



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS ARARANGUÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

Juliana Pereira Pimentel Macarini

**AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DE LIXIVIADO PROVENIENTE DE  
CINZAS DE CASCAS DE ARROZ UTILIZADAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA.**

ARARANGUÁ, SC

2022

Juliana Pereira Pimentel Macarini

**AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DE LIXIVIADO PROVENIENTE DE CINZAS  
DE CASCAS DE ARROZ UTILIZADAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de Mestre em Energia e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Claus Tröger Pich  
Coorientador: Prof. Dr. Tiago Elias Allievi Frizon

Araranguá, SC

2022

## Ficha de identificação da obra

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Macarini, Juliana Pereira Pimentel  
AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DE LIXIVIADO PROVENIENTE DE  
CINZAS DE CASCAS DE ARROZ UTILIZADAS PARA GERAÇÃO DE  
ENERGIA. / Juliana Pereira Pimentel Macarini ;  
orientador, Claus Tröger Pich, coorientador, Tiago Elias  
Allievi Frizon, 2022.  
60 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em  
Energia e Sustentabilidade, Araranguá, 2022.

Inclui referências.

1. Energia e Sustentabilidade. 2. Energia e  
Sustentabilidade. 3. Cinzas de casca de arroz. 4.  
Ecotoxicologia; . 5. Genotoxicologia. I. Tröger Pich, Claus  
. II. Elias Allievi Frizon, Tiago. III. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Energia e Sustentabilidade. IV. Título.

Juliana Pereira Pimentel Macarini

**Avaliação ecotoxicológica de lixiviado proveniente de cinzas de cascas de arroz utilizadas para geração de energia.**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Maria Angeles Lobo Recio, Dr.(a)  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Paulo Emílio Feuser, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Elídio Angioletto, Dr.  
Universidade do Extremo Sul Catarinense

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Energia e Sustentabilidade pelo Programa.

---

Prof. Tiago Elias Allievi Frizon, Dr.  
Coordenação do Programa de Pós-Graduação

---

Prof.(a) Claus Tröger Pich, Dr.(a)  
Orientador(a)

Araranguá, 2022.

À minha família por toda a força e apoio recebido.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o resultado de um grande sonho, de uma trajetória permeada de inúmeros desafios que demandou muita dedicação e esforço. Trilhar o caminho da pesquisa e do conhecimento só foi possível com o apoio de pessoas que me ajudaram nesta jornada contribuindo com o seu tempo, conhecimento, amizade e carinho.

Agradeço ao meu orientador Dr. Claus Tröger Pich por ter dividido comigo parte do seu conhecimento e ainda, pela sua paciência e amizade. Obrigada professor por nunca ter medido esforços nesta caminhada, que mesmo durante as maiores adversidades da vida não desistiu de me ajudar a fazer ciência de qualidade, pautada na ética e no conhecimento.

Agradeço meu coorientador Dr. Tiago Elias Allievi Frizon por toda orientação necessária e por sempre ter me recebido com tanto carinho.

À Barbara Queiróz Soares e Guilherme Gomes Gabriel, bolsistas que se tornaram amigos e estiveram sempre dispostos com toda a ajuda necessária para que os experimentos fossem realizados.

Ao professor Dr. Elídio Angioletto, que sempre muito prestativo dispensou seu tempo me ajudando nos experimentos, discutindo resultados e me ensinando ainda mais com todo o seu grande conhecimento científico.

Ao professor Dr. Paulo Emílio Feuser, muito obrigada pela ajuda com os ensaios em laboratório e toda a orientação técnica que me faltava para interpretar os resultados.

À Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, pela oportunidade do aperfeiçoamento gratuito e de excelência.

À Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, por ter concedido a utilização de seus laboratórios e técnicos que dela fazem parte e contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

E por fim, agradeço à minha família, aos quais dedico este trabalho. Ao meu esposo Rodrigo, que me apoiou em tudo o que precisei e que por muitas vezes superou minha ausência nos meus momentos de estudos, com o entendimento de que esta é uma etapa importante em minha carreira.

À minha mãe Norma, que sempre me mostrou que a educação é a nossa maior herança, e através dela eu percebi quão linda e importante é a profissão do professor.

Ao meu pai Luiz, que durante o período desta pesquisa me mostrou o quão forte ele é me fez acreditar no poder da oração. A vocês todo o meu amor.

"Olhe fundo na natureza, e então você entenderá tudo melhor." Albert Einstein

## RESUMO

O arroz (*Oryza sativa L.*) é a base alimentar de muitos povos, inclusive para o brasileiro, e constitui uma das culturas mais cultivadas no mundo. O Brasil além de se destacar como grande consumidor do grão também se destaca com a sua elevada produção. Entre os estados brasileiros, o Rio Grande do Sul é o maior produtor seguido do estado de Santa Catarina tornando-os a base de sustentação da produção nacional desse cereal. Com o objetivo de preparar para o consumo, depois de colhido, o grão passa pelo processo de beneficiamento onde está inserido o descascamento. Nesta etapa, a casca representa 20 a 22% do grão gerando um subproduto que pode ser aproveitado de diversas formas inclusive para a geração de energia através da sua combustão. Pesquisas caracterizando as cinzas da casca do arroz mostram que são encontrados quantidades importantes de metais como o Manganês (Mn) e Magnésio (Mg) que podem causar impactos negativos ao ecossistema. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos ecotóxicos e genotóxicos das cinzas de cascas de arroz provenientes da queima da casca de arroz para a geração de energia em bioindicadores diversos. Para tanto, foram utilizadas cascas de arroz e cinzas de casca de arroz adquiridas em agroindústrias da região geradas a uma temperatura de queima de aproximadamente 600° C. Os lixiviados foram produzidos conforme ABNT, NBR 10005 de 2004, com adaptações. As análises físico-químicas revelaram a forte presença de sílica tanto nas cascas quanto nas cinzas. No ensaio FRX observou-se o aumento significativo nos índices de alguns elementos após a combustão das cascas do arroz, sendo majoritária a presença do elemento SiO<sub>2</sub>. Os ensaios revelaram que durante a queima da casca de arroz há uma perda de massa de aproximadamente 12,4%.

Os ensaios toxicológicos não apresentaram efeitos deletérios em modelos vegetais de *Lactuca sativa* e *Allium cepa*, em modelos animais de *Artemia sp.* e em ensaios efetuados com *microorganismos Staphylococcus aureus Escherichia coli*.

No entanto, a avaliação em células de fibroblastos NHI3T3 revelaram que quando expostas ao lixiviado de cinzas de cascas de arroz na concentração 100% possuem potencial citotóxico com a redução da atividade mitocondrial destas células e quando expostas ao lixiviado de casca de arroz nas concentrações 25 e 50% apresentaram quebra de DNA plasmidial.

Os resultados obtidos através dos ensaios realizados sugerem que de forma geral os lixiviados das cinzas das cascas de arroz provenientes da queima para geração de energia não apresentam potencial ecotóxico ao meio.

**Palavras-chave:** casca de arroz; cinzas de casca de arroz; geração de energia; ecotoxicologia; lixiviação; genotoxicologia.

## ABSTRACT

Rice (*Oryza sativa* L.) is the food base of many peoples, including for the Brazilian, and is one of the most cultivated cultures in the world. Brazil besides standing out as a great consumer of the grain also stands out with its high production. Among the Brazilian states, Rio Grande do Sul is the largest producer followed by the state of Santa Catarina making them the basis of supporting the national production of this cereal. In order to prepare for consumption, once harvested, the grain goes through the processing process where the peeling comprises. At this stage, the shell represents 20 to 22% of the grain generating a byproduct that can be used in many ways to generate energy through its combustion. Research characterizing rice bark ashes show that important metals are found in this residue, such as manganese (MN) and magnesium (MG) and may have negative impacts on the ecosystem. In this sense, the objective of this work was to evaluate the ecotoxic and genotoxic effects of rice peel ashes from burning for power generation in various bioindicators. To this end, rice peels and rice gray were used in agro -industries in the region generated at a burning temperature of 600° C. The leachate were produced according to ABNT, NBR 10005 of 2004, with adaptations. Physicochemical analyzes revealed the strong presence of silica in both peels and ashes. In the analysis of the metals, the significant increase in the rates of some elements was observed after the combustion of rice peels, and the presence of the SiO<sub>2</sub> element was majority. The tests revealed that during the burning of rice shell there is a mass loss of approximately 12.4%.

Toxicological tests did not have deleterious effects on vegetable models of *sativa lactuca* and *Allium* strain on animal models of *Artemia* sp. and in tests made with microorganisms *Staphylococcus aureus* *Escherichia coli*.

However, evaluation in NHI3T3 fibroblast cells revealed that when exposed to lixivities of rice shells in 100% concentration have cytotoxic potential with the reduction of mitochondrial activity of these cells and when exposed to rice bark on concentrations 25 and 50% showed plasmidal DNA break.

The results obtained through the tests performed suggest that in general the ashes of rice peels from burning for power generation do not have ecotoxic potential in the middle.

**Keywords:** rice husk, ashes rice husk, power generation, ecotoxicology; leaching; genotoxicology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Produção de arroz no território brasileiro em toneladas no ano de 2017 – Dados preliminares do IBGE, 2017 .....	22
Figura 2 - Principais aplicações para casca do arroz resultante do beneficiamento do grão .....	25
Figura 3 – Processos de conversão energética da biomassa .....	27
Figura 4– Principais etapas do processo de geração de energia no processo de combustão controlada da casca de arroz.....	28
Figura 5– Destino e efeito de substâncias tóxicas no corpo .....	30
Figura 6– Visão geral da toxicologia dos metais .....	32
Figura 7 - Produção dos lixiviados de casca de arroz e de cinza de casca de arroz com adaptações de Shiau et al. (2000).....	34
Figura 8 - Ensaio com <i>Artemia</i> sp .....	37
Figura 9 - Ensaio com amostras de <i>Lactuca sativa</i> .....	38
Figura 10 - Ensaio com amostras de <i>Allium cepa</i> .....	39
Figura 11- Fluxograma do ensaio de citotoxicidade com MTT .....	40
Figura 12 – Espectro FT-IR para as cascas de arroz.....	43
Figura 13– Espectro FT-IR para as cinzas de cascas de arroz.....	43
Figura 14– Resultado da análise por difratometria de raios X das casca de arroz....	46
Figura 15– Resultado da análise por difratometria de raios X das cinzas de casca de arroz. ....	46
Figura 16– Resultado da análise DSC e TG para as cascas de arroz. ....	47
Figura 17 – Resultados dos ensaios com amostras de <i>Artemia</i> sp expostas aos lixiviados de cinzas de casca de arroz e de casca de arroz obtidos pela metodologia prescrita na NBR 10005:2004 e pela metodologia adaptada por Shiau et al. (2000). ....	49
Figura 18 - Resultados dos ensaios com amostras de <i>Lactuca sativa</i> expostas aos lixiviados de cinzas de casca de arroz e de casca de arroz obtidos pela metodologia prescrita na NBR 10005:2004 e pela metodologia adaptada por Shiau et al. (2000). ....	50
Figura 19 – Resultados dos ensaios com amostras de <i>Allium cepa</i> expostas aos lixiviados de cinzas de casca de arroz e de casca de arroz obtidos pela metodologia adaptada por Shiau et al. (2000).....	51

Figura 20 – Resultados do ensaio com bactérias <i>Staphylococcus aureus</i> e <i>Escherichia coli</i> , gram positiva e gram negativa pelo método de difusão em ágar.....	52
Figura 21 – Resultados do teste de citotoxicidade in vitro para as cascas de arroz e para as cinzas de casca de arroz. Deve ser observado que a medida controle é de 100% de sobrevivência não indicada no gráfico. ....	54
Figura 22 - Mobilidade eletroforética (a) e Percentual de formas (b) do DNA plasmidial exposto aos lixiviados de cinzas de casca de arroz e ao lixiviado de casca de arroz. ....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção total de arroz e quantidade de casca gerada no território brasileiro no ano de 2017 de acordo com dados preliminares do IBGE.....	24
Tabela 2 – Principais bandas observadas nos resultados de FT-IR para as cascas de arroz e cinzas de casca de arroz.....	44
Tabela 3 – Caracterização química das cascas de arroz e das cinzas de cascas de arroz. ....	45

## LISTA DE ABREVIACÖES E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Analysis of variance (análise de variância)
CA	Casca de Arroz
CCA	Cinza de casca de arroz
CLSI	<i>Clinical &amp; Laboratory Standards Institute</i>
DMEM	<i>Dulbecco's Modified Eagle Medium</i>
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
EDTA	Ethylenediamine tetraacetic acid
NHI3T3	Linhagem de células de fibroblastos murinos
P	Nível de significância estatística

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>21</b>
3.1	OBJETIVO GERAL	21
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>22</b>
4.1	O ARROZ	22
4.2	PRODUÇÃO E ÁREA COLHIDA	22
4.3	QUANTIDADE DE RESÍDUOS	23
4.4	DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS	24
4.5	QUEIMA PARA OBTENÇÃO DE ENERGIA	25
4.6	RESÍDUOS DA QUEIMA	28
4.7	TOXICOLOGIA	29
<b>4.7.1</b>	<b>Agente tóxico</b>	<b>30</b>
<b>4.7.2</b>	<b>Metais tóxicos</b>	<b>31</b>
<b>4.7.3</b>	<b>Efeitos tóxicos dos metais nas plantas</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>34</b>
5.1	OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS	34
5.2	PRODUÇÃO DOS LIXIVIADOS DE CASCA DE ARROZ E DE CINZAS DE CASCA DE ARROZ	34
5.3	ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS	35
<b>5.3.1</b>	<b>Espectrometria de infravermelho com transformada de Fouier</b>	<b>35</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Análise de elementos por Espectrometria de Fluorescência de Raios X- FRX</b>	<b>35</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Análise por difratometria de raios X- DRX</b>	<b>35</b>
<b>5.3.4</b>	<b>Análise térmica por calorimetria exploratório diferencial – DSC e Análise termogravimétrica -TG</b>	<b>36</b>
5.4	ENSAIOS TOXICOLÓGICOS	36
<b>5.4.1</b>	<b>Testes com modelos animais</b>	<b>36</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Testes em modelos vegetais</b>	<b>37</b>
<b>5.4.3</b>	<b>Ensaio com microorganismos</b>	<b>39</b>
<b>5.4.4</b>	<b>Teste de citotoxicidade <i>in vitro</i> – MTT</b>	<b>40</b>
5.5	ENSAIOS GENOTOXICOLÓGICOS	41

<b>5.5.1</b>	<b>Análise de quebra de DNA plasmidial .....</b>	<b>41</b>
5.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	41
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>42</b>
6.1	ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS.....	42
<b>6.1.1</b>	<b>Espectrometria de infravermelho com transformada de Fourier – FT-IR</b>	<b>42</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Análise de elementos por espectrometria de fluorescência - FRX....</b>	<b>44</b>
<b>6.1.3</b>	<b>Análise por difratometria de raios X- DRX .....</b>	<b>45</b>
<b>6.1.4</b>	<b>Análise térmica por calorimetria exploratório diferencial – DSC e Análise termogravimétrica -TG .....</b>	<b>47</b>
6.2	ENSAIOS TOXICOLÓGICOS.....	48
<b>6.2.1</b>	<b>Testes com modelos animais.....</b>	<b>48</b>
<b>6.2.2</b>	<b>Testes em modelos vegetais.....</b>	<b>49</b>
<b>6.2.3</b>	<b>Ensaio com microorganismos .....</b>	<b>52</b>
<b>6.2.4</b>	<b>Teste de citotoxicidade in vitro – MTT.....</b>	<b>53</b>
6.3	ENSAIOS GENOTOXICOLÓGICOS .....	54
<b>6.3.1</b>	<b>Análise de quebra de DNA plasmidial .....</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>56</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa L.*) é a base alimentar de muitos povos, inclusive para o brasileiro, e constitui uma das culturas mais cultivadas no mundo (GARCIA et al., 2015). Devido as suas características nutricionais, o cereal possui grande potencial ao combate mundial contra a fome e vem sendo tratado com grande importância no que se refere à segurança alimentar (JÚNIOR et al., 2004). De acordo com Epagri (2022), em termos de consumo a média mundial é de 54 kg/pessoa/ano e no Brasil esta média é de 32 kg/pessoa/ano.

Conforme a síntese da agroindústria (EPAGRI, 2022), o Brasil além de se destacar como grande consumidor do grão também se destaca com a sua elevada produção, inserindo-o no cenário, como o maior produtor do Mercosul e décimo produtor mundial. Entre os estados brasileiros, o Rio Grande do Sul é o maior produtor seguido do estado de Santa Catarina que na safra de 1991 ocupava o quarto lugar no ranking e agora vem se destacando pela qualidade dos seus grãos. Com isso, os dois estados se tornaram a base de sustentação da produção nacional desse cereal (EPAGRI, 2022).

Em Santa Catarina, pode-se destacar a cultura familiar como a base de sustentação agrícola composta por pequenas propriedades com o uso da mão de obra familiar onde das quais, boa parcela adota o sistema de plantio irrigado (MOACIR et al., 2015) concentrado principalmente no Litoral Sul representando 61,9% desta forma de plantio.

Com o objetivo de preparar para o consumo, depois de colhido, o grão passa pelo processo de beneficiamento onde o descascamento é uma das principais etapas do processo. Nesta etapa, a casca representa 20 a 22% do grão tornando-se um subproduto que pode ser aproveitado de diversas formas, (BAIOCCHI, 2011), dentre elas, para a geração de energia através da sua combustão. (FOLETTTO et al., 2005), (INÁCIO, 2016), (LUDWIG et al., 2012). Esta forma de utilização das cascas de arroz vai ao encontro com a busca e o desenvolvimento de novas tecnologias como fontes de geração de energia. Esta diversificação nas formas de gerar energia vem sendo cada dia mais necessário devido ao crescimento contínuo da demanda energética e paralelo à necessidade urgente de reduzir o declínio das reservas naturais a fim de contribuir para a melhoria nos impactos ambientais. Conforme a ANEEL, 2018, a

utilização de resíduos agroindustriais como a casca de arroz vem apresentando crescimento, passando de uma capacidade instalada de 19 MW em 2007 para 45 MW em 2018.

