

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**DANIEL ALBUQUERQUE NILSEN**

**Potencial do aproveitamento da casca de arroz como biomassa no estado do  
Rio Grande do Sul**

**Caçapava do Sul**

**2018**

**DANIEL ALBUQUERQUE NILSEN**

**Potencial do aproveitamento da casca de arroz como biomassa no estado do  
Rio Grande do Sul**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Ambiental e Sanitária da Universidade  
Federal do Pampa, como requisito parcial  
para obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Daniel  
Kemerich

**Caçapava do Sul  
2018**

**DANIEL ALBUQUERQUE NILSEN**

**Potencial do aproveitamento da casca de arroz como biomassa no estado do  
Rio Grande do Sul**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Ambiental e Sanitária da Universidade  
Federal do Pampa, como requisito parcial  
para obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido em: 4 de Julho de 2018.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Pedro Daniel Kemerich

Orientador

UNIPAMPA

---

Prof. MSc. Maria Mélia Zazycki

UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Júlio César Mendes Soares

UNIPAMPA

Dedico este trabalho a minha família e principalmente a minha mãe Leonilde Bonanni de Albuquerque, a mulher mais bela, referência de moral e índole.

Todo nosso conhecimento tem sua origem em nossas percepções, conhecer o passado e a superfície da Terra é ornar e nutrir a mente humana.

Leonardo Da Vinci

## RESUMO

O Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz do país, portanto possui o maior rejeito de casca de arroz, isto implica em responsabilidades ambientais, no ponto de vista de impactos gerados por disposição deste resíduo no solo e suas emissões de gases de efeito estufa. A fim de promover o desenvolvimento sustentável, a utilização desta casca como um recurso energético, em micros centrais termoelétricas (MCT), pode mitigar estes impactos ambientais, assim como pode proporcionar lucro dentro do processo de beneficiamento de arroz. Desta forma, este trabalho quantificou o potencial de geração de eletricidade com esta biomassa e o potencial de mitigação do efeito estufa pra o estado. Na safra 2016/2017 teve uma produção significativa de 8.746.825 toneladas de arroz e conseqüentemente um grande volume de casca de arroz excedente de 1.772.456 toneladas. Utilizando-se a tecnologia padrão de geração termoelétrica das MCT encontramos, para o estado do Rio Grande do Sul, um potencial de eletricidade por ano de 86,4 MW, onde a produção energética nacional à partir de biomassa passaria de 0,03% para 0,07% de geração no país. Neste sistema de aproveitamento deste resíduo constatou-se um representativo potencial de mitigação do impacto de aquecimento global de 4.804.243 de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, somando-se emissões evitadas na decomposição e no consumo de eletricidade da rede. Desta forma passa a ser uma opção interessante do ponto de vista econômico e ambiental a geração termoelétrica com MCT no beneficiamento de arroz para o estado.

Palavras-Chave: Aquecimento global, beneficiamento de arroz, metano.

## ABSTRACT

Rio Grande do Sul is the biggest rice producer in the country, therefore possesses the highest rice husk rejection, this implies environmental responsibilities in the point of view of impacts generated by the disposal of this residue in the soil and its emission of greenhouse effect gases. In an effort to promote sustainable development, the use of this husk as an energetic resource in micro thermoelectrical centrals (MTC) might mitigate these environmental impacts. Thus, this work quantified the potential of electricity generation with this biomass and the potential greenhouse effect mitigation for the state. In the 2016/2017 harvest there was a significant production of 8,746,825 tons of rice and consequently a large rice husk surplus volume of 1,772,456 tons. Using the MTC's standard thermoelectric generation technology, for the state of Rio Grande do Sul, was registered an electricity potential per year of 86.4 MW, the national energy production from biomass would go from 0,03% to 0.07% of generation in the country. In this residue exploitation system, a representative potential of greenhouse effect impact mitigation of 4.804.243 tons of equivalent CO<sub>2</sub> was found, adding emissions avoided in the decomposition and consumption of electricity in the electrical network. So, thermoelectrical generation with MTC becomes an interesting option from the economic and environmental point of view, for rice processing in the state.

Keywords: Global Warming, processing of rice, methane.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Quantidade de arroz com casca produzida por município.....	20
Figura 2 - Fluxograma da proporção de produtos e subprodutos no beneficiamento de arroz.....	22
Figura 3 - Fluxograma das fontes de biomassa e dos principais processos de conversão energética.....	23
Figura 4 - Gráfico da estrutura de geração energéticas do panorama nacional.....	24
Figura 5 - Processos de conversão energética da casca de arroz.....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Balanço de Oferta e Demanda: Arroz Beneficiado – Milhões de Toneladas (Safrá 2013/2014).....	18
Tabela 2 – Balanço de Oferta e Demanda: Arroz Beneficiado – Mil toneladas (Safrá 2016/2017).....	19
Tabela 3 – Comparativo de área, produtividade e produção (Safrá 2016/2017).....	19
Tabela 4 – Análise elementar da casca de arroz.....	31
Tabela 5 – Tabela de produtividade e produção por região da Safrá 2016/17 do Rio Grande do Sul.....	32
Tabela 6 – Estimativa da casca excedente por região da safrá 2016/2017 do Rio Grande do Sul.....	35
Tabela 7 – Potencial de geração de energia elétrica por região do estado do Rio Grande do Sul.....	37
Tabela 8 – Emissões biogênicas evitadas na decomposição.....	39
Tabela 9 – Emissões de CO2 evitadas pelo consumo de energia elétrica do SIN....	40
Tabela 10 – Potencial de mitigação do impacto de aquecimento global.....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MCT – Micro Centrais Termoelétricas  
ONU – Organização das Nações Unidas  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento  
BEM – Balanço Energético Nacional  
GEE – Gases de Efeito Estufa  
IEA – Instituto de Economia Agrícola  
MME – Ministério de Minas e Energia  
PROINFRA- Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica  
SIN – Sistema Interligado Nacional de Energia  
ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica  
USDA – United States Departamento of Agriculture  
DEPLAN – Departamento de Planejamento  
CEMBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa  
ABNT – Agencia Brasileira de Normas Técnicas  
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos  
CER – Créditos por Redução de Emissões  
IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas  
IRGA - Instituto Rio-grandense do Arroz  
NATE – Núcleo de Assistência Técnica  
GWP – Global Warming Potential

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 Objetivo Específico</b> .....	<b>13</b>
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>14</b>
<b>4 REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
<b>4.1 Panorama Ergético Mundial</b> .....	<b>15</b>
<b>4.2 Panorama Energético do Brasil</b> .....	<b>15</b>
<b>4.3 Geração Termoelétrica Descentralizada no Brasil</b> .....	<b>16</b>
<b>4.4 Produtividade do Arroz</b> .....	<b>17</b>
<b>4.5 Beneficiamento de Arroz e seus Subprodutos</b> .....	<b>19</b>
<b>4.6 Fonte de Energia à partir da Biomassa</b> .....	<b>21</b>
<b>4.7 Fonte de Energia à partir da Casca de Arroz</b> .....	<b>24</b>
<b>4.7.1 Processos Físicos</b> .....	<b>25</b>
<b>4.7.2 Processos Biológicos</b> .....	<b>26</b>
<b>4.7.3 Processos Termoquímicos</b> .....	<b>26</b>
<b>4.8 Aproveitamento Termoelétrico da Casca de Arroz no RS</b> .....	<b>26</b>
<b>4.9 Aquecimento Global</b> .....	<b>27</b>
<b>5 METODOLOGÍA</b> .....	<b>29</b>
<b>5.1 Caracterização Físico-Química</b> .....	<b>29</b>
<b>5.2 Produções de Biomassa</b> .....	<b>30</b>
<b>5.3 Potencial de Geração de Energia Elétrica</b> .....	<b>31</b>
<b>5.4 Emissões Biogênicas Evitadas na Decomposição</b> .....	<b>32</b>
<b>5.5 Emissões Evitadas pelo Consumo de Eletricidade da Rede</b> .....	<b>32</b>
<b>5.6 Potencial de Mitigação do Impacto Ambiental de Aquecimento Global</b> .....	<b>33</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>34</b>
<b>6.1 Produções de Biomassa</b> .....	<b>34</b>
<b>6.2 Potencial de Geração de Energia Elétrica</b> .....	<b>35</b>
<b>6.3 Emissões Biogênicas Evitadas na Decomposição</b> .....	<b>37</b>
<b>6.4 Emissões Evitadas pelo Consumo de Eletricidade da Rede</b> .....	<b>38</b>
<b>6.5 Potencial de Mitigação do Impacto Ambiental de Aquecimento Global</b> .....	<b>39</b>
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	<b>41</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Deve-se levar em consideração primeiramente conceitos estabelecidos de sustentabilidade em relação ao crescimento econômico de praticamente todos os setores industriais. A abordagem sobre o assunto foi consolidada na Conferência das Nações Unidas, no ano de 1972, promovendo iniciativas para a minimização dos impactos antropogênicos conciliando as necessidades do desenvolvimento econômico em relação ao meio ambiente (ONU, 1972).

No ano de 1983, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento teve como objetivo aprofundar-se em questões da área ambiental obtendo-se um estudo final em 1987, chamando-se de “Nosso Futuro Comum” ou “Relatório Brundtland”, empregando o conceito de desenvolvimento sustentável (ONU, 1983).

