



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

**OBTENÇÃO DE BRIQUETES A PARTIR DA CASCA DO ARROZ
E AVALIAÇÃO DO SEU POTENCIAL ENERGÉTICO**

Nailce Aparecida Dorneles Vieira

Lajeado, julho de 2014

Nailce Aparecida Dorneles Vieira

OBTENÇÃO DE BRIQUETES A PARTIR DA CASCA DO ARROZ E AVALIAÇÃO DO SEU POTENCIAL ENERGÉTICO

Monografia apresentada para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental, do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Me. Gustavo Reisdörfer

Lajeado, julho de 2014

Nailce Aparecida Dorneles Vieira

OBTENÇÃO DE BRIQUETES A PARTIR DA CASCA DO ARROZ E AVALIAÇÃO DO SEU POTENCIAL ENERGÉTICO

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Prof. Me. Gustavo Reisdörfer - Orientador

Centro Universitário UNIVATES

Prof. Dr. João Vicente Akwa

Centro Universitário UNIVATES

Prof. Dr. Odorico Konrad

Centro Universitário UNIVATES

Lajeado, julho de 2014



DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu esposo Aldair Vieira e minha filha Maria Antônia pelo companheirismo, amor e paciência, principalmente nas minhas ausências. Aos meus pais, Demarino Dorneles e Eva da Costa Dorneles e aos meus irmãos Ênio, Lenice e Marisane pelo grande apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por me permitir estar aqui.

Ao Prof. Me. Gustavo Reisdörfer, pela orientação, disponibilidade, ensinamentos e paciência. Muito obrigado por tudo.

À Univates que, por muitas horas, dias e anos vem sendo “a minha grande escola”, me oportunizando um ensino de qualidade. Ao coordenador do curso de Engenharia Ambiental, Prof. Me. Rafael Rodrigo Eckhardt e a todos meus professores, que de alguma forma contribuíram para a formação de meu conhecimento, tão necessário para a realização deste trabalho e para minha vida toda.

A todos os colegas e amigos, em especial, Ana Leticia Giacomelli, Ivan Cesar Tremarin, Darlan Henrique da Silva, Eng^a. Micheline Jaeger, Rosângela Henz da Luz, Eng^a. Tatiana da Costa e Marilana da Silva Weber por todo incentivo e apoio.

As empresas Arroz Santos e Marcenaria Gullich de Venâncio Aires RS, pelo fornecimento dos materiais para a realização dos experimentos.

Agradeço carinhosamente à família: Esposo e filha, Aldair e Maria Antônia. Ainda, a colega de trabalho e grande amiga Sabine Metz Hickmann, por serem meus grandes incentivadores, parceiros e amigos em todos os momentos.

RESUMO

Resíduo lignocelulósico agroindustrial, a casca de arroz está entre as fontes renováveis abundantes e de custo reduzido, acessível para a conversão em produtos com valor agregado. Obter briquetes de casca de arroz e avaliar o seu potencial energético foi o objetivo central deste trabalho. Como o Rio Grande do Sul destaca-se como o maior produtor deste cereal no Brasil, simultaneamente, visa-se contribuir para a atenuação do problema ambiental consequente da disposição deste resíduo agrícola em locais inadequados. Realizaram-se experimentos em escala de bancada em seis momentos distintos e em triplicata. Em 03 bateladas utilizou-se melado e, em outras 03, o amido como ligante. A compactação ocorreu por meio de uma prensa hidráulica manual, aplicando-se 14.000,0 kgf/cm² de pressão. Para os corpos de prova utilizaram-se moldes de aço de 6,97 cm de diâmetro por 45,0 cm de altura, obtendo-se 18 briquetes com média de 15,0 cm de altura e 630,0 g de massa. A secagem se deu em temperatura ambiente por um período de 48 horas. As 06 amostras analisadas apresentaram Poder Calorífico Inferior (PCI) satisfatório, que é a energia efetiva do material, valores entre 3.545,0 e 4.355,0 kcal/kg, sendo que, a amostra 6 com o amido e serragem apresentou maior PCI. Avaliaram-se os teores de umidade higroscópica (2,20 – 4,58%), teor de carbono (43,25 – 52,97%), hidrogênio (5,60 – 6,30%), nitrogênio (1,36 – 2,14%) e teor de cinzas (1,56 – 12,95%), todos ficaram próximos aos teores de briquetes de outras biomassas. Os briquetes atenderam as funções esperadas deste estudo podendo desempenhar satisfatoriamente a substituição das fontes caloríficas tradicionais, comparando-se inclusive aos tradicionais briquetes de carvão vegetal e lenha.

Palavras-chave: Arroz. Casca de arroz. Cinzas. Biomassa. Biocombustível. Briquetes. Resíduo agrícola. Potencial Calorífico. Serragem.

ABSTRACT

Agroindustrial lignocellulosic sediment, the rice husk is between the abundant renewable sources and a reduced cost, accessible to a products conversion with an assembled value. The main goal of this work was to obtain briquettes of rice husk and evaluate its energy potencial. Whereby Rio Grande do Sul is the largest producer of the cereal, simultaneously aims to contribute to an extenuation of the environmental problem in consequence of the disposition from agricultural sediment in inappropriate places. Therefore, scale experiments of stands were realized in six different moments and in triplicate. In three batches were used molasses and in other three were applied starch as binder. The compaction happened due to a manual hydraulic press of 14.000,0 kgf/cm². Steel molds of 6,97 cm of diameter by 45,0 of height were utilized to the corpus in test, therefore were obtained briquettes around 15 cm of height and 630,0 g of mass. The drying process happened with room temperature for 48 hours. The six samples analyzed presented satisfactory Lower Calorific Power (LCP), which is the effective energy from the material between 3545,0 and 4355,0 kcal/kg, while the sample 6 containing starch and drying presented bigger content of LCP. The content of hygroscopic moisture (2,20 – 4,58%), carbon content (43,25 – 52,97%), hydrogen (5,60 – 6,30%), nitrogen (1,36 – 2,14%) and ashes content (1,56 – 12,95%) evaluation got closer to the briquettes content of other biomasses. The briquettes answered to the hopped functions of this study developing the substitution of the traditional calorific sources greatly, as comparing to the traditional briquettes of charcoal and firewood.