Gerar energia através de fontes como a casca de arroz, que é matéria prima em abundância principalmente no Sul do país, pode tornar-se muito atraente tanto do ponto de vista econômico como ambiental. As tecnologias existentes permitem que todo o resíduo seja convertido em energia e que o CO<sup>2</sup> gerado retorne para o ciclo da biosfera terrestre (MAYER et al., 2006).

No sul do país, uma forma comum de produzir energia nas indústrias de beneficiamento é através da combustão das cascas do arroz produzido que geram vapor para a secagem dos grãos, agregando valor ao produto, porém, um novo resíduo: as cinzas (INÁCIO, 2016).

Em Santa Catarina, de acordo com os dados preliminares divulgados pelo IBGE (2017) presume-se que se toda a casca de arroz proveniente do beneficiamento for queimada para produzir energia será gerado um total aproximado de 37 mil toneladas de cinzas ao ano. Este fato gera preocupação e incerteza no que se refere ao descarte adequado deste resíduo, pois conforme Foletto et al., (2005), se esta cinza for carregada e solubilizada nas águas superficiais, poderá provocar impactos significativos através da contaminação de corpos d'água e conseqüentemente solos e plantações por meio de substâncias presentes na mesma, visto que pesquisas caracterizando as cinzas da casca do arroz mostram que são encontrados quantidade importantes de metais neste resíduo, como o Manganês (Mn) e Magnésio (Mg) (JEREMIAS, 2019).

## **2 JUSTIFICATIVA**

Na busca por fontes sustentáveis que possam gerar energia tem-se a combustão da casca do arroz, da qual surgem as cinzas que representam em torno de 4% do arroz produzido (DELLA et al., 2001).

Conforme Foletto et al., (2005), o descarte da cinza pode trazer graves conseqüências ao meio devido ao nível elevado de sílica e carbono, podendo alterar pHs de solos e rios.

De encontro a esta proposição e na expectativa de gerar benefícios ao processo de conservação ambiental, muitos rizicultores acabam aplicando estas

cinzas como alternativa de composição do substrato para plantio do arroz irrigado (ISLABÃO, 2013).

Sendo o estado de Santa Catarina responsável por uma porção significativa da produção nacional, e diante do panorama apresentado o trabalho justifica-se por encontrar evidências da existência de íons metálicos como o manganês (Mn) nas cinzas da casca de arroz. De acordo com Jeremias (2019), em seu estudo utilizando o biorresíduo como bioissorvente em efluentes contaminados por DAM, constatou-se que houve um aumento de 45% de Mn no efluente tratado com cinza de casca de arroz quando comparado ao efluente sem a utilização do biorresíduo. Portanto, devido aos impactos negativos que tais agentes possam vir a causar ao ecossistema, torna-se necessário o estudo dos seus possíveis potenciais toxicológicos.

### 3 OBJETIVOS

Visando precaver, prevenir e proteger a saúde dos seres e dos ecossistemas, neste estudo serão realizadas análises dos atributos físico-químicos, toxicológicos e genotoxicológicos resultantes do lixiviado de cinzas de casca de arroz provenientes da combustão desta para geração de energia.

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Verificar através de análises físico-químicas e modelos biológicos o potencial toxicológico e genotoxicológico do lixiviado de cinzas produzidas pela queima da casca de arroz para geração de energia.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

i. Avaliar fitotoxicidade em testes subagudos de *Allium cepa* e agudo de *Lactuca sativa* expostas ao lixiviado das cinzas de casca de arroz provenientes da combustão para a geração de energia.

ii. Avaliar a toxicidade do lixiviado das cinzas de casca de arroz provenientes da combustão para a geração de energia em bactérias *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*.

iii. Avaliar citotoxicidade do lixiviado das cinzas de casca de arroz provenientes da combustão para a geração de energia em células de fibroblastos linhagem NIH3T3.

iv. Avaliar o potencial do lixiviado das cinzas de casca de arroz em danificar material genético.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

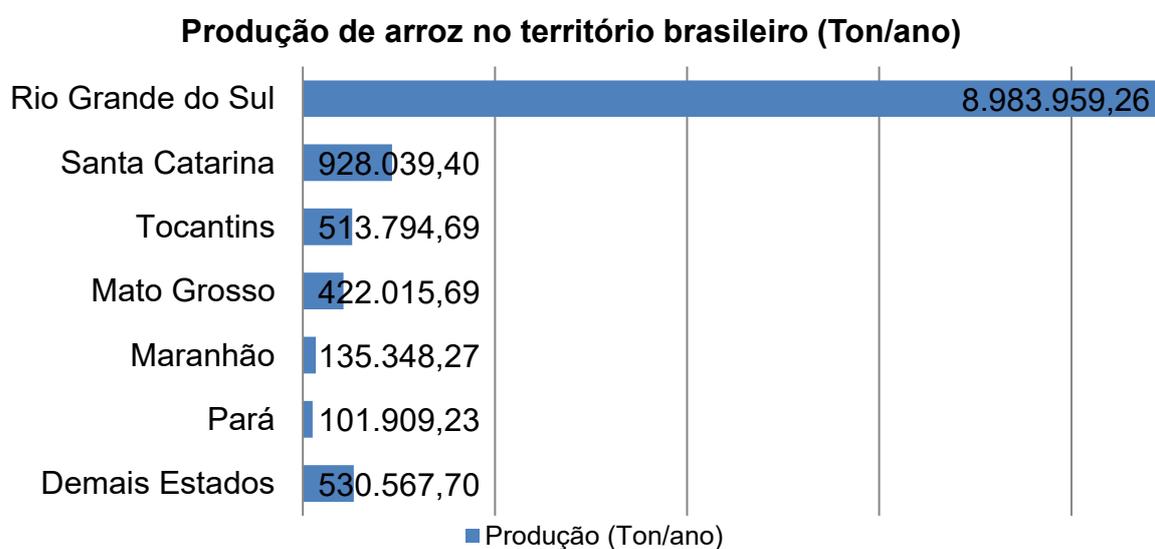
### 4.1 O ARROZ

O arroz é o alimento mais consumido no mundo, base da cadeia alimentar de muitos povos devido à sua característica nutricional e também, pela sua versatilidade no cultivo, já que o grão se adapta a diversos climas e solos podendo ser cultivado em diversos continentes. Este cereal é considerado como um produto de segurança alimentar devido ao grande potencial apresentado na erradicação da fome. (JÚNIOR et al., 2004).

### 4.2 PRODUÇÃO E ÁREA COLHIDA

Conforme os resultados preliminares do censo rural realizado por IBGE, 2017, o Brasil produziu 11.615.634,235 toneladas do grão. A produção total no Estado de Santa Catarina, apresentada na Figura 1, chegou a 928.039,40 toneladas, sendo a sua maior concentração na região sul, abrangendo as cidades de Araranguá, Tubarão e Criciúma. Com este resultado o Estado posiciona-se como o segundo maior produtor nacional ficando atrás somente do Rio Grande do Sul.

Figura 1– Produção de arroz no território brasileiro em toneladas no ano de 2017 –  
Dados preliminares do IBGE, 2017



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Segundo o boletim anual de safra divulgado pela CONAB, 2019, o Brasil possui estimativa de área plantada com arroz para os anos 2018/2019 de 1.697.300,00 hectares, sendo que o sistema irrigado corresponde a 79,5% desse total. Já no Estado de Santa Catarina a área total de plantio do cereal é de 144.500,00 hectares.

#### 4.3 QUANTIDADE DE RESÍDUOS

O aumento de resíduos nos últimos anos vem gerando grande preocupação devido aos inúmeros problemas gerados ao meio ambiente pelo seu descarte inadequado. Não obstante desta realidade, tem-se os resíduos agroindustriais que geram fortes impactos ambientais sendo muitas vezes, descartados de formas inadequadas (ISLABÃO, 2013). E a agricultura arroseira por se tratar de uma das maiores culturas do país, acaba gerando uma grande quantidade de resíduos, pois o grão precisa passar pelo processo de beneficiamento após a sua colheita visando à sua preparação para o consumo (DELLA et al., 2001) .

No beneficiamento, o grão é submetido à limpeza, onde é removido a sua casca, farelo e germe, e é efetuado o seu polimento, sua classificação e após, embalado para o consumo. Neste processo pode-se observar que o arroz colhido gera uma quantidade de resíduos e outros subprodutos, alguns com certo valor comercial, outros não. Os principais resíduos são a casca, farelo e a quirera (grãos quebrados) (KIELING, 2009), (LORENZETT et al., 2012). Conforme (LORENZETT et al., 2012) e (BAIOCCHI, 2011), os resíduos têm aproveitamentos diversos, como por exemplo, o farelo pode ser aproveitado na fabricação de óleos e rações, a quirera pode ser utilizada na produção de farinhas e amido pré-cozido e a casca, que seria o principal subproduto do processo, correspondendo em torno de 20% da produção total, serve para a produção de papel e também na geração de energia através da sua queima.

A Tabela 1 mostra a produção total e quantidade gerada do principal resíduo em território brasileiro através de dados compilados do resultado do censo do IBGE 2017:

Tabela 1 – Produção total de arroz e quantidade de casca gerada no território brasileiro no ano de 2017 de acordo com dados preliminares do IBGE

<b>ESTADO</b>	<b>PRODUÇÃO (Ton/ano)</b>	<b>CASCA (Ton/ano)</b>
<b>Rio Grande do Sul</b>	8.983.959,26	1.796.791,85
<b>Santa Catarina</b>	928.039,40	185.607,88
<b>Tocantins</b>	513.794,69	102.758,94
<b>Mato Grosso</b>	422.015,69	84.403,14
<b>Maranhão</b>	135.348,27	27.069,65
<b>Pará</b>	101.909,23	20.381,85
<b>Demais Estados</b>	530.567,70	106.113,54

Fonte: elaborado pela autora, 2020.

Por serem, os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, os maiores produtores brasileiros de arroz, são também, por consequência, os maiores geradores de resíduos oriundos deste grão, participando os dois, com 85% do total de cascas de arroz produzidas no país.

#### 4.4 DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS

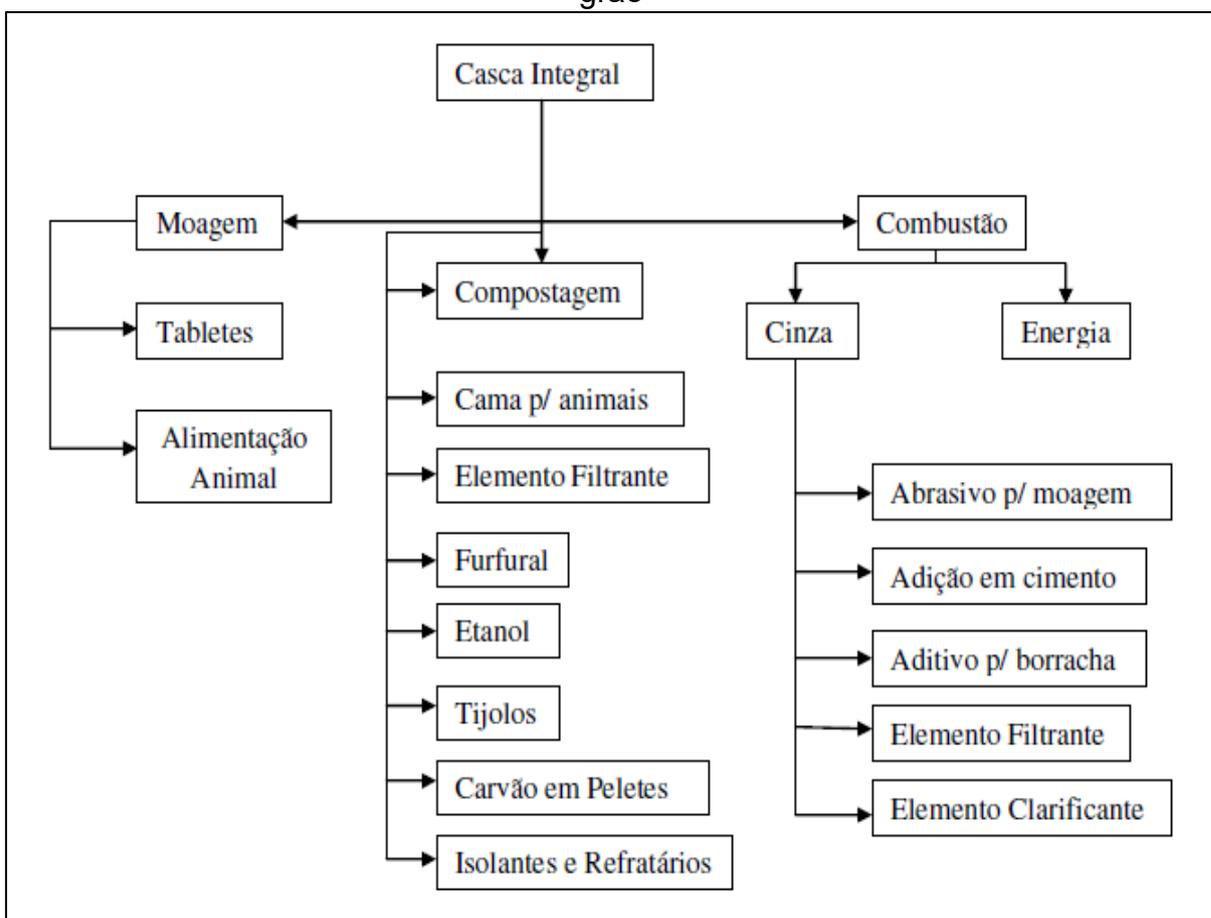
Devido ao grande volume de resíduos gerados, torna-se uma preocupação a destinação correta destes materiais, que por muitas vezes são dispostas inadequadamente trazendo consequências ao meio, como poluição e degradação de águas e solos (MAYER et al., 2006). Diante desta preocupação e na busca de uma sociedade sustentável, o mercado competitivo vem se adequando às leis de responsabilidade socioambientais, trabalhando na gestão destes resíduos, melhorando a qualidade de vida da sociedade e contribuindo para a recuperação e não degradação do meio ambiente (WALTER; ROSSATO, 2010).

Existem diversas formas de destinar tal resíduo, e algumas delas seriam a compostagem da casca de arroz, a queima a céu aberto e a queima para geração de energia. A primeira alternativa, utilizada indiretamente por grande parte dos rizicultores, ao ser depositado no solo, faz com que diminua sua carga orgânica, porém, gera um sério problema ambiental já que o material leva em torno de 5 anos para se decompor e libera um grande volume de metano (CH<sub>4</sub>). A segunda forma, a

queima a céu aberto, libera uma grande quantidade de monóxido e dióxido de carbono (CO e CO<sub>2</sub>) (MAYER et al., 2006). E a terceira forma, a queima para a geração de energia, resultando em certa quantidade de cinzas as quais existem diversos estudos para alternativas de utilização fechando assim, o ciclo produtivo.

A Figura 2 mostra as principais aplicações para as cascas de arroz resultantes do beneficiamento do grão.

Figura 2 - Principais aplicações para casca do arroz resultante do beneficiamento do grão



Fonte: SILVA, 2009.

#### 4.5 QUEIMA PARA OBTENÇÃO DE ENERGIA

A busca por fontes energéticas renováveis para geração de energia tem se intensificado nos últimos anos, e dentre elas, destaca-se a geração de energia por biomassa. De acordo com o boletim divulgado pela ANEEL, 2018, o Brasil possui 559 usinas termoeletricas que utilizam biomassa como combustível, e desse total,

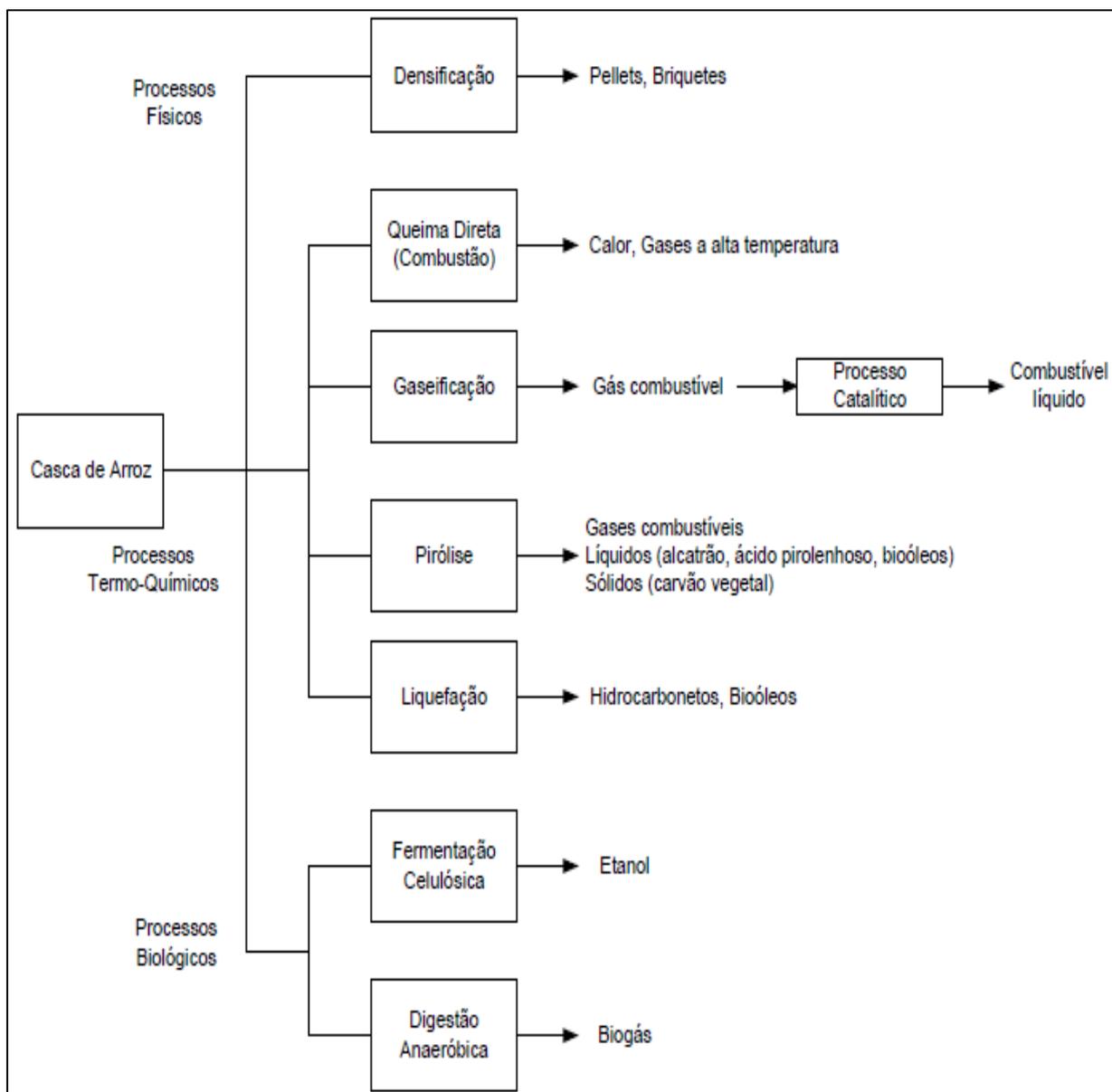
aproximadamente 12 fazem uso da casca de arroz representando uma potência instalada de 45.333 kW.