Ponto importante que devemos ressaltar foi a afirmação da questão do desenvolvimento sustentável com base na conservação dos recursos naturais renováveis e a conservação dos recursos energéticos na conferência da ONU “Rio + 10”, e, em seguida, o debate sobre os compromissos políticos para a redução das emissões de poluentes na conferência “Rio + 20”.

Assim enquadramos a esta problemática todos os processos agroindustriais, incluindo o beneficiamento do arroz, que apresenta nas suas atividades, impactos ambientais por meio da utilização dos recursos energéticos, emissões de gases de efeito estufa tanto na etapa industrial quanto na disposição final inadequada dos resíduos.

O arroz faz parte da base da dieta da população brasileira, segundo o IBGE é um dos principais alimentos consumidos no país, a sua produção é extremamente importante dentro da economia nacional e, portanto, é um fator relevante de intervenção em políticas mais limpas (IBGE, Produção Agrícola, 2011). O Brasil encontra-se como nono na classificação mundial de produção de arroz (CONAB, 2016).

A região Sul possui os maiores valores em termos de produtividade e produção, o Rio Grande do Sul é responsável por mais de 70% da produção nacional, com uma quantidade de 280 engenhos de arroz beneficiando cerca de 8 milhões de toneladas (ANUÁRIO DO ARROZ, 2017).

Segundo o Balanço de Energia Nacional, a matriz energética brasileira baseia-se predominantemente nas fontes hídricas, acompanhado deste tipo de produção de energia surge a problemática das limitações geográficas, que podem provocar variações nas tarifas para o consumidor final dependendo da região (BEM, 2016).

O aproveitamento dos resíduos agroindustriais pode solucionar grande parte dos problemas ambientais de disposição inadequada de resíduos sólidos e emissões de poluentes, assim como pode se transformar num recurso que pode gerar renda através da produção de energia termoelétrica.

A utilização da biomassa pode ser uma alternativa para produção de energia elétrica, além de promover uma destinação correta aos resíduos que podem impactar negativamente o meio ambiente quando dispostos de forma incorreta (MME, 2009).

No beneficiamento de arroz temos um importante resíduo ou subproduto, a casca de arroz, que corresponde a 34% do peso do grão beneficiado. Isto passa a ser relevante no planejamento do seu descarte, uma vez que a sua baixa densidade pode tornar elevado o custo de transporte (EMBRAPA, 2002).

Portanto, há um potencial enorme no uso da casca de arroz como recurso para a geração de energia, junto aos outros fatores relevantes como o atendimento as obrigações exigidas pela legislação ambiental.

Existem diversos procedimentos dentro do manejo da casca do arroz para o seu aproveitamento, porém muitos estão associados a altos investimentos e grau tecnológico que restringem a sua viabilidade.

A alternativa que já vem sendo utilizada por alguns engenhos de arroz é o uso da casca como biomassa em micro centrais termoelétrica (MCT), caracterizando-se por comportar uma potência instalada inferior a 1,0 MW (Mayer, 2009).

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o potencial da casca de arroz como biomassa para a geração de eletricidade por meio de Micro Central Termelétrica (MCT) e a sua capacidade de mitigação dos gases de efeito estufa.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- A) Determinar o potencial de geração de eletricidade da casca de arroz por região do estado do Rio Grande do Sul.
- B) Estimar a mitigação dos gases de efeito estufa por meio das emissões evitadas de metano biogênico e as emissões evitadas pela não utilização da eletricidade do sistema interligado nacional.

### 3 JUSTIFICATIVA

A casca de arroz como qualquer outra biomassa pode ser aproveitado energeticamente e pode ser potencializada por diversos fatores, sendo como principal a dimensão do engenho, que reflete no volume de produção de casca pra descarte e posterior utilização.

O Rio Grande do Sul torna-se o estado com maior potencial de aproveitamento da casca de arroz principalmente pela sua altíssima produtividade. Mesmo que a maioria dos engenhos de arroz seja de pequeno porte, podem regionalizar centrais geradoras de energia elétrica na forma de cooperativas ou privadas para alcançarem uma escala de produção que seja favorável a viabilização do projeto.

Outro fator importante envolvendo a gestão correta deste subproduto é sua característica de baixa densidade e grande volume gerado, transformando-se numa problemática maior em relação ao seu transporte e disposição, e exigindo das empresas maiores investimentos para tratarem este passivo ambiental.

Desta forma, aliando-se a viabilidade de projeto de centrais termoelétricas, as agroindústrias podem assegurar o correto gerenciamento dos resíduos por meio da sua utilização para geração de energia na própria empresa ou região.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Panorama Energético Mundial

A revolução industrial apresentou a necessidade de energia para o desenvolvimento econômico e bem-estar da população. De tal forma que quanto mais acessível, economicamente viável e menos poluidora for o sistema de geração de energia, mais benéfico será para o país fomentar e desenvolver políticas desenvolvimentistas. Segundo (MME, 2017), as principais fontes de energias usadas no mundo são:

- Petróleo e derivados;
- Gás natural;
- Carvão mineral;
- Urânio;
- Hidro.

### 4.2 Panorama Energético do Brasil

Segundo Tolmasquim et al. (2007), durante o século XX o Brasil passou por um intenso desenvolvimento econômico, qual estava diretamente associado com a demanda energética, assim até cerca dos anos de 1970 o sistema de geração de energia foi sendo desenvolvido e empregado de maneira centralizada, próximas às grandes cidades e centros industriais. Com o crescimento populacional houve uma vertiginosa expansão demográfica, fazendo surgir a necessidade de outros pontos, descentralizados, geradores de energia.

*“um maior espaço para a produção elétrica em pequena escala, a produção independente das concessionárias, o uso mais intensivo de fontes energéticas renováveis, a autoprodução energética e a geração distribuída, sendo a cogeração como*

*uma via tecnológica de destaque nesse contexto.”  
(Mayer, 2009).*

Quando tratamos do panorama energético brasileiro não temos muita diversificação e a principal forma de energia é a hidráulica com mais de 74% da matriz, o que nos deixa fortemente dependentes de um componente aleatório que é a chuva e que podemos constatar grandes problemas relacionados com o fornecimento decorrente de níveis de reservatórios baixos. Por sua vez, mesmo com uma matriz de energia térmica pequena, correspondente a 7%, em razão da estiagem, todas as termoelétricas brasileiras por muitas vezes foram acionadas a plena carga provocando a emissão de milhões de toneladas de gás carbônico (MMA, 2017).

Em paralelo o mundo está cada vez mais preocupado com as questões ambientais e energéticas, assim novas fontes de matérias primas foram fomentadas como, por exemplo, a biomassa derivada da cana-de-açúcar.

### **4.3 Geração Termoelétrica Descentralizada no Brasil**

Levando em consideração a atual conjuntura do país, onde os recursos estão escassos devido a última recessão econômica, novas formas de produção e instalação de sistemas de cogeração precisam ser implantados. É denominado cogeração os sistemas que usam de forma sequencial e simultânea o calor e a eletricidade gerada pela biomassa (Mayer, 2009).

Em geral a utilização de resíduos e outras fontes que anteriormente eram inviáveis ou economicamente não atrativas se tornaram a saída para as regiões mais afastadas dos centros produtores.

A utilização da biomassa pode ser encarada como uma alternativa e com função desafogadora nos “horários de pico”, tendo também a vantagem de suprir a demanda de possíveis variações sazonais quando as hidroelétricas não suprem toda a necessidade ou de forma independente, caso o local em questão não esteja ligado ao SIN - Sistema Interligado Nacional de Energia (Mayer, 2009).

Com o intuito de fomentar a geração de energia em pequena escala com fontes renováveis foi aprovada pela Aneel a Resolução nº 482/2012, que cria

um sistema de compensação de energia para as empresas que implantaram uma unidade de geração de até 1 MW de capacidade e possuam a possibilidade de injetarem na rede elétrica o excedente, poderá gerar créditos por até 3 anos. Possibilitando mais uma forma de abatimento dos custos ou até mesmo sendo uma geração de renda para o proprietário. Impulsionando assim o desenvolvimento local da indústria (Aneel, 2012).

#### 4.4 Produtividade do Arroz

A cadeia orizícola é de extrema importância para econômica do país, além de sua influência social e cultural. É um dos produtos alimentícios mais consumidos no país, alcançando valores em torno de 11,5 milhões de toneladas (CONAB, 2017).

No mercado internacional, a estimativa da produção de arroz para as safras de 2017/2018 é igual a 483,66 milhões de toneladas. Somente a China, maior produtora de arroz do mundo, produzirá 145 milhões de toneladas nas safras de 2013/2014 (USDA, 2017). Na Tabela 1 é apresentada a produção de arroz dos principais países produtores.