KEY WORDS: Rice. Rice Husk. Ashes. Biomass. Biofuel. Briquettes. Agricultural Sediment. Calorific Power. Sawdust.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 - Principais processos de conversão energética da casca do arroz.	46
Diagrama 2 - Processamentos termoquímicos das biomassas e produtos.....	48
Diagrama 3 - Esquema simplificado das etapas que foram desenvolvidas.....	61
Diagrama 4 - Processos para produção dos briquetes e análises finais.	69
Diagrama 5 –Matéria-prima e misturas utilizadas em cada amostra.....	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perspectiva de divisão do grão do arroz.	41
Figura 2 - Casca do arroz no estado natural.	42
Figura 3 - Exemplos de briquetes de materiais diversos.....	49
Figura 4 - Local da coleta da casca e do pó do arroz.....	64
Figura 5 - Procedimentos para a obtenção das amostras com o melado.....	72
Figura 6 - Procedimentos para a obtenção das amostras com o amido.....	73
Figura 7 - Projeto técnico da prensa manual.....	75
Figura 8 - Processo de desmoldagem dos briquetes.	85
Figura 9 – Briquetes com os materiais pertinentes a este projeto.....	86
Figura 10 – Aspecto visual dos briquetes após a secagem.	86
Figura 11 – Realização dos ensaios de dureza.....	92

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Disponibilidade residual de biomassa nas diferentes regiões do Brasil.	36
Mapa 2 - Potencial de geração de energia de resíduos agrícolas na Região Sul.	37
Mapa 3 - Regiões gaúchas produtoras de arroz.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de referência para análise elementar (% C, H, N, S, O).	43
Tabela 2- Análise imediata de biomassa (Umidade, voláteis, cinzas, carbono fixo).	43
Tabela 3 - Valores de referência para análise imediata da biomassa (%).	44
Tabela 4 – Materiais utilizados em cada amostra (%).	70
Tabela 5 – Massa específica dos materiais que foram utilizados no processo.	82
Tabela 6 - Teor de umidade dos materiais no recebimento.	83
Tabela 7 – Comparativo amostras com mesmos materiais e ligantes diferentes.	90
Tabela 8 - Leituras dos valores de dureza nos briquetes.	91
Tabela 9 - Comparativo dos teores de C, H e N entre as amostras.	94
Tabela 10 - Teor de umidade de higroscopia nos briquetes após a combustão.	97
Tabela 11 - Teor de cinzas nos briquetes após a combustão.	97
Tabela 12 - Teor de oxigênio e halogênios nos briquetes após a combustão.	100
Tabela 13 – Comparativo do poder calorífico superior entre as amostras.	101
Tabela 14 – Comparativo do poder calorífico inferior entre as amostras.	103

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo mundial energia primária em Mtep (1987 - 2012).....	28
Gráfico 2 - Padrão de consumo de energia primária por regiões (Em % - OCDE)....	28
Gráfico 3 - Produção de energia primária no mundo em Mtep (1971-2011).	29
Gráfico 4 - Energia primária fornecimento mundial em % (2011).....	29
Gráfico 5 - Dependência externa de energia do Brasil em Mtep (1974-2012).....	31
Gráfico 6 - Variação em % do uso da energia no Brasil em 2011/2012.	32
Gráfico 7– Participação em % de renováveis na matriz energética brasileira.	32
Gráfico 8 - Evolução da estrutura da oferta de energia até 2030.	33
Gráfico 9 - Emissões per capita de CO ₂ na produção e consumo de energia.	33
Gráfico 10 – Produção de arroz na região sul do Brasil em milhões de toneladas. ...	40
Gráfico 11 – Adição de água nas amostras.....	84
Gráfico 12 – Comparativo entre as massas das amostras antes e após a cura.	87
Gráfico 13 – Comparativo entre as alturas das amostras antes e após a cura.	88
Gráfico 14 – Comparativo entre a expansão, a umidade total e higroscópica.	89
Gráfico 15 – Redução do volume dos materiais antes e após a compactação.	90
Gráfico 16 - Comparativo entre as seis amostras dos elementos (C,H e N).	93
Gráfico 17 – Teor umidade total e higroscópica, cinzas e oxigênio e Halogênios.....	95
Gráfico 18 – Análise química, teor de cinzas e umidades nas seis amostras.	100
Gráfico 19 – Comparativo PCS entre duplas de amostras e ligantes diferentes.	102
Gráfico 20 – Comparativo PCI entre duplas de amostras com ligantes diferentes..	103
Gráfico 21 – Interferência das cinzas no poder calorífico inferior dos briquetes	104
Gráfico 22 – Energia gerada em um quilograma de briquete.	105
Gráfico 23 – Energia dos briquetes em tonelada equivalente ao petróleo.	106
Gráfico 24 – Demonstração geral das análises elementares, imediata e PCI.....	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Principais Normas Técnicas internacionais dos péletes e briquetes.....	50
Quadro 2 - Etapas para o processo de briquetagem.....	51
Quadro 3 - Comparativo da lenha <i>versus</i> briquete.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CIENTEC	Fundação de Ciência e Tecnologia
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental – RS
GEE	Gases de Efeito Estufa
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa.....	19
1.2 Objetivos	21
1.2.1 Objetivo geral.....	21
1.2.2 Objetivos específicos	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1 Resíduos agrícolas	22
2.2 Energia.....	24
2.3 Matriz energética.....	25
2.3.1 Matriz energética mundial.....	26
2.3.2 Matriz energética brasileira.....	30
2.3.3 Biomassa	34
2.3.4 Biomassa lignocelulósicas	37
2.3.5 Arroz.....	38
2.3.5.1 Características da casca do arroz.....	42
2.3.5.2 Processos de conversão energética da casca do arroz	45
2.4 Briquetagem.....	48
2.4.1 Briquetagem no Brasil.....	52
2.4.2 Princípios básicos de equipamentos de compactação.....	53
2.4.3 Potencial calorífico dos briquetes	55
2.4.4 Misturas utilizadas na briquetagem	56
2.4.5 Aglomerantes utilizados na briquetagem.....	57
2.5 Outros usos da casca do arroz	59
2.6 Outros trabalhos realizados com briquetes	59

3 MATERIAIS E MÉTODOS	61
3.1 Local de estudo.....	62
3.2 Materiais.....	62
3.2.1 A casca e o pó do arroz e a serragem de madeira.....	63
3.2.2 Aglomerantes - Melado e amido	65
3.3 Métodos – Descrição dos procedimentos.....	67
3.3.1 Análises iniciais.....	67
3.3.2 Determinação da massa específica inicial dos materiais	67
3.3.3 Determinação da umidade inicial dos materiais	68
3.3.4 Produção dos briquetes	69
3.3.5 Teores de materiais utilizados em cada amostra	70
3.3.6 Etapa 1 – Descrição dos procedimentos no preparo das misturas	71
3.3.7 Etapa 2 – Descrição dos procedimentos de compactação	75
3.3.8 Etapa 3 – Descrição dos procedimentos do tratamento final	77
3.4 Análises finais nos briquetes produzidos.....	77
3.4.1 Ensaio de dureza	78
3.4.2 Análise elementar	79
3.4.3 Análise imediata.....	79
3.4.4 Poder calorífico dos briquetes	79
3.5 Volume inicial dos materiais e volume dos briquetes.....	79
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
4.1 Características iniciais das biomassas	81
4.1.1 Ensaio da massa específica nas biomassas utilizadas.....	82
4.1.2 Ensaio da umidade inicial das biomassas	82
4.2 Desmoldagem dos briquetes	84
4.3 Formato e cura dos briquetes produzidos	85
4.4 Ensaio de dureza nos briquetes	91
4.5 Análise elementar dos briquetes (C, H e N)	93
4.6 Análise imediata, umidade total, higroscópica, cinzas, oxigênio e halogênios	95
4.7 Poder Calorífico Superior nos briquetes (PCS)	101
4.8 Poder Calorífico Inferior nos briquetes (PCI).....	101
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES	107
REFERÊNCIAS.....	109

ANEXO - Estimativa da incerteza da medição.....123



1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, busca-se pela autossuficiência em geração de energia, juntamente com uma diversificação da matriz energética, isto é, a procura por variadas¹ fontes de energias alternativas.