Por ser esta, uma grande fonte de carbono, torna-se por este mesmo motivo, uma excelente fonte de energia através de sua combustão (LORENZETT et al., 2012). Estima-se que o seu poder calorífico se encontra na média de 3.200 kcal/kg e que ao ser utilizado como insumo energético agrega valor ao arroz beneficiado, se traduz em melhorias ao meio ambiente e traz economia principalmente para as indústrias de beneficiamento do grão por ser matéria prima disponível gratuitamente no local (MAYER et al., 2006). Muitas agroindústrias utilizam parte das cascas na forma de combustão controlada gerando vapor para a secagem dos grãos e para o processo de parboilização (WALTER; ROSSATO, 2010).

Ainda conforme descreve Mayer et al. (2006), com este resíduo, através de diversos processos, pode-se obter diferentes produtos com o objetivo de aproveitamento energético.

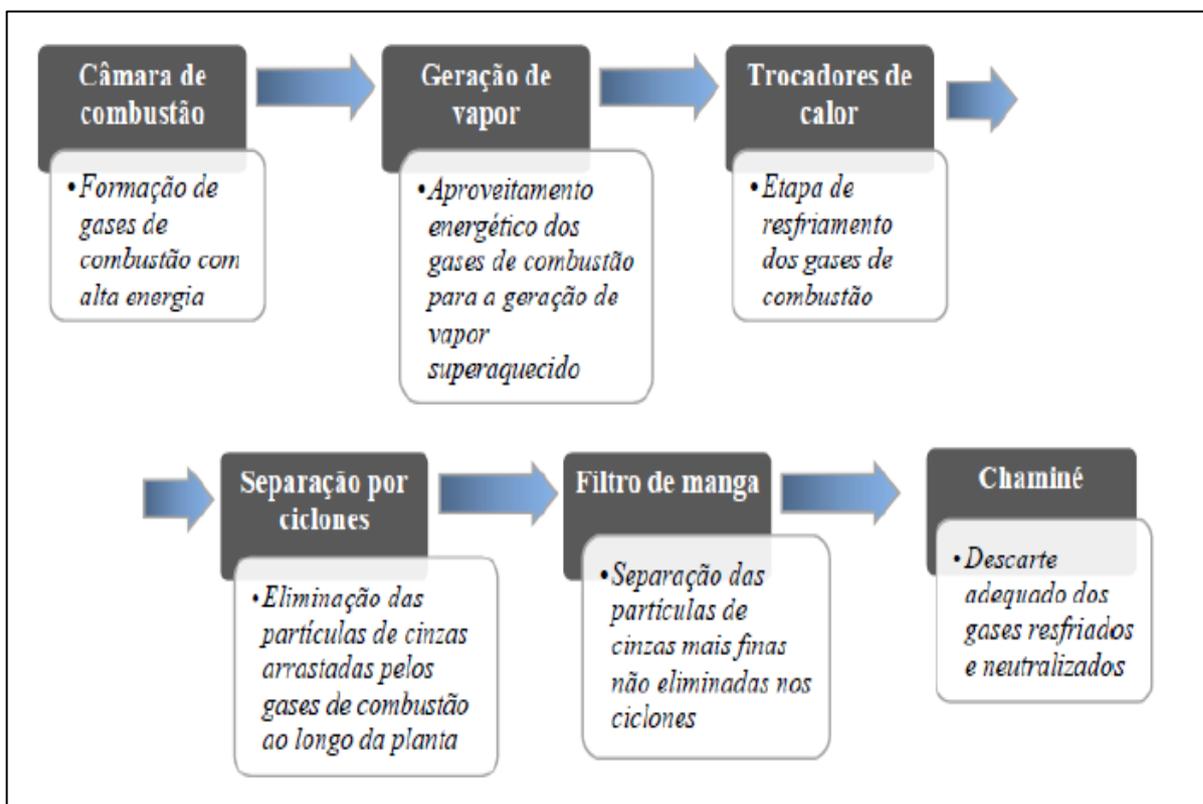
Os processos de conversão energética da biomassa mostrados na

Figura 3 – Processos de conversão energética da biomassa



Fonte: MAYER et al.,2006.

Figura 4– Principais etapas do processo de geração de energia no processo de combustão controlada da casca de arroz



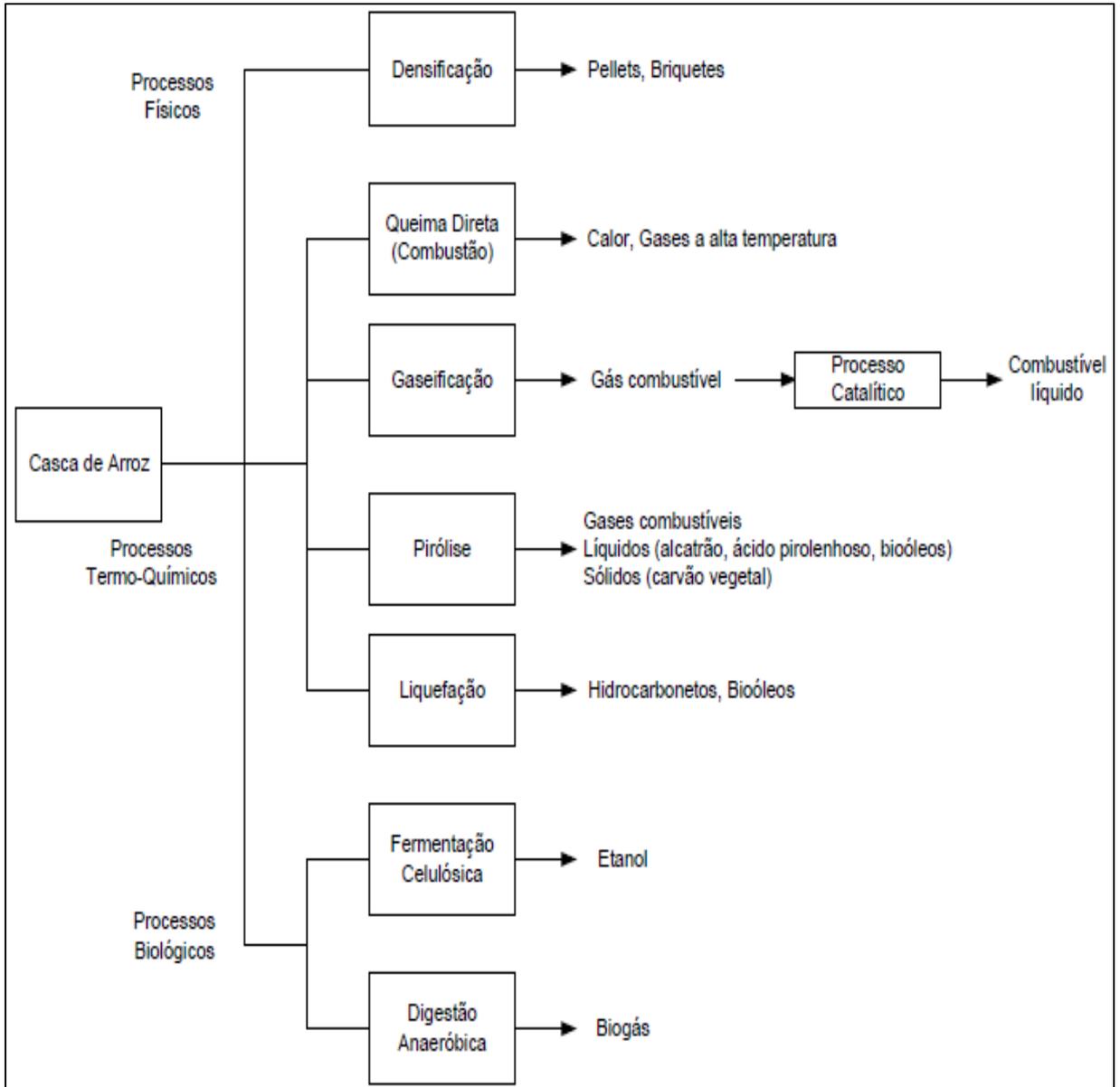
Fonte: NUNES et al., 2017.

podem ser divididos em físicos, termoquímicos e biológicos, sendo que na conversão da casca de arroz em energia, os processos mais viáveis economicamente ainda são o de combustão direta e o de densificação, classificados como processos físicos. Nas principais etapas do processo observa-se a separação das cinzas através de separadores e filtros conforme mostra a A ciência da toxicidade é dividida em diversos campos de atuação conforme a natureza do agente e como ele atinge o sistema biológico, contribuindo para diversas outras áreas como medicina, farmácia, saúde pública e industrial entre outras. Dentre estes campos de atuação está a toxicologia ambiental que trata da interação dos potenciais agentes toxicológicos do ambiente e seus efeitos sobre os organismos (OGA et al., 2008).

Segundo Lorenzetti et al., 2012, uma pesquisa realizada em uma grande agroindústria de beneficiamento de arroz na região de Santa Maria, RS, 70% das suas cascas são destinadas à queima para a obtenção de energia. Portanto, se tomarmos

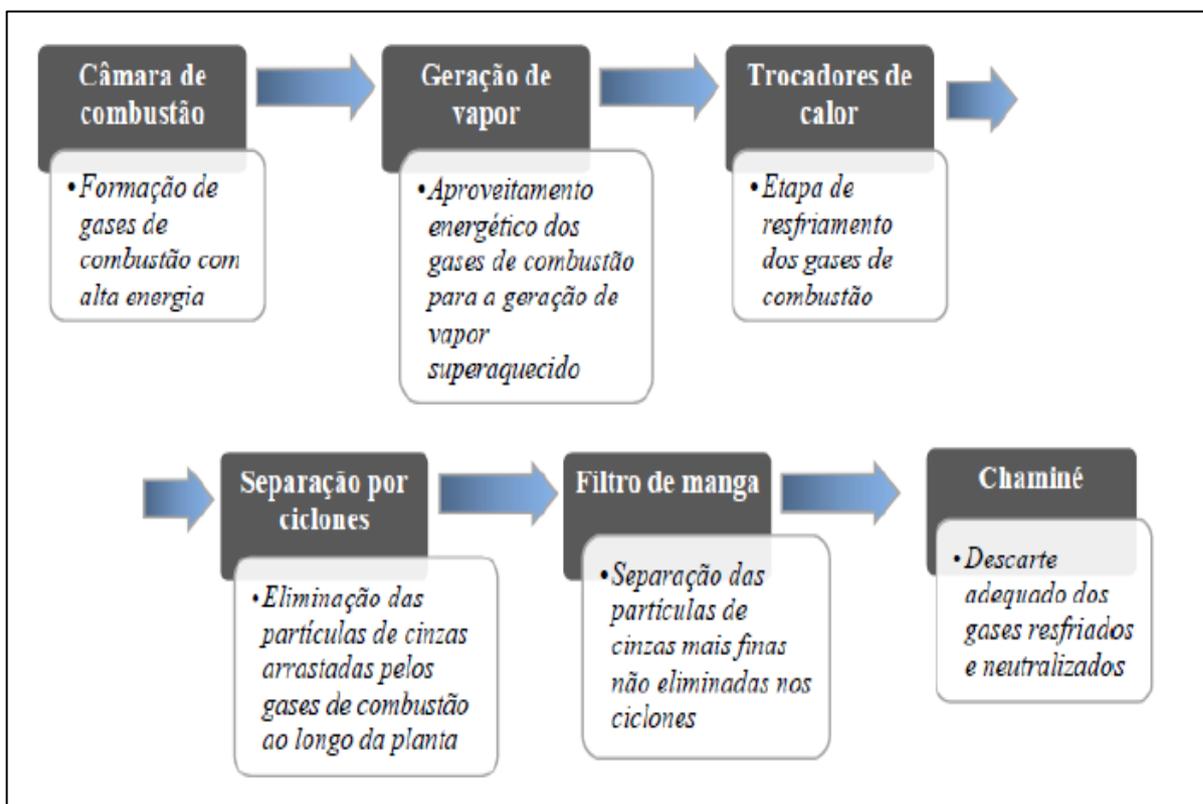
este percentual como estimativa de cascas que podem ser utilizadas para gerar energia na forma de combustão, conclui-se que somente nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina tem-se uma quantidade aproximada de 1.387.679,80 Ton/ano.

Figura 3 – Processos de conversão energética da biomassa



Fonte: MAYER et al.,2006.

Figura 4– Principais etapas do processo de geração de energia no processo de combustão controlada da casca de arroz



Fonte: NUNES et al., 2017.

#### 4.6 RESÍDUOS DA QUEIMA

O processo de combustão controlada da casca do arroz gera resíduos em forma de cinzas que segundo (LUDWIG *et al.*, 2012), representam em torno de 16% do peso do resíduo. Ainda, segundo o mesmo autor, dependendo do tipo de processo utilizado, do tempo da queima e da temperatura, as cinzas podem ser classificadas como amorfas ou cristalinas. No caso de temperaturas na faixa de 450 °C a 700 °C são geradas cinzas no estado amorfo.

De acordo com a NBR 14004 da ABNT (2004), as cinzas podem se enquadrar na “classe II A” – resíduo não perigoso e inerte, mas apesar desta classificação, não fica descartado o potencial poluente deste resíduo, o qual pode apresentar diferentes composições quantos aos elementos orgânicos e inorgânicos a depender de variáveis já citadas e também pelos diferentes solos onde são cultivados, formas de cultivo, ano de colheita e outros (ISLABÃO, 2013).

Por muitas vezes, o material é lançado diretamente sobre as lavouras, pelos próprios agricultores que o obtém gratuitamente nas agroindústrias e sem conhecimento concreto de dosagem e efeitos sobre o solo. Porém, a deposição deste material diretamente no solo, por apresentar caracterizações físico-químicas compostas por metais variados, podem afetar diretamente a flora, a fauna e também a saúde humana dependendo do nível de concentração dos metais encontrados.

Atualmente existem inúmeros estudos relacionados ao uso destas cinzas para fins diversos, como biossorventes de baixo custo (JEREMIAS, 2019), agregados na construção civil (SILVA, 2009), produção de sílica pura, utilização como carga em polímeros, suportes de catalizadores metálicos (FOLETTTO et al., 2005) compostos de borracha, entre outros. Tais aplicações geram novos produtos com maior valor agregado tornando-se alternativas eficientes frente à disposição destas cinzas lançadas diretamente no meio ambiente.

#### 4.7 TOXICOLOGIA

A toxicologia é uma das mais antigas ciências práticas existentes, pois o homem, nos primórdios da humanidade, já conhecia os efeitos tóxicos das plantas e dos venenos animais (OGA et al., 2008). Esta ciência, conforme Goes (1998) envolve a atuação de profissionais de áreas multidisciplinares a fim de aprimorar os conhecimentos com contribuições diversas no que diz respeito à toxicologia.

O estudo dos efeitos nocivos gerados sobre organismos vivos pelas substâncias químicas adversas é conhecido por toxicologia (KLAASSEN; III, 2012). Tais efeitos podem afetar diretamente produtos de consumo, medicamentos, processos produtivos, e outros gerando respostas tóxicas ao organismo que variam de leves e até mesmo letais (OGA et al., 2008). Na A toxicologia e seus estudos proporcionam à sociedade em geral respostas diversas relacionadas aos efeitos de agentes nocivos, visando não somente a proteção do meio ambiente e dos seres humanos, mas também, um meio de subsidiar bases para desenvolvimento de substâncias tóxicas seletivas destinadas às medicações, pesticidas e outros (HODGSON, 2010).

A ciência da toxicidade é dividida em diversos campos de atuação conforme a natureza do agente e como ele atinge o sistema biológico, contribuindo para diversas outras áreas como medicina, farmácia, saúde pública e industrial entre outras. Dentre

estes campos de atuação está a toxicologia ambiental que trata da interação dos potenciais agentes toxicológicos do ambiente e seus efeitos sobre os organismos (OGA et al., 2008).