Tabela 1 – Balanço de Oferta e Demanda: Arroz Beneficiado – Milhões de Toneladas (Safrá 2013/2014)

	China	India	Tailân.	Vietnã	Brasil	Nigéria	EUA	Filipina
Produção	144,5	102,5	18,75	28,05	12,20	11,88	7,07	2,84
Consumo	148,4	99,35	11,70	21,90	11,61	13,20	4,13	6,40
Exportação	0,40	10,20	10,00	6,70	1,17	0,00	3,26	0,00
Estoque Final	46,91	15,6	9,07	0,85	0,77	2,08	1,48	1,09

Fonte: CONAB, 2017

Os países integrantes do Mercosul (Tabela 2) produziram 15,4 milhões de toneladas de arroz em casca, sendo o Brasil responsável pela produção de 76,14% (USDA, 2017)

Tabela 2 – Balanço de Oferta e Demanda: Arroz Beneficiado – Mil toneladas (Safrá 2016/2017)

	Argentina	Brasil	Paraguai	Uruguai	Mercosul
Produção	1.327,7	12.129,4	749,3	1.414,3	15.620,6
Consumo	784,6	11.544,1	44,8	92,9	12.466,4
Exportação	846,2	1.029,4	701,5	1.321,4	3.898,5
Estoque	316,9	707,4	14,9	67,1	1.106,3
Final					

Fonte: CONAB, 2017.

O mercado brasileiro vem crescendo nos últimos anos, expandindo-se 24,40% desde as safras de 1990/1991. O estado que mais impulsiona o crescimento de arroz no Brasil, como conforme a tabela 3, é o Rio Grande do Sul no qual expandiu-se 111,12% desde as safras de 1990/1991 CONAB (2017).

Tabela 3 – Comparativo de área, produtividade e produção (Safrá 2016/2017)

Região/ UF	ÁREA (Mil Ha)	PRODUTIVIDADE (Kg/Ha)	PRODUÇÃO (Mil T)
NORTE	261,7	4.127	1.079,9
NORDESTE	228,3	1.892	432,9
CENTRO-OESTE	197,3	3.713	732,7
SUDESTE	16,1	3.386	54,5
SUL	1.273,2	7.868	10.017,7
NORTE/NORDESTE	490,5	3.084	1.512,8
CENTRO-SUL	1.486,6	7.268	10.804,9
RS	1.100,7	7.930	8.728,6

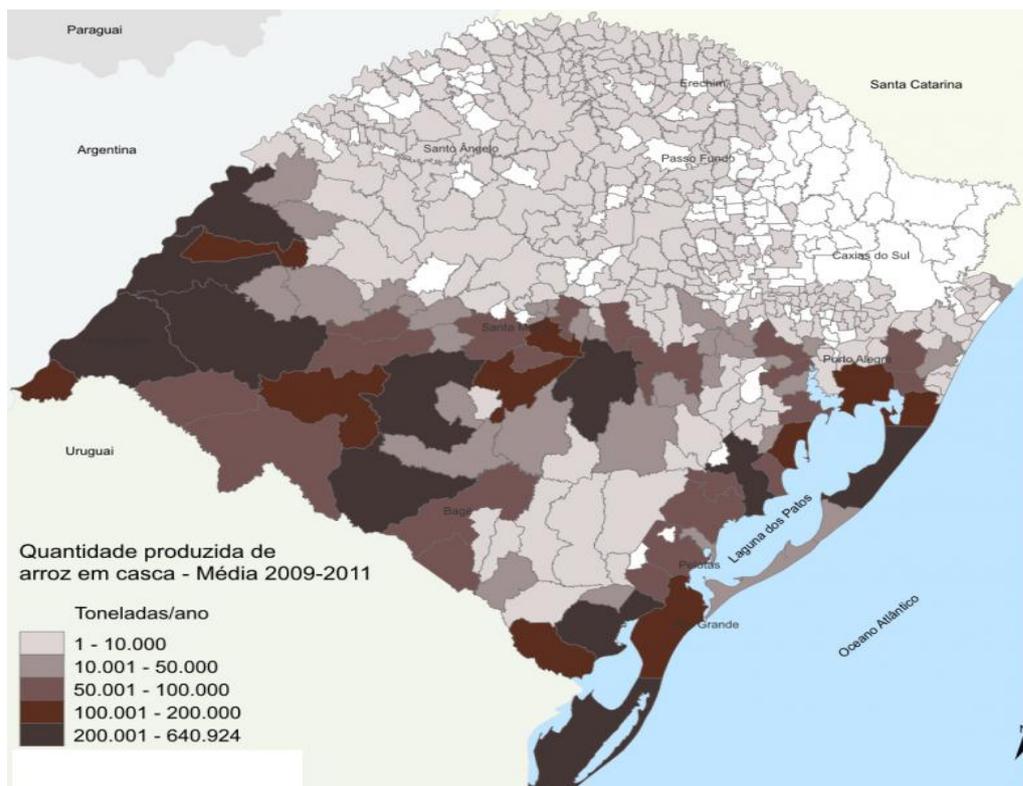
Fonte: CONAB, 2017.

Segundo o CONAB (2017), atualmente no cenário brasileiro somente o estado do Rio Grande do Sul é responsável por mais de 2/3 de toda a produção de grãos. Isto reflete na quantidade produzida e nas expansivas áreas ocupadas com engenhos dentro do estado. A colheita da safra 2016/17

no estado do RS totalizou 8.746.825 milhões toneladas em uma área de 1.106.5 milhões de hectares com uma produtividade de 7.908 Kg/ha (IGRA, 2017).

Na Figura 1 é possível visualizar, geograficamente, a distribuição da produção de grãos de arroz no estado do RS.

Figura 1: Mapa de Quantidade de arroz com casca produzida por município.



Fonte: IBGE (2011)

#### 4.5 Beneficiamento de Arroz e seus Subprodutos

O beneficiamento do arroz segundo a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (agietec, 2017), começa normalmente logo após a colheita e a secagem, e compreende as seguintes etapas:

- 1- Limpeza.
- 2- Descascamento.
- 3- Separação pela câmara de palha e de marinheiros.
- 4- Brunição e homogeneização.

5- Classificação.

6- Embalagem e expedição.

Depois de seu armazenamento os grãos passam por uma limpeza para eliminar as impurezas, como torrão de terra, pedras, palhas e até mesmo insetos. Em seguida, o arroz é descascado por máquinas com roletes e através da torção separação do grão do interior da casca.

A próxima etapa é a separação do arroz inteiro do mal granado ou verde, e dos grãos que ainda permaneceram com as cascas. Esta etapa é determinante para o aumento do rendimento dos equipamentos subsequentes.

Este grão descascado e integral é lixado por pedras abrasivas que retiram o farelo do arroz e separa o grão branco. Para terminar ainda passam por jatos de água ou ar para a homogeneização.

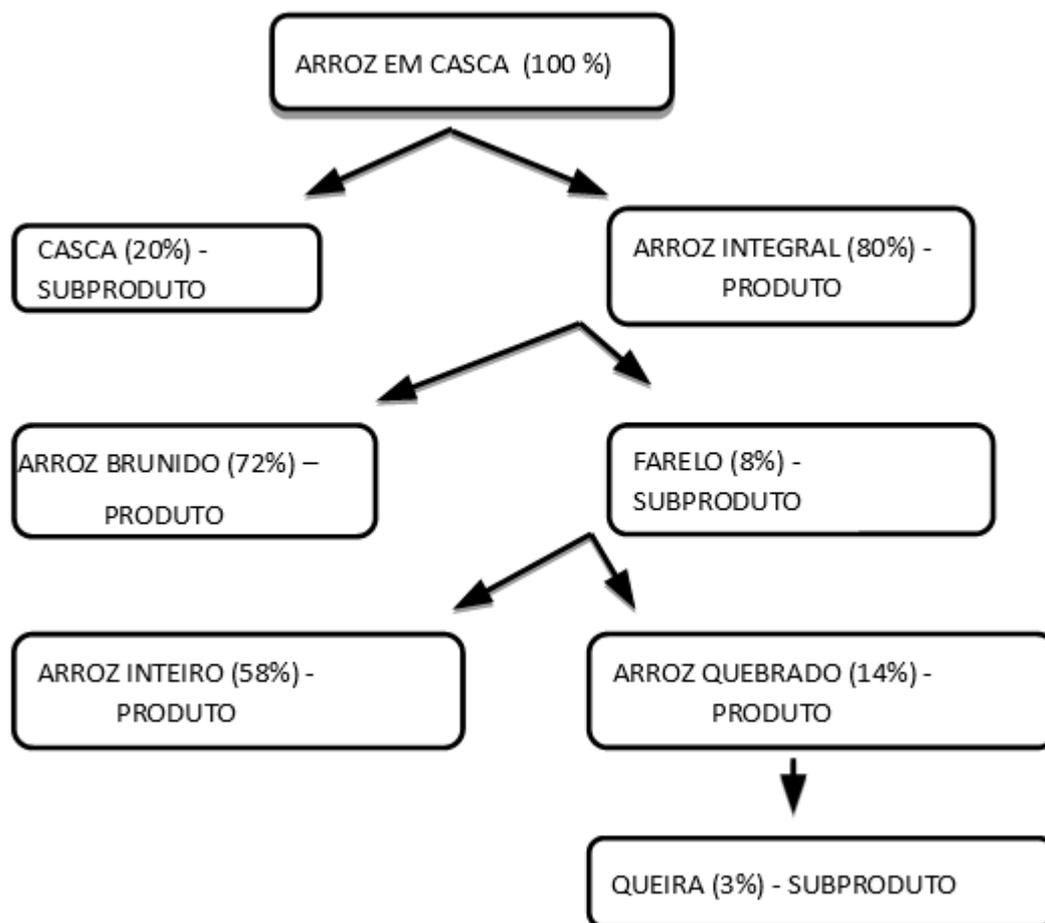
A última etapa é a classificação, no qual ocorre a separação dos grãos inteiros dos quebrados ou de tamanhos diferentes, indicação que aparece como tipos de arroz nas embalagens. Podem passar por leituras ópticas de classificação ou outros equipamentos industriais com objetivo de alcançarem melhor qualidade no produto final.