Energia, ar e água são elementos essenciais à vida. Entretanto, desde a crise do petróleo nas décadas de 70 e 80 do século passado, a diversificação de fontes energéticas tem sido uma preocupação mundial levando muitos países a promoverem um conjunto de ações para substituir parte da energia procedente do petróleo e seus derivados (GOLDEMBERG, 1998).

Convém observar que a nível mundial, tem ocorrido um aumento considerável do consumo energético, o que veio estimular a consciência coletiva para a necessidade da produção e a diversificação da matriz energética², de forma a suprir as necessidades de: iluminação, cocção de alimentos, conforto térmico das habitações (climatização, refrigeração de alimentos), transporte (terrestre, marítimo e aéreo), motores, fornos e caldeiras para operações domésticas e empresariais. Ao mesmo tempo, é necessário conter os impactos ambientais advindos desses fatores, em particular os relacionados ao aquecimento global e seus efeitos para o futuro do planeta.

¹ Como exemplo a energia eólica, briquetagem, entre outras.

² Será mais bem discutido no subtítulo 2.3 deste trabalho.

Ainda neste contexto, a insegurança no fornecimento³ de energia, seus aspectos econômicos e ambientais, evidenciam a necessidade de investir em energias renováveis que a médio e longo prazo, podem se tornar mais viáveis e eficazes comparativamente aos derivados do petróleo.

A sociedade contemporânea vive um grande desafio, conter as emissões de gases de origem fóssil, com o intuito de reduzir o efeito estufa⁴ (GEE). Em decorrência disso, a introdução de fontes energéticas renováveis cresce e surge consideravelmente na oferta de energia mundial.

Assim, se tem como exemplo a biomassa⁵ que vem sendo difundida como um dos mais importantes suprimentos energéticos, sendo uma alternativa para a transição da era dos combustíveis fósseis para a *revolução* agroenergética, e em diferentes aplicações como nos biocombustíveis, sem desconsiderar as excelentes oportunidades para o biogás, e a briquetagem oriunda de resíduos vegetais e agrícolas (SEBRAE, 2013).

Neste sentido, o Brasil, por suas características de país tropical e seu amplo território, apresenta condições ideais para ocupar um considerável papel mundial na agroenergia (biomassas).

Comparando aos demais países, o Brasil possui significativas e amplas áreas de terras cultiváveis, excelentes condições de solo e clima favorável, o que permite o plantio de variadas culturas energéticas. E, dentre as principais, pode-se mencionar a cana-de-açúcar, que apresenta grande destaque na produção de etanol, a soja, com a produção de biocombustível, entre outras (MME, 2013).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2013), o panorama de culturas e de plantação nas áreas do País permite que outras biomassas comecem a aparecer no

³Além da crise no petróleo nas décadas de 70 e 80, um exemplo de interrupção de abastecimento pode ser lembrado como o “apagão”, a crise energética no Brasil, ocorrida em 01/07/2001 e 27/09/2002 que afetou a distribuição e fornecimento da energia elétrica (MME, 2002).

⁴Fenômeno identificado pelo francês Jean Fournier, no século XIX, definido como sendo o acréscimo constante da temperatura média da terra, advindo do aumento da concentração atmosférica de alguns gases, tais como: Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorcarbonos (HFCs), Perfluorcarbonos (PFCs) e Hexafluoreto de Enxofre (SF₆) (SANTOS, 2001).

⁵ Será melhor discutido no subtítulo 2.3.3 deste trabalho.

cenário nacional, como alternativa na expectativa de que estas venham a incrementar a matriz energética.

Nesse contingente, a Região Sul do Brasil desponta com um grande potencial em fontes de biomassa. Esta disponibilidade de biomassa, especialmente no RS, proporciona benefícios ao seu uso, pois se encontram disponíveis nos locais com demanda de energia reprimida, viabilizando assim a instalação de centrais termelétricas, visto que o transporte deste combustível torna-se um problema (HOFFMAN, 1999). Dentro deste contexto, tem-se como exemplo o município de Uruguiana na Fronteira Oeste do RS, onde se obteve produção de 640.487 toneladas de arroz na safra 2012/2013, gerando com esta vultosa colheita de grãos um excesso residual (cascas) desta biomassa agrícola (IRGA, 2013).

Discorrido brevemente sobre este assunto, pode-se dizer que uma grande vantagem da biomassa como fonte renovável está associada com a mitigação das emissões de dióxido de carbono (CO₂). Neste entendimento e sentido, é dado que todo o CO₂ emitido na utilização energética da biomassa tenha sido antecipadamente fixado no crescimento da matéria vegetal (ciclo). Contudo, as principais desvantagens estão em sua baixa massa específica que contribui nos custos relacionados ao transporte para o seu aproveitamento energético (ZURICH, 2008).

Já adentrando na ampla área das biomassas, entre as possíveis formas de reutilização dos resíduos agrícolas e florestais para a produção energética, tem-se o processo de briquetagem. Consistindo na compactação de uma massa de matéria-prima, transformando-a em sólido cilíndrico e compacto, com massa específica aumentada em relação à biomassa *in natura* e com o alto poder calorífico (FILIPPETTO, 2008).

Para McCormick (2010), a biomassa é a matéria de origem vegetal ou animal, e quando for usada para gerar calor, eletricidade ou combustíveis para transportes é denominada de bioenergia.

Segundo o Centro Nacional de Referência em Biomassa, CENBIO (2009), em muitas capitais e em grandes centros urbanos, o briquete vem apresentando um

grande destaque, competindo diretamente com a lenha e o carvão vegetal. Exemplificando, a cidade de São Paulo (SP) conta com cerca de 5.000 pizzarias e 8.000 padarias, das quais 70% aproximadamente utilizam fornos de combustão à lenha, não se encontrando briquetes em quantidades suficientes para atender a demanda.

Neste contexto, no tocante ao crescimento do uso de biomassas, resíduos lignocelulósicos de origem agroindustrial, como a casca do arroz, estão entre as fontes renováveis abundantes em várias regiões do Brasil. E segundo o CONAB, (2013), o País encontra-se na nona posição dentre os maiores produtores mundiais de arroz, sendo considerado um dos alimentos mais consumidos mundialmente, o que repercute em vultosos resíduos junto às indústrias.

A casca do arroz (uma biomassa residual agrícola) tem custo reduzido, encontra-se acessível e com ampla disponibilidade para a conversão em produtos com valor agregado. O projeto que se expõe busca averiguar o emprego deste resíduo agrícola com vistas à sua transformação em briquetes, a fim de obter um combustível sólido com considerável poder calorífico, e simultaneamente, pretende-se contribuir para a atenuação do problema ambiental consequente da disposição deste resíduo em locais inadequados.