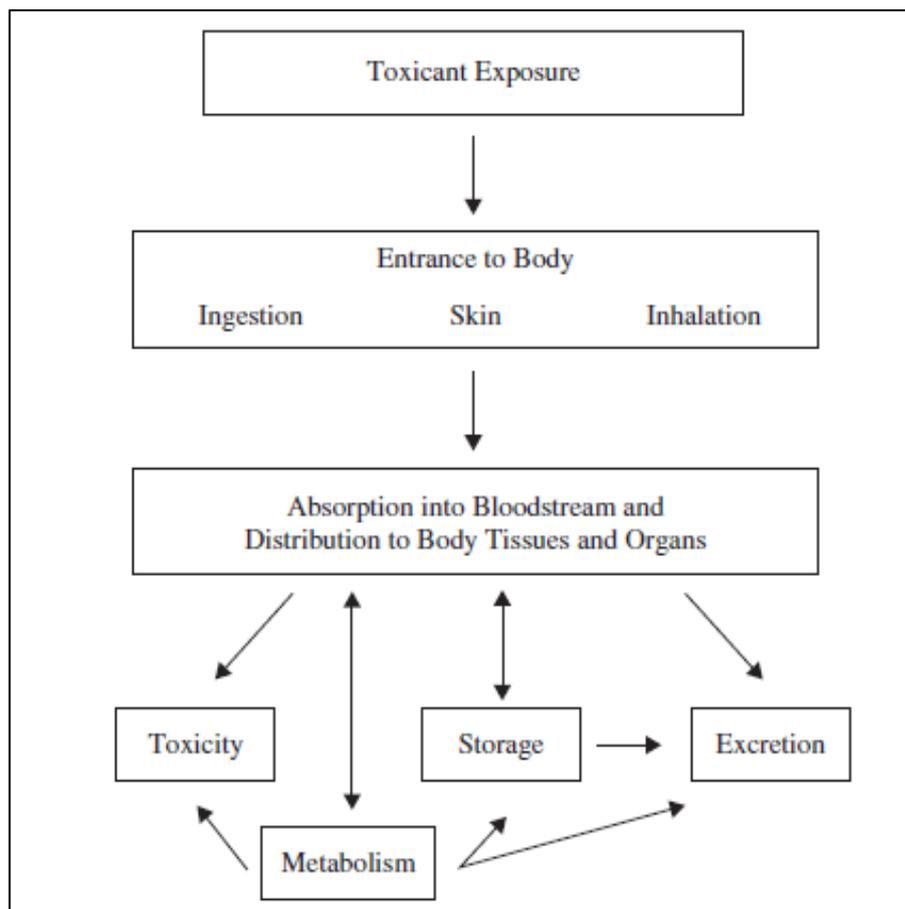
é ilustrado destino e efeito de substâncias tóxicas no organismo segundo Hodgson (2010).

Estas respostas variam conforme a dose do agente, suas propriedades tóxicas e também da variação metabólica individual de cada organismo (HODGSON, 2010). Gupta (2018) afirma que esses efeitos podem ser manifestados por meio de teratogenicidade, carcinogênese, mutagênese, imunotoxicidade, neurotoxicidade, distúrbios endócrinos e outros.

A toxicologia e seus estudos proporcionam à sociedade em geral respostas diversas relacionadas aos efeitos de agentes nocivos, visando não somente a proteção do meio ambiente e dos seres humanos, mas também, um meio de subsidiar bases para desenvolvimento de substâncias tóxicas seletivas destinadas às medicações, pesticidas e outros (HODGSON, 2010).

A ciência da toxicidade é dividida em diversos campos de atuação conforme a natureza do agente e como ele atinge o sistema biológico, contribuindo para diversas outras áreas como medicina, farmácia, saúde pública e industrial entre outras. Dentre estes campos de atuação está a toxicologia ambiental que trata da interação dos potenciais agentes toxicológicos do ambiente e seus efeitos sobre os organismos (OGA et al., 2008).

Figura 5– Destino e efeito de substâncias tóxicas no corpo



Fonte: HODGSON, 2010.

#### 4.7.1 Agente tóxico

A definição de agente tóxico envolve diversos aspectos biológicos, quantitativos e qualitativos, pois de acordo com HODGSON (2010) determinados compostos que são tóxicos para algumas espécies podem não causar efeitos deletérios para outras. Assim como, podem ser tóxicos quando combinados com outras substâncias ou em determinadas circunstâncias e determinadas doses.

Oga et al. (2008) definem agente tóxico como as substâncias químicas que interagindo com o sistema biológico causam alterações nas suas funções podendo levar até a morte.

Segundo Hodgson (2010), a classificação de tais agentes se torna difícil devido à grande quantidade e variedade existentes, podendo ser enquadrados em diversas categorias. Muitos desses agentes podem ser naturais, químicos orgânicos e químicos sintéticos e outros podem ser subprodutos provenientes de resíduos industriais.

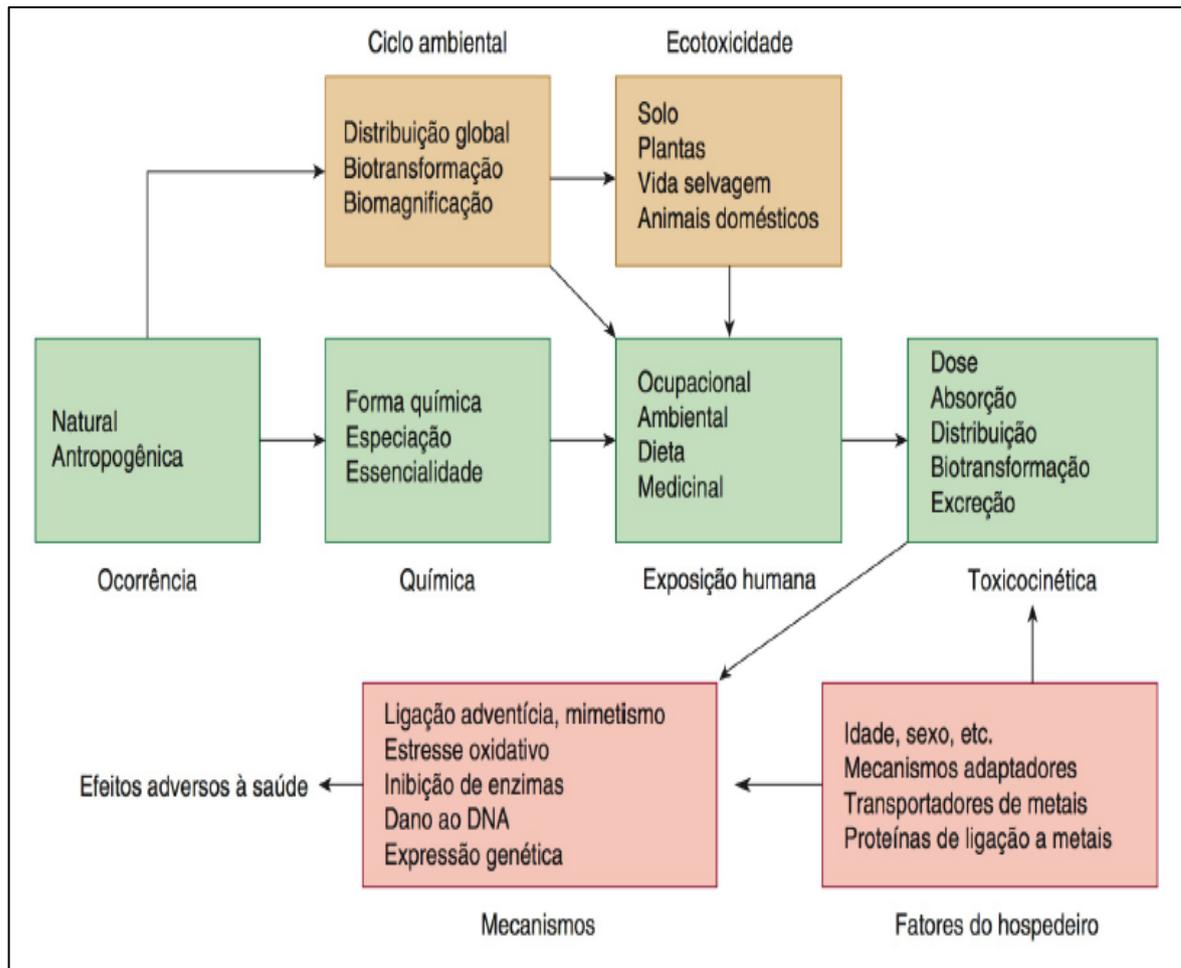
Gupta (2018), afirma que o produto resultante da descarga e mistura de materiais nocivos de origem antrópica que contribuem para a poluição contaminando o ambiente são classificados como tóxicos poluentes. Assim, o lixiviado estudado neste trabalho resultante das cinzas da casca de arroz que são depositadas no solo agrícola se enquadra nesta classificação por se tratar do resultado da geração de efluentes de processos antrópicos.

Dentre os agentes que possuem a capacidade de contaminação ambiental podem-se citar os metais, que dependendo da dose, tornam-se nocivos a certos organismos e podem contribuir na contaminação das águas superficiais que conforme Hodgson (2010) podem ser contaminadas por tais agentes de formas pontuais ou não.

#### **4.7.2 Metais tóxicos**

Klaassen e III (2012) afirmam que os metais, por serem bioacumulativos e não biodegradáveis possuem alta capacidade de toxicidade no meio e nos organismos, e que devido aos processos industriais, se torna inevitável a exposição a esses agentes. A Figura 6 ilustra de forma geral o ciclo toxicológico dos metais que pode ocorrer por diversas formas e vias de contaminação.

Figura 6– Visão geral da toxicologia dos metais



Fonte: KLAASSEN; III, 2012.

Os metais podem estar presentes naturalmente no meio através da geologia local ou por ciclos biológicos. Quando dissolvidos das rochas ou depositados pelo ser humano acabam sofrendo movimentações, podendo ser incorporados no meio aquático por lixiviação (MANZINI et al., 2010) e inclusive no ciclo alimentar através da absorção destes agentes pelas plantas e animais (KLAASSEN; III, 2012). No meio aquático os metais podem sofrer alterações químicas resultando em diferentes graus de toxicidade, podendo ser aumentados ou diminuídos (MANZINI et al., 2010) Dentre os metais, pode-se destacar o Manganês (Mn) que é essencial ao corpo humano e pode ser encontrado facilmente em rochas e também em resíduos de combustão (MANZINI et al., 2010), porém, uma vez disponibilizados no solo, água ou ar, colocando o ser humano a exposições crônicas, pode prover danos ao sistema nervoso central. Alguns estudos concluíram que em crianças com até 7 anos de idade a intoxicação por manganês (Mn) pode causar prejuízos importantes no que diz

respeito a mobilidade, fala e comportamento (CARVALHO, 2017). Em adultos, existem pesquisas importantes que relatam sintomas semelhantes à doença de Parkinson, entre eles, tremores, distúrbio da marcha, sudorese, fadiga e ansiedade sugerindo ainda, que a progressão clínica pode durar até 10 anos após a cessação da exposição (JIANG et al., 2006)

#### **4.7.3 Efeitos tóxicos dos metais nas plantas**

Os metais liberados no solo através da deposição de resíduos, causando contaminação ambiental podem atingir as plantas e demais seres vivos prejudicando sua saúde e desenvolvimento. Em plantas e animais, sintomas visíveis nos tecidos, morbidade, redução da colheita, devem ser monitorados constantemente, pois podem ser resultados desta toxidez. Nas plantas, Rodrigues et al. (2016) cita que diversos são os mecanismos de adaptação e sobrevivência diante do excesso de alguns metais, podendo estes, acumularem-se nas suas raízes e também nos seus tecidos. Souza et al. (2011) comentam que em situação de estresse por metais pesados muitas plantas acabam criando meios de adaptação para sua sobrevivência.

O manganês (Mn) é um metal essencial para o desenvolvimento das plantas, porém em excesso pode causar limitação no seu desenvolvimento. Alguns sintomas da toxicidade deste metal são pouco caracterizados nas raízes e bem evidenciados nas folhas, como franzimento, clorose e manchas (SORATTO et al., 2005). Uma pesquisa feita por Grande (1969) avaliou os efeitos da toxidez de manganês (Mn) em leguminosas forrageiras tropicais as quais apresentaram sintomas como má formação em folhas, redução do crescimento de raízes, clorose, descoloração e necrose da planta. Em outro estudo, Soratto et al. (2005) avaliaram quatro espécies de cultivares de feijão onde observou que com o aumento da absorção de manganês (Mn) pelas plantas houve uma redução de aproximadamente 10% na produção da matéria seca.

É importante ressaltar que os mecanismos de respostas aos níveis de metais absorvidos e transportados dependem de relações fisiológicas e bioquímicas das espécies (SOUZA et al., 2011).

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

Foram obtidas amostras de cascas de arroz e cinzas de cascas de arroz junto às indústrias de beneficiamento da região, onde as cascas do grão são queimadas à 600°C e o resíduo, é por elas, direcionado aos agricultores locais para que seja utilizado como adubo do solo de plantio.

### 5.2 PRODUÇÃO DOS LIXIVIADOS DE CASCA DE ARROZ E DE CINZAS DE CASCA DE ARROZ

Os lixiviados foram obtidos de acordo com a metodologia prescrita na ABNT NBR 10005:2004 “Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos” com adaptações específicas, de acordo com SHIAU et al. (2000).

No método adaptado por Shiau et al. (2000) foram utilizados separadamente 50 gr de amostra de cinzas de casca de arroz e 50 gr de amostra de cascas em um frasco juntamente com a solução extratora (água mineral adquirida comercialmente) em quantidade igual a 20 vezes a amostra utilizada. Na sequência, o frasco passou por agitação durante  $(18 \pm 2)$  h a temperatura de até 25 °C e rotação de  $(30 \pm 2)$  rpm. Em seguida, o material foi filtrado com papel filtro comercial com gramatura 56g conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 - Produção dos lixiviados de casca de arroz e de cinza de casca de arroz com adaptações de Shiau et al. (2000).



Fonte: Da autora, 2021.

## 5.3 ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS

### 5.3.1 Espectrometria de infravermelho com transformada de Fouier

As amostras foram analisadas através de espectrometria de infravermelho com transformada de Fouier (FT-IR) onde foram investigadas evidências de compostos e suas composições químicas através de espectro completo de infravermelho com altas resoluções ( $\leq 0,001 \text{ cm}^{-1}$ ),

O FT-IR trata-se de um método de caracterização física para análise qualitativa, onde os átomos que formam as moléculas possuem frequências específicas de vibração que variam conforme sua composição e estrutura sendo possível a identificação dos grupos funcionais porque cada molécula terá um espectro característico na região do infravermelho.

### 5.3.2 Análise de elementos por Espectrometria de Fluorescência de Raios X-FRX

As amostras passaram por análise química por espectrometria de fluorescência de raios X - FRX no laboratório permanente do Instituto Senai de Tecnologia Cerâmica da cidade de Criciúma, SC. Este ensaio determinou quantitativamente alguns metais e não metais presentes na amostra utilizando o princípio de medição de intensidades de raios X emitidos pelos elementos presentes. Os elementos das amostras quando excitados por partículas de elétrons, prótons ou íons produzidos em aceleradores de partículas ou ondas eletromagnéticas emitem ondas que podem ser detectadas e medidas a sua intensidade através de tubos de raios-X (SKOOG *et al.*, 2009)

### 5.3.3 Análise por difratometria de raios X- DRX

A análise por difratometria de raios X-DRX foi realizada em parceria com o laboratório da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, da cidade de Criciúma, SC. O ensaio tem o objetivo de verificar as fases cristalinas nas amostras. A técnica é amplamente utilizada para determinação de fases cristalinas em materiais obtendo-se informações sobre sua estrutura.

Para o ensaio foi utilizado o difratômetro Shimadzu XRD 6000, com uma radiação Cu K $\alpha$  ( $\lambda=1.5418$  Å), à potência de 40 kV e 30 mA, com intervalo de leitura ( $2\theta$ ) entre 10° e 80° e passo de 2°/min. permite a identificação de fases no material.

#### **5.3.4 Análise térmica por calorimetria exploratório diferencial – DSC e Análise termogravimétrica -TG**

Os ensaios DSC e TG foram efetuados em parceria com o laboratório da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, da cidade de Criciúma, SC.

Na análise térmica por calorimetria exploratório diferencial – DSC, as amostras foram submetidas a um gradiente de temperatura onde mediu-se a diferença de energia (entalpia) das amostras em relação a um material de referência.

O ensaio de análise termogravimétrica foi necessário a fim de acompanhar a variação de ganho ou perda de massa em função da temperatura. O procedimento consiste basicamente em uma termobalança onde foram colocadas as amostras permitindo sua pesagem contínua em função da temperatura a qual foram submetidas.

### **5.4 ENSAIOS TOXICOLÓGICOS**

#### **5.4.1 Testes com modelos animais**

##### **5.4.1.1 Ensaio com *Artemia sp.***

Os ensaios de toxicidade com *Artemia sp* apresentados foram realizados de acordo com Netto et al. (2013) onde os cistos de *Artemia sp.* foram incubados em meio salino preparado com sal marinho sintético (30 g/L). Os indivíduos jovens (n=10) foram colocados em placas de múltiplos poços com 2mL do lixiviado nas concentrações (0%, 25%, 50%, 75% e 100%), repetidos quatro vezes e analisados após 24 horas de exposição comparando o número de organismos mortos com o meio controle (0%).

Figura 8 - Ensaio com *Artemia* sp

Fonte: Da Autora, 2021.

