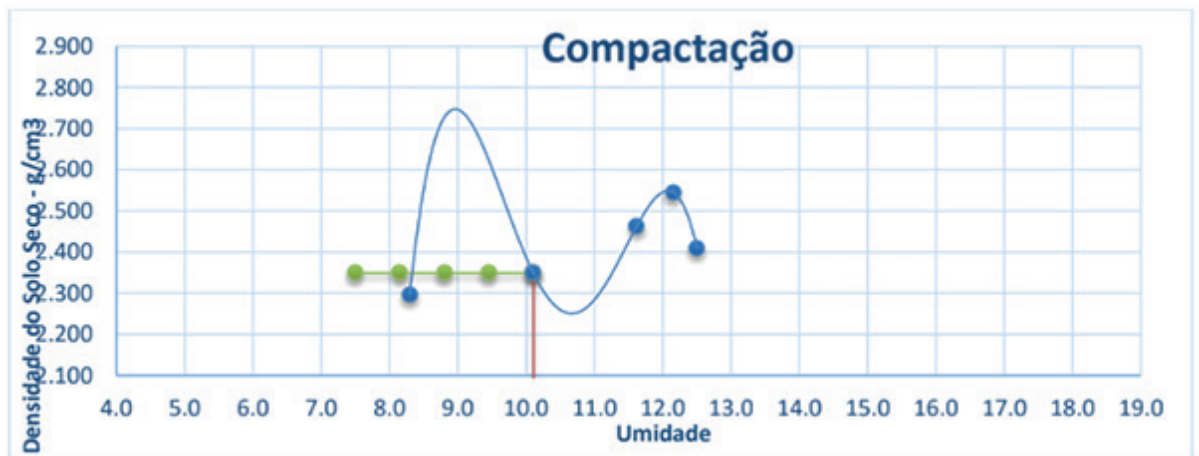


Gráfico 4: Curva de Compactação (30%RCD - 70%Solo)

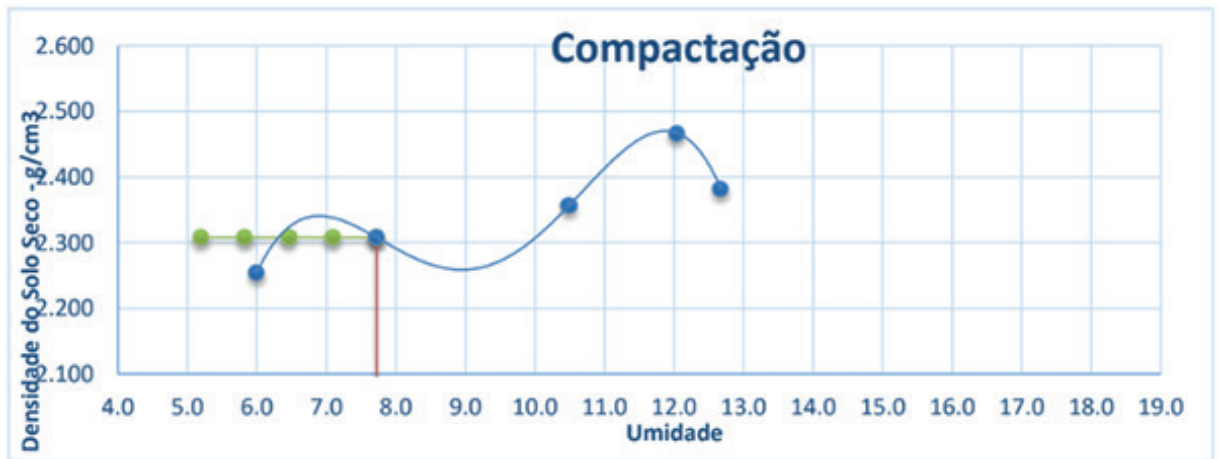


Gráfico 5: Curva de Compactação (40%RCD-60%Solo)

De acordo com os gráficos, podemos perceber que a curva de compactação das amostras associadas ao agregado reciclado de RCD, se comportaram de uma maneira totalmente diferente com relação a do solo laterítico, mas que segundo DIAS (2004), é algo normal, pois ao adicionar outros materiais ao solo, há uma mudança nas suas propriedades, e a prova disso, foi que em todas as proporções Solo-RCD utilizadas nessa pesquisa, as curvas de compactação se comportaram de maneira parecida.

## 2.9 Ensaio do Índice de Suporte Califórnia

O experimento foi realizado de acordo com a norma DNIT 172/2016 – ME e os resultados estão descritos por meio dos Gráficos 6, 7, 8 e 9.

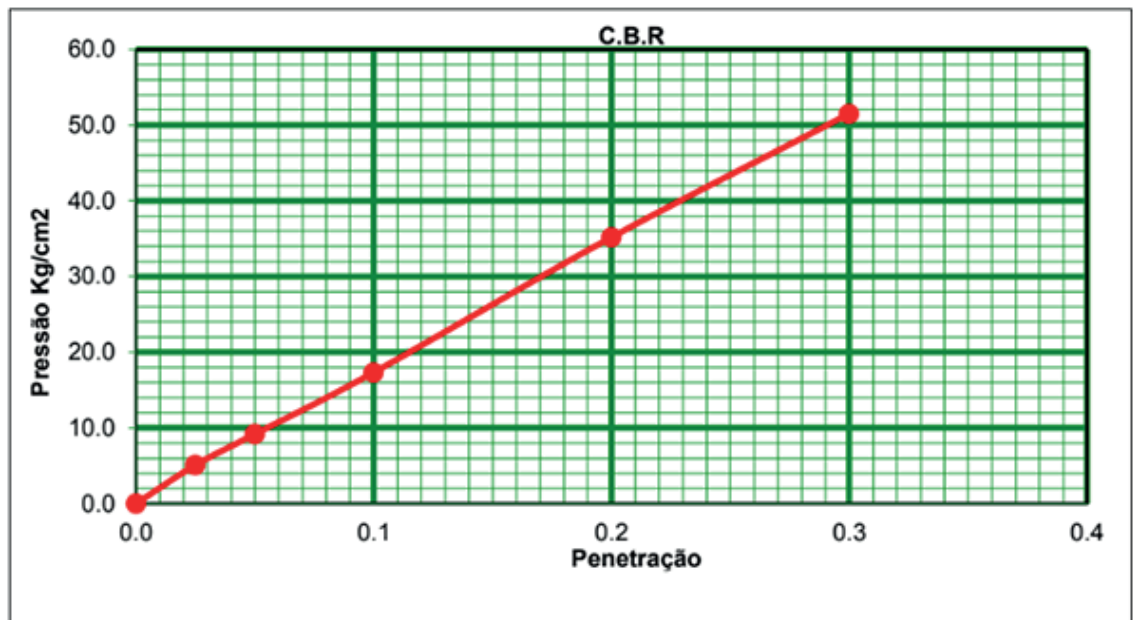


Gráfico 6: Ensaio de CBR (100% Solo Laterítico)

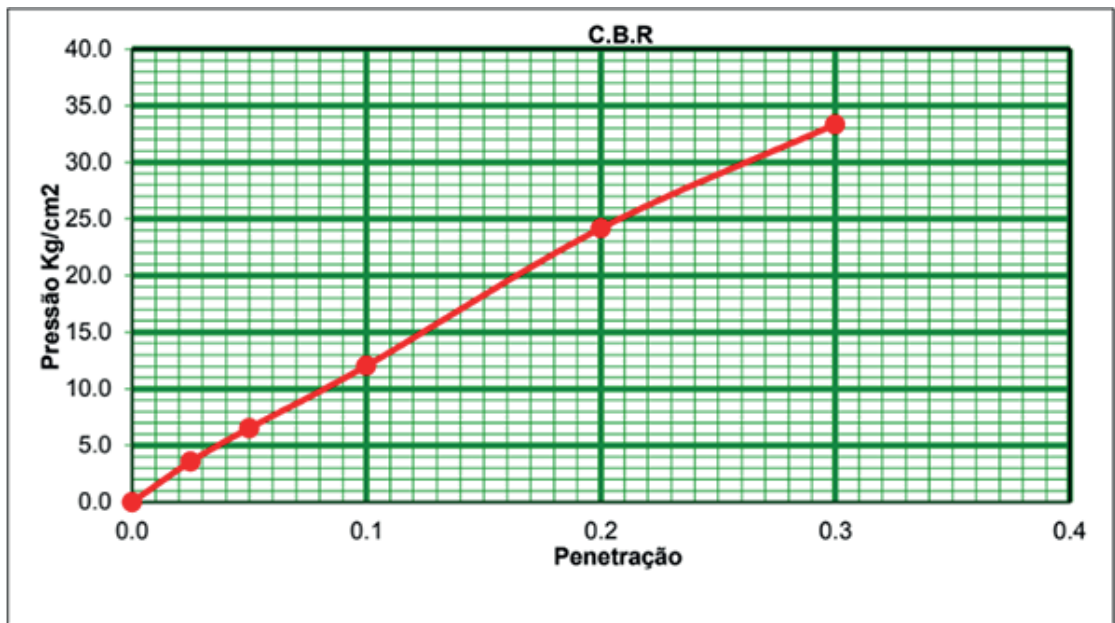


Gráfico 7: Ensaio de CBR (20%RCD-80%Solo)

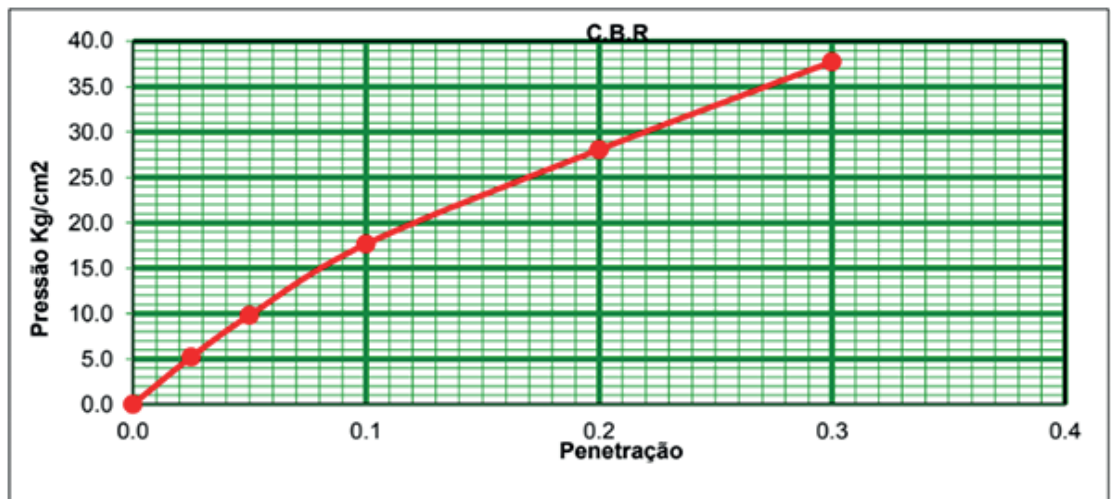


Gráfico 8: Ensaio de CBR (30%RCD-70%Solo)