Assim sendo, de uma forma ampla, este projeto está estruturado em cinco capítulos. No Capítulo 2, intitulado referencial teórico, foram abordados pressupostos sobre os seguintes assuntos: resíduos agrícolas; energia; matriz energética a nível mundial e brasileiro; biomassa (e lignocelulósica); o arroz e suas características; os processos de conversão de energia da casca de arroz; briquetagem e principais técnicas; aglomerantes, misturas e outros usos da casca do arroz.

Já no Capítulo 3, descrevem-se os métodos e materiais utilizados para a obtenção das amostras e a realização das análises: densidade e umidade, análise elementar e imediata, ensaio de dureza, bem como, do poder calorífico dos briquetes.

Como prosseguimento, no capítulo 4, apontam-se os resultados e discussões destes itens e dados. As conclusões e as sugestões para trabalhos futuros estão descritas no capítulo 5.

1.1 Justificativa

Atualmente, raros têm sido os estudos versando sobre técnicas de utilização de biomassa residual agrícola, tais como a casca do arroz, que repercutem em processos de transformação em um novo material, no presente projeto, transformação deste resíduo em briquetes para combustão.

Sabe-se que os resíduos de biomassa (incluindo os agrícolas) são combustíveis sólidos, podendo ser utilizados de forma direta e na condição que se encontram. É possível sua transformação por meio de processos mecânicos em partículas menores e, posteriormente, ser aplicado em um processo produtivo para geração de energia, podendo ainda ser utilizado na forma de briquete. Sem esquecer que é importante o conhecimento de algumas propriedades por meio de análise elementar química, determinando os teores de carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N) e enxofre (S) e as cinzas. O carbono (C) e o hidrogênio (H) são os elementos de maior contribuição para o poder calorífico e, quanto maior for à relação C/H no material, mais energético o material será. (VALE E GENTIL, 2008).

No mesmo contexto, a queima de biomassa deve ser feita de maneira controlada, uma vez que o processo de combustão nunca é completo, e conseqüentemente lança poluentes atmosféricos (MORAIS, 2007). Estes poluentes podem ser classificados em três grupos: em gases que provocam efeito estufa Dióxido de carbono (CO_2) e hidrocarbonetos como o metano (CH_4); em gases nocivos que comprometem a saúde e danificam os bens materiais (Monóxido de carbono (CO): e em gases que contenham nitrogênio e enxofre) com resíduos inertes (Carvão e cinzas) (NOGUEIRA, 2008).

Vê-se, que para a produção energética é importante que na análise química o material possua grande quantidade de lignina⁶ e holocelulose⁷. Enquanto que, na análise imediata, é necessário um elevado teor de carbono fixo e baixa umidade. Quanto menor a umidade do material, maior será a produção de calor por unidade de massa (PAULA, 2010). Reforçam-se assim, os relatos dos autores anteriormente citados, que para constatar e indicar determinado material como bom gerador de energia, é importante caracterizá-lo através de análises químicas, bem como, a determinação de seu valor calórico.

Nesse sentido, o interesse pelo processo de briquetagem no Brasil historicamente sempre esteve voltado para o aproveitamento de finos de carvão vegetal, provindos das indústrias siderúrgicas, direcionando a maioria das pesquisas para a elaboração de briquetes a serem utilizados nesta atividade (QUIRINO E BRITO, 1991). E neste mesmo contexto, Paula (2010), aponta a importância de novos estudos nesta área, já que nosso País não possui tradição industrial na produção de briquetes (combustível sólido) de origem lignocelulósicos. Isto pode agregar valor aos resíduos agrícolas que geralmente são subutilizados, colaborar para a mitigação de problemas ambientais advindos da disposição em locais indevidos e sem tratamento adequado e, ainda, possibilitar o uso mais eficaz de suas potencialidades energéticas.

Acrescenta-se também, à problemática ambiental oriunda dos resíduos da casca do arroz, que são gerados em volumes consideráveis junto às indústrias de beneficiamento do grão, principalmente nas regiões de produção acentuada e farta. Como é o caso dos Municípios de Uruguaiana e Itaquí, notadamente os maiores municípios produtores de arroz do Rio Grande do Sul.

⁶É um polímero aromático com alto peso molecular, tem como base estrutural unidades de fenilpropano e está ligada aos polissacarídeos da madeira. Componente de várias plantas, que diferem uma da outra de acordo com a espécie e localização na planta. A função da lignina na planta é aumentar a rigidez da parede celular, unir as células, reduz a permeabilidade da parede celular da água (KLOCK, 1989).

⁷ A menor fração de carboidratos da madeira é uma mistura de polímeros de celulose e hemicelulose e outros açúcares, em menor quantidade. A combinação de celulose e hemicelulose é denominada holocelulose (VALE E GENTIL, 2008).

1.2 Objetivos

Os objetivos deste trabalho estão divididos em: objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo geral

Produzir briquetes a partir da casca do arroz no seu estado natural e avaliar o seu potencial energético.

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Realizar a moldagem de corpos de provas provenientes da casca de arroz, em escala de bancada e sem a adição de aglutinantes químicos.
- ✓ Determinar quantitativamente o teor de umidade e a massa específica dos materiais no seu estado natural;
- ✓ Avaliar a dureza dos briquetes produzidos;
- ✓ Determinar quantitativamente os teores de carbono, nitrogênio e hidrogênio nas amostras;
- ✓ Determinar quantitativamente os teores de umidade total e higroscópica dos briquetes;
- ✓ Analisar quantitativamente os teores de cinzas;
- ✓ Avaliar o percentual de redução do volume dos materiais utilizados;
- ✓ Verificar quantitativamente o poder calorífico deste combustível sólido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo é destinado à obtenção de informações relevantes sobre os assuntos pertinentes ao trabalho realizado.

2.1 Resíduos agrícolas

Inicialmente o termo “resíduo” era associado à ideia de “lixo” e material sem utilidade. Atualmente, eles se diferenciam, pois o segundo termo empregado nos passa a ideia de ser algo sem nenhum valor, o que permitiria ser descartado. No entanto, o termo resíduo presume-se ser aquele que possui valor econômico agregado, possibilitando assim seu reaproveitamento, e em muitos casos podendo ser incorporado em um processo produtivo (DEMAJORIVIC, 1995).

Farage (2009) relata que os resíduos sólidos são considerados um dos grandes desafios do século XXI, isto devido ao aumento crescente em sua geração e pela falta de soluções ambientais adequadas quanto à disposição final ou sua reutilização. O autor segue reforçando, que o aumento na geração de resíduos, aliado aos impactos ambientais ocasionados pela disposição final dos mesmos, representa um grande desperdício de matéria-prima e energia.

No Brasil há uma grande oferta de resíduos florestais (70 milhões de toneladas) e não florestais, tais como a casca de arroz, café, resíduos de coco, milho, feijão, cacau, entre outros, que podem ser transformados em biomassa para a geração de energia (ABIB, 2010).

Assim como outras culturas agrícolas já anteriormente salientadas, após a colheita do arroz também se tem uma grande quantidade de resíduos, como a palha, que é descartada ou utilizada diretamente como cobertura no solo após a colheita mecanizada. E a casca que, por apresentar massa específica de aproximadamente 130 kg/m^3 , exige um grande volume necessário para seu armazenamento (IRGA, 2002).