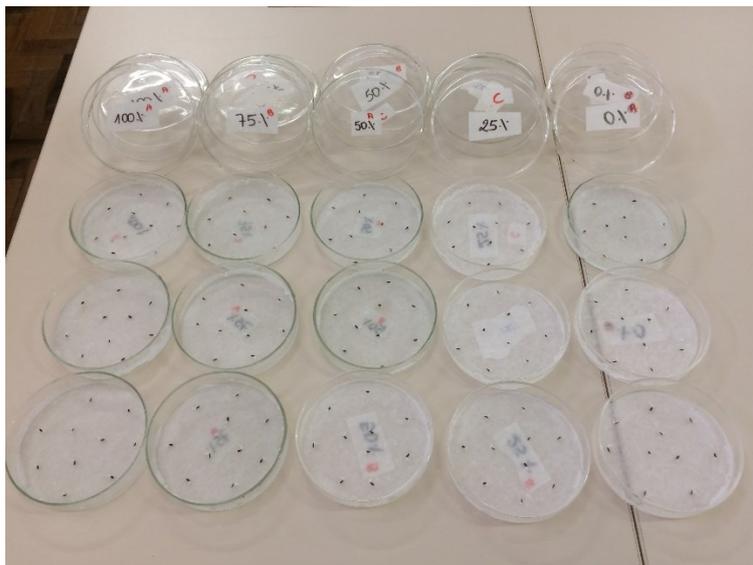
#### 5.4.2 Testes em modelos vegetais

Os ensaios toxicológicos foram elaborados com amostras de *Allium Cepa* e sementes de *Lactuca Sativa*, onde foi destacada a capacidade destes organismos-testes em produzirem respostas biológicas adequadas aos experimentos.

##### 5.4.2.1 Teste subagudo de germinação de sementes de *Lactuca sativa*

Foram realizados ensaios com sementes de *L. Sativa* obtidas comercialmente e seguiram os padrões de Bortolotto et al. (2017) onde foi analisada a germinação nas sementes (n=10). As sementes foram dispostas em papel embebido em 2mL de lixiviado em placa de Petri (90 mm) à temperatura 22°C em ambiente escuro, conforme Figura 9. Os lixiviados foram diluídos nas concentrações 0%, 25%, 50%, 75% e 100% em água mineral obtida de forma comercial. Foram realizadas três repetições para cada concentração e pós 72 h de exposição identificados o crescimento das plântulas e o percentual de sementes germinadas e comparados ao grupo de controle (0%)

Figura 9 - Ensaio com amostras de *Lactuca sativa*..



Fonte: Da Autora, 2021.

#### 5.4.2.2 *Ensaio toxicológico subagudo em Allium cepa*

As amostras de *A. Cepa* foram obtidas comercialmente e expostas em tubos cônicos à temperatura ambiente (n=6) com 50 ml do lixiviado nas concentrações 0, 25, 50, 75 e 100% diluído em água mineral natural, obtida também de forma comercial, conforme

Figura 10. As amostras permaneceram por 07 (sete) dias em local escuro, mantendo constantemente o bulbo em contato com o lixiviado, sendo que para garantir este contato durante o período, as amostras do lixiviado foram renovadas diariamente.

No ensaio, observou-se a inibição do crescimento radicular nas amostras de *A. Cepa*, indicando a toxicidade subaguda do lixiviado sobre os organismos-testes, que foi calculada e expressa em percentagem, mensurando ao final do período o comprimento da maior raiz de cada bulbo e a concentração média efetiva (EC50) a qual foi determinada por regressão sigmoidal não linear, através do modelo matemático de Boltzman (BORTOLOTTO et al.,2009).

Figura 10 - Ensaio com amostras de *Allium cepa*.



Fonte: Da Autora, 2021.

### 5.4.3 Ensaio com microorganismos

#### 5.4.3.1 Método de difusão em ágar

Foram avaliadas a sensibilidade bacteriana de cepas de bactérias *Staphylococcus aureus* *Escherichia coli*, gam positivas e gram negativas. No ensaio foram utilizados 100  $\mu$ L de amostra de lixiviado bruto 100% por meio de difusão em meio ágar. A cultura padrão *Plate Count Agar* (PCA) foi disposta em uma placa Petri contendo a amostra da cepa em estudo em conjunto com o grupo controle H<sub>2</sub>O. As amostras foram introduzidas no meio através de um orifício de 10 mm e incubadas a 37°C por 18h.

Após, foram medidas as bordas dos orifícios com o auxílio de um paquímetro avaliadas a existência de halos de crescimento, os quais podem indicar a inibição ao crescimento causado pelo contato com a substância teste (BORTOLOTTO et al., 2017).

#### 5.4.4 Teste de citotoxicidade *in vitro* – MTT

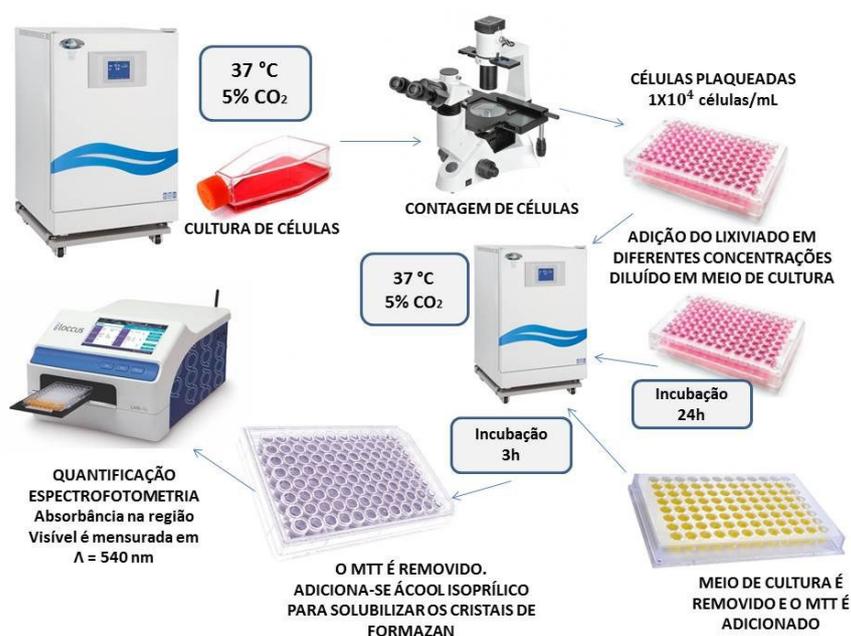
Foram realizados ensaios para avaliação de citotoxicidade com células de fibroblastos linhagem NHI3T3 cultivadas com DMEM completo (*Dulbecco's Modified Eagle Medium*) contendo 10% de soro fetal bovino e 1% do antibiótico penicilina e estreptomicina (10 U.L/mL) e suplementado com bicarbonato de sódio (3,7 g/L).

As células foram incubadas com atmosfera de 5% de CO<sub>2</sub> a temperatura de 37°C mantidas em garrafas de plástico de 25 cm para o seu cultivo (DANIELSEN et al., 2009)

A avaliação da citotoxicidade foi feita pelo ensaio MTT utilizando o método colorimétrico com o reagente MTT [(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-1,3-diphenylformazan]. O ensaio determinou a viabilidade celular por meio da atividade mitocondrial que foi quantificada pela redução do MTT (um sal de coloração amarela e solúvel em água) em formazan (um sal de coloração roxa e insolúvel em água), onde esta redução é diretamente proporcional à atividade mitocondrial e viabilidade celular.

A leitura foi feita através de espectrofotometria com comprimento de onda 540 nm (MOSMANN, 1983). A Figura 11 mostra o fluxograma do ensaio.

Figura 11- Fluxograma do ensaio de citotoxicidade com MTT



Fonte: Scussel (2020)

## 5.5 ENSAIOS GENOTOXICOLÓGICOS

### 5.5.1 Análise de quebra de DNA plasmidial

A potencial capacidade dos lixiviados em danificar o material genético foi analisada através da análise de quebra de DNA plasmidial, a qual foi realizada de acordo com (NETTO et al.,2013). As células de *Escherichia coli* DH5alpha foram transformadas com pBSK II. A noite uma colônia da bactéria foi incubada em 5mL de LB suplementado com 0,1 mg/mL de ampicilina à 37 °C com forte agitação. Inoculou-se 1 mL em 300 mL de LB suplementado com 0,1 mg/mL de ampicilina para a manutenção do plamídeo e manteve-se incubado por 8 h à 37 °C com agitação.

O DNA plasmidial foi purificado a partir destas culturas com a utilização do Kit de purificação Qiagen Plasmid Maxi Prep Kit®. Através da espectrofotometria com range de absorvância entre 260 nm e 280 nm fez-se a sua quantificação. Utilizou-se 400 a 600 ng do DNA plasmidial superenrolado incubado com o lixiviado nas concentrações 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, em pH 7,5 em 25 mM de tampão HEPES ((N- [2-hidroxietil] piperazina-N '- [ácido 2-etanossulfônico]) SIGMA®) para a avaliação da clivagem do DNA. Como controle negativo (0%) foi aplicado água molecular (ultrapura e estéril) e o controle positivo foi enzima Eco R1. Todas as incubações foram realizadas em triplicatas com a mesma quantidade de DNA a 37 °C por 12 h, e após esse período adicionado corante de carga para revelação. Amostras foram submetidas à eletroforese em gel de agarose (0,8%), escaneadas e analisadas por densitometria por meio do Software Lab-Works™ v4.0 (UVP, Inc.) para avaliar a cisão da fita de DNA, formação de DNA de forma circular aberta (FII) e DNA de forma linear (FIII) e assim determinar por cálculos a EC50. Os resultados foram expressos graficamente como uma porcentagem do DNA processado em comparação com os grupos controle (SILVA et al., 2012; NETTO et al.,2013).

## 5.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os ensaios toxicológicos tiveram seus resultados submetidos à análise de variância (ANOVA) não paramétrico, com testes post hoc realizados com o auxílio do

software GraphPad Prism 7.0 e aplicáveis a cada experimento com significância de  $p < 0,05$ , tendo seus resultados expressos em média  $\pm$  Desvio Padrão.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS

#### 6.1.1 Espectrometria de infravermelho com transformada de Fourier – FT-IR

Através dos comprimentos de ondas resultantes dos efeitos das radiações de infravermelho na análise FT-IR, foram caracterizados os principais grupos funcionais da casca de arroz e da cinza da casca de arroz. As

Figura 12 e Figura 13 mostram o espectro FT-IR para a casca de arroz e para a cinza da casca de arroz respectivamente.

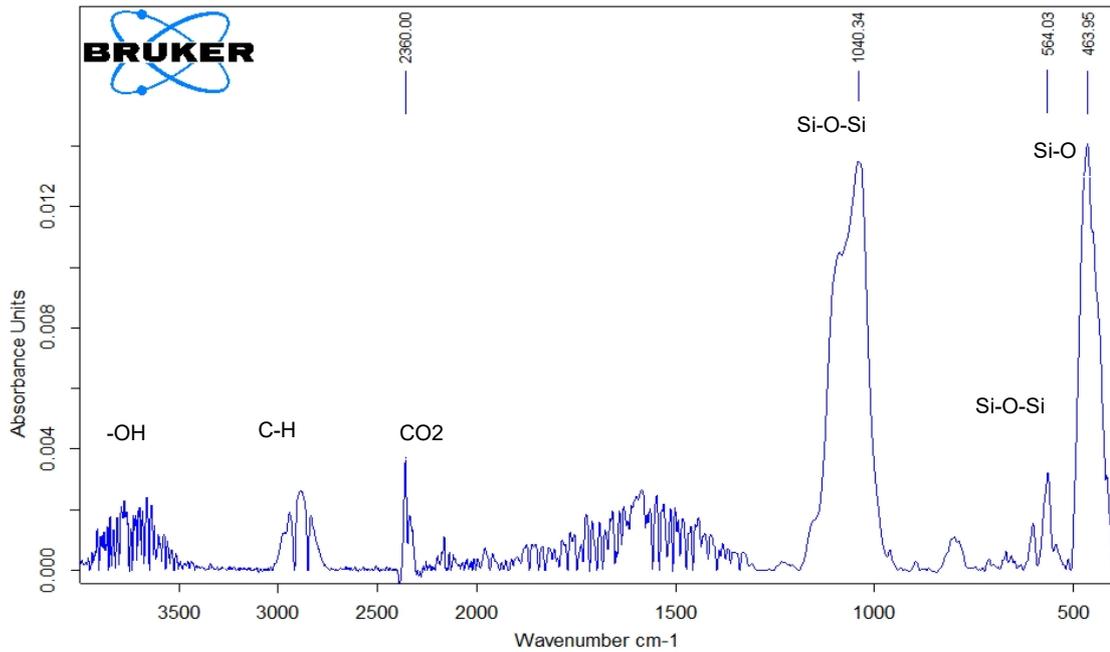
Na casca de arroz a principal banda de absorção identificada está na faixa de  $1040 \text{ cm}^{-1}$  sendo este pico característico de resíduo sílico carbonoso da função química Si-O (Almeida, 2010). De acordo com COLTHUP et al. (1990), devido ao estiramento de Si-O-Si, os silanos tem a característica de apresentarem pelo menos uma banda forte entre  $1130\text{-}1000 \text{ cm}^{-1}$ . O espectro apresenta outra banda bem definida a  $463 \text{ cm}^{-1}$  resultante de vibrações angulares de deformações de Si-O-Si (grupo siloxanos) (FERREIRA, 2005; PRASETYOKO et al., 2006; CHAVES et al., 2009; AKHTAR et al., 2009). Observa-se um pico de vibração na região de  $2360 \text{ cm}^{-1}$  característico de  $\text{CO}_2$  presente no ambiente (MORRISON; BOYD, 2011) e outro pico próximo de  $3000 \text{ cm}^{-1}$  com banda larga e de baixa intensidade, indicando os estiramentos C-H dos grupos metil e deformações  $\text{CH}_2$  ou  $\text{CH}_3$  presentes na lignina. (DINIZ 2005; AKHTAR et al., 2009). A banda na faixa de aproximadamente  $3500 \text{ cm}^{-1}$  é indicativa de estiramentos de ligações –OH devido à presença de água adsorvida no sólido e ainda à presença de grupos silanóis Si-OH (NAKBANPOTE et al., 2007).

Nas cinzas da casca de arroz, foi possível observar através do espectro a forte presença de sílica. Os resultados apresentaram banda típicas de sílica na região de  $1069 \text{ a } 790 \text{ cm}^{-1}$  devido ao estiramento de Si-O-Si (ANGEL et al., 2009). Outra banda observada foi na região de  $464 \text{ cm}^{-1}$ , que conforme Zhang e Ye (2012), resultam de dobramentos das ligações Si-O formadas na sílica tetraédrica.

Diferente da casca de arroz, o espectro das cinzas não apresentou bandas atenuadas e intensas nas regiões de  $3000\text{ cm}^{-1}$  o que indica a degradação parcial da lignina presente na casca após a sua queima.

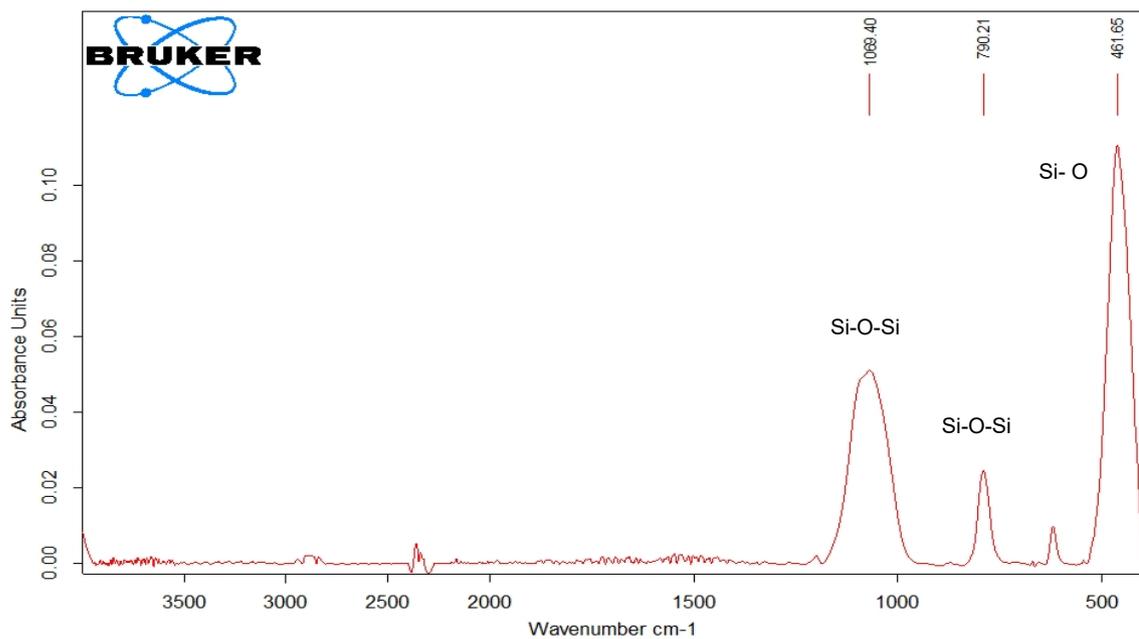
A Tabela 2 apresenta as principais bandas detectadas nos espectros FT-IR para as amostras de casca de arroz e de cinzas de casca de arroz e seus significados.

Figura 12 – Espectro FT-IR para as cascas de arroz



Fonte: Da autora, 2021.

Figura 13– Espectro FT-IR para as cinzas de cascas de arroz



Fonte: Da autora, 2021.