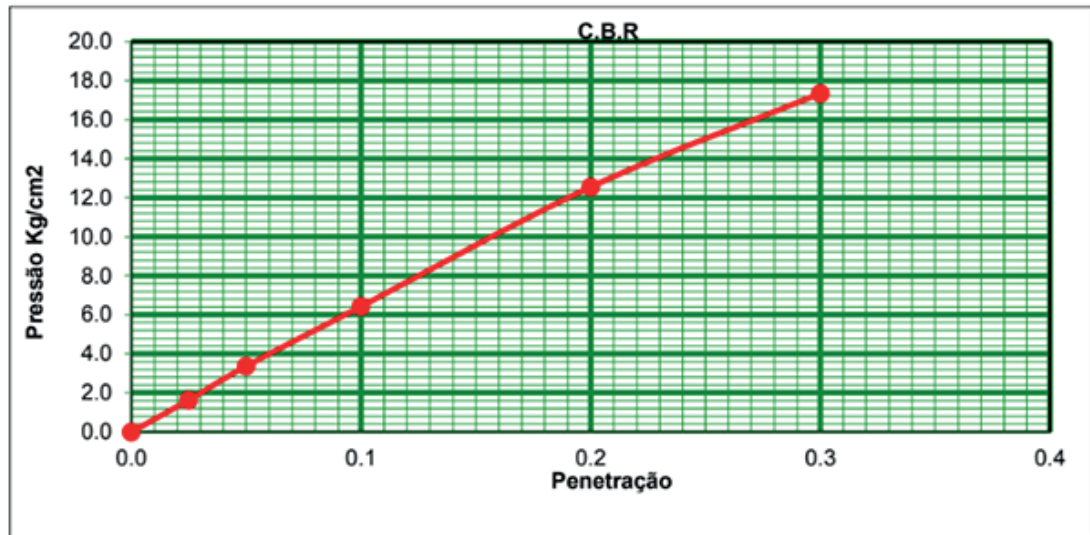


Gráfico 12: Ensaio de CBR (40%RCD-60%Solo)

De acordo com resultados obtidos no ensaio de CBR, chegou-se à conclusão que esse solo não pode ser utilizado na camada de base de pavimentos, pois o maior índice de CBR foi de 33,5% e de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, para um solo ser utilizado na base, ele precisa ter um CBR maior que 80%, logo esse solo não pode ser indicado para essa camada.

## 2.10 Mistura Solo-RCD para utilização na camada de sub-base

Como o solo não pode ser utilizado na camada de base, pois os resultados no ensaio de CBR não foram satisfatórios, foi verificado se, nessas proporções, esse solo pode ser utilizado na camada de sub-base, já que, como essa camada está abaixo da camada de base, ela não precisa ter um material com elevada resistência.

Segundo o Manual de pavimentação do DNIT, para um solo ser utilizado na camada de sub-base, o material precisa ter  $CBR \geq 20$  e índice do Grupo  $IG = 0$  para qualquer tipo de tráfego. Para o cálculo do IG foi utilizado a seguinte fórmula: (BERNUCCI et al., 2008)

$$IG = 0,2 \times a + 0,005 \times a \times c + 0,01 \times b \times d \quad (\text{Fórmula 1})$$

Onde:

a = porcentagem do solo que passa na peneira N° 200 menos 35%. Se o valor de “a” for negativo adota-se zero, e se for superior 40, adota-se este valor como limite máximo.

b = porcentagem do solo que passa na peneira N° 200 menos 15%. Se o valor de “b” for negativo adota-se zero, e se for superior 40, adota-se este valor como limite máximo.

c = valor do limite de liquidez menos 40%. Se o valor de “c” for negativo adota-se zero, e se for superior a 20, adota-se este valor como limite máximo.

d = valor do índice de plasticidade menos 10%. Se o valor de “d” for negativo

adota-se zero, e se for superior a 20, adota-se este valor como limite máximo.

## RESULTADO:

%passando na peneira de N° 200: 17,8%

Limite de liquidez: 24,1%

Índice de plasticidade: 4,6%

$a = 17,8\% - 35\% = -17,2\% \rightarrow 0$

$b = 17,8\% - 15\% = 2,8\%$

$c = 24,1\% - 40\% = -15,9\% \rightarrow 0$

$d = 4,6\% - 10\% = -5,4\% \rightarrow 0$

$IG = 0,2 \times a + 0,005 \times a \times c + 0,01 \times b \times d$

$IG = 0,2 \times 0 + 0,005 \times 0 \times 0 + 0,01 \times 2,8 \times 0$

$IG = 0$

## 3 | CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, chegamos à conclusão de que esse solo não pode ser utilizado na camada de base de pavimentos, pois de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, o solo precisa apresentar um limite de liquidez máximo de 25% com índice de plasticidade máximo de 6%, equivalente de areia mínimo de 30%, CBR maior que 80%, sendo aceito 60% em tráfegos pequenos, e expansão máxima de 0,5%. O solo apresentou resultados satisfatórios em todos os ensaios, exceto no CBR, cujo maior resultado encontrado foi de 33,5%, e por esse motivo, ele não pode ser utilizado na base de pavimentos. Como os resultados para a camada de base não foram aceitáveis, foi verificado se o material poderia ser utilizado na camada de sub-base, e conclui-se que poderia, pois, o Manual de Pavimentação relata que para sua utilização como sub-base, o material precisa ter CBR maior que 20% e índice de grupo igual a zero. O solo puro, o com 20% de RCD e o com 30%, tiveram esses resultados, logo, podem ser utilizadas nessa camada sem comprometer a estrutura do pavimento.

Percebe-se, também, que acrescentando 20% de RCD o solo apresentou uma queda no seu CBR, ao acrescentar 30%, já houve um aumento, e ao acrescentar 40%, o CBR já teve um decréscimo significativo, não servindo nem para a camada de sub-base, portanto, as proporções em torno de 30% de RCD para serem associadas ao solo, são as mais adequadas, pois 20% de RCD, é uma quantidade baixa, logo, não oferece a máxima capacidade de suporte ao solo quando misturado com RCD, e com 40% de RCD, o CBR já teve uma queda extrema, pois a quantidade de resíduos acrescido já interferiu na sua resistência.

Portanto, a proporção que apresentou melhores resultados foi a de 30% do resíduo associado ao solo, pois mesmo com a diminuição do CBR, quando



comparado ao resultado do solo laterítico puro, essa diminuição foi mínima, e seria uma destinação ambientalmente correta para descartes de resíduos da construção, logo, se as empresas utilizarem 30% de RCD nas obras de pavimentação, além da diminuição da quantidade de resíduos no planeta, ainda haveria uma redução nos custos com o aterro, já que o RCD possui um valor bem menor que o solo laterítico, sem contar a diminuição na exploração de jazidas para prospecção de material para a pavimentação. Dessa forma, além dos ganhos ambientais, haveria ganhos econômicos com a substituição da exploração de novas jazidas, por resíduos que na maioria das vezes são descartados em locais inapropriados

## REFERÊNCIAS

ABDOU, M. R.; BERNUCCI, L. L. B. **Pavimento ecológico: uma opção para a pavimentação de vias das grandes cidades**. Sinal de trânsito. São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO - ABRECON. **Pesquisa setorial 2014/2015**. São Paulo, 2015. Disponível em: [http://www.abrecon.org.br/pesquisa\\_setorial/](http://www.abrecon.org.br/pesquisa_setorial/). Acesso em: 11/03/17

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro. Abeda, 2008.

CANDIOTTO, C.*et al.* **Fundamentos da pesquisa científica: teoria e prática**. Editora Vozes, 1ª edição, 2011. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasília. 1986.

CARDOSO, A. C. F. *et al.* **Estimativa de Geração de Resíduos da Construção Civil e Estudo de Viabilidade de Usina de Triagem e Reciclagem**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, n. 31, 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasília. 2002. **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002 - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em 07/03/17.

CRISTO, F. I. de *et al.* **Parâmetros operacionais para implantação de uma recicladora de resíduos da construção civil**. CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 2014, Natal. Anais eletrônicos... Natal: Associação Brasileira de Custos, 2014. 16 p.

DIAS, J. F. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo**. São Paulo, 2004. 263p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006.

DIAS, L. L.; MENEGAZZO, A. P. M.; QUINTEIRO, E.; SERAFIM, M. A. **Desenvolvimento de um novo produto cerâmico para pavimentação de passeios e áreas públicas**. Ambiente Construído, Porto Alegre, V. 16, n. 4, p. 155-165, out./dez. 2016.

GARCIA, E.; CABRAL JUNIOR, M.; QUARCIONI, V. A.; CHOTOLI, F. F. **Avaliação da atividade pozolânica dos resíduos de cerâmica vermelha produzidos nos principais polos ceramistas do Estado de S. Paulo**. Cerâmica V.61, n.358, 2015.

JAMSHIDI, A.; KURUMISAWA, K.; TOYOHARU, N.; JIZE, M.; WHITE, G.; **Performance of pavements incorporating industrial by products: A state-of-the-art study**. Journal of Cleaner Production. n.164, p. 367-388, 2017.

## ANÁLISE DA ECOEFICIÊNCIA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM USINA SUCROALCOOLEIRA NO PIAUÍ

**Lilian de Castro Moraes Pinto**

Universidade de Brasília, Brasília, DF

**Maria do Socorro Lira Monteiro**

Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI

**RESUMO:** O Brasil é o líder mundial do setor de agroenergia devido à sua produção de etanol à base de cana-de-açúcar. Na safra brasileira de 2017/2018, uma área de 8.729,5 mil hectares desta espécie foi colhida e destinada à atividade sucroalcooleira. Contudo, o processamento industrial da cana gera resíduos que podem causar impactos negativos ao meio ambiente. No contexto desta pesquisa focou-se nos resíduos sólidos do tipo bagaço da cana e torta de filtro. Foram analisados os efeitos ambientais da reciclagem desses restos agroindustriais em usina sucroalcooleira situada no estado do Piauí, durante a safra de 2015, por meio de exame de indicadores de ecoeficiência de valor e de influência ambiental, conforme a metodologia descrita pela norma ABNT NBR ISO 14045:2014. Para cada quilograma de resíduo gerado, produziu-se 0,09 litros de etanol e 0,19 quilogramas de açúcar, denotando um lucro bruto de R\$0,01 e R\$0,13, respectivamente, o que aponta pouca ecoeficiência. Todavia, reconhece-se que o aproveitamento do bagaço no fornecimento de energia e da torta de filtro como fertilizante remediou a geração

de resíduos sólidos. Inclusive, a eficiência energética do sistema foi de 10,30. Além disso, o consumo de energia fóssil na fase agrícola foi reduzido devido à aplicação de torta de filtro, que substituiu parcialmente a adubação química. Assim, ao considerar que os resíduos sólidos gerados foram completamente reciclados pela Usina, a produção sucroalcooleira do Piauí em 2015 foi ecoeficiente neste quesito e sustentável no tocante à geração desse tipo de resíduo, por diminuir sua dependência de combustíveis fósseis.