Visualmente, observa-se um vultoso volume de cascas após o beneficiamento do grão do arroz, sendo considerado que o percentual de cascas correspondentes a 22% da massa total do grão (MAYER; HOFFMANN E RUPPENTHAL, 2006).

O Brasil, pelo porte agrícola que apresenta, gera grande quantidade destes resíduos. Estes quando não destinados à transformação, apresentam potencial para ser encaminhado a tratamento térmico. Os procedimentos e critérios para o funcionamento destes sistemas são estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 382/06, que trata dos limites de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas quando da queima dos resíduos orgânicos, como aqueles gerados principalmente na agroindústria de processamento de produtos agrícolas e da silvicultura (BRASIL, 2002; BRASIL, 2006).

A FEPAM (2010), preocupada com as questões dos resíduos sólidos agrícolas no RS, estabeleceu por meio da Diretriz Técnica Nº. 001/2010 (Dirtec), alguns procedimentos para a atividade de incorporação de resíduos sólidos em processos industriais (exemplifica-se, a briquetagem). Ainda a FEPAM (2011), com a Dirtec Nº. 002/2011 demonstra ações que devem ser consideradas quando da elaboração de Planos de Gestão nas unidades beneficiadoras do arroz, bem como, nas que utilizam a casca como combustível (a exemplo da queima nas termoelétricas).

No mesmo contexto, pode-se dizer que o cultivo do arroz demanda atenção especial quanto às questões ambientais, desde a lavoura até a destinação final de suas cascas. E, por assim ser, deve atender o disposto no Código Estadual do Meio Ambiente, por meio da Lei Nº 11.520/00, que estabelece no Artigo 201 que “todo usuário de solo agrícola é obrigado a conservá-lo e recuperá-lo, mediante a adoção de técnicas apropriadas”. Já, no que se refere aos resíduos agrícolas, a mesma Lei institui no seu Artigo 227:

A coleta, o armazenamento, o transporte, o tratamento e a disposição final de resíduos poluentes, perigosos, ou nocivos, sujeitar-se-ão à legislação e ao processo de licenciamento perante o órgão ambiental e processar-se-ão de forma e em condições que não constituam perigo imediato ou potencial para a saúde humana e o bem-estar público, nem causem prejuízos ao meio ambiente.

Com isso, a necessidade do desenvolvimento de um plano de gestão para estes resíduos gerados se faz presente legalmente (RS, 2012).

Após as abordagens vistas até aqui sobre os resíduos agrícolas, adentra-se a seguir em um assunto de grande importância para este trabalho, que tratará da energia.

2.2 Energia

A palavra energia surgiu pela primeira vez no ano de 1807, apresentada pelo médico e físico inglês Thomas Young. A escolha dele pelo termo energia está diretamente relacionada com a sua concepção que a energia é a capacidade de um corpo de realizar algum tipo de trabalho mecânico. Energia, em grego, significa “trabalho” (do grego *enérgeia*) e, no início, dita palavra foi usada para se referir a muitos dos fenômenos explicados através dos termos: “*vis viva*” (ou “força viva”) e “*calórico*”. (WILSON, 1968).

Kuhn (1989) destaca que o conceito de energia e o seu princípio geral de conservação vieram à tona no cenário científico na primeira metade do século XIX. Na mesma época, quatro cientistas europeus – Mayer, Joule, Colding e Helmholtz,

no período de 1842 a 1847 – anunciaram publicamente a hipótese de conservação da energia que é a primeira Lei da Termodinâmica.

Sabe-se que, dos conceitos de estudo da termodinâmica⁸, igualmente como massa e força, o de energia é um dos mais importantes. Logo, a energia é também difícil de ser determinada com precisão. Ela tem sido definida como a capacidade de produzir um efeito, podendo ser acumulada num sistema, além de ser transferida na forma de calor (BORGNAKKE E SONNTAG, 2013).

A energia, segundo os aspectos demonstrados em âmbito global, é um dos elementos fundamentais para promover a evolução. Como bem de consumo é necessário economizar e racionalizar o seu uso, bem como empregar outros meios, tais como elevação tarifária, campanhas educativas (mudança cultural), adequações em equipamentos e processos, objetivando a melhoria no desempenho de equipamentos e redução das perdas (MME, 2013).

Adicionalmente, evidente é a necessidade de avançar em pesquisas e investimentos em diferentes fontes de energia alternativa, dentre estas as biomassas de origem agrícolas, a fim de que venham a incrementar a matriz energética e permitir aplicação e uso de tais materiais na produção de novos produtos.

2.3 Matriz energética

A palavra matriz tem seu conceito procedente da matemática e refere-se basicamente a tabelas compostas por certo número de linhas e colunas. Como é usual listar as fontes de energia de um determinado país ou região, assim como as quantidades de energia disponível por fonte (exemplo hidráulica e solar), por ano ou por mês, em tabelas, técnicos do setor, a maioria com formação em energia e grande experiência na realização de cálculos matemáticos empregando matrizes, passaram a chamar as tabelas que representam a oferta de energia de um país como a matriz energética. Em síntese, é uma representação quantitativa da oferta de energia, melhor dizendo, da quantidade de recursos energéticos oferecidos por

⁸A 1ª Lei da Termodinâmica é, em essência, a lei da conservação de energia (SONNTAG; BORGNAKKE, 2003).

aquele país para ser transformada, distribuída e consumida nos seus processos produtivos (BANDEIRA, 2012).

Sobre este assunto, Pacheco (2006) apresenta a matriz energética como oriunda de “ciclos naturais” de conversão por meio da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, conseqüentemente, considerada praticamente inesgotável não alterando o balanço térmico do planeta, podendo ainda configurar como um conjunto de fontes de energia chamadas de não convencionais (não baseadas nos combustíveis fósseis e ou grandes hidroelétricas).

Neste mesmo contexto, confirmando o acima expandido, o autor ressalta que, hoje em dia, busca-se usar as denominações Energias Renováveis e Novas Energias, para determinar o conceito naquelas que apresentam ciclos de renovação natural, que se originam da energia solar como fonte primária. Nesta categoria pode ser incluída a energia eólica, de biomassa e a solar, ou seja, são formas de energia que se regeneram de uma forma cíclica em uma curta escala de tempo.

2.3.1 Matriz energética mundial

É crescente a representação da produção das energias renováveis no âmbito energético mundial. Quadro esse que o Brasil encontra-se inserido.

A BP (2013) destaca que o consumo de energias renováveis em nível mundial cresceu 15,2% em 2012 comparado aos anos anteriores, com uma representatividade no fornecimento de 4,7% da eletricidade do mundo.