Tabela 2 – Principais bandas observadas nos resultados de FT-IR para as cascas de arroz e cinzas de casca de arroz

Número de onda (cm <sup>-1</sup> )		Significado da banda	Referência
CCA	CA		
	3500	Característico de estiramento do grupo -OH.	Nakbanpote et al, 2007
	3000 a 2800	Estiramentos C-H dos grupos metil e deformações CH <sub>2</sub> ou CH <sub>3</sub> presentes na lignina.	Diniz 2005; Akhtar et al., 2009
	2360	Presença de CO <sub>2</sub>	Morrison e Boyd, (2011)
1069	1040	Vibrações assimétricas de estiramento Si-O-Si	Angel et al., 2009 Almeida, 2010
790		Estiramento simétrico de ligações Si-O-Si. Esta banda define diferentes tipos de sílica.	Angel et al., 2009
461	463	Dobramento de ligações Si-O em SiO <sub>4</sub> . Pode ser atribuída às ligações Si-O-Si.	Zhang e Ye (2012) Danner et al. (2018) Ferreira, 2005; Prasetyoko et al., 2006; Chaves et al., 2009; Akhtar et al., 2009

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

### 6.1.2 Análise de elementos por espectrometria de fluorescência - FRX

No resultado da análise química por FRX apresentada na Tabela 3 percebe-se a presença majoritária de SiO<sub>2</sub> e a presença de outros elementos em pequena quantidade < 1%. Este resultado corrobora com o que foi apresentado anteriormente nos ensaios FT-IR, onde identificou-se bandas típicas do elemento tanto na casca de arroz como nas cinzas de cascas de arroz. Tal resultado, corrobora ainda com os apresentados nos estudos de Islabão (2013) e Brandalise (2018) onde obtiveram resultados semelhantes em seus ensaios.

Chama a atenção a perda ao fogo em percentual de 20,4 % nas cinzas de casca de arroz, o que pode indicar a presença de material orgânico e ou voláteis. A grande porcentagem de SiO<sub>2</sub> e a baixa concentração de elementos que seriam potencialmente tóxicos dão o indicativo de que as cinzas de casca de arroz não possuem um possível efeito danoso ao meio ambiente.

Tabela 3 – Caracterização química das cascas de arroz e das cinzas de cascas de arroz.

	<b>Casca de Arroz</b>	<b>Cinzas de Casca de Arroz</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<0,05%	0,069 %
<b>CaO</b>	0,129%	0,554%
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<0,05%	0,063%
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,086%	0,721%
<b>MgO</b>	<0,05%	0,246%
<b>MnO</b>	<0,05%	0,107%
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<0,05%	<0,05%
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,113%	0,584%
<b>SiO<sub>2</sub></b>	17,12%	77,82%
<b>TiO<sub>2</sub></b>	<0,05%	<0,05%
<b>Perda ao Fogo</b>	82,45%	20,44%

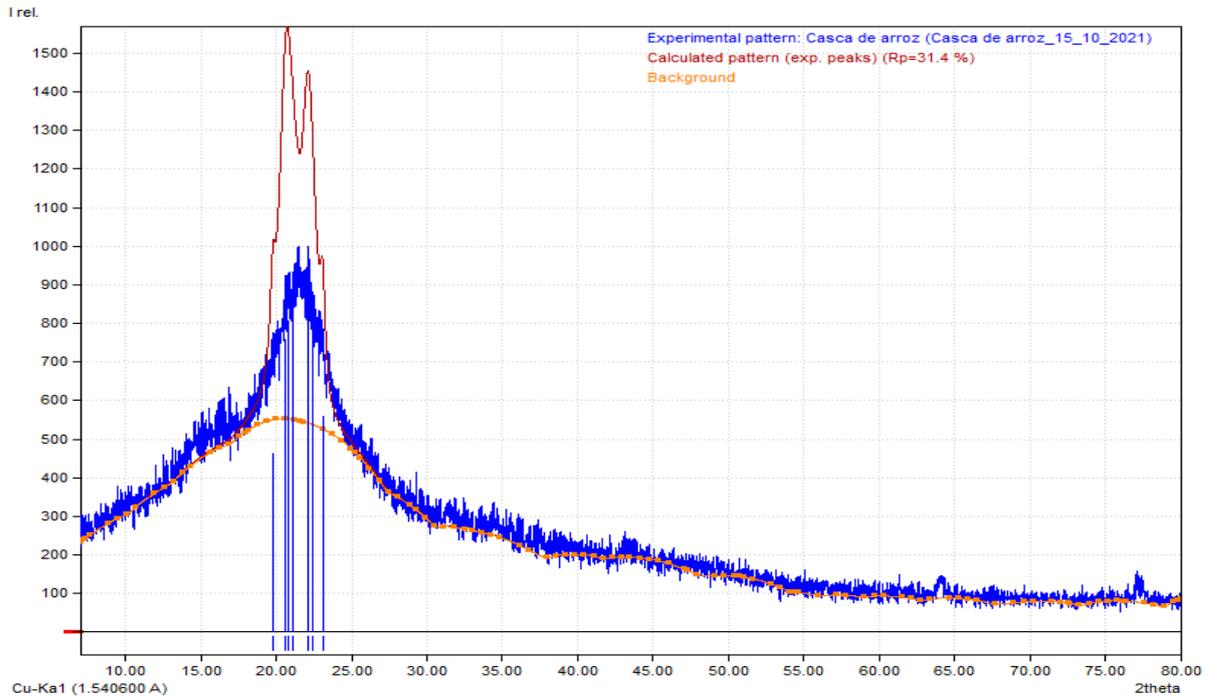
Fonte: da Autora, 2021.

### 6.1.3 Análise por difratometria de raios X- DRX

Os resultados obtidos através da análise por DRX apresentados na Figura 14 e na Figura 15 , mostram um padrão de material de estrutura cristalina com o maior pico definido no espectro entre os ângulos de 21° e 25° tanto para as cascas quanto para as cinzas de casca de arroz. A estrutura evidencia a presença de sílica cristalina na forma de mistura de cristobalita e tridimita JCPDS 39-1425 e 42-1401 indicando silício nas cinzas de casca de arroz, corroborando com o encontrado no resultado da análise de fluorescência de raios – X apresentados na Tabela 3. O halo de amorfismo mostra uma cinza de caráter amorfo e seu pico, conforme Fernandes et al. (2017) podem estar atribuídos à remoção do carbono através da energia liberada no processo da combustão, bem como carbono residual,

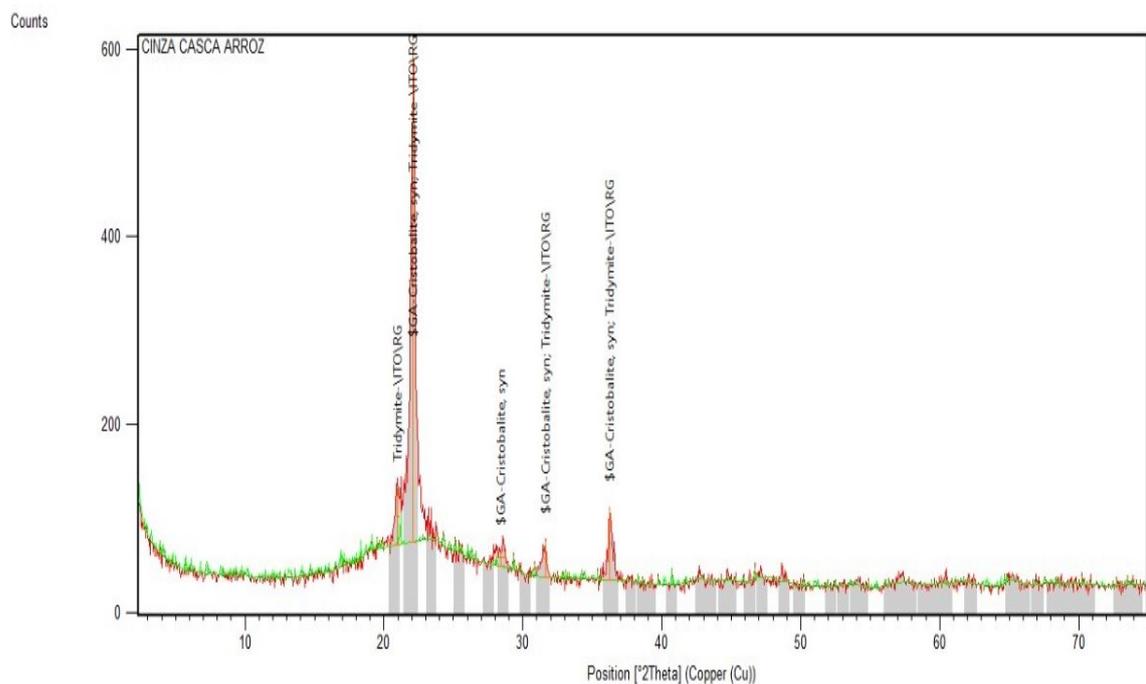
indicado pela perda ao fogo e pela perda de massa observada na análise termogravimétrica (semelhante a 10%).

Figura 14– Resultado da análise por difratometria de raios X das casca de arroz.



Fonte: da autora (2021).

Figura 15– Resultado da análise por difratometria de raios X das cinzas de casca de arroz.



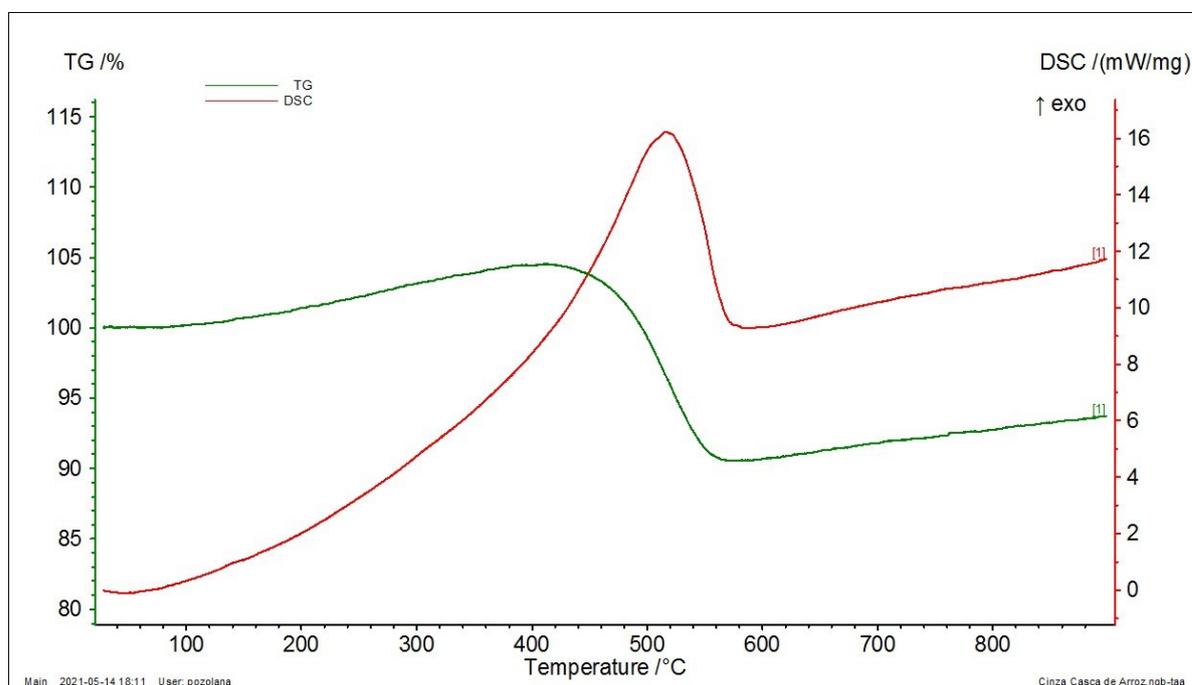
Fonte: da autora (2021).

### 6.1.4 Análise térmica por calorimetria exploratório diferencial – DSC e Análise termogravimétrica -TG

A Figura 16 apresenta os resultados da análise térmica obtida por DSC e TG com aquecimento das cascas de arroz na faixa de temperatura entre 60 e 900°C. Na curva de análise termogravimétrica foi possível constatar que entre aproximadamente 380 e 580°C houve uma perda de 12,4% de massa. De acordo com Della et al. (2001) tal processo decorre devido a combustão de carbono e pela liberação de substâncias voláteis presentes nas cinzas.

Percebe-se ainda, um pico exodérmico na temperatura de aproximadamente 500°C presente na curva DSC indicando um processo de oxidação onde há uma liberação de calor. O resultado corrobora com os estudos de Della et al. (2001), onde eles afirmam que o processo de combustão do carbono é característico deste, sendo ainda possível a combustão ou liberação de outros materiais voláteis.

Figura 16– Resultado da análise DSC e TG para as cascas de arroz.



Fonte: da autora (2021).

## 6.2 ENSAIOS TOXICOLÓGICOS

Para os ensaios toxicológicos foram utilizados lixiviados obtidos através da metodologia citada em 5.2-PRODUÇÃO DOS LIXIVIADOS DE CASCA DE ARROZ E DE CINZAS DE CASCA DE ARROZ. As amostras de cascas de arroz e de cinzas de cascas de arroz foram submetidas à extração de lixiviado de acordo com a metodologia prescrita na NBR 10005:2004 “Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos” com as adaptações específicas feitas por SHIAU et al. (2000).

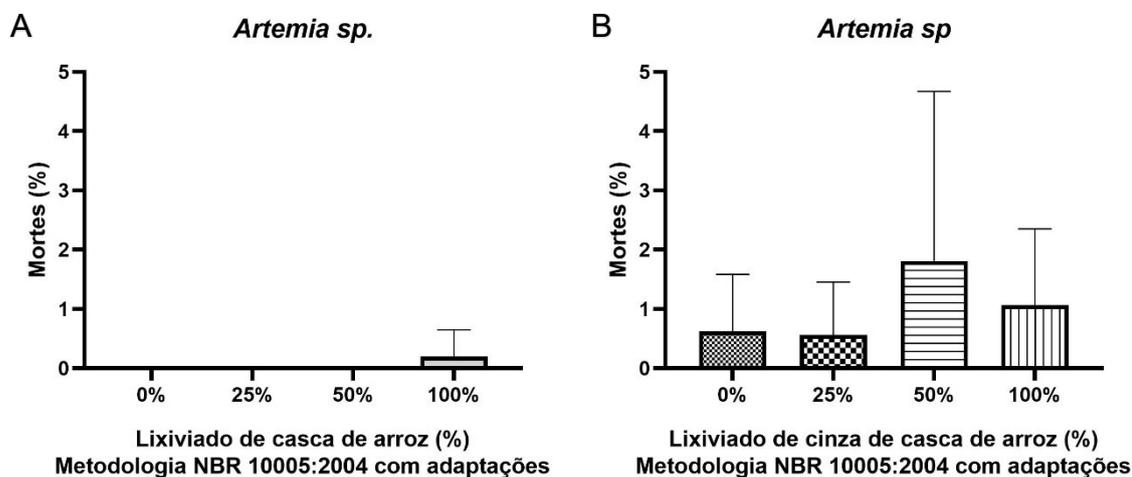
### 6.2.1 Testes com modelos animais

#### 6.2.1.1 *Ensaio com Artemia sp*

Nos ensaios de toxicidade com *Artemia sp* a observação ocorreu 24 horas após a exposição dos grupos aos lixiviados obtidos através da metodologia descrita no item 5.2, efetuando-se a contagem dos indivíduos mortos e expressos em percentagem conforme ilustrado na Figura 17.

Apesar da amostra com concentração de 50% do lixiviado resultar em um maior número de indivíduos mortos, ela não mostrou efeitos toxicológicos significativos, pois através da análise de variância (ANOVA) pode-se verificar que não houve diferença significativa em relação ao grupo controle (0%), onde  $p < 0,05$  para todas as amostras.

Figura 17 – Resultados dos ensaios com amostras de *Artemia sp* expostas aos lixiviados de cinzas de casca de arroz e de casca de arroz obtidos pela metodologia prescrita na NBR 10005:2004 e pela metodologia adaptada por Shiau et al. (2000).



As barras indicam a média  $\pm$  DP dos experimentos (ntotal = 60) em termos de comprimento para as amostras submetidas ao lixiviado obtido pelo método da NBR 10005:2004 com a adaptação de Shiau et al. (2000) com casca de arroz (A), com cinzas de casca de arroz (B).

Fonte: da autora (2021).

## 6.2.2 Testes em modelos vegetais

### 6.2.2.1 Teste subagudo de germinação de sementes de *Lactuca sativa*

As amostras de *Lactuca sativa* submetidas ao ensaio foram analisadas após 72 horas de exposição aos lixiviados obtidos e tiveram mensurados os seus comprimentos após germinação. Os resultados são apresentados na

Figura 18.

As cinzas de casca de arroz submetidas aos lixiviados obtidos pelo método descrito pela NBR 10005:2004, com as adaptações de Shiau et al. (2000), não apresentaram uma redução significativa no seu comprimento médio total (hipocótilo e radícula) após a germinação das sementes. Assim como em Brandalise (2018), os resultados apresentados indicam a inexistência de bioindicadores passíveis de inibição na germinação das sementes e do crescimento radicular de uma forma geral.

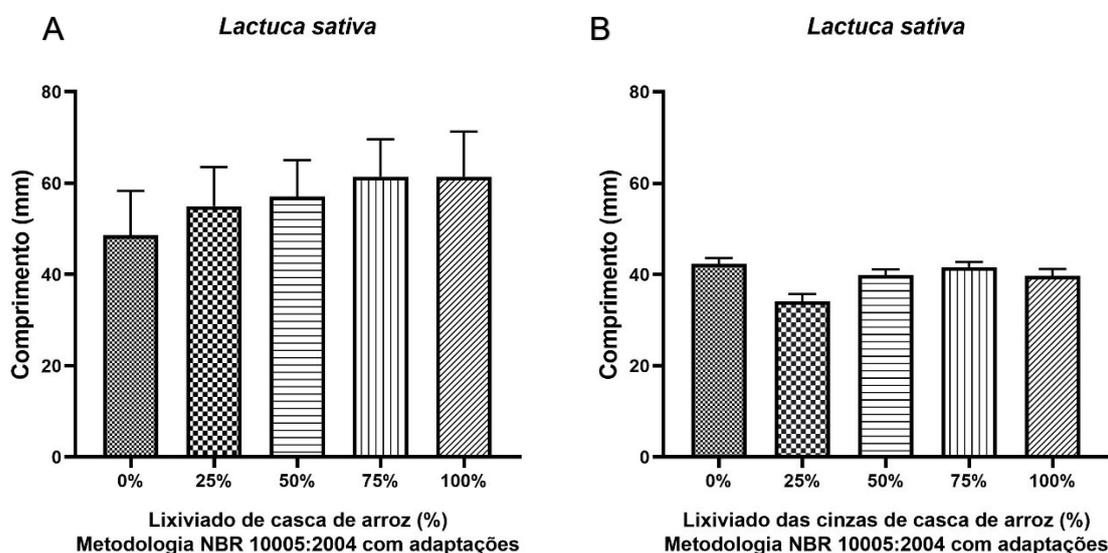
No caso da casca de arroz, o resultado se repete onde as amostras dos lixiviados não promoveram modificações significativas de tamanho quando comparadas ao grupo controle (0%).