**PALAVRAS-CHAVE:** ABNT ISO 14045, Bagaço, Torta de filtro, Etanol, Energia fóssil.

**ABSTRACT:** Brazil leads the international agroenergy sector due to its production of ethanol made from sugarcane. Between 2017 and 2018, 8,729.5 thousand hectares of sugarcane were harvested in Brazil and destined to the sugar-alcohol business. However, industrial processing of sugarcane generates waste that can cause negative impacts to the environment. This research focused on solid residues: sugarcane bagasse and filter mud. We analyzed the environmental effects of the recycling of these agroindustrial wastes in a sugar and alcohol mill located in the state of Piauí in 2015, through the study of ecoefficiency indicators of value and environmental influence, according to the methodology described in

ABNT NBR ISO 14045:2014. For each kilogram of residue generated, 0.09 liters of ethanol and 0.19 kilograms of sugar were produced, resulting in a gross profit of R\$ 0.01 and R\$ 0.13, respectively, which indicates little eco-efficiency. However, the use of bagasse to provide energy and the application of filter mud as fertilizer has remedied the generation of solid waste. In fact, the net energy balance of the system was 10.30. In addition, the fossil energy consumption in the agricultural phase was lessened due to the application of filter mud, which partially replaced chemical fertilization. Thus, taking into consideration that the solid waste generated was completely recycled by the Plant, sugarcane production in Piauí in 2015 was acknowledged as eco-efficient and sustainable in the generation of this type of waste, because of its reduction of dependence on fossil fuels.

**KEYWORDS:** Eco-efficiency, Bagasse, Filter mud, Ethanol, Fossil energy.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, que é uma matéria-prima vegetal de extrema importância por fornecer alternativas para o setor de biocombustíveis devido ao grande potencial na produção de etanol e aos respectivos subprodutos. A safra brasileira de 2017/2018 finalizou com 633,3 milhões de toneladas de cana-de-açúcar cultivada e colhida, com a produção de 633.261,9 mil toneladas de açúcar e 27,76 bilhões de litros de etanol. As unidades de produção têm buscado operar com maior eficiência, auxiliando na redução dos custos e contribuindo para a sustentabilidade da atividade (CONAB, 2018).

Em 2015, o Piauí possuía 15,1 mil hectares (ha) de área plantada de cana-de-açúcar, cujo processamento industrial ocorreu em uma única empresa sucroalcooleira, com uma área total de 16.000 ha, abrangendo municípios do Piauí, Teresina, União e José de Freitas, e do Maranhão, Caxias e Timon. O período da moagem ocorreu entre julho e dezembro e foram processadas de 6000 a 6500 toneladas de cana a cada 24 horas, sendo que cada tonelada era capaz de produzir 80 quilos (kg) de açúcar ou 80 litros (L) de álcool (MORAES PINTO, 2017).

Segundo Aquino et al. (2014), resíduos sólidos originados do processamento da cana-de-açúcar para produção de etanol e açúcar, como bagaço, torta de filtro e levedura seca, provocam degradação ambiental, que pode ser evitada por meio do reaproveitamento destes resíduos.

A torta de filtro é um resíduo agroindustrial obtido através da clarificação do caldo de cana-de-açúcar. Como seus constituintes são derivados dessa planta, juntamente com produtos químicos utilizados na etapa de clarificação, é uma fonte de nutrientes importantes para as plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio, bem como quantidades notáveis de outros nutrientes como Na, Fe, Mn, Ca, Cu, Si, Mg, S e Zn (ELSAYED et al., 2008). Ela passou a ser empregada como um subproduto orgânico para recuperação de solos exauridos ou de baixa fertilidade a partir de 1980,

fornecendo nutrientes e reduzindo os custos de adubação (CRUZ *et al.*, 2016).

O bagaço é o subproduto sólido mais importante da cana-de-açúcar, composto por celulose (30,0%), hemiceluloses (23%) e lignina (22%). Representa cerca de metade da matéria orgânica da cana e é fortemente entremeado por lignoceluloses (PEREZ-GARCIA *et al.*, 2005). O bagaço representa uma fonte de energia potencial, sendo usado principalmente para produção de vapor e geração de energia (HOFSETZ; SILVA, 2012).

No Brasil, muitas usinas utilizam o próprio bagaço da cana moída como fonte de energia (calor e eletricidade) adicional para alimentar o processo produtivo de açúcar e etanol (GOLDENBERG; COELHO; GUARDABASSI, 2008).

## 2 | OBJETIVOS

Este trabalho objetivou analisar os efeitos da reciclagem dos resíduos sólidos gerados na produção sucroalcooleira em usina situada no estado do Piauí, sobre o meio ambiente. Para tanto, especificamente, examinaram-se indicadores de ecoeficiência de valor e de influência ambiental, relacionados à geração de bagaço e torta de filtro, para os processos de produção de açúcar e álcool na Usina estudada.

## 3 | METODOLOGIA

Como suporte teórico-metodológico, empregou-se o método de estudo de caso. Destaca-se que esse trabalho é derivado de uma dissertação de mestrado e que os dados referentes à produção de resíduos sólidos são resultado de avaliação ambiental baseada na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do etanol e do açúcar, em conformidade com a ABNT NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) e ABNT NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b), cujos resultados foram utilizados para uma avaliação de ecoeficiência. Outrossim, aplicou-se a análise de estatística descritiva sobre os dados coletados, e os cálculos foram realizados através do *software* Microsoft Excel.

Salienta-se que o universo da pesquisa foi representado pela produção de açúcar e de álcool em uma única usina sucroalcooleira no Piauí. A coleta de dados envolveu pesquisa direta, cuja seleção dos entrevistados ocorreu mediante amostragem não probabilística intencional.

A coleta de dados foi iniciada com os levantamentos documental, bibliográfico e documentação direta. Como técnica de documentação direta, de cunho intensivo, utilizou-se entrevista estruturada com perguntas abertas, e como técnicas de documentação direta, de cunho extensivo, usou-se análise de conteúdo, que permite a descrição sistemática, objetiva e quantitativa do conteúdo da entrevista, e formulário, que é um roteiro de perguntas enunciadas pelo entrevistador e preenchidas pelo mesmo com as respostas do pesquisado (MARCONI; LAKATOS, 2009).

Nesse sentido, no primeiro semestre de 2016, realizaram-se as entrevistas, que focaram nos resultados da safra do ano anterior, 2015, e as perguntas foram divididas nas dimensões econômica, com a finalidade de obter informações da produção; e ambiental, com o fim de investigar o impacto ambiental de cada fase do processo produtivo.

De posse dos dados referentes à produção de 2015, utilizou-se a metodologia descrita pela norma ABNT NBR ISO 14045 (ABNT, 2014), para avaliar a ecoeficiência do setor sucroalcooleiro no Piauí. Inicialmente, descreveu-se separadamente o sistema de produção de açúcar e de álcool, sucedida de uma avaliação qualitativa, na qual se identificaram as implicações causadas nos dois processos de produção, examinando os resíduos gerados, através dos elementos de ecoeficiência.

O fluxograma de produção de açúcar e etanol na Usina revelou que todas as entradas, como os reagentes químicos empregados no tratamento, e saídas do sistema, como o bagaço e a torta de filtro, estavam relacionadas a ambos os produtos até o estágio no qual o caldo claro é obtido (MORAES PINTO, 2018). O registro fotográfico demonstrado na Figura 1 mostra um montante de resíduo sólido do tipo bagaço, resultante do processamento industrial da cana-de-açúcar na safra de 2015.



Figura 1: Acúmulo de bagaço para aproveitamento pela Usina em 2015.

Fonte: MORAES PINTO (2018).

Em seguida, realizou-se, para cada processo, um exame quantitativo do grau de impacto sobre o meio ambiente, onde se mensurou e analisou indicadores de ecoeficiência de valor, oriundos da dimensão econômica e indicadores de influência ambiental, provenientes da dimensão ambiental. Ao final, esses indicadores foram consolidados em indicadores síntese que mensuram a razão entre as dimensões de valor e a ambiental. Esta investigação tomou como unidade funcional para obtenção dos dados da ACV, conforme a norma ABNT ISO 14040 (ABNT, 2009a), a medida de 1 hectare, cultivado com cana-de-açúcar por um período de 1 ano.

Para a produção de etanol, a Usina processou 967.427,41 toneladas (t) de cana em 2015, das quais 152.282,14 t foram destinadas à produção de álcool, gerando um produto de 32.679.517 litros de etanol, sendo 89,8% anidro e 10,2% hidratado, o que possibilitou calcular os seguintes indicadores de valor:



- A. quantidade de etanol produzido em litros;
- B. lucro bruto na produção de etanol em real (R\$).

Para a produção de açúcar, foram destinadas 815.145,27 t de cana-de-açúcar para o processamento, gerando 1.338,292 sacas de açúcar. Tais dados possibilitaram a concepção dos indicadores de valor abaixo:

- C. quantidade de açúcar produzido em quilogramas;
- D. lucro bruto na produção de açúcar em real (R\$).

Já o indicador ambiental analisado para este trabalho configurou-se na geração de resíduos sólidos (E), referente à quantidade de resíduo, em kg, gerado no processamento industrial da cana. A quantidade de resíduo sólido gerado na produção de etanol e de açúcar correspondeu ao peso total do bagaço residual da cana e o peso total de torta de filtro produzida, visto que são resíduos comuns aos dois processos produtivos. O indicador consolidado mediu a quantidade de produto gerado por kg de resíduo sólido (A)/(E) e (C)/(E) e o lucro bruto gerado por kg de resíduo sólido (B)/(E) e (D)/(E), como apresentado no Quadro 1.

Dimensão	Indicadores de Ecoeficiência	
	Indicadores Gerais	Indicadores Consolidados A Valor B Impacto Ambiental
Econômica	A. Quantidade de etanol produzido B. Lucro bruto na produção de etanol C. Quantidade de açúcar produzido D. Lucro bruto na produção de açúcar	A/E. Produção de etanol por kg de resíduos sólidos gerados. B/E. Lucro bruto de etanol por kg de resíduos sólidos gerados.
Ambiental	E. Geração de resíduos sólidos	C/E. Produção de açúcar por kg de resíduos sólidos gerados. D/E. Lucro bruto de açúcar por kg de resíduos sólidos gerados.