Na parbolização do arroz, vários nutrientes presentes na casca são transferidos para o grão através de um processo hidrotérmico. O arroz com casca é imerso em água a uma temperatura acima de 58°C, seguido da gelatinização do amido e secagem.

No beneficiamento de arroz, dentro das diferentes etapas do seu processamento encontramos subprodutos que são potencialmente utilizáveis, ressaltando a casca do grão com a maior porcentagem do peso bruto.

No fluxograma da Figura 2 é apresentado as proporções entre produto e subprodutos gerados no beneficiamento.

Figura 2: Fluxograma da proporção de produtos e subprodutos no beneficiamento de arroz.



Fonte: Castro, 1999.

Devemos considerar questões ambientais relacionadas ao gerenciamento do resíduo ou subprodutos, que são muitas vezes seguidas de elevados custos envolvidos na logística na sua destinação correta. Isso pode explicar as grandes quantidades de excedente de casca dispostas de forma incorreta no solo (Mayer, 2009).

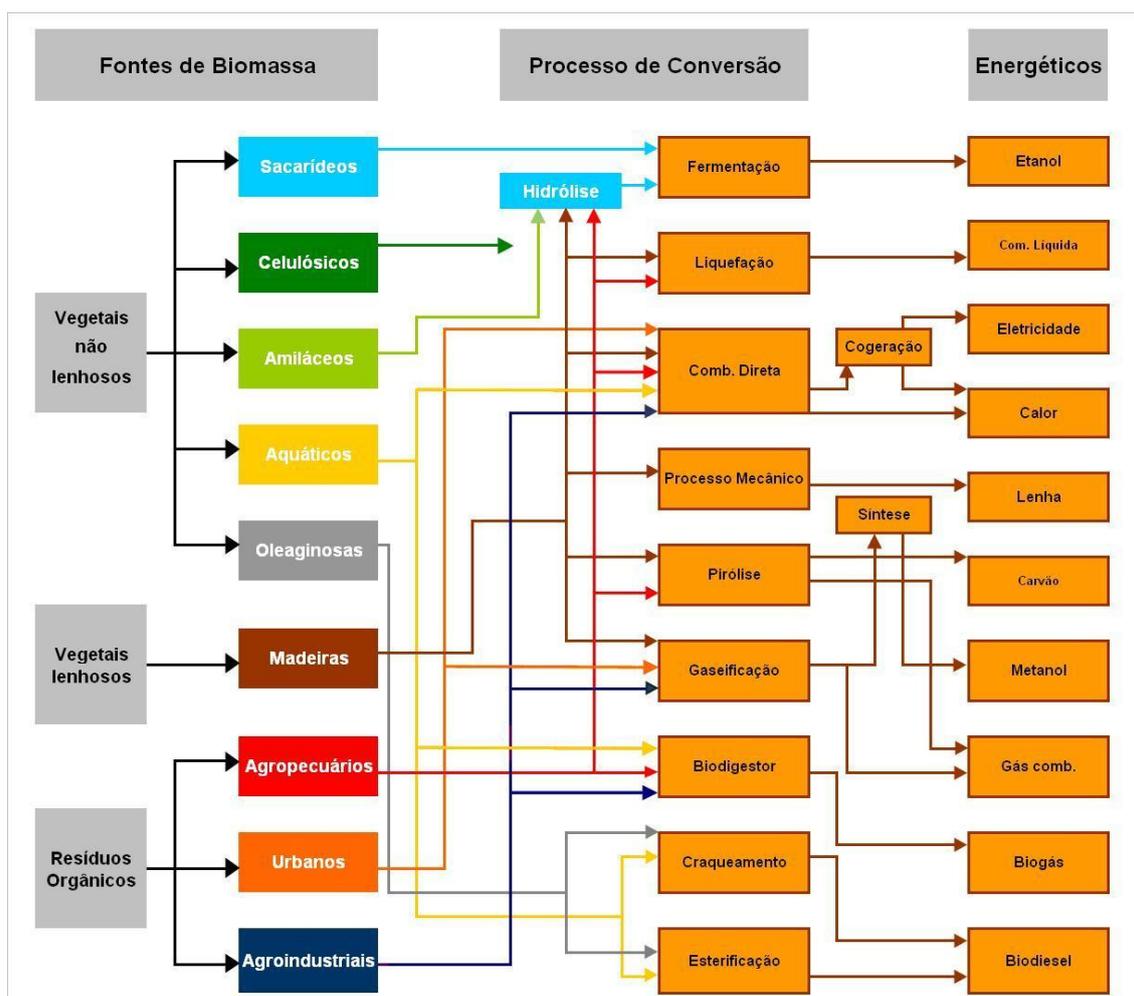
#### 4.6 Fonte de Energia à partir da Biomassa

Quando trata-se da biomassa que é utilizada na geração de energia não se considera os tradicionais combustíveis fósseis apesar de serem de

derivação vegetal e animal, por ser um recurso natural não renovável, e sim consideramos a biomassa sustentável, aquela que provem de um recurso natural renovável.

Como apresentado na Figura 3, existem três categorias de biomassa: a fito massa lenhosa, a fito massa não-lenhosa e os resíduos animais.

Figura 3: Fluxograma das fontes de biomassa e dos principais processos de conversão energética.



Fonte: MME, 1982

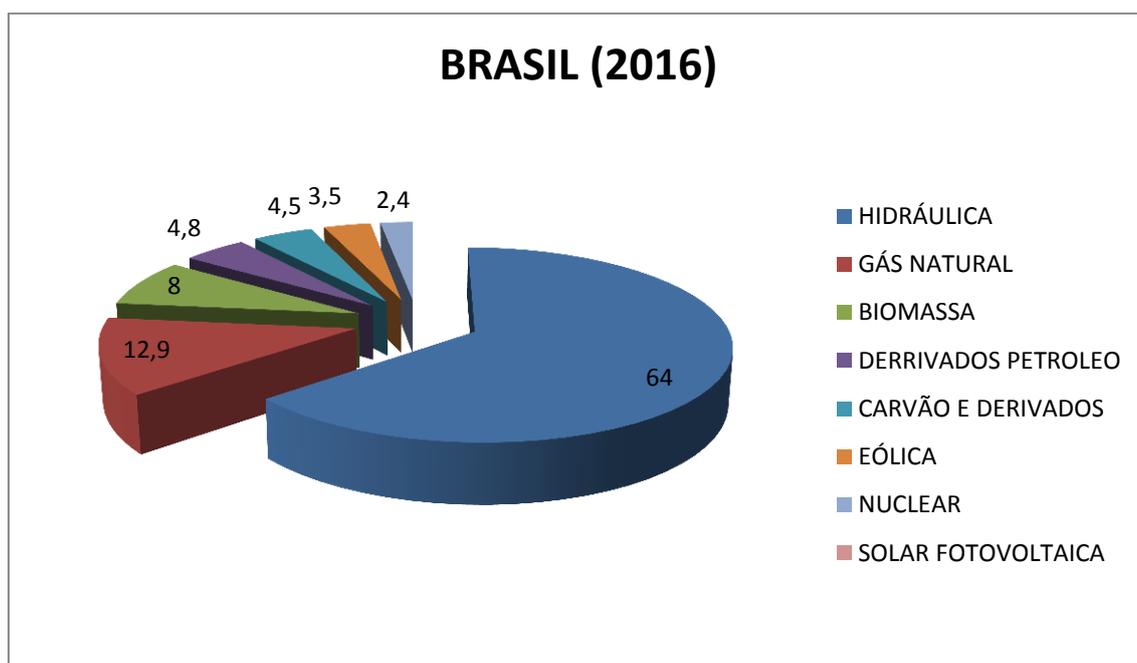
A utilização de biomassa como fonte energética possui diversas vantagens, a principal é ser um recurso renovável, possui uma viabilidade econômica maior em relação a outras fontes energéticas, possui facilidade de extração e aplicação em diversos setores, emite menos gases poluentes,

promove a economia local, em geral possui alta eficiência energética e o reaproveitamento dos resíduos antes descartados.

Políticas públicas brasileiras têm contribuído no desenvolvimento de novos processos para a utilização de matérias primas que contribuam na produção de energia de biomassa. De acordo com o projeto de lei 3529 de 2012, as companhias que fazem a distribuição de energia elétrica no Brasil serão obrigadas a comprar pelo menos 250 megawatts de energia elétrica produzida pela biomassa por um período de 25 anos (MME, 2009).

Conforme a Figura 4, a parcela da biomassa utilizada no panorama nacional corresponde a 8% de oferta interna de energia elétrica.

Figura 4: Gráfico da estrutura de geração energética do panorama nacional



Fonte: BEM, 2016

Do ponto de vista do desenvolvimento sustentável a utilização de biomassa como fonte de energia visa o desenvolvimento de regiões mais pobres, aumentar a atividade econômica, reduzir os custos relativos à distribuição e transmissão de energia; e se trata de uma fonte mais limpa, auxilia na preservação ambiental.