### 6.2.2.2 Ensaio toxicológico subagudo em *Allium cepa*

Ao final do ensaio com amostras de *Allium cepa*, foram mensurados o maior comprimento da raiz de cada bulbo e a concentração média efetiva para as amostras expostas aos lixiviados obtidos através da metodologia com as adaptações feitas por Shiau et al. (2000) descrita no item 5.2. Estes resultados encontram-se apresentados na Resultados semelhantes foram apresentados nos estudos de Brandalise (2018) com lixiviados de cinzas de casca de arroz, e também em outros estudos envolvendo lixiviados de cinzas pesadas de madeira não tratada (SCUSSEL, 2020).

Figura 19.

Figura 18 - Resultados dos ensaios com amostras de *Lactuca sativa* expostas aos lixiviados de cinzas de casca de arroz e de casca de arroz obtidos pela metodologia prescrita na NBR 10005:2004 e pela metodologia adaptada por Shiau et al. (2000).



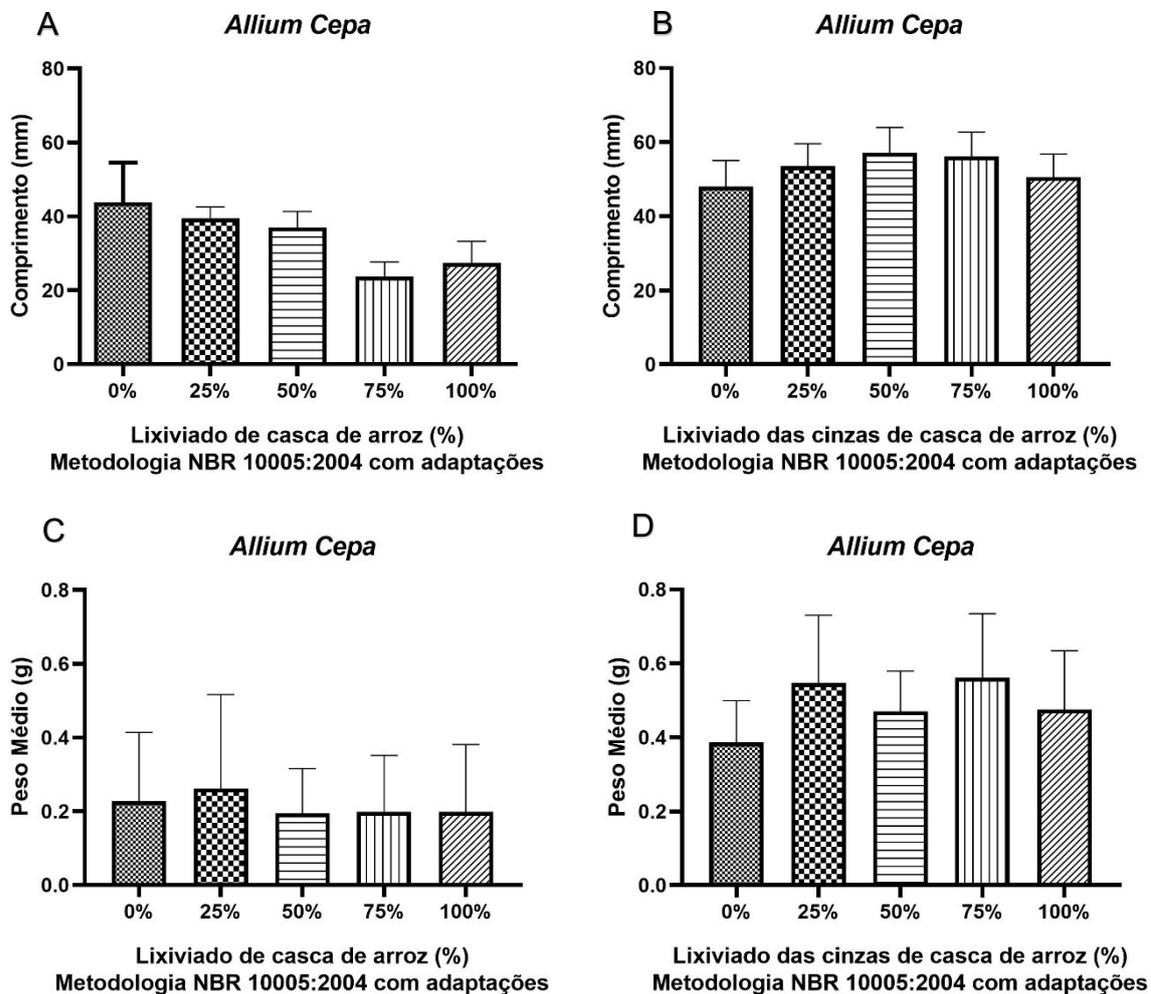
As barras indicam a média  $\pm$  DP dos experimentos (ntotal = 60) em termos de comprimento para as amostras submetidas ao lixiviado obtido pelo método da NBR 10005:2004 com a adaptação de Shiau et al. (2000) com casca de arroz (A), com cinzas de casca de arroz (B).

Fonte: da autora (2021).

Os grupos de concentrações 25, 50, 75 e 100% dos lixiviados foram comparados ao grupo controle (0%) e de acordo com a análise de variância (ANOVA) não houve variação de  $p > 0,05$  em nenhum dos resultados. Os resultados tanto para

a casca de arroz como para as cinzas da casca de arroz não mostraram evidências de toxicidade do lixiviado sobre os organismos-testes. Resultados semelhantes foram apresentados nos estudos de Brandalise (2018) com lixiviados de cinzas de casca de arroz, e também em outros estudos envolvendo lixiviados de cinzas pesadas de madeira não tratada (SCUSSEL, 2020).

Figura 19 – Resultados dos ensaios com amostras de *Allium cepa* expostas aos lixiviados de cinzas de casca de arroz e de casca de arroz obtidos pela metodologia adaptada por Shiau et al. (2000).



As barras indicam a média  $\pm$  DP dos experimentos (ntotal = 15) em termos de comprimento radicular para exposição em lixiviado de casca de arroz (A), em lixiviado de cinzas de casca de arroz (B), e em termos de peso médio radicular para exposição em lixiviado de casca de arroz (C), em lixiviado de cinzas de casca de arroz (D).

Fonte: da autora (2021).

## 6.2.3 Ensaio com microorganismos

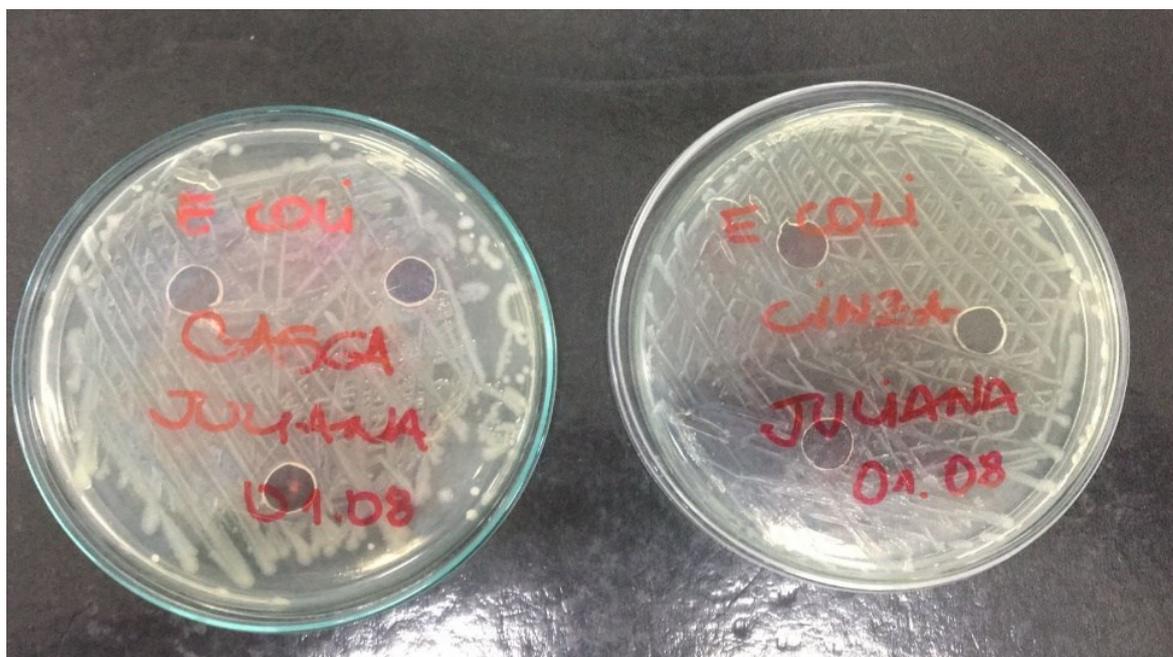
### 6.2.3.1 Método de difusão em ágar

Os resultados com amostras de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*, gram positiva e gram negativa não apresentaram sensibilidade à exposição aos lixiviados. A leitura visual dos resultados, como é ilustrado na

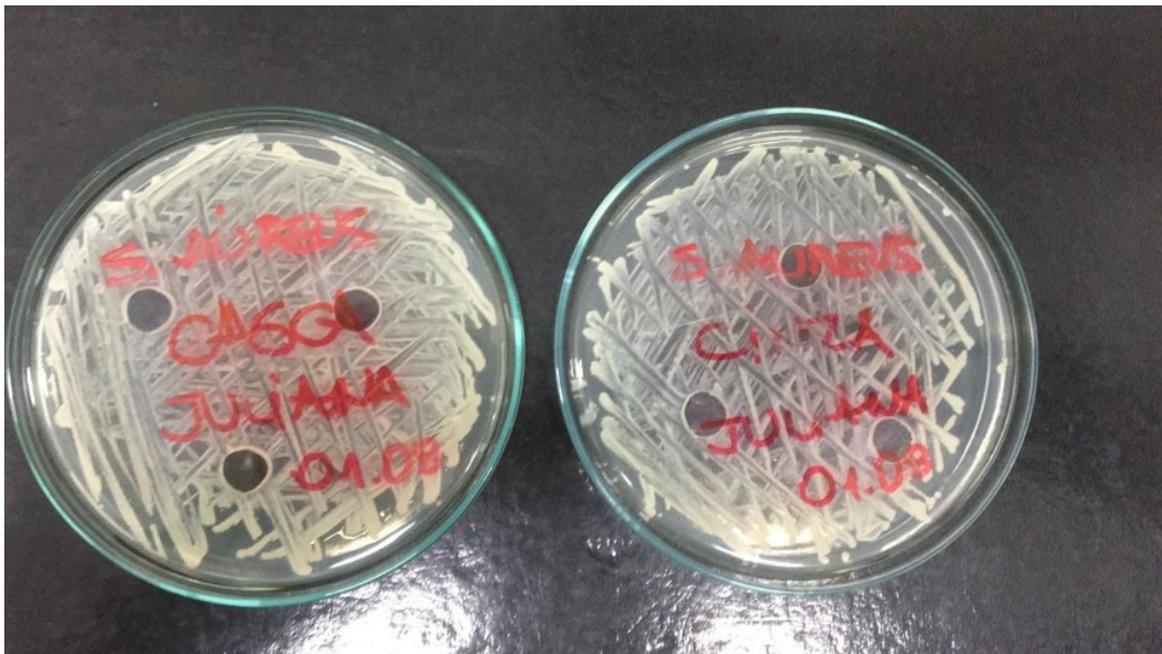
Figura 20, não mostraram atividade bacteriana para as concentrações testadas em nenhuma das cepas. Portanto, o resultado encontrado sugere que tanto nas cascas de arroz como nas cinzas de cascas de arroz não há atividade bacteriana frente às cepas testadas por não apresentaram halos de inibição de crescimento microbiano, sendo um forte indicativo de inexistência de toxicidade para amostras.

Figura 20 – Resultados do ensaio com bactérias *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*, gram positiva e gram negativa pelo método de difusão em ágar

A



B



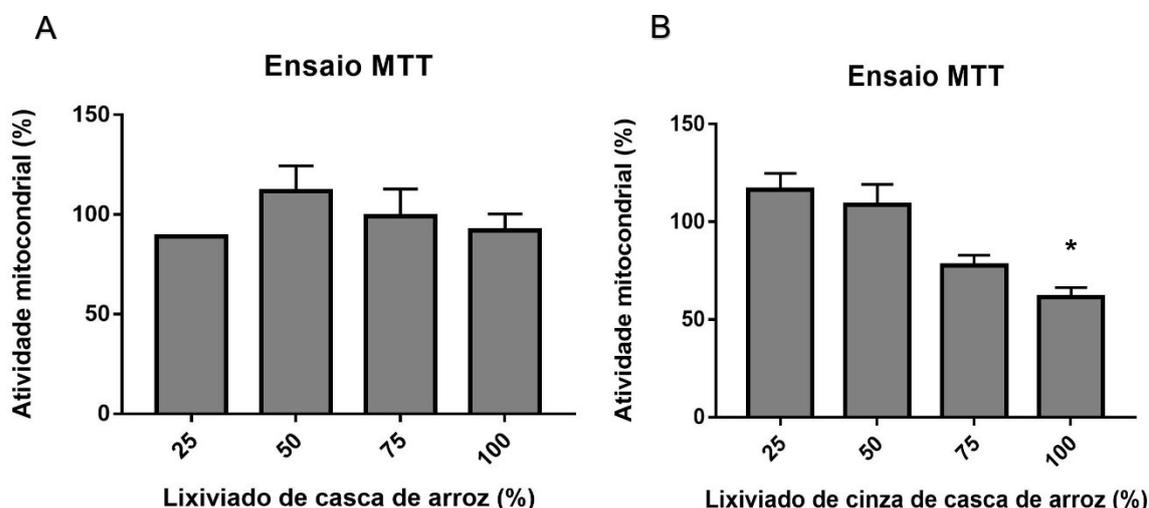
A) Cultura de *Escherichia coli*  $1 \times 10^8$  UFC/mL em meio de cultura padrão Plat Count Agar – PCA.  
B) Cultura de *Staphylococcus aureus*  $1 \times 10^8$  UFC/mL em meio de cultura padrão Plat Count Agar – PCA.  
Fonte: da autora (2021).

#### 6.2.4 Teste de citotoxicidade in vitro – MTT

A avaliação da viabilidade celular foi feita pelo ensaio MTT utilizando o método colorimétrico com o reagente MTT [(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-1,3-diphenylformazan]. O ensaio determinou a viabilidade celular por meio da atividade mitocondrial que foi quantificada pela redução do MTT (um sal de coloração amarela e solúvel em água) em formazan (um sal de coloração roxa e insolúvel em água), onde esta redução é diretamente proporcional à atividade mitocondrial e viabilidade celular.

Os resultados tomando-se o controle como 100% de sobrevivência, mostraram que não houve redução significativa da atividade mitocondrial nas células incubadas com as amostras dos lixiviados das cascas de arroz quando comparadas ao grupo controle. No entanto, as células incubadas com amostras dos lixiviados de cinzas de casca de arroz indicaram que a viabilidade celular diminuiu significativamente na concentração 100% do lixiviado quando comparadas ao controle, conforme mostra a Figura 21.

Figura 21 – Resultados do teste de citotoxicidade in vitro para as cascas de arroz e para as cinzas de casca de arroz. Deve ser observado que a medida controle é de 100% de sobrevivência não indicada no gráfico.



As barras indicam a média  $\pm$  DP dos experimentos (ntotal = 24) em termos de atividade mitocondrial para exposição em lixiviado de casca de arroz (A), em lixiviado de cinzas de casca de arroz (B).  
Fonte: da autora (2021).

Muitos estudos envolvendo células de fibroblastos alertam sobre os efeitos oxidativos advindos da exposição destas células aos óxidos metálicos (NOGUEIRA, 2012; QUEIRÓZ, 2011) e também sobre a dificuldade de regeneração de tecidos conjuntivos (BALBINO et al., 2005). Desta forma, pode-se relacionar a redução da atividade mitocondrial das células expostas ao lixiviado das cinzas de casca de arroz na concentração 100% com o alto índice de óxidos metálicos resultantes após a queima da casca de arroz que são apresentados no item 6.1.2. Pode-se também, relacionar tal resultado com o das avaliações feitas em modelos vegetais, animais e microbiológicos, sugerindo a inexistência de toxicidade por não haver a presença de tecidos conjuntivos.