Quadro 1. Indicadores de ecoeficiência para a geração de resíduos sólidos na produção de etanol e de açúcar no Piauí em 2015

Fonte: MORAES PINTO (2018).

## 4 | RESULTADOS

A produção de cana-de-açúcar, implementada pela COMVAP em 2015, foi completada em 167 dias de safra, o que equivaleu a 3.694,03 horas efetivas de trabalho, com aproveitamento de 93,8% do tempo, redundando no cultivo de 967.427,41 toneladas de cana, das quais 152.282,14 t foram direcionadas para a produção de etanol. Com base nesse cenário, detectou-se que 3.340,530 m<sup>3</sup> de álcool hidratado e 29.338,987 m<sup>3</sup> de álcool anidro foram produzidos em 2015, totalizando uma produção de 32.679,517 m<sup>3</sup> de etanol. Esse panorama possibilitou a geração de uma receita informada de R\$55.663.683,00 a um custo total comunicado de R\$50.390.400,00.

Adicionalmente, salienta-se que na safra de 2015, o montante de 815.145,269 toneladas de cana originou 1.338.292 sacas de açúcar, o que equivale a 66.914.600 kg, o qual foi responsável por uma receita de R\$ 93.390.689,00 e um custo total



de R\$ 48.951.361,00, com um lucro bruto de R\$ 44.439.328,00, conforme balanço patrimonial. Assim, conheceu-se os indicadores de ecoeficiência para a dimensão valor do etanol e do açúcar, como explicitado na Tabela 1.

<b>Indicador de valor</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
<b>Etanol</b>		
(A) Quantidade produzida	32.679.517,00	L
(B) Lucro bruto	5.273.283,00	R\$
<b>Açúcar</b>		
(C) Quantidade produzida	66.914.600,00	kg
(D) Lucro bruto	44.439.328,00	R\$

Tabela 1. Indicadores de valor para o processo de produção de etanol e de açúcar na Usina em 2015.

Fonte: MORAES PINTO (2018).

Sublinha-se que a Tabela 1 apresenta os indicadores de ecoeficiência para a dimensão valor do etanol e do açúcar distinguidos em quantidade produzida e lucro. Salienta-se que a escolha da variável lucro bruto se deu devido à impossibilidade informada de determinar o lucro líquido da produção de etanol, uma vez que existiram despesas comuns aos produtos açúcar e álcool. Destarte, o lucro bruto foi calculado subtraindo-se o custo total da produção de cada produto da receita informada pela Usina.

Enfatiza-se que a quantidade exata de bagaço de cana não pôde ser contabilizada pela Usina em virtude de ter sido totalmente aproveitada na geração de energia para o acionamento da mesma e outras eventualidades. No entanto, essa quantidade pôde ser estimada, pois de acordo com as informações coletadas na Usina, cada tonelada de cana processada resulta em aproximadamente 324,07 kg de bagaço e a produção foi de 967.427,41 toneladas de cana, gerando 24.123,03 t de torta de filtro na safra de 2015, como exibido na Tabela 2.

<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Quantidade de torta de filtro	24.123.030,00	Kg
Quantidade de bagaço	313.514.200,00	Kg
(E) Quantidade de resíduos sólidos	337.637.230,00	Kg

Tabela 2. Quantidade de resíduos sólidos produzidos pela Usina em 2015

Fonte: MORAES PINTO (2018)

Por meio da Tabela 2, identificou-se a geração de 337.637.230 kg de resíduos sólidos durante o processamento da safra de 2015.

Para cada mil toneladas de cana moída, as usinas produzem de 30 a 35 toneladas

de torta de filtro (AQUINO *et al.*, 2014), o qual é um montante superior ao encontrado nesta investigação, que foi de 24,9 toneladas de torta de filtro para mil toneladas de cana. Essa diferença pode ser um indicativo de menor perda de matéria orgânica durante o processamento industrial.

Salienta-se que a totalidade de bagaço e de torta de filtro foi aplicada na própria Usina, seja como adubo nos campos de cultivo de cana-de-açúcar ou como fonte de energia para o acionamento da mesma, configurando-se em subprodutos que, em conformidade com Aquino *et al.* (2014), viabilizaram economicamente e ambientalmente essa produção, pois diminuíram a necessidade de compra e aplicação de fertilizantes químicos e de consumo de energia.

A análise de ecoeficiência revelou a relação entre as dimensões de valor e de influência ambiental, como demonstrado na Tabela 2. Ressalta-se que, no contexto desta investigação, o sistema produtivo foi considerado ecoeficiente se ambos IC1 e IC2 forem maiores ( $>$ ) que 1,0, e não foi considerado ecoeficiente se ambos IC1 e IC2 forem menores ou iguais ( $\leq$ ) a 1,0.

Indicadores de ecoeficiência	Ecoindicador Consolidado 1			Ecoindicador Consolidado 2		
	Fórmula	Valor	Unidade	Fórmula	Valor	Unidade
Etanol	A/E	0,09	L/kg	B/E	0,01	R\$/kg
Açúcar	C/E	0,19	kg/kg	D/E	0,13	R\$/kg

Tabela 3. Indicadores de ecoeficiência consolidados nos processos de produção de etanol e de açúcar pela Usina em 2015

Fonte: MORAES PINTO (2018).

Em consonância com a Tabela 3, o IC1 atestou que para cada kg de resíduo, produziu-se apenas 0,09 L de etanol e 0,19 kg de açúcar, denotando um lucro bruto de R\$0,01 e R\$0,13 (IC2), respectivamente. Isso aponta pouca eficiência na geração de resíduos sólidos na fabricação de álcool e açúcar, ou seja, houve uma grande produção de resíduo e pouco lucro, ainda que, comparativamente, a produção de açúcar tenha apresentado maior ecoeficiência nesse quesito. Todavia, reconheceu-se que o aproveitamento do bagaço e da torta de filtro, pelas características naturais próprias, criaram uma compensação na geração de resíduos.

Acentua-se que a investigação revelou que a eficiência energética do sistema foi de 10,30, o que significa que para cada 1,0 MJ de energia fóssil consumida se produziu 10,3 MJ de energia renovável, na forma de etanol da cana. Esse resultado foi possibilitado pelo uso do bagaço como insumo para queima e geração de energia que abasteceu a Usina e acionou seu funcionamento na safra de 2015, diminuindo a necessidade de consumo de energia fóssil. Durante a execução desta pesquisa, foi constatada a predominância do gasto de energia fóssil nas atividades executadas durante a fase agrícola, uma vez que o processamento industrial foi acionado pela

queima do bagaço. Todavia, reconhece-se que esse montante poderia ter sido mais alto, em virtude de a Usina utilizar aplicação de torta de filtro, cuja riqueza organomineral é elevada, e por isso substitui parcial ou totalmente a adubação química, tornando menor a necessidade do aporte de nitrogênio, potássio e fósforo, cujos processos produtivos são altamente dependentes de energia fóssil.

## 5 | CONCLUSÕES

O sistema produtivo de açúcar obteve melhores resultados que o de álcool no que diz respeito à geração de resíduos sólidos, por ter evidenciado maior valor e menor impacto ambiental negativo. De acordo com a norma ABNT ISO 14045 (ABNT, 2014), a produção sucroalcooleira analisada não teria sido considerada ecoeficiente para a geração de resíduos sólidos se a totalidade desses resíduos não tivesse sido reaproveitada. Esse contexto reforça a necessidade de estudos técnicos que permitam encontrar alternativas para aumentar os indicadores de valor analisados para o açúcar e o etanol.

Sublinha-se que o sistema produtivo de etanol gerou mais energia do que consumiu, mesmo que ela tenha sido direcionada majoritariamente à produção de açúcar, e que essa energia produzida foi considerada renovável por derivar de matéria vegetal. Isso foi possibilitado pelo reaproveitamento do bagaço, como fonte de energia, e da torta de filtro, como fertilizante. A reciclagem desses resíduos sólidos tornou a produção sucroalcooleira do Piauí mais sustentável, por diminuir sua dependência de combustíveis fósseis.

## REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:2009**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. 2009a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044:2009**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. 2009b.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14045:2014**. Gestão ambiental - Avaliação da eco eficiência de sistemas de produto - Princípios, requisitos e orientações. 2014.

AQUINO, J. A.; BIDÔ, E. S.; GALVÃO, M. L. M.; OLIVEIRA, V. N. **Etanol da cana de açúcar: possibilidades energéticas da região de Ceará-Mirim-RN**. *Holos*, v. 30, n. 01, p. 105-125, 2014.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: cana de açúcar**. Safra 2017/18, v. 4, n. 4, Brasília, p. 1-77, abril 2018.

CRUZ, I. S.; ANDRADE, I. C.B.; SOUZA, R. R. S.; FACCIOLI, G. F. **Gestão ambiental ISO 14001 nas indústrias sucroalcooleiras em Sergipe**. *Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas*, Aracaju, v. 2, n. 1, p. 51-60, fev. 2016.

ELSAYED, M.T.; BABIKER, M.H.; ABDELMALIK, M.E.; MUKHTAR, O.N.; MONTANGE, D. **Impact of filter mud applications on the germination of sugarcane and small-seeded plants and on soil and sugarcane nitrogen contents.** Bioresource Technology, v. 99, n. 10, p. 4164-4168, 2008.

GOLDENBERG, J.; COELHO, S. T.; GUARDABASSI, P. **The sustainability of ethanol production from sugarcane.** Energy Policy, v. 36, n. 6, p. 2086-2097, 2008.

HOFSETZ, K.; SILVA, M. A. **Brazilian sugarcane bagasse: Energy and non-energy consumption.** Biomass and Bioenergy, v. 46, p. 564-573, 2012.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico.** São Paulo: Atlas, 2009. 228 p.

MORAES PINTO, L. C. **Ecoeficiência na produção sucroalcooleira no Piauí.** 2018. 174f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Piauí, Piauí, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.ufpi.br/xmlui/handle/123456789/996>>.

PÉREZ-GARCIA, J.; LIPPKE, B.; COMNICK, J.; MANRIQUEZ, C. **An assessment of carbon pools, storage and wood products market substitution using life-cycle analysis results.** Wood and Fiber Science, v. 37, p. 140–148, 2005.

## ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA NACIONAL E INTERNACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

### **Manoela Paiva de Amorim Santos**

Universidade Federal de Santa Catarina  
Florianópolis – Santa Catarina

### **Rafael de Freitas Taves**

Universidade Federal de Santa Catarina  
Florianópolis – Santa Catarina

### **Alexandre Lioi Nascentes**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Seropédica – Rio de Janeiro

### **Armando Borges de Castilhos Junior**

Universidade Federal de Santa Catarina  
Florianópolis – Santa Catarina

**RESUMO:** A avaliação das tendências da produção científica ajuda os pesquisadores a melhor perceberem o cenário da pesquisa mundial e, assim, nortear seus projetos. Este trabalho teve por objetivo realizar uma análise bibliométrica da produção científica nacional e internacional sobre o tema tratamento de lixiviado de aterro sanitário. A base de dados utilizada foi a *Web of Science*, acessada pelo Portal de Periódicos da CAPES, e o período considerado de 1977 a 2017. Para identificação das publicações relacionadas ao tema, foram utilizadas as palavras-chave *leachate AND landfill AND treatment*. Foram analisados os parâmetros ‘categorias do *Web of Science*’, ‘ano de publicação’, ‘nome do periódico’, ‘autores’, ‘países’, dentre outros. Para tratamento

dos dados e elaboração dos mapas foram utilizadas planilhas eletrônicas e o *software* VOSviewer v1.6.7. Para o período considerado, o número de publicações internacionais foi de 3.284 e 136 publicações nacionais, tendo-se observado que a produção científica sobre o tema se tornou expressiva nos últimos 20 anos. A palavra-chave *Landfill leachate* foi a mais citada, ocorrendo 806 vezes. A China foi responsável por quase um quarto da produção científica mundial, seguida dos Estados Unidos, com 10%. O Brasil colaborou com 4,1% da produção científica mundial. O periódico internacional que mais publicou sobre o tema foi o *Waste Management*, com 184 publicações, e o nacional foi a Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, com 15 publicações. As publicações se concentram na categoria do *Web of Science* Ciências Ambientais, embora se tenha observado elevada diversidade de categorias em que estas publicações tenham sido classificadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bibliometria; tratamento de chorume; resíduos sólidos.

**ABSTRACT:** The evaluation of trends in scientific production helps researchers to better understand the landscape of world research and guide their projects. This work had as objective to realize a bibliometric analysis of the national and international scientific production about

the subject landfill leachate treatment. The database used was the Web of Science, accessed through the Portal of Periodicals of CAPES, and the period considered was from 1977 to 2017. To identify the publications related to the subject, were used the keywords leachate AND landfill AND treatment. Were analyzed the parameters 'categories of the Web of Science', 'year of publication', 'name of periodical', 'authors', 'countries', among others. Spreadsheets and the software VOSviewer v1.6.7. were used to process the data and to elaborate the maps. Between 1977 and 2017 there was 3,284 international publications and 136 national publications, and it was observed that scientific production about the subject has become significant in the last 20 years. The keyword Landfill leachate was the most cited, occurring 806 times. China accounted for almost a quarter of world scientific production, followed by USA with 10%. Brazil collaborated with 4.1% of world scientific production. The international journal that most published about the subject was the Waste Management, with 184 publications, and the national journal was the *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, with 15 publications. The publications focus on the category Environmental Sciences of Web of Science, although it has been observed a high diversity of categories where these publications have been classified.

**KEYWORDS:** Bibliometrics; leachate treatment; solid waste.

## 1 | INTRODUÇÃO

A utilização de aterros sanitários tem aumentado no Brasil devido a sua maior viabilidade econômica comparada a outras alternativas e tende a continuar crescendo em função da política nacional de resíduos sólidos, estabelecida pela Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que preconiza a erradicação dos lixões.

O lixiviado proveniente desses aterros sanitários deve ser tratado adequadamente, embora a variabilidade das características do lixiviado e a presença de substâncias tóxicas e recalcitrantes tornem os processos de tratamento tradicionais pouco eficientes, muito onerosos e, de modo geral, apresentem dificuldades no atendimento à legislação ambiental (FERREIRA et al., 2009; MAIA et al., 2015; MANNARINO et al., 2013).

Por este motivo, diversos pesquisadores têm se dedicado a investigar técnicas de tratamento de lixiviado de aterro sanitário capazes de enquadrar este efluente aos padrões estabelecidos pelas diferentes legislações ambientais e, ainda, melhor compreender os mecanismos e limites de cada técnica de tratamento.

A avaliação das tendências da produção científica pode ajudar os pesquisadores a melhor perceberem o cenário da pesquisa sobre determinado assunto e, assim, nortear seus projetos futuros.

A ferramenta conhecida como análise bibliométrica tem sido utilizada em diversas áreas do conhecimento para se estudar a produção científica e as tendências da pesquisa, permitindo-se o mapeamento de diferentes variáveis de interesse, como



número de produções ao longo do tempo, das organizações que mais produziram conteúdo, agências financiadoras que mais contribuíram para a produção científica na área etc. (MESDAGHINIA et al., 2015; HO, 2014; TAN et al., 2014).

Mesdaghinia et al. (2015) realizaram uma análise bibliométrica da produção científica iraniana sobre resíduos sólidos entre 1982 e 2013, tendo observado que o crescimento do número de publicações apresentou tendência exponencial com taxa de 45,3% ao ano no período e ainda identificou a distribuição dos artigos em relação aos periódicos, autores, coautorias, universidades, idiomas e principais palavras-chave.

Tendo em vista a importância dos estudos sobre tratamento de lixo de aterro sanitário, objetivou-se, neste trabalho, realizar uma análise bibliométrica da produção científica nacional e internacional sobre este tema no período de 1977 a 2017.

## 2 | METODOLOGIA

Foi utilizada a base de dados do *Web of Science*, acessada por meio do Portal de Periódicos da Capes, e, para o tratamento dos dados e a elaboração dos mapas, foram utilizadas planilhas eletrônicas e o software VOSviewer v1.6.7.

O *Web of Science* é uma base multidisciplinar desenvolvida pela *Thomson Scientific – Institute for Science Information (ISI)* e foi escolhida como fonte de dados bibliográficos para a realização deste trabalho.

Foi realizada busca pelas palavras-chave ‘leachate’ AND ‘landfill’ AND ‘treatment’ para identificação de todas as publicações e, em seguida, identificadas e classificadas as publicações brasileiras relacionadas ao tema proposto.

Foram analisados os seguintes parâmetros do *Web of Science*: ‘categorias do *Web of Science*’, ‘ano de publicação’, ‘nome do periódico’, ‘autores’ e ‘país’. Outros parâmetros foram analisados utilizando ferramentas do software livre VOSviewer.

Além da classificação dos resultados por categorias, os resultados dentro das categorias também foram refinados por país, o que permitiu analisar as publicações realizadas no mundo inteiro e, posteriormente, restringindo as buscas apenas para o Brasil.

Nesta análise bibliométrica, foram analisados artigos publicados nos últimos 41 anos sobre o tema tratamento de lixo de aterro sanitário, tendo-se realizado a busca em agosto de 2018.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o período considerado, o número de publicações internacionais retornadas pela busca foi de 3.284, enquanto as nacionais foram 136 publicações.

A Figura 1 apresenta o mapa bibliométrico representando a densidade de

publicações nas diferentes categorias do *Web of Science*.

Os círculos de maior diâmetro representam as áreas que contribuem com maior número de publicações científicas sobre o tema.

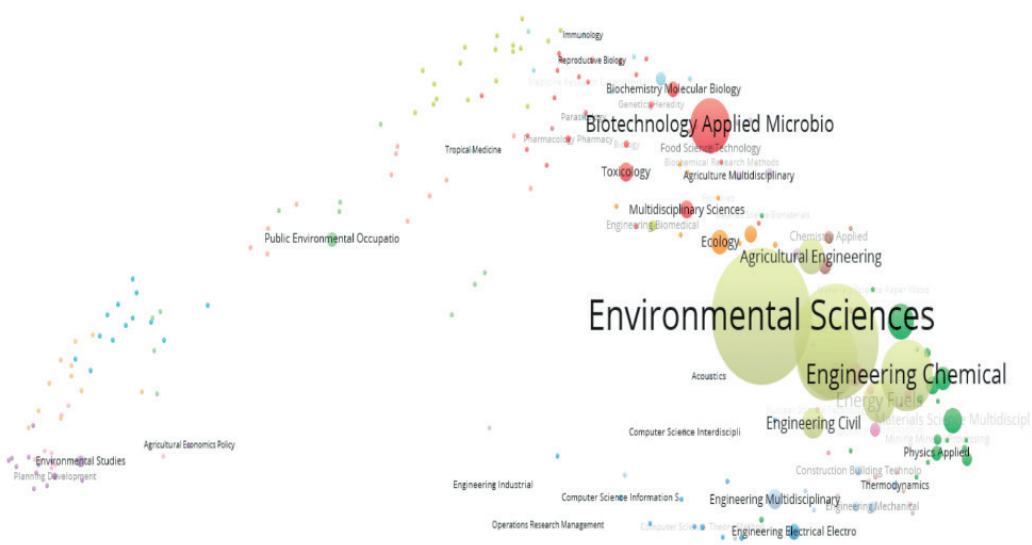


Figura 1. Mapa bibliométrico com a distribuição das publicações internacionais sobre tratamento de lixo de aterro sanitário, por categoria do *Web of Science*

Verificou-se que a maioria das publicações internacionais sobre o tema ocorreram na área das Ciências Ambientais.

Apesar do destaque da categoria das Ciências Ambientais (58%), nota-se expressivo número de publicações nas áreas de Engenharia Ambiental (41%), Recursos Hídricos (21%), Engenharia Química (16%) e Biotecnologia Aplicada à Microbiologia (9%).

Tendo em vista que as publicações podem ser enquadradas em mais de uma categoria do *Web of Science*, a soma dos percentuais atribuídos a todas as categorias resulta em valor superior a 100%.

Já na Figura 2, pode-se observar o mapa bibliométrico com a distribuição das publicações nacionais sobre o tema, por categoria do *Web of Science*.