Assim sendo, percebe-se que a adesão dos países no interesse em incrementar a matriz energética continua crescendo. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)⁹, grupo com 34 países,

⁹ OCDE- órgão internacional e intergovernamental que reúne os países mais industrializados, assim como alguns emergentes, a exemplo o México, Chile e Turquia. Os membros da OCDE são: Alemanha (1961); Austrália (1971); Áustria (1961); Bélgica (1961); Canadá (1961); Chile (2010); Coréia do Sul (1996); Dinamarca (1961); Eslováquia (2000); Eslovênia (2010); Espanha (1961); Estados Unidos (1961); Estônia (2010); Finlândia (1969); França (1961); Grécia (1961); Hungria (1996); Irlanda (1961); Islândia (1961); Israel (2010); Itália (1962); Japão (1964); Luxemburgo (1961); México (1994); Noruega (1961); Nova Zelândia (1973); Países Baixos (1961); Polônia (1996);

continua a ser a principal fonte de geração de energia renovável (71,0% da oferta total mundial). Entretanto, o crescimento da geração de energia renovável nos países que não integram a OCDE, como é o caso do Brasil, aceleraram bruscamente, vindo a superá-la em termos percentuais em cada um dos últimos cinco anos. No entanto, o consumo de energia renovável em países membros da OCDE reduziu em média 1,2%, liderado pelos Estados Unidos, com uma diminuição de 2,8%, o que corresponde a maior queda do mundo em termos relativos em 2012. Diferentemente do que ocorreu nos países não membros da OCDE, como é o caso do nosso país, o consumo de energia registrou 4,2%, abaixo da média que é de 5,3% nos últimos 10 anos (BRASIL, 2013).

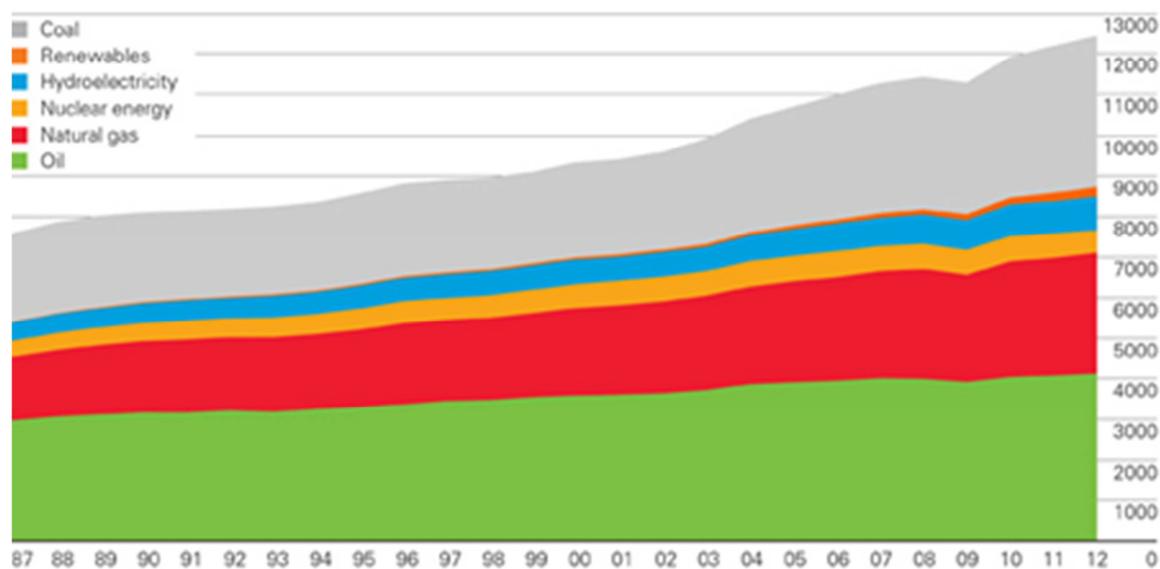
Com isso, o petróleo permanece na liderança dos combustíveis consumidos, com 33,1% do consumo global de energia. E este percentual é o índice mais baixo na última década, isto devido à produção hidrelétrica mundial de 6,7% e de outras energias renováveis num montante de 1,9% na geração de energia, índices estes que alcançaram recordes de consumo de energia primária global.

O aumento no consumo mundial de energias renováveis ficou inferior à média para todos os combustíveis de ordem fósseis e de origem nuclear, exceto na África, isto se deve ao fato do aumento na produção e consumo de energias renováveis (BP, 2013).

De outra forma, o Gráfico 1 demonstra o consumo mundial de energias primárias por regiões, no período correspondente aos últimos 25 anos. É possível observar, neste, que a participação das renováveis (*Renewables*) surge no cenário mundial, com crescimento considerável nos últimos anos, sendo que em 1987 as renováveis nem figuravam entre as principais fontes primárias de energia.

Portugal (1961); Reino Unido (1961); República Tcheca (1995); Suécia (1961); Suíça (1961); e Turquia (1961). O Brasil não é membro da OCDE, porém participa do programa de engajamento ampliado (*enhanced engagement*) permitindo-o participar de Comitês da Organização (BRASIL, 2013).

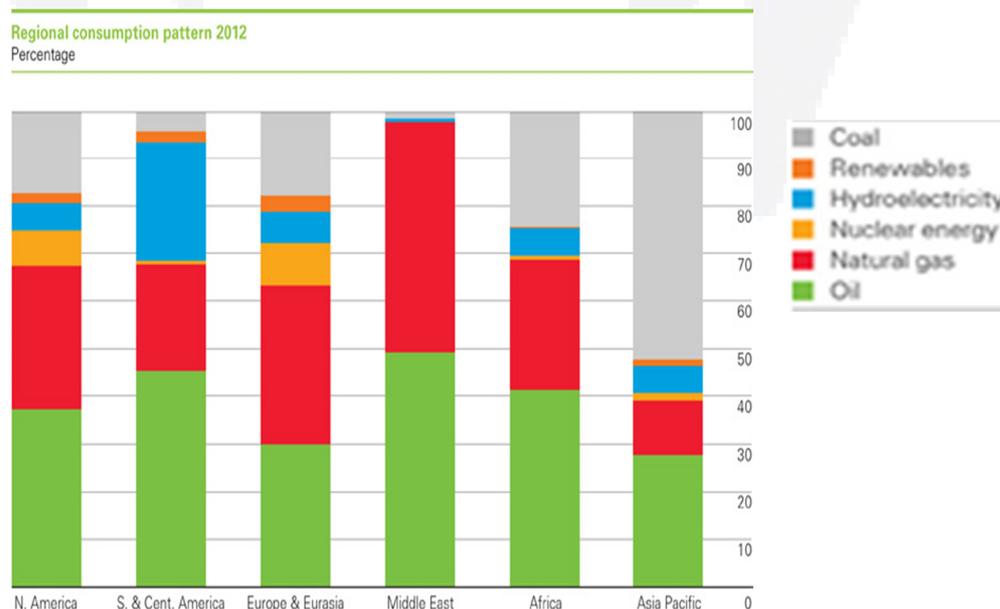
Gráfico 1 - Consumo mundial energia primária em Mtep (1987 - 2012).



Fonte: BP (2012).

No mesmo período, o carvão é o combustível mais consumido na região Ásia-Pacífico (GRÁFICO 2), a única região dependente de um único combustível para mais de 50% do consumo total de energia primária.

Gráfico 2 - Padrão de consumo de energia primária por regiões (Em % - OCDE).