## 6.3 ENSAIOS GENOTOXICOLÓGICOS

### 6.3.1 Análise de quebra de DNA plasmidial

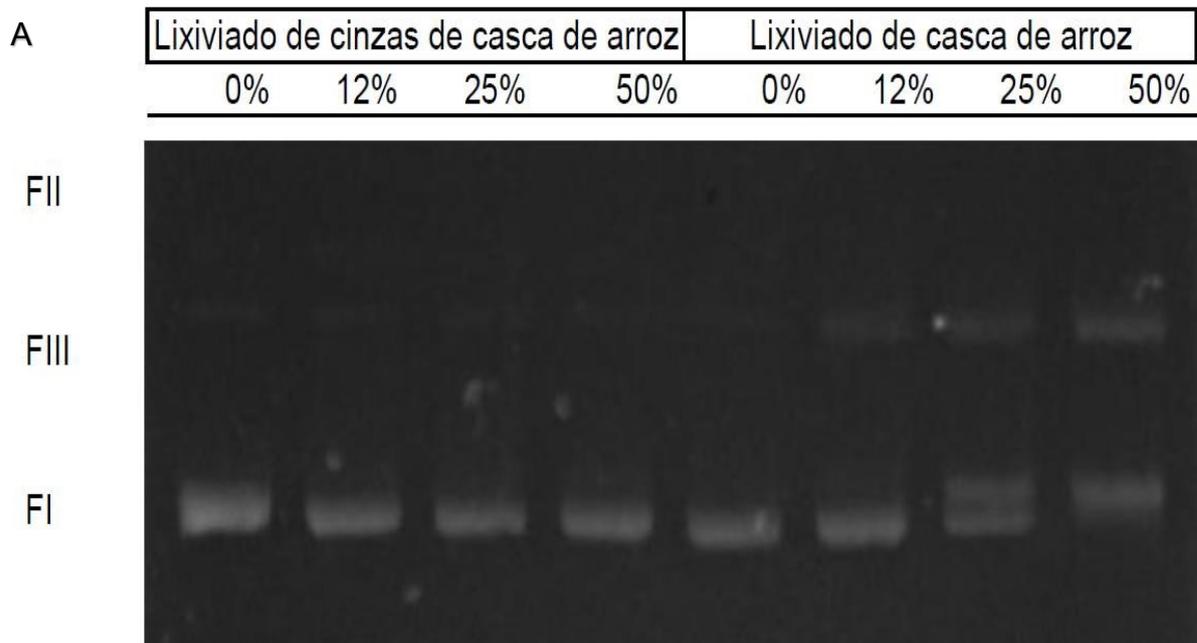
Na análise de quebra do DNA plasmidial, foram avaliadas as fotos escaneadas após a eletroforese e observadas as quebras induzidas de DNA quando

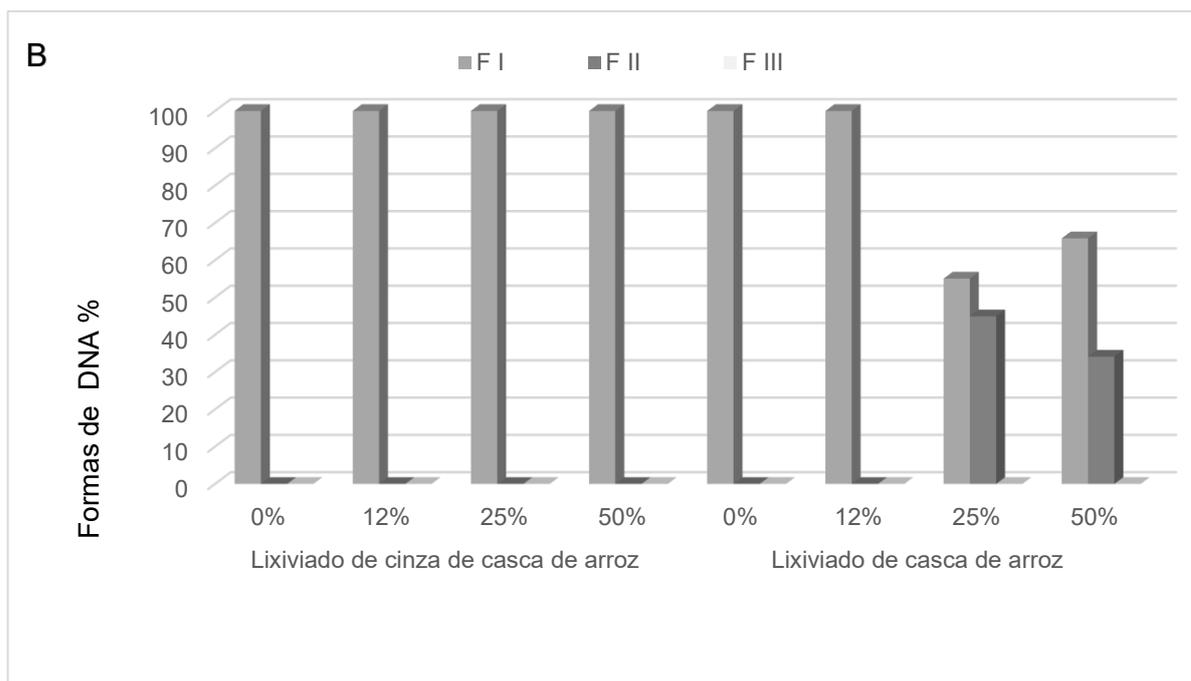
expostos as concentrações de lixiviados de cinzas de casca de arroz e de lixiviados de casca de arroz.

De acordo com os resultados apresentados na

Figura 22, percebe-se que as amostras expostas ao lixiviado de cinzas de casca de arroz não apresentaram quebras induzidas no DNA, indicando a inexistência de níveis tóxicos importantes nestas concentrações. Entretanto, nas amostras expostas ao lixiviado de casca de arroz em concentrações 25 e 50% determinaram a existência de quebra de DNA sugerindo a existência de algum composto orgânico ou inorgânico que possivelmente é eliminado durante a combustão das cascas do arroz.

Figura 22 - Mobilidade eletroforética (a) e Percentual de formas (b) do DNA plasmidial exposto aos lixiviados de cinzas de casca de arroz e ao lixiviado de casca de arroz.





A figura A mostra a quebra induzida da fita de DNA plasmidial por meio de mobilidade eletroforética.

Na figura B, as barras indicam o índice de dano em relação à forma do DNA após a quebra.

Fonte: da autora (2020).

## 7 CONCLUSÕES

A partir dos objetivos propostos e dos resultados obtidos nas investigações realizadas nesta pesquisa, é possível concluir que as os lixiviados de cascas e cinzas cinzas de casca de arroz provenientes da queima para a geração de energia não apresentam potencial ecotóxico e genotóxico quando testadas em todos os modelos propostos com exceção do teste MTT que apresentou toxicidade na concentração de 100% apenas para os lixiviados das cinzas de casca de arroz. Os resultados sugerem, que os lixiviados em questão não apresentam em sua composição elementos bioativos com propriedades potencialmente tóxicas ao meio, desta forma, estão as cinzas de casca de arroz, aptas a serem utilizadas como adubos, estabilizadores de solo, biofertilizantes, biosorventes, assim como em composições para materiais de construção e entre outros fins.

## 8 REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR 10005:2004**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 16 p.

AKHTAR, M. et al. An economically viable method for the removal of selected divalent metal ions from aqueous solutions using activated rice husk. **Colloids and Surfaces: Biointerfaces**, v. 75, p. 149-155, 2010.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22nd ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA, 2012.

ANEEL AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Informações gerenciais**. 2018. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 01 jun. 2019.

ANGEL, J. D. M. et al. Characterization of ash from combustion of rice husk in a fluidized bed reactor. **Química Nova**, v. 32, n. 5, p. 1110–1114, 2009.

BAIOCCHI, Marise Leão Marques. **Aproveitamento de subproduto do beneficiamento de arroz: desenvolvimento de farinha modificada como alternativa para a indústria de panificação**. 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

BALBINO, Carlos Aberto et al. Mecanismos envolvidos na cicatrização: uma revisão. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, SP, v. 41, n. 1, p. 27-51, mar. 2005.

BORTOLOTTO, Tiago et al. Evaluation of the toxic and genotoxic potential of landfill leachates using bioassays. **Environmental Toxicology And Pharmacology**, [S.l.], v. 28, n. 2, p. 288-293, set. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.etap.2009.05.007>.

BORTOLOTTO, Tiago et al. Evaluation of toxic and genotoxic potential of a wet gas scrubber effluent obtained from wooden-based biomass furnaces: a case study in the red ceramic industry in southern Brazil. **Ecotoxicology And Environmental Safety**, [S.l.], v. 143, p. 259-265, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.05.033>.

BRANDALISE, João Nelci. **Avaliação ecotoxicológica da cinza de casca de arroz**. 2018. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2018.

CARVALHO, Chrissie Ferreira de. **Programa de estimulação das funções executivas: contribuições para o desenvolvimento cognitivo de crianças em situação de vulnerabilidade expostas ao manganês**. 2017. 202 f. Tese (Doutorado) - Curso de Psicologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2017.

CHAVES, Thiago Faheina et al. Uso da cinza da casca do arroz (CCA) obtida da geração de energia térmica como adsorvente de Zn(II) em soluções aquosas. **Química Nova**, [S.l.], v. 32, n. 6, p. 1378-1383, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422009000600003>.

CLSI (CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE). *Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria that Grow Aerobically*. 11 th ed. Wayne, PA, USA: M07, 2018.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. MONITORAMENTO AGRÍCOLA: Safra 2018/2019. **Observatório Agrícola: Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, Brasília, v. 6, n. 8, p.1-132, maio 2019. Mensal.

COLTHUP, N.B. et al. **Introduction to Infrared and Raman Spectroscopy**. 3rd ed., Boston, MA: Academic Press, 1990.

DANIELSEN, P. H. et al. Oxidative damage to DNA and repair induced by Norwegian wood smoke particles in human A549 and THP-1 cell lines. *Mutation Research -Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, v. 674, n. 1–2, p. 116–122, 2009.

DANNER, Tobias et al. Characterisation of calcined raw clays suitable as supplementary cementitious materials. **Applied Clay Science**, [S.I.], v. 162, p. 391-402, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2018.06.030>.

DELLA, Viviana Possamai et al. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**, [S.I.], v. 24, n. 6, p. 778-782, maio 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422001000600013>.

DINIZ, Juraci. **Conversão térmica de casca de arroz à baixa temperatura: produção de bioóleo e resíduo sílico carbonoso adsorvente**. 2005. 185 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

EPAGRI. CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA Governo do Estado de Santa Catarina (org.). **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2020-2022**. 42. ed. Florianópolis: Epagri, 2022. (ISSN 1677-5953). Disponível em: [https://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_cepa/publicacoes/Sintese\\_2020\\_21.pdf](https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Sintese_2020_21.pdf). Acesso em: 01 agosto 2022.

FERNANDES, Iara J. et al. Physical, chemical and electric characterization of thermally treated rice husk ash and its potential application as ceramic raw material. **Advanced Powder Technology**, [S.I.], v. 28, n. 4, p. 1228-1236, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appt.2017.02.009>. FERREIRA, 2005;

FOLETTTO, Edson Luiz et al. Aplicabilidade das cinzas de casca de arroz. **Química Nova**, [São Paulo], v. 28, n. 6, p. 1055-1060, ago. 2005.

GARCIA, Alexander Patricio et al. Perfil do orizicultor do extremo sul catarinense: abrangência da região da associação dos municípios do extremo sul catarinense-amesc. In: MENEGHELLO, Geri Eduardo et al (org.). **Produção Técnico Científica em Sementes**. Pelotas: Santa Cruz, RS, 2015. Cap. 18. p. 387-414. (978-85-479-0038-0).

GOES, R. C. Toxicologia industrial: um guia prático para prevenção e primeiros socorros. [S.I.] Revinter, 1998.

GUPTA, P. General toxicology. In: *Illustrated Toxicology*. [S.l.] Elsevier, 2018. p. 1–65.

HODGSON, Ernest (ed.). **A textbook of modern toxicology**. 4. ed. North Carolina: John Wiley & Sons, Inc, 2010. 674 p. (9780470462065).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Ministério da Economia. **Censo Agro 2017**. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>. Acesso em: 12 fev. 2019.

ISLABÃO, Gláucia Oliveira. **Uso da cinza de casca de arroz como corretivo e condicionador do solo**. 2013. 84 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2013.

JIANG, Yue-Ming et al. Effective treatment of manganese-induced occupational parkinsonism with p-aminosalicylic acid: a case of 17-year follow-up study. **Journal Of Occupational And Environmental Medicine**, [S.l.], v. 48, n. 6, p. 644-649, jun. 2006. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <http://dx.doi.org/10.1097/01.jom.0000204114.01893.3e>.

KIELING, Amanda Gonçalves. **Influência da segregação no desempenho de cinzas de casca de arroz como pozolanas e material adsorvente**. 2009. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Ciência Exatas e Tecnológicas, Unisinos, São Leopoldo, RS, 2009.

KLAASSEN, Curtis D.; III, John B. Watkins. **Fundamentos em Toxicologia de Casaret e Doul**. 2. ed. Porto Alegre: Mc Graw Hill, 2012. 472 p. (ISBN 007 1). Tradução: Adelaide José Vaz; et.al.

LORENZETT, Daniel Benitti et al. Gestão de resíduos e a indústria de beneficiamento de arroz. **Revista Gestão Industrial**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 219-232, 9 maio 2012. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, (UTFPR). <http://dx.doi.org/10.3895/s1808-04482012000100011>.

LUDWIG, Rafael et al. Usina Termelétrica a Partir Da Casca De Arroz. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S.l.], v. 8, n. 7, p.

79-93, 10 nov. 2012. ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista. <http://dx.doi.org/10.17271/19800827872012331>.

MAGALHÃES JÚNIOR, Ariano Martins de et al (ed.). **Sistema de Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 270 p. (1676-7683).

MANZINI, Flávio Fernando et al. Metais pesados: fonte e ação toxicológica. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S.I.], v. 6, n. 12, p. 800-815, 10 nov. 2010. ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista. <http://dx.doi.org/10.17271/19800827612201026>.

MAYER, Flávio Dias et al. Gestão energética, econômica e ambiental do Resíduo Casca de Arroz em Pequenas e Médias Agroindústrias de Arroz. **XIII Simpep**, São Paulo, SP, v. 8, n. 8, p. 1-11, nov. 2006.

MOACIR, Domingos Sávio Eberhardt et al. Caracterização do sistema de cultivo, do ambiente e da planta de arroz. In: EBERHARDT, Domingos Sávio et al (org.). **Recomendações para a produção de arroz irrigado em Santa Catarina (Sistema pré-germinado)**. 3. ed. Florianópolis, SC: Epagri, 2015. Cap. 1. p. 9-15. (ISSN 1414-6118)

MORRISON, Robert Thornton; BOYD, Robert Neilson. **Química orgânica**. 16. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2011. 1510 p. ISBN 9789723105131

MOSMANN, Tim. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays. **Journal Of Immunological Methods**, [S.I.], v. 65, n. 1-2, p. 55-63, dez. 1983. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1759\(83\)90303-4](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1759(83)90303-4).

NAKBANPOTE, W. et al. Copper adsorption on rice husk derived materials studied by EPR and FTIR. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects**, v. 304, p. 7-13, 2007.

NETTO, E. et al. Evaluation of the toxic and genotoxic potential of acid mine drainage using physicochemical parameters and bioassays. **Environmental**

**Toxicology And Pharmacology**, [S.l.], v. 35, n. 3, p. 511-516, maio 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.etap.2013.02.007>.

NOGUEIRA, Carolina Maciel. Titanium dioxide induced inflammation in the small intestine. **World Journal Of Gastroenterology**, [S.l.], v. 18, n. 34, p. 4729, 2012. Baishideng Publishing Group Inc. <http://dx.doi.org/10.3748/wjg.v18.i34.4729>.

NUNES, Osmar Nunes et al. **O uso da casca de arroz como alternativa energética: um estudo de caso no município de Dom Pedrito - RS**. Informe GEPEC, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 42–62, 2018. DOI: 10.48075/igepec.v21i2.15315.

OGA, Seizi et al. **Fundamentos de Toxicologia**. 3. ed. São Paulo: Atheneu, 2008. 643 p. (978-85-745).

PRASETYOKO, Didik et al. Conversion of rice husk ash to zeolite beta. **Waste Management**, [S.l.], v. 26, n. 10, p. 1173-1179, jan. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2005.09.009>.

QUEIRÓZ, Jadna Dara Freires de. **Avaliação do estresse oxidativo induzido por superfícies de titânio**. 2011. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Bioquímica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2011.

RODRIGUES, Ana Carolina D. et al. Response Mechanisms of Plants to Heavy Metal Pollution: possibility of using macrophytes for remediation of contaminated aquatic environments. **Revista Virtual de Química**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 262-276, jan. 2016. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20160017>.

SCUSSEL, Rahisa. **Avaliação físico-química e toxicológica de lixiviado de cinzas pesadas provenientes da combustão de madeira tratada com arseniato de cobre cromatado tipo c**. 2020. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Energia e Sustentabilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, SC, 2020.

SHIAU, R. J. et al. Effects of steam explosion processing and organic acids on CCA removal from treated wood waste. **Wood Science and Technology**, v. 34, n. 5, p. 377–388, 2000.

SILVA, Everton Jose da. **Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil**. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, 2009

SORATTO, Rogério P. et al. Resposta de quatro cultivares de feijão ao manganês em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, RS, v. 2, n. 11, p. 235-240, maio 2005.

SOUZA, Eliziete Pereira de et al. Mecanismos de tolerância a estresses por metais pesados em plantas. **Revista Brasileira de Agrociência**, [S.l.], p. 167-173, ago. 2011.

WALTER, Jaqueline Paula; ROSSATO, Marivane Vestena. Destino Do Resíduo Casca De Arroz Na Microrregião De Restinga Seca - RS: Um Enfoque À Responsabilidade Sócio Ambiental. In: VI CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 2010, Rio de Janeiro, RJ. **Energia, Inovação, Tecnologia e Complexidade para a Gestão Sustentável**. Rio de Janeiro, RJ: Universidade Federal Fluminense, 2010. p. 1-23.

ZHANG, Qi; YE, Guang. Quantitative analysis of phase transition of heated Portland cement paste. **Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry**, [S.l.], v. 112, n. 2, p. 629-636, 21 ago. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10973-012-2600-3>.