Dentro das atividades agroindustriais existem diversos subprodutos e resíduos que são gerados nos processamentos e dispostos de forma inadequada no ambiente rural tendo consequências impactantes no meio ambiente. As empresas deveriam caracterizar e classificar seus resíduos sólidos conforme as normas da ABNT 10.004/04 para descobrir quais fins poderão ser utilizados, assim como a escolha da melhor destinação final. É obrigação por parte das indústrias trazerem soluções para este problema, procurando esta de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) vigente (Lei nº12.305/10).

#### **4.7 Fonte de Energia à partir da Casca de Arroz**

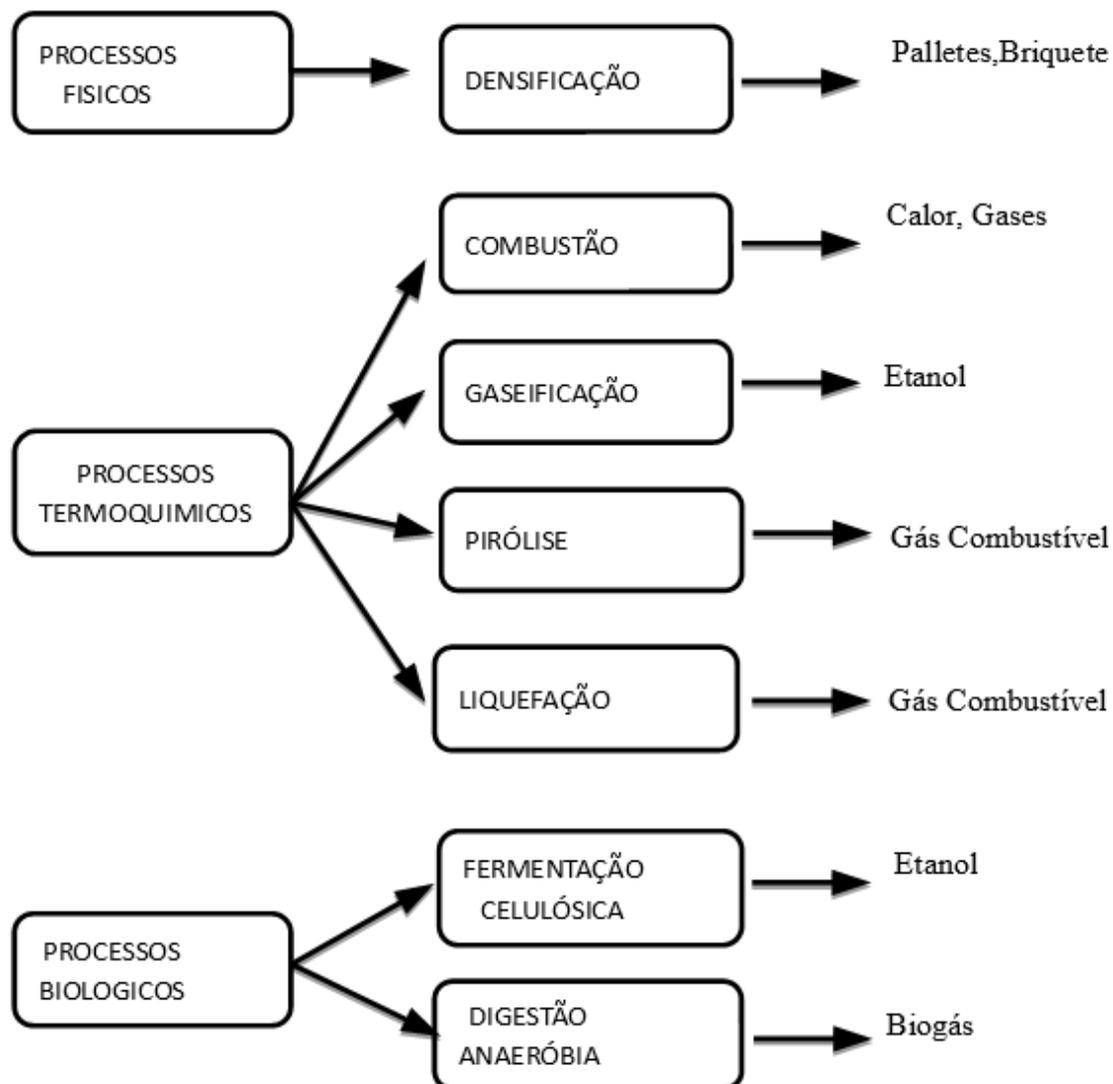
A composição da casca de arroz depende da safra, da variedade plantada, clima e condições do solo aliadas a suas localizações geográficas (FERNANDES, 2006). Portanto, na utilização de qualquer biomassa é necessário caracterizá-la para melhor avaliar o seu uso, para isso, deve-se conhecer suas propriedades.

A casca de arroz é um resíduo gerado no beneficiamento de arroz que pode ser usado como combustível, em razão do seu alto poder calorífico. Possui maior poder calorífico que as outras biomassas como bagaço de cana e lenha, por apresentar baixo teor de umidade resultado do processo de secagem antes do armazenamento (MAYER, 2009).

A utilização desta biomassa no próprio setor industrial potencializa seu uso, não sendo necessário processo como adensamento e transporte devido a sua principal desvantagem de possuir baixa densidade energética.

Na conversação energética desta biomassa existem três ramificações de processos empregados: processos físicos, termoquímicos e biológicos, como esquematizado na Figura 5.

Figura 5: Processos de conversão energética da casca de arroz.



Fonte: Mayer, 2006.

#### 4.7.1 Processos Físicos

É o processo de briquetagem com o objetivo de densificar a casca de arroz para melhor aproveitamento de sua energia. O processo consiste em submeter a casca a grande pressão e temperatura fazendo com que a lignina presente se plastifique e se aglutine, além de eliminar sólidos voláteis que contribuem com baixo poder calorífico. Com isto viabiliza seu manejo para uso, armazenamento e transporte (Mayer, 2006).

#### **4.7.2 Processos Biológicos**

Acontece por meio da metabolização da matéria orgânica por micro-organismos e enzimas com a finalidade de produzir metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ou álcool etílico (etanol) (Mayer, 2006).

#### **4.7.3 Processos Termoquímicos**

Aplica-se através da combustão de maneira controlada para fins de secagem dentro do processamento da indústria, como também para a geração de eletricidade.

Para a produção de energia elétrica é queimada a casca na caldeira para a geração de vapor e assim impulsionar a turbina que está associada a um gerador de eletricidade (Mayer, 2006).

#### **4.8 Aproveitamento Termoelétrico da Casca de Arroz no RS**

Segundo Hoffmann (1999), o vapor gerado na combustão da casca de arroz pode ser empregado na geração de eletricidade. A forma mais viável atualmente para a transformação de calor em eletricidade é o uso do vapor em equipamentos geradores obedecendo ao ciclo Rankine, que se utiliza de uma máquina térmica ou uma turbina a vapor. Apesar do baixo rendimento térmico global do sistema é um investimento favorável nas agroindústrias que produzem casca de arroz, aliadas a baixo investimento, facilidade de operação e manutenção e principalmente por ter o combustível disponível e sem custos para a sua utilização.

A tecnologia a ser utilizada e o rendimento das termoelétricas está muito relacionada a capacidade de produção. Neste estudo consideramos uma faixa de potência menor que 1.000 KW.

Visando o panorama de unidades beneficiadoras do Rio Grande do Sul, as unidades de geração termoelétricas devem ser de pequena escala, utilizando-se do conceito de micro centrais termelétricas (MCT).

Segundo Mayer (2009), para engenhos de arroz de pequeno e médio porte, utilizando a casca excedente em MCT, em funcionamento simultâneo com o engenho é a forma mais viável de compensação de projeto.

Ainda Mayer (2008), em um estudo sobre a utilização de uma MCT de 300 KW, com rendimento de 10%, a energia elétrica gerada a partir do consumo total da casca excedente foi maior que a demanda do engenho.

A MCT foi conceituada e projetada a partir da concepção de atender demandas energéticas situadas nas faixas de potências inferiores a 1.000 KW, desenvolvida pela empresa PTZ Bioenergy Fontes Alternativa de Energia Industria Comércio e Serviços Ltda (Mayer, 2008).

Com este novo conceito, há um sistema termodinâmico de geração compacto, com baixo custo a serem acoplados a linha de base das indústrias e empresas que envolvam a produção de biomassa como resíduo. Estes sistemas compreende a utilização de caldeiras já alocadas nas instalações das agroindústrias no caso, com o propósito de se ter um sistema de porte para a geração total ou parcial da energia demandada pelas unidades de produção, ou ainda prevendo um superávit energético para enviar a redes de distribuição.

Sabe-se que a disposição incorreta da casca de arroz no solo pode provocar processos de decomposição anaeróbicos e gerar gases de efeito estufa, uma problemática de responsabilidade ambiental, solucionado quando usado este resíduo na geração termoelétrica. Assim além de cumprir com todas as condições ambientais no empreendimento, tem a possibilidade de comercialização do CER (Créditos por Redução de Emissões).

#### **4.9 Aquecimento Global**

Ainda não se tem um consenso dentro da comunidade científica sobre o aumento na temperatura global, mas se constata processos de aumento na temperatura média dos oceanos e da atmosfera que são intensificados pelos chamados gases de efeito estufa (GEE). Estes gases que intensificam o processo de aquecimento global são originários de atividades antrópicas, em especial, do setor energético (Victoria, 2012).