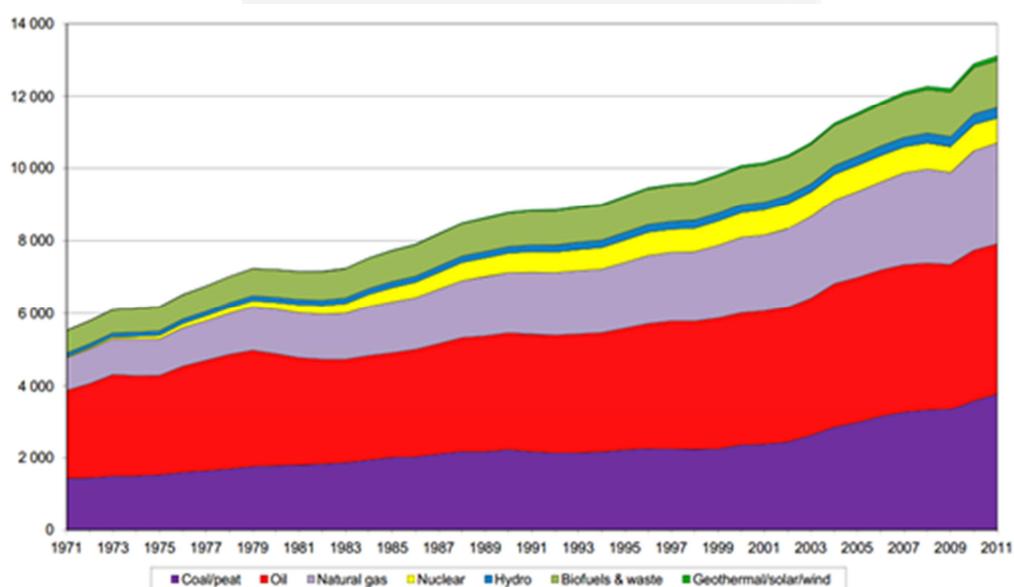
Fonte: BP (2012).

O gás natural e o óleo são consumidos por todas as regiões demonstradas. Logo, o Oriente Médio (*Middle East*) é basicamente dependente destes dois tipos de energia, não consumindo energias renováveis e nucleares.

A energia hidroelétrica é consumida por todas as regiões, sendo dominante na América Central e menos consumida no Oriente Médio.

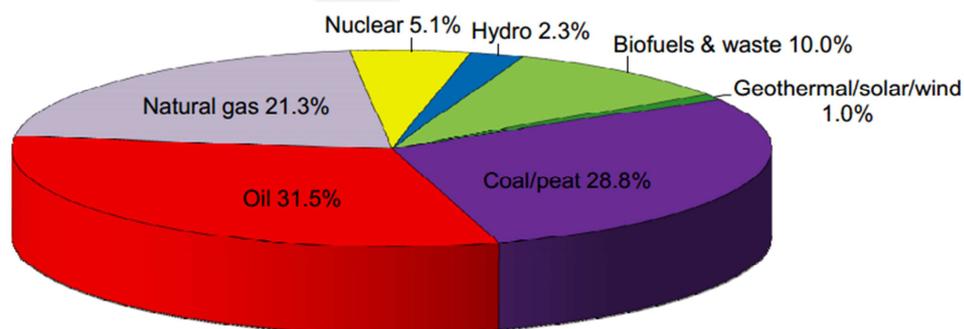
O Gráfico 3 demonstra a produção mundial de energia primária, em que se percebe um aumento na participação dos biocombustíveis e resíduos (*Biofuels & waste*). A produção mundial de energia primária, aproximadamente 13 Mtep em 2011 contra 5 Mtep produzidos no ano de 1971, reflete um aumento cumulativo expressivo na produção nesses quarenta anos.

Gráfico 3 - Produção de energia primária no mundo em Mtep (1971-2011).



Fonte: IEA (2011).

Gráfico 4 - Energia primária fornecimento mundial em % (2011).



Fonte: IEA (2011).

Nota-se que, no Gráfico 4, a oferta de óleo (*Oil*), seguido pelo carvão e turfa (*Coal/peat*), despontam com a maior representatividade no fornecimento na matriz energética mundial. No contexto geral em nível global, tem-se que a maior demanda por energia é o setor da indústria, seguido pelos transportes (IEA, 2011).

2.3.2 Matriz energética brasileira

O Ministério de Minas e Energia (MME, 2013b), por meio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA - ressalta que, nos dias atuais, o Brasil vive situação distinta em termos de utilização de fontes renováveis de energia. Ainda que, houve uma redução na produção nos últimos sete anos. Isto se deve ao fato da diminuição da produção da cana-de-açúcar, maior impulsionadora de renováveis da nação.

Em nosso País, 43,9% da Oferta Interna de Energia (OIE) encontram-se dimensionada através de fontes renováveis, em comparação à média mundial, que é de 14,0%, superando os países chamados desenvolvidos, os integrantes da OCDE, que representam para essa característica, apenas 6,0%. Essa oferta representa toda a energia brasileira possível de transformação, distribuição e consumo nos processos produtivos do País (MME, 2013b).

MME (2013) destaca também que a OIE em 2012 alcançou a soma de 283,6 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), sendo 4,1% superior ao ano de 2011, o que correspondente a 2,1% da energia mundial. Este considerável aumento da OIE foi superior ao crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) que no mesmo período, estimado em 0,9%.

Atualmente no Brasil, as perdas térmicas oriundas do baixo desempenho na geração hidráulica tem grande representatividade junto aos principais motivadores na elevação no consumo de energia elétrica. E a segunda maior demanda no consumo de energia fica a cargo do setor de transportes (MME, 2012b).

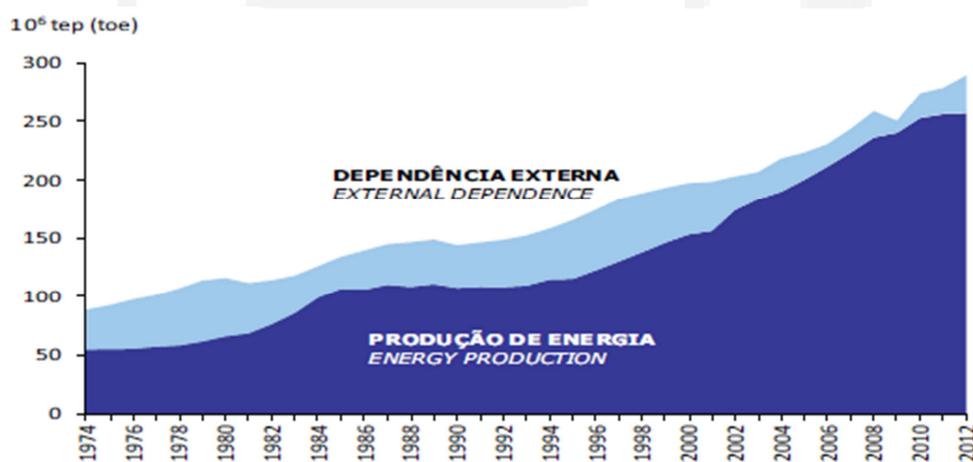
Com isso, tem-se que a matriz de geração elétrica brasileira é de origem predominantemente renovável, podendo-se afirmar ainda que a geração de energia

hidráulica responde por 76,91% da oferta interna em solo Nacional, e, somando-se às importações de energia ou produção interna, que essencialmente também são de origem renovável, pode-se afirmar que 84,6% da eletricidade no Brasil é originada por fonte renovável. Por outro lado, as biomassas apresentam uma participação de 6,8% para produção de eletricidade (MME, 2012b).