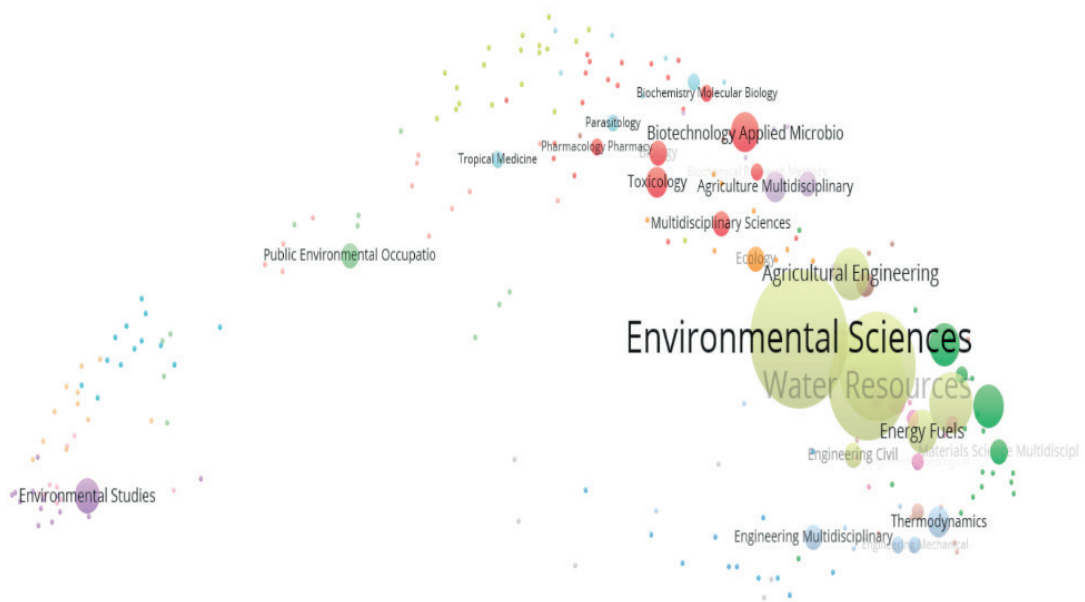


Figura 2. Mapa bibliométrico com a distribuição das publicações nacionais sobre tratamento de lixo de aterro sanitário, por categoria do Web of Science

No cenário brasileiro das publicações científicas sobre o tema, a distribuição ficou da seguinte forma: Ciências Ambientais (45%), Recursos Hídricos (29%), Engenharia Ambiental (28%), Química (9%) e Engenharia Agrícola (7%).

No cenário nacional, as categorias Química e Engenharia Agrícola passam a integrar as 5 categorias em que as publicações sobre tratamento de lixo de aterro sanitário mais ocorrem.

Outra importante resposta de uma análise bibliométrica é a evolução da produção científica ao longo do tempo. A Figura 3 apresenta o número de artigos publicados anualmente sobre o tema no período de 1977 a 2017.

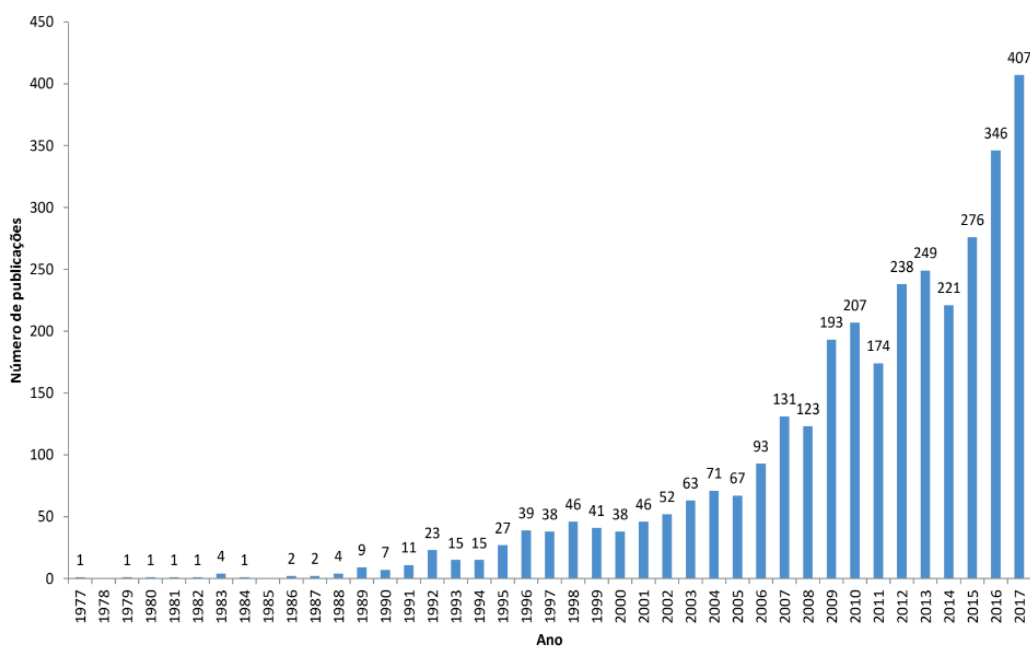


Figura 3. Publicações internacionais, por ano, sobre tratamento de lixo de aterro sanitário

O número de artigos publicados no mundo sobre o tema tratamento de lixo de aterro sanitário

aterro sanitário aumentaram com tendência exponencial durante o período analisado, ficando nítido que a produção científica passou a se tornar mais expressiva nos últimos 20 anos.

Já a evolução do número de publicações nacionais ao longo do mesmo período pode ser observada na Figura 4.

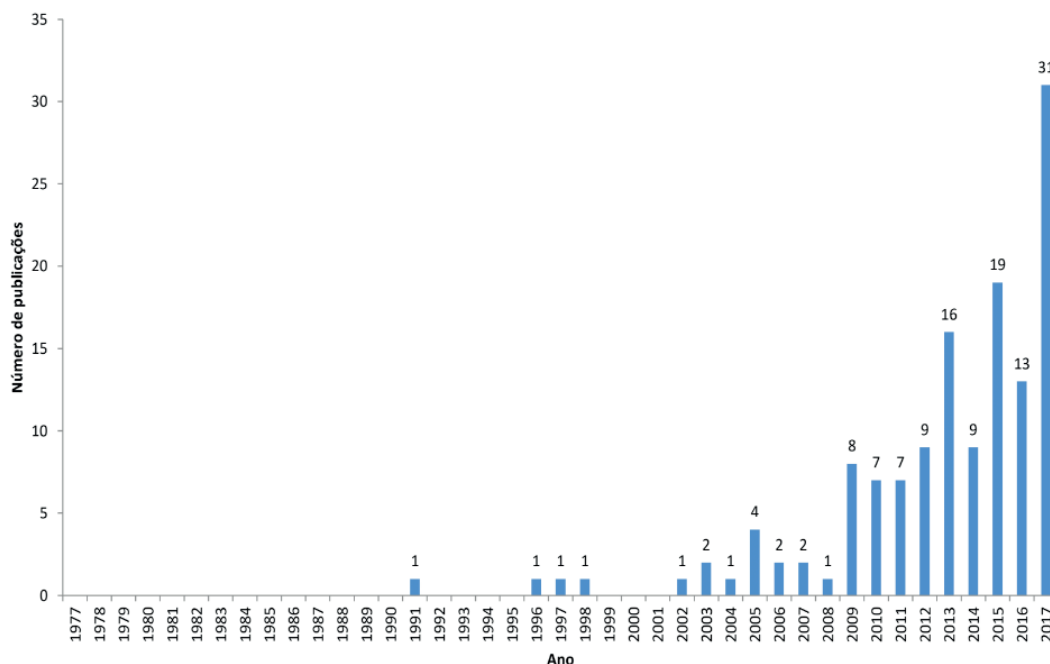


Figura 4. Publicações nacionais, por ano, sobre tratamento de lixiviado de aterro sanitário

O número de publicações nacionais dá um salto a partir de 2009 e, em 2017 atinge 31 publicações no ano, quantidade 50% superior a 2015, que era a maior marca até então.

Na Figura 5 são apresentados os periódicos de maior destaque na publicação de artigos sobre tratamento de lixiviado de aterro sanitário, considerando o cenário internacional.

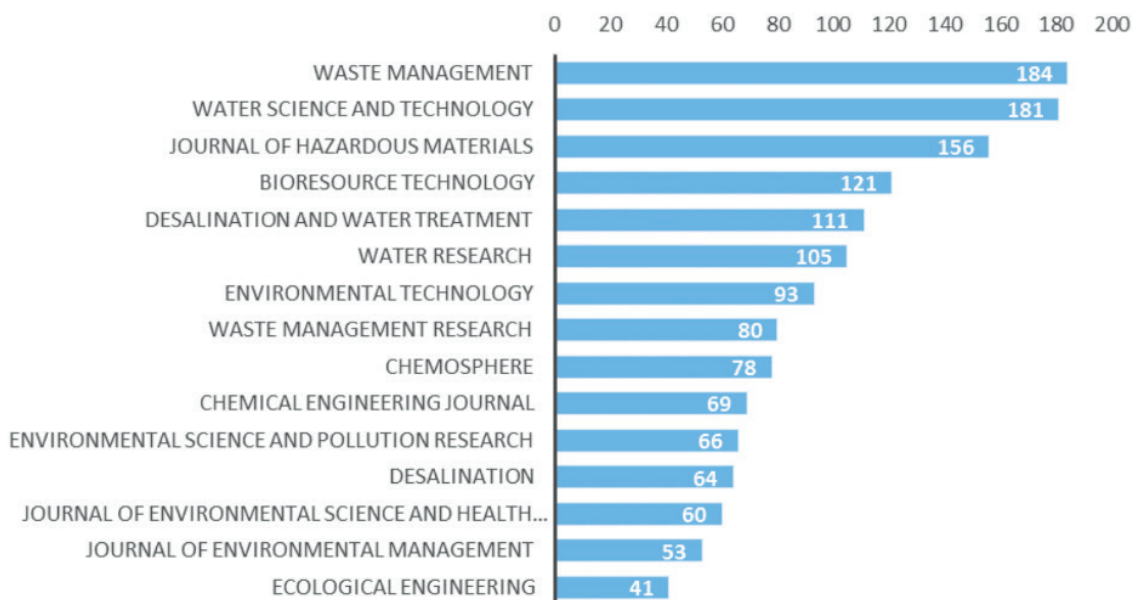


Figura 5. Periódicos de maior destaque na publicação de artigos sobre tratamento de lixiviado de aterro sanitário

Internacionalmente, é notável o destaque dos periódicos *Waste Management*, *Water Science and Technology* e *Journal of Hazardous Materials*, que juntos correspondem a 16% de todas as publicações sobre tratamento de lixiviado de aterro sanitário no período de 1977 a 2017.

Os 15 periódicos que mais publicaram artigos produzidos no Brasil sobre o tema tratamento de lixiviado de aterro sanitário, no período estudado, são apresentados na Figura 6.