O efeito estufa é um mecanismo natural e fundamental da terra que regula o clima global e preserva a vida através da retenção de calor pela

atmosfera. Mas estamos enfrentando um desequilíbrio na sua composição que ocorre pela emissão massiva e contínua de diversos gases que retêm o calor e aumentam a temperatura do planeta (Sbruzzi, 2010).

O aquecimento global desencadeia alterações importantes na estrutura do sistema terra e seus ciclos naturais, afetando a estabilidade de ecossistemas e sua biodiversidade até alcançar problemas na produção de alimentos e suprimento de água para a humanidade. As emissões de GEE aumentaram aceleradamente e com elas consequências cada vez mais graves, portanto, há necessidade de estabelecer medidas e ações para a diminuição destas emissões (Sbruzzi, 2010).

Este conjunto de gases é chamado de gases de efeito estufa caracterizado por terem as propriedades de não obstruírem a radiação de luz solar, mas reterem a radiação térmica. Os mais importantes são o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) e o ozônio (O<sub>3</sub>).

A Organização das Nações Unidas através do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) promove constatações e estudos para consolidar medidas e ações que mudem nosso panorama mundial antes que se alcancem consequências tão graves que seriam irreversíveis para a atual civilização.

## 5 METODOLOGIA

Neste trabalho será desenvolvido uma estimativa do potencial da geração de energia elétrica a partir da casca do arroz gerada no estado do Rio Grande do Sul, aliada a capacidade de mitigação das emissões dos gases de efeito estufa.

O trabalho será desenvolvido por meio das seguintes etapas:

- Levantamento da quantidade de arroz beneficiado por região do estado do Rio Grande do Sul.
- Análise e quantificação da casca de arroz gerada e disponível para aproveitamento energético por região do estado do Rio Grande do Sul.
- Estimativa do potencial de geração de eletricidade por região do estado do Rio Grande do Sul.
- Determinação das emissões evitadas do CH<sub>4</sub> (biogênico) procedente da decomposição anaeróbica da biomassa, assim como o gás carbônico.
- Determinação das emissões evitadas, pela substituição da eletricidade gerada por meio da biomassa, procedente da matriz elétrica brasileira.
- Determinação do potencial de mitigação do impacto ambiental de aquecimento global com a somatória de todas as emissões evitadas.

### 5.1 Caracterização Físico-Química

As características físico-químicas da casca do arroz dependem de vários fatores como manejo de cultivo, insumos utilizados, condições climáticas, condições do solo, safra de cada ano, espécies cultivada, entre tantos outros. Na Tabela 4 é apresentada a análise elementar.

Segundo Sánchez (2010), em razão do aumento da utilização de biomassa é necessário um maior cuidado na sua caracterização. Quando avaliada a utilização da biomassa para diferentes fins é necessário

compreender melhor as suas propriedades relevantes. Em um estudo prático, Hoffmann, com a utilização da casca de arroz como biomassa para aproveitamento energético, fez a análise elementar desta casca produzida em safras nas beneficiadoras de arroz, obtendo-se os valores apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Análise elementar da casca de arroz

Propriedade	Valor
Umidade (% p)	12
Matéria volátil (% p)	67,8
Carbono fixo (% p)	39
Cinzas (% p)	18,6
Poder calorífico superior (kcal/kg)	3.700
Poder calorífico inferior (kcal/kg)	3.490

Fonte: Hoffmann, 1999

## 5.2 Produções de Biomassa

A estimativa da casca de arroz disponível (casca excedente) por unidade de beneficiamento, para geração de eletricidade, foi realizada a partir dos dados referentes à quantidade de arroz beneficiado. Esses dados foram obtidos do sítio virtual do Instituto Rio-grandense do Arroz (IRGA) de cada região do estado do Rio Grande do Sul referente ao ano de 2016 da safra 2016/2017.

Aproximadamente 34% da massa de arroz beneficiado representa a quantidade de casca gerada (Mayer, 2009). Deste montante, em torno de 40,4% é consumido na própria unidade e 59,60% corresponde à casca excedente, ou seja, aquele disponível para aproveitamento energético (CIENDEC, 1986 apud Mayer, 2009).

A produção total de arroz no ano de 2016 foi 8.746.825 toneladas. Na Tabela 5 é apresentada a área cultivada e produtividade de cada região do RS. A regionalização foi feita à partir da distribuição geográfica de produção com seus respectivos núcleos de assistência técnica (NATE).

Tabela 5 – Tabela de produtividade e produção por região da Safra 2016/17 do Rio Grande do Sul.

Região	Área colhida (ha)	Produtividade (Kg.ha)	Produção (t)
Fronteira Oeste	320.778	8.327	2.671.084
Campanha	168.542	8.138	1.371.594
Depressão Central	143.726	7.351	1.056.580
Pl. Costa Interna	150.156	7.526	1.130.120
Pl. Costa Externa	138.766	6.918	960.050
Zona Sul	184.094	8.460	1.557.397
Total	1.106.062	7.908	8.746.825

Fonte: IRGA (2017)

### 5.3 Potencial de Geração de Energia Elétrica

Para determinar o potencial de energia disponível a partir da biomassa, será adotada a metodologia de cálculo para conversão energética proposta pelo CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO, 2009). Esta metodologia é representada pelos cálculos da equação (1) e (2).

$$E = \eta \cdot PCI \cdot Q \quad \text{Equação (1)}$$

$$P_i = E/t \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$E$  é a energia gerada na termoelétrica a partir da biomassa (GJ);

$P_i$  é a potência de eletricidade gerada a partir da biomassa (MW);

$\eta$  é o rendimento termodinâmico da conversão da biomassa (%);

$PCI$  é o poder calorífico inferior da biomassa (KWh/Kg);

$Q$  é a quantidade de casca arroz excedente nas agroindústrias (Kg);

$t$  é o tempo de funcionamento da termoelétrica (h).

Segundo Mayer (2009), em relação aos aspectos técnicos e econômicos para engenhos de arroz, a melhor alternativa para geração de eletricidade são por meio das Micro Centrais Termoelétricas (MCT). As MCT se caracterizam como sistemas de baixo rendimento termodinâmico, com uma eficiência de conversão de biomassa ( $\eta$ ) igual a 15%. A casca de arroz possui um poder calorífico inferior de 3.490 Kcal/Kg ou 4,005 KWh/Kg.

#### **5.4 Emissões Biogênicas Evitadas na Decomposição**

A utilização da biomassa como combustível para geração de energia elétrica evita a decomposição microbiana da biomassa quando depositada de forma incorreta e, desta forma, evita também a liberação dos gases de efeito estufa como CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> biogênico. Segundo Victoria (2012), apenas 50% do carbono presente na biomassa é emitido para a atmosfera em forma de metano e gás carbônico, a outra parte é incorporada no solo. As porcentagens propostas do carbono presente nas biomassas emitidas para a atmosfera são de 40% CH<sub>4</sub>, 30% de CO<sub>2</sub> e 30% de CO.

#### **5.5 Emissões Evitadas pelo Consumo de Eletricidade da Rede**

A utilização de uma determinada quantidade de biomassa como combustível para geração de eletricidade evita o consumo de energia da rede do Sistema Interligado Nacional (SIN), desta forma, as emissões dos GEE procedentes da energia consumida da rede também são evitadas.

O Brasil dentro da Convenção-Quadro das Nações Unidas tem como obrigação a elaboração do Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fonte e Remoção por Sumidouro de Gases de Efeito Estufa, adotando-se as metodologias definidas pelo IPCC.

Segundo Restrepo (2012), uma termelétrica a carvão no Brasil libera em torno de 1144 g CO<sub>2eq</sub> por kWh, que servirá de referência para a geração de uma termoelétrica à partir de biomassa da casca de arroz.

Devemos considerar que a geração termoelétrica a partir de biomassa além da redução de emissões de CO<sub>2</sub> na substituição de fonte elétrica da

matriz energética, o CO<sub>2</sub> emitido nas MCT aliadas a linha de produção, podem se considerar neutras devido ao período de crescimento da safra ser assimilado mediante a fotossíntese.

O cálculo das emissões de GEE no setor da matriz energética nacional é estimadas através de dados de oferta de energia no país em função do fator de emissão de cada tipo de tecnologia e seu combustível, e a soma de todas as usinas existentes ligadas no SIN.

Segundo Miranda (2012), o fator de emissão de GEE da matriz elétrica brasileira é igual a 125 gCO<sub>2eq</sub> por kWh.

## 5.6 Potencial de Mitigação do Impacto Ambiental de Aquecimento Global

O potencial de mitigação do impacto de aquecimento global pela utilização da biomassa é calculado pela soma das emissões evitadas pelo consumo da eletricidade da rede (matriz elétrica brasileira) com as emissões biogênicas evitadas pela decomposição microbiana da biomassa disposta a céu aberto. Para isso, foi aplicada a metodologia e os fatores de caracterização (GWP) do IPCC, proposta no 5º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (IPCC, 2013).

O GWP é um conceito para potencial de aquecimento global ou fator de aquecimento global, das siglas em inglês, Global Warming Potential, como uma medida. Os GWPs indicam o quanto um GEE específico contribui para o aquecimento global em comparação com o CO<sub>2</sub> (substância de referência). Os principais GEEs considerados no presente estudo serão o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e o metano (CH<sub>4</sub>). Para um horizonte de 100 anos (GWP-100), o GWP para CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O são 1 kg CO<sub>2</sub>/kg CO<sub>2</sub>, 34 Kg CO<sub>2</sub>/kg CH<sub>4</sub> e 298 kg CO<sub>2</sub>/kg N<sub>2</sub>O, respectivamente. Deste modo, é possível expressar todos os gases de efeito estufa com base na equivalência do CO<sub>2</sub>, como mostrado pela Equação 3:

$$E_{GEE} = \sum_j GWP_j \cdot m_j \quad \text{Equação(3)}$$

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente trabalho são estudados e calculados diferentes índices e potenciais, por tanto optou-se por dividir o item para cada com seu respectivo resultado e discussão.

Seguindo a ordem da metodologia, apresentaremos a produção de biomassa, potencial de geração de energia elétrica, emissões biogênicas evitadas, emissões evitadas pelo consumo de eletricidade e potencial de mitigação de impacto de aquecimento global, no panorama do Rio Grande do Sul.

### 6.1 Produções de Biomassa

A estimativa da casca de arroz disponível ou casca de arroz excedente que pode vir a ser utilizada potencialmente na geração de eletricidade, foi considerada a partir da produtividade e produção por região da safra 2016/2017 do Rio Grande do Sul. Como especificado no item 5.2, considerando 34% de casca gerada de toda massa de arroz beneficiado, ainda deste montante retira-se 40,4% que é consumido na própria unidade e os 59,6% restantes corresponde a casca excedente. Por região a estimativa é demonstrada na tabela 6.

Tabela 6 – Estimativa da casca excedente por região da safra 2016/2017 do Rio Grande do Sul.

Região	Produção (t)	Casca produzida (t)	Casca excedente (t)
Fronteira Oeste	2.671.084	908.168,56	541.268,46
Campanha	1.371.594	466.341,96	277.939,8
Depressão Central	1.056.580	359.237,2	214.105,37
Pl. Costa Interna	1.130.120	384.240,8	229.007,51
Pl. Costa Externa	960.050	326.417	194.544,5
Zona Sul	1.557.397	529.514,9	315.590,9
Total	8.746.825	2.973.920,5	1.772.456,6

Fonte: Dados calculados à partir do IRGA (2017)

Se estima uma quantidade significativa desta biomassa de 1.772.456 toneladas disponíveis para aproveitamento energético no estado do Rio Grande do Sul. Esta casca excedente reflete na mesma proporção a grande produção de arroz que o estado é responsável com mais de 2/3 da produção nacional.

Destaca-se para a grande quantidade de casca de arroz como resíduo que é gerado no beneficiamento de arroz, e a capacidade de utilização como biomassa para aproveitamento energético, com fins produtivos e proporcionando uma ótima gestão ambiental para com o seu destino final.

Devemos considerar que a região sul no panorama nacional além de ser o maior produtor de arroz, com um crescimento de mais de 10% entre as safras, segundo Mapa (2011), mostram projeções de aumento de área plantada de arroz com uma variação de 1143 mil há da safra 2010/2011 para 1321 mil há em 2020/2021, aumentando a produção em 23%.

## **6.2 Potencial de Geração de Energia Elétrica**

Para determinar o potencial de geração de energia elétrica no estado à partir desta biomassa, deve-se levar em consideração duas questões importantes: as características físico-químicas da casca de arroz e a estimativa da quantidade desta biomassa disponível.

Desta forma com o levantamento destes dados, permite aplicar à metodologia de cálculo para conversão energética proposta pela CENBIO. (CENBIO, 2009).

Através da tabela 4: Análise elementar da casca de arroz, estudada e caracterizada com base na utilização como biomassa, se extrai propriedades importantes para a contabilização de geração de energia. A primeira propriedade utilizada para o cálculo da geração de energia em uma termoelétrica é o seu poder calorífico inferior (PCI) de 3.490 Kcal/Kg, dos mais altos em comparação a outras biomassas disponíveis. A segunda propriedade relevante no potencial de geração é sua umidade baixa, em torno de 12%, contribuída pelo processo de secagem dentro de sua linha de produção.

Como defendido no item 4.8 o melhor aproveitamento energético à partir da casca de arroz é no processo termoquímico por meio da combustão

controlada. Segundo Hoffmann (1999) a forma mais viável é o uso de vapor em equipamentos geradores obedecendo o ciclo Rankine. O rendimento das termoelétricas esta muito relacionada com sua capacidade de produção, no qual o panorama de beneficiadoras de arroz do estado nos proporcionam uma geração de pequena escala, com potencias menores que 1000 kW.

Como proposto no presente trabalho, utilizaremos o conceito de micro centrais termelétricas (MCT), em funcionamento simultâneo com o engenho, a partir do estudo feito por Mayer (2009), como forma mais viável de compensação de projeto. Assim se considera o rendimento termodinâmico de conversão da biomassa para uma MCT de 10%.

Considerando-se o funcionamento da linha de produção de uma beneficiadora de arroz, assim como safras e entre safras, e períodos de colheita, estima-se que a conversão termodinâmica opere durante 90% do tempo disponível durante o ano, contabilizando-se em 8322 horas.

A conversão de kcal/kg para kWh/kg é dada pela divisão por 860 (COELHO, 2002).

A tabela 7 nos quantifica por região o potencial de geração de energia elétrica no estado do Rio Grande do Sul, considerando todos os fatores anteriormente descritos.

Tabela 7- Potencial de geração de energia elétrica por região do estado do Rio Grande do Sul

Região	Casca disponível (t)	Energia Gerada (MWh)	Potencial de Eletricidade (MW/ano)
Fronteira Oeste	541.268,46	219.652,2	26,39
Campanha	277.939,8	112.790,7	13,55
Depressão Central	214.105,37	86.886,1	10,44
Pl. Costa Interna	229.007,51	92.933,5	11,16
Pl. Costa Externa	194.544,5	78.948,1	9,48
Zona Sul	315.590,9	128.069,9	15,38
Total	1.772.456,6	719.280,6	86,43

Fonte: Dados calculados à partir do IRGA (2017)

Os dados apresentados na tabela 7 são valores de referencia máximos para a geração de eletricidade por meio das MCT. O potencial de geração de energia elétrica utilizando esta biomassa é muito alto, em comparação a disponibilidade de outras fontes de biomassas para o mesmo fim, alcançando uma capacidade de 86 MW.

No Brasil existem 8 usinas de biomassa utilizando casca de arroz, 5 delas em funcionamento no Rio Grande do Sul. Todas as usinas no país geram 32600 kW aproximadamente, representando 0,03% do total da produção energética nacional. O potencial energético alcançado no estado pode aumentar a capacidade de geração com este tipo de resíduo para 86430 kW e passaria a ter uma representatividade de 0,07% na produção energética nacional.

Aparece um cenário para a geração de energia com diversas vantagens, a de ser uma fonte energética a partir de um recurso renovável que contribui com uma fonte mais limpa na preservação ambiental, assim como diversifica e descentraliza a matriz energética do país. Ainda com a possibilidade de lucrar com venda do excedente de energia elétrica produzida e suprir gastos elétricos na linha de produção, incentivando e viabilizando projetos de geração termoelétrica no conceito de MCT.

### **6.3 Emissões Biogênicas Evitadas na Decomposição**

Para as emissões biogênicas evitadas na decomposição da casca de arroz depositadas de forma incorreta no solo, consideramos o CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> como os gases de efeito estufa (GEE).

Contabilizada a quantidade de casca excedente, quantifica-se o carbono fixo presente nesta biomassa através da análise elementar da casca de arroz, que apresenta 39%.

Deste carbono presente na decomposição a céu aberto temos que apenas 50% é emitido para a atmosfera nas porcentagens de 40% de CH<sub>4</sub>, 30% de CO<sub>2</sub> e 30% de CO. Parcela-se o carbono que é emitido na atmosfera e considerando-se apenas os gases que contribuem no aquecimento global correspondentes ao metano e dióxido de carbono na suas respectivas porcentagens.

Com os valores da massa de casca excedente que pode vir ser disposta de forma incorreta no solo e exposta a céu aberto, quantifica-se a massa do carbono equivalente lançado na forma de metano e gás carbônico no processo de decomposição conforme tabela 8.

Tabela 8 – Emissões biogênicas evitadas na decomposição

Região	casca excedente (t)	CO2 (t)	CH4 (t)
Fronteira Oeste	541.268,46	31.664,2	42.218,9
Campanha	277.939,8	16.259,5	21.679,3
Depressão Central	214.105,37	12.525,2	16.700,2
Pl. Costa Interna	229.007,51	13.396,9	17.862,6
Pl. Costa Externa	194.544,5	11.380,8	15.174,5
Zona Sul	315.590,9	18.462,1	24.616,1
<b>Total</b>	<b>1.772.456,6</b>	<b>103.688,7</b>	<b>138.251,6</b>

Fontes: Dados calculados à partir do IRGA (2017)

Levando em consideração que mesmo fracionado o carbono fixo deste resíduo no processo de decomposição, emite uma grande quantidade de parcela de metano, que tem um potencial de aquecimento 34 vezes maior que o gás carbônico, provocando maior impacto ambiental.

Desta forma aproveitando esta biomassa pra geração termoelétrica, estaria procedendo de forma adequada com o gerenciamento deste resíduo, não depositando no solo, provocando emissões de metano biogênico, assim como evitando transporte de grandes volumes.