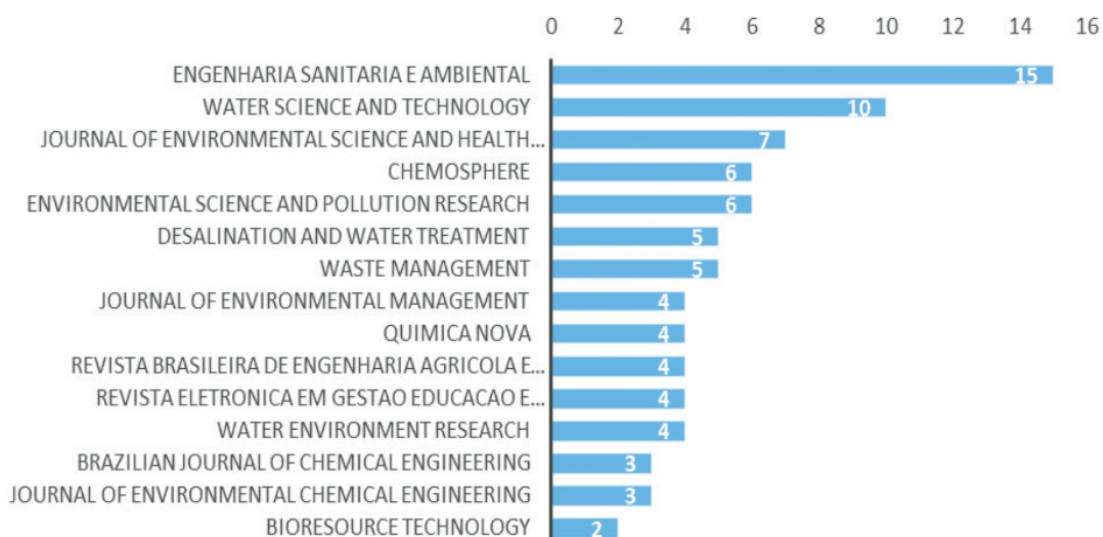


Figura 6. Periódicos de maior destaque na publicação de artigos brasileiros sobre tratamento de lixiviado de aterro sanitário

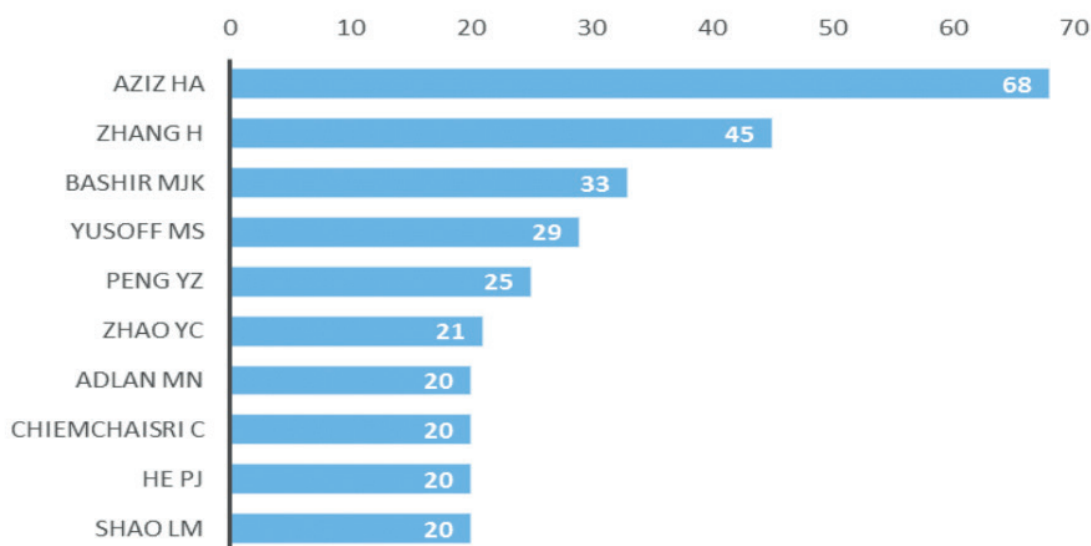
A busca pelo tema tratamento de lixiviado de aterro sanitário retornou 136 publicações brasileiras no período de 1977 a 2017 e o periódico Engenharia Sanitária e Ambiental aparece com grande destaque, com 15 publicações.

Nota-se que diversos artigos brasileiros têm sido publicados em periódicos

internacionais, como *Water Science and Technology*, *Journal of Environmental Science and Health*, *Chemosphere*, *Waste Management*, etc, embora os periódicos nacionais, como Engenharia Sanitária e Ambiental, Química Nova, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental e Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, em conjunto, correspondam a 23% do total, tendo grande importância na produção científica brasileira sobre tratamento de lixo de aterro sanitário.

Cabe ressaltar que há outros periódicos nacionais que publicaram artigos sobre o tema, tais como a Revista de Estudos Ambientais e a Revista Eletrônica Teccen, mas não aparecem nestes resultados por não estarem indexados pelo *Web of Science*.

Este tipo de informação é de grande relevância para que pesquisadores que se dedicam a este tema possam decidir para qual periódico enviar seus manuscritos, bem como apontar os periódicos de maior destaque para a área de interesse.



A Figura 7 apresenta os autores que mais publicam sobre o tema, considerando-se o cenário internacional.

Figura 7. Distribuição, em âmbito internacional, dos autores com maior destaque pelo número de publicações sobre tratamento de lixo de aterro sanitário

AZIZ HA (*Universiti Sains Malaysia*, Malásia) é o autor com o maior número de publicações no mundo sobre este tema, seguido de ZHANG H (*Wuhan University*, China), BASHIR MJK (*Universiti Sains Malaysia*, Malásia), YUSOFF MS (*Universiti Sains Malaysia*, Malásia) e PENG YZ (*Beijing University of Technology*, China).

Os autores brasileiros que mais publicam sobre o tema, são apresentados na Figura 8.



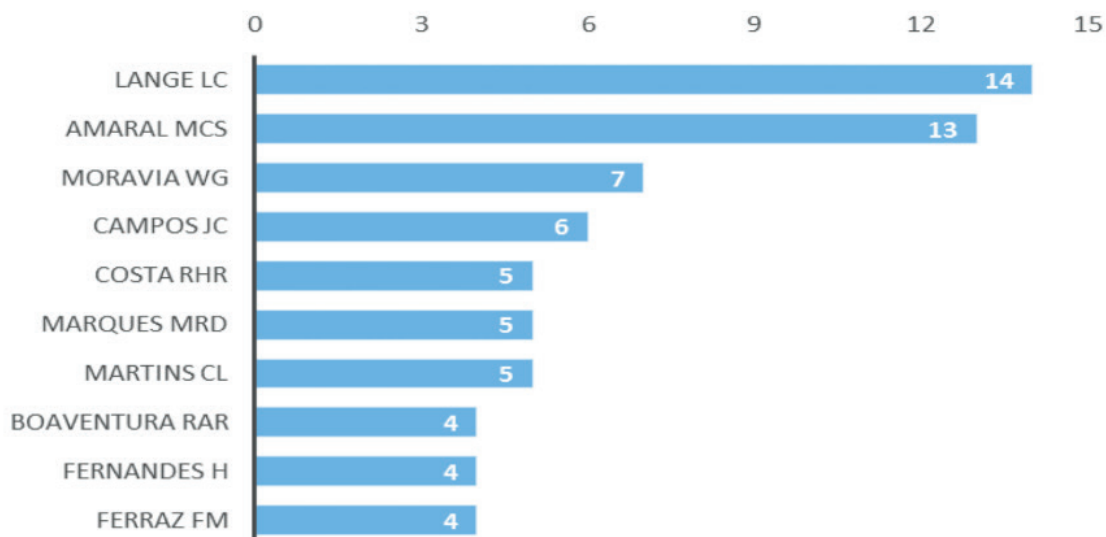


Figura 8. Distribuição, em âmbito nacional, dos autores com maior destaque pelo número de publicações sobre tratamento de lixo de aterro sanitário

As autoras brasileiras LANGE LC (Universidade Federal de Minas Gerais) e AMARAL MCS (Universidade Federal de Minas Gerais) aparecem em destaque pelo número de publicações na área, com 14 e 13 publicações, respectivamente, seguidas de MORAVIA WG (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais) e CAMPOS JC (Universidade Federal do Rio de Janeiro).

A Figura 9 apresenta a Distribuição, em âmbito internacional, dos países com maior destaque pelo número de publicações sobre tratamento de lixo de aterro sanitário.

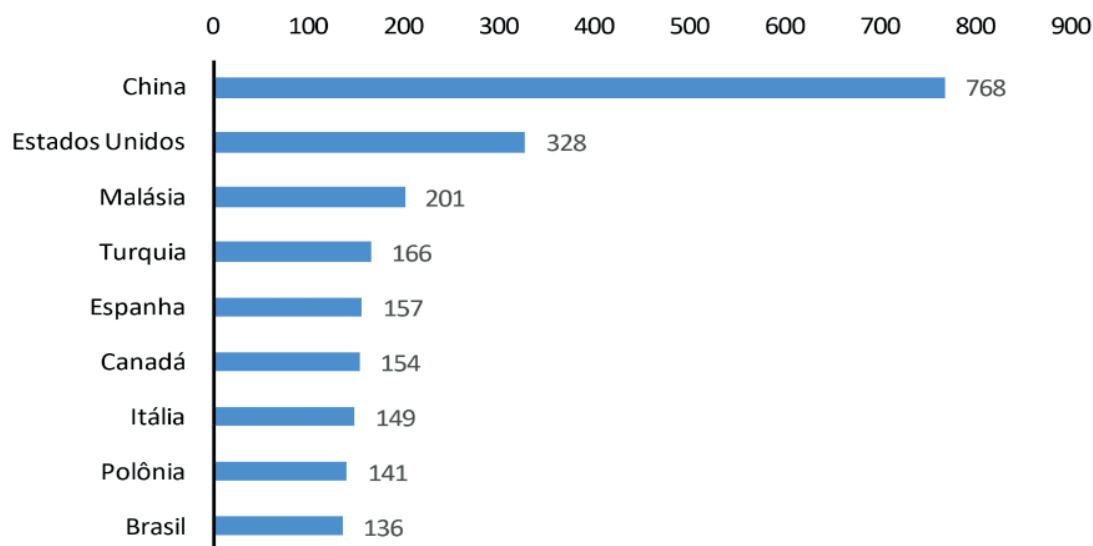


Figura 9. Distribuição, em âmbito internacional, dos países com maior destaque pelo número de publicações sobre tratamento de lixo de aterro sanitário

Das 3.284 publicações encontradas sobre o tema, 24% são chinesas e, em segundo lugar, aparecem os Estados Unidos com 10%, com menos da metade da produção chinesa.

O Brasil aparece na 9.<sup>a</sup> posição, com 136 publicações, correspondente a 4% da produção mundial sobre o tema.

As palavras-chave ampliam o acesso das ferramentas de busca de publicações para além do título e do resumo e, de modo geral, representam a ideia dos autores sobre termos que melhor descrevem as áreas do conhecimento em que se inserem suas produções.

A Figura 10 apresenta um mapa bibliométrico das 25 palavras-chave mais utilizadas pelos autores de todas as 3.284 publicações analisadas neste trabalho.