#### **6.4 Emissões Evitadas pelo Consumo de Eletricidade da Rede**

As emissões evitadas pelo consumo de eletricidade da rede, depende da capacidade de geração de energia termoelétrica das MCTs com sua respectiva disponibilidade de biomassa para aproveitamento de cada região em comparação com a quantidade de CO2 equivalente emitido numa termoelétrica a carvão no Brasil. Segundo Restrepo (2012), uma termoelétrica a carvão no

Brasil libera em torno de 1144g CO<sub>2</sub>eq por kWh, que nos servirá de referência para a geração da MCT à partir da biomassa da casca de arroz.

Desta forma toda a energia substituída evitara as emissões das termoeletricas fornecedoras de energia da rede do sistema interligado nacional (SIN).

Pelo potencial de geração de energia termoeletrica a partir da casca de arroz, no estado do Rio Grande do Sul conseguiríamos evitar a emissão de aproximadamente 822.857 toneladas de CO<sub>2</sub> conforme a tabela 9.

Tabela 9 – Emissões de CO<sub>2</sub> evitadas pelo consumo de energia elétrica do SIN

Região	Energia gerada (KWh)	t CO <sub>2</sub> eq
Fronteira Oeste	219.652,15	251.282,050
Campanha	112.790,7	129.032,560
Depressão Central	86.886,1	99.397,698
Pl. Costa Interna	92.933,5	106.315,920
Pl. Costa Externa	78.948,1	90.316,626
Zona Sul	128.069,9	146.511,960
Total	719.280,6	822.857,000

Fonte: Dados calculados à partir do IRGA (2017)

Deve-se ressaltar, em qualidades ambientais, que além da quantidade evitada de emissões de CO<sub>2</sub> pela substituição de fonte elétrica, todo o gás carbônico emitido nas MCT dentro da linha de produção do engenho, podem ser consideradas neutras devido ao fechamento do ciclo do carbono mediante a fotossíntese no período de crescimento da safra.

### **6.5 Potencial de Mitigação do Impacto Ambiental de Aquecimento Global**

Utilizando a metodologia proposta no 5º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e caracterizando com os índices de GWP-100 como fator de aquecimento global numa faixa de 100 anos, calculamos o potencial de mitigação do impacto de aquecimento global com a soma das emissões evitadas pelo consumo da eletricidade da rede e as emissões biogênicas evitadas pela decomposição microbiana da biomassa.

Com o conceito para potencial de aquecimento global ou fator de aquecimento global (GWP), quantifica-se a contribuição dos GEE no aquecimento global com as referências para um horizonte de 100 anos e o potencial de mitigação do impacto ambiental de aquecimento global do estado do Rio Grande do Sul conforme a tabela 10.

Tabela 10 – Potencial de mitigação do impacto de aquecimento global

Região	E (GEE0) (t)
Fronteira Oeste	251.282
Campanha	129.032,5
Depressão Central	99.397,6
Pl. Costa Interna	106.315,9
Pl. Costa Externa	90.316,6
Zona Sul	146.511,9
Total	4.804.243,4

Fonte: Dados calculados à partir do IRGA (2017)

Se obtém um significativo potencial de mitigação de GEE que contribui no interesse para a escolha de instalações de micro centrais termoelétricas (MCT) dentro do processo de beneficiamento de arroz no estado do Rio Grande do Sul.

## 7 CONCLUSÃO

Verifica-se a importância do aproveitamento da biomassa para obtenção de energia elétrica, ainda quando se trata de um subproduto, de um processo industrial como é o beneficiamento de arroz, que torna-se um resíduo com grande potencial do impacto ambiental assim como a casca de arroz.

O Rio Grande do Sul é o estado com maior potencial de aproveitamento da casca de arroz, com uma produtividade altíssima deste subproduto, representando mais de 2/3 da produção nacional, justifica o aproveitamento energético na implantação de micro central termoelétrica para geração de eletricidade e soluciona a problemática com a logística na gestão ambiental deste resíduo.

O potencial de geração de energia elétrica a partir da casca de arroz excedente no estado do Rio Grande do Sul, com a utilização do conceito de MCT aliadas a linha de produção é 86,4 MW por ano, um valor significativo em relação a disponibilidade de outras fontes de biomassa disponíveis em quantidade e características para conversões energéticas. Com este potencial de geração aumentaria, somente com a contribuição do estado, de 0,03% para 0,07% de geração de eletricidade utilizando biomassa em conversão termoelétrica no Brasil, contribuindo com diversificação e descentralização da matriz energética brasileira.

Por meio deste aproveitamento energético da casca de arroz, aumenta o potencial de mitigação do impacto ambiental de aquecimento global, evitando emissões de GEE na decomposição desta biomassa e no consumo de eletricidade da rede do SIN. Além de poder vir a ser lucrativa para o empreendedor com as possibilidades de vendas do excedente de energia produzida a ser injetada na rede, assim como a comercialização de CERs.

Assim por meio de uma medida de eficiência na produção, conseguir aliar a conservação dos recursos naturais renováveis, a conservação dos recursos energéticos da matriz nacional, contribuir a favor da problemática do aquecimento global e ainda se estabelecer dentro da política nacional de resíduos sólidos.

## REFERÊNCIAS

Acomp. safra bras. grãos, v. 4 Safra 2016/17 - Décimo levantamento, Brasília, p. 1-171 julho 2017.

ISSN 2318-6852

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL): Biomassa: fontes renováveis parte II. In: Atlas de energia elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília, DF, 2008. cap. 4.

Anuário brasileiro do arroz 2017 / Cleiton Evandro dos Santos ... [et al.]. – Santa Cruz do Sul : Editora Gazeta Santa Cruz, 2017. 104 p. : il.

ISSN 1808-1088

Anuário Estatístico de Energia Elétrica. 2016. EPE- Empresa de Pesquisa Energética Ministério de Minas e Energia – MME.

Anuário Estatístico de Energia Elétrica. 2017. EPE- Empresa de Pesquisa Energética Ministério de Minas e Energia – MME.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

BRASÍLIA. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira**: Resultados de 2016. Brasília: MME, 2017. 32 p.

FERNANDES, Iara J. et al. Caracterização do resíduo industrial casca de arroz com vistas a utilização como biomassa. In: FORUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 6., 2015, São José dos Campos. Instituto Venturi, 2015.

HOFFMANN, Ronaldo. Método **Avaliativo da Geração regionalizada de energia, em potências inferiores a 1mw, a partir da gestão dos resíduos de biomassa - Casca de Arroz**. 1999. 211 f. Tese (Doutorado) - Curso de

Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

LORENZETT, Daniel Benitti. Gestão de Resíduos e a indústria de beneficiamento de arroz. **Revista gestão industrial**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR Campus Ponta Grossa - Paraná - v. 08, n. 01: p. 219-232, 2012.

ISSN 1808-0448

MAYER, Flávio Dias; HOFFMANN, Ronaldo; RUPPENTHAL, Janis E.. Gestão Energética, Econômica e Ambiental do Resíduo de Casca de Arroz em Pequenas e Médias Agroindústrias de Arroz. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 8., 2006, Bauru. **Anais**. Bauru: Unesp, 2006.

MAYER, Flávio Dias. **Aproveitamento da Casca de Arroz em uma Micro Central Termoelétrica - Avaliação Dos Impactos Econômicos e Ambientais Para o Setor Arrozeiro do Rio Grande do Sul**. 2009. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

Perspectivas para a agropecuária / Companhia Nacional de Abastecimento – v.5 – Brasília : Conab, p. 1-111, AGO. 2017. ISSN 2318-3241

Onu, 2017. Nações Unidas no Brasil. Disponível em:

< <https://nacoesunidas.org/tema/ods13/>>.

Acessado em 10/09/2017.

PAULA, Rafael Bergamasco. **Projeto e avaliação teorica e experimental de sistemas de geração de eletricidade a partir da biomassa utilizando motores stirling**. 2007. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

Restrepo Victoria, Álvaro Hernán **Metodologia de análise e avaliação exergoambiental de plantas termoelétricas operando em combustão**

**combinada carvão - biomassa** [tese] / Álvaro Hernán Restrepo Victoria ; orientador, Edson Bazzo - Florianópolis, SC, 2012. 177 p.

RIO DE JANEIRO. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2017: Relatório Síntese** ano base 2016. Rio de Janeiro: MME, 2017. 61 p.

ROCHA, Marcelo Theoto. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. 2003. 214 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Fitopatologia, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SBRUZZI, Clarissa Bianca. **Aquecimento global, mudanças climáticas e o impacto na economia**. 2010. 62 f. Monografia - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

SILVA, Robson Leal da; SILVA, Aletéia Marcelle Primão da. Bioenergia da Biomassa Residual: Potencial Energético da Combustão da Casca de Arroz em Dourados-MS e Região. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.91-105, 30 mar. 2016. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v5i1>.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estud. - CEBRAP**, São Paulo , n. 79,p. 47-69, Nov. 2007 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-33002007000300003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003&lng=en&nrm=iso)>. access on 11 Nov. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>.

ZUQUINAL, Robson. **Utilização da casca de arroz na produção de energia para uma indústria de beneficiamento de arroz sul catarinense**. 2016. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina-campus Araranguá, Araranguá, 2016.