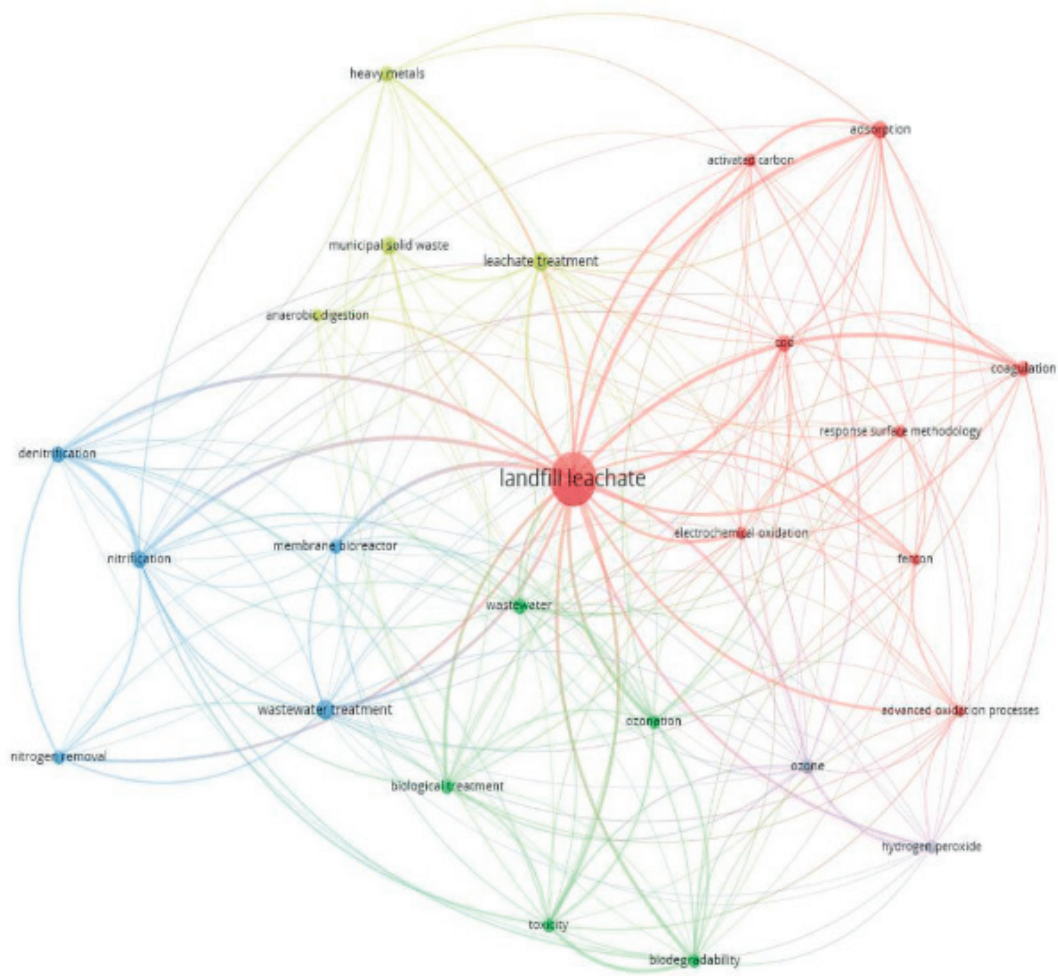


Figura 10. Mapa bibliométrico das palavras-chave mais utilizadas pelos autores nas publicações sobre tratamento de lixiviado de aterro sanitário

Os círculos de maior diâmetro representam as palavras-chave que ocorreram com maior frequência e as linhas as conectam representam as coocorrências, sendo a espessura da linha um indicativo do número de coocorrências.

Dentre as 3.284 publicações analisadas, *Landfill leachate* foi indicada como a palavra mais citada entre os autores (806 ocorrências) e aparece ligada a 24 das 25 palavras-chave mais utilizadas.

As demais palavras-chave mais citadas foram *activated carbon*, *adsorption*, *advanced oxidation process*, *coagulation*, *COD*, *electrochemical oxidation*, *fenton* e *response surface methodology*.

Para a elaboração do mapa bibliométrico apresentado na Figura 11, dentre as 150 palavras-chave de maior ocorrência nas 3.284 publicações analisadas, foram selecionadas apenas as que representam técnicas de tratamento de lixiviado de aterro sanitário.

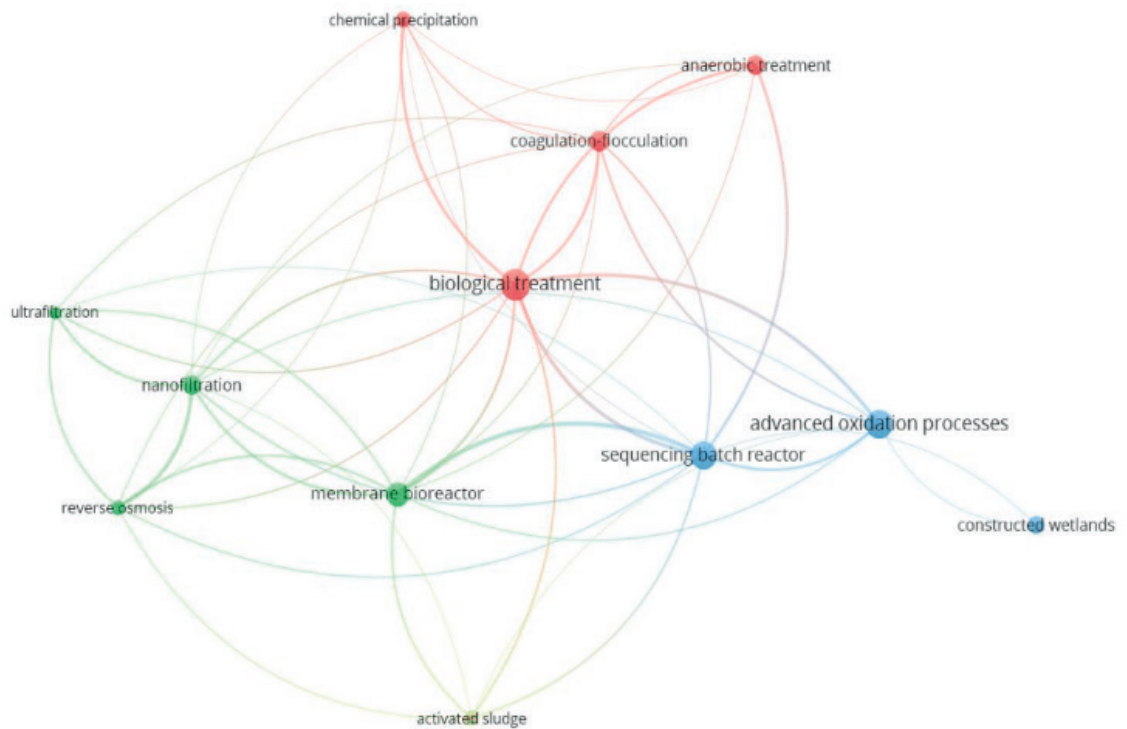


Figura 11. Ocorrência e coocorrência de palavras-chave associadas a técnicas usualmente utilizadas para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário

Os círculos de maior diâmetro representam os termos que ocorreram com maior frequência e a espessura das linhas que as conectam representam o número de coocorrências.

As maiores frequências observadas foram para os termos *Biological Treatment* (192 ocorrências), *Advanced Oxidation Processes* (165 ocorrências), *Sequencing Batch Reactor* (155 ocorrências), *Membrane Bioreactor* (112 ocorrências), *Coagulation-Flocculation* (83 ocorrências), *Nanofiltration* (77 ocorrências), *Anaerobic Treatment* (73 ocorrências), *Constructed Wetlands* (59 ocorrências), *Chemical Precipitation* (50 ocorrências), *Reverse Osmosis* (44 ocorrências), *Activated Sludge* (41 ocorrências) e *Ultrafiltration* (36 ocorrências).

#### 4 | CONCLUSÕES

As publicações sobre tratamento de lixiviado de aterro sanitário se concentraram nas categorias do *Web of Science* Ciências Ambientais, Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos, embora se note uma elevada diversidade de categorias em que aparecem artigos sobre este tema.

O número de publicações nacionais e internacionais sobre o tema vem aumentando progressivamente, tendo se tornado mais expressivo nos últimos 20 anos, o que demonstra o crescente interesse pelo tema e o envolvimento de cada vez mais pesquisadores.

O periódico internacional que mais publicou sobre tratamento de lixiviado de aterro sanitário foi o *Waste Management*, enquanto nacional foi o Engenharia Sanitária e Ambiental.

No cenário brasileiro, os autores de maior destaque foram LANGE LC e AMARAL MCS.

A China foi o país que mais publicou sobre o tema, com quase um quarto de toda produção científica mundial.

Analisando as ocorrências dos tipos de tratamento de lixiviado citados nas pesquisas científicas a nível mundial, verifica-se que o termo tratamento biológico foi o de maior ocorrência.

## REFERÊNCIAS

BRASIL – **Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/lei/112305.htm)>. Acesso em 19 de março de 2018.

FERREIRA, J. A. et al. **Tratamento Combinado de Lixiviados de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos com Esgoto Sanitário**. In: GOMES, L. P. (coord) et al. Resíduos Sólidos. **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. PROSAB 5**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

HO, Y-S. (2014) **Classic articles on social work field in Social Science Citation Index: a bibliometric analysis**. *Scientometrics* 98:137–155. <https://doi.org/10.1007/s11192-013-1014-8>

MAIA, I.S.; RESTREPO, J.J.B; CASTILHOS JUNIOR, A.B.; FRANCO, D. **Avaliação do tratamento biológico de lixiviado de aterro sanitário em escala real na Região Sul do Brasil**. *Engenharia Sanitária e Ambiental (Online)*, v. 20, p. 665-675, 2015.

MANNARINO, C.F.; MOREIRA, J.C.; FERREIRA, J.A.; ARIAS, A.R.L. **Avaliação de impactos do efluente do tratamento combinado de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos e esgoto doméstico sobre a biota aquática**. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 18, n. 11, p. 3235-3243, 2013.

MESDAGHINIA, A., MAHVI, A.H., NASSERI, S. NODEHI R.N., HADI, M. (2015). **A bibliometric analysis on the solid waste-related research from 1982 to 2013 in Iran**. *Int J Recycl Org Waste Agricult* 4: 185. <https://doi.org/10.1007/s40093-015-0098-y>

TAN, J., FU, H-Z., HO, Y-S. (2014) **A bibliometric analysis of research on proteomics in science citation index expanded**. *Scientometrics* 98:1473–1490. <https://doi.org/10.1007/s11192-013-1125-2>

ZHENG, T., LI, P., WU, W., LIU, J., SHI, Z., GUO, X., LIU, J. (2018) **State of the art on granular sludge by using bibliometric analysis**. *Applied Microbiology and Biotechnology* 102:3453-3473. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8844-5>

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Leonardo Tullio** - Doutorando em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná – UFPR (2019-2023), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR (2014-2016), Especialista MBA em Agronegócios – CESCAGE (2010). Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais- CESCAGE/2009). Atualmente é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-188-6