O Brasil é dependente de energia externa basicamente de dois produtos. Primeiro, o carvão mineral, matéria-prima essencial para as siderúrgicas, pois o carvão mineral brasileiro é de baixa qualidade, apresentando altos teores de cinzas e enxofre. O segundo produto é o petróleo (especialmente diesel), o país exporta petróleo bruto e importa seus derivados. Estes fatos devem-se, ao crescimento acelerado na demanda por combustíveis, impulsionados pelo aumento da frota veicular no país, especialmente carros *flex fuel* (MME, 2013b).

Pode-se verificar anteriormente o incremento na produção da energia nacional em relação à necessidade externa. No Gráfico 5, observa-se que a evolução da produção interna de energia se deu de forma consideravelmente maior que a necessidade de exportação, fato que quase torna o Brasil um país autossuficiente (MME, 2013b).

Gráfico 5 - Dependência externa de energia do Brasil em Mtep (1974-2012).

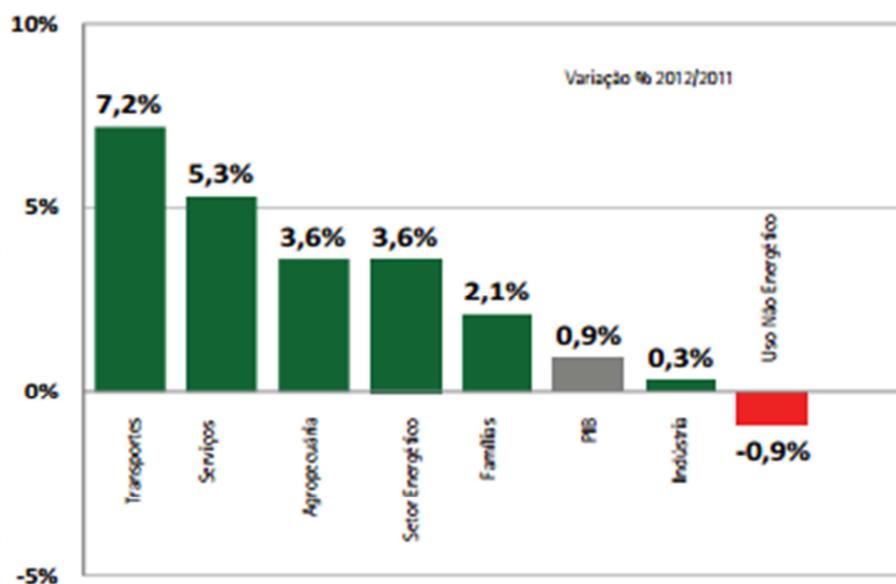


Fonte: MME (2013a).

Por meio do Balanço Energético Nacional de 2013 (MME, 2013a), identificaram-se os principais vínculos impulsionadores da oferta e consumo de energia no Brasil. Neste contexto, destacam-se na oferta: produtos advindos da

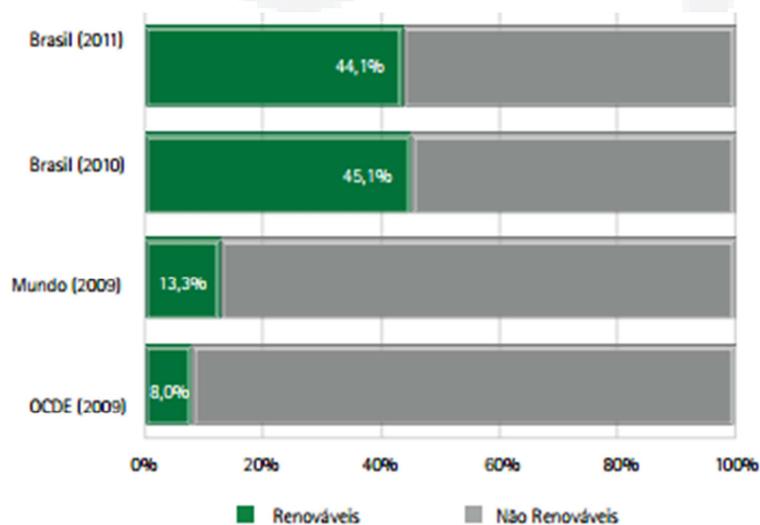
cana de açúcar; petróleo e derivados. As biomassas aparecem com uma representação de 4,1% do total da oferta nacional. Por outro lado, quanto ao consumo de energia no Brasil (GRÁFICO 6), destacam-se: os transportes; serviços; outros e, por último, a indústria (MME, 2013a). Com isso, a demanda brasileira por energia é o inverso da demanda mundial, que apresenta como destaque o setor da indústria seguido pelos transportes.

Gráfico 6 - Variação em % do uso da energia no Brasil em 2011/2012.



Fonte: MME (2013a).

Gráfico 7– Participação em % de renováveis na matriz energética brasileira.

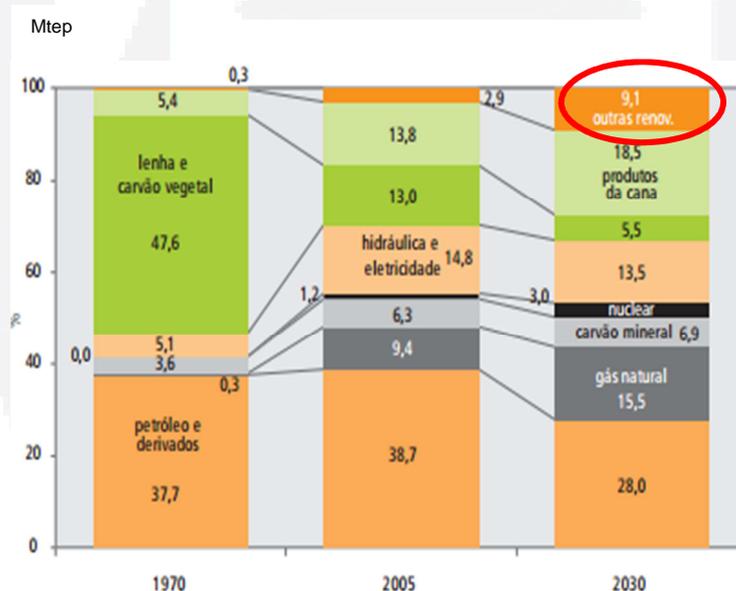


Fonte: MME (2013a).

Segundo ainda o Ministério de Minas e Energia (2013a), num comparativo entre a participação (%) brasileira das energias renováveis e não renováveis (GRÁFICO 7), na matriz energética mundial, observa-se uma pequena queda em 2011, mesmo que o Brasil ainda se manteve com as participações mais elevadas do mundo. Tal fato, advindo da menor oferta de etanol, decorrente de uma queda de 9,8% na safra da cana neste ano (MME, 2013a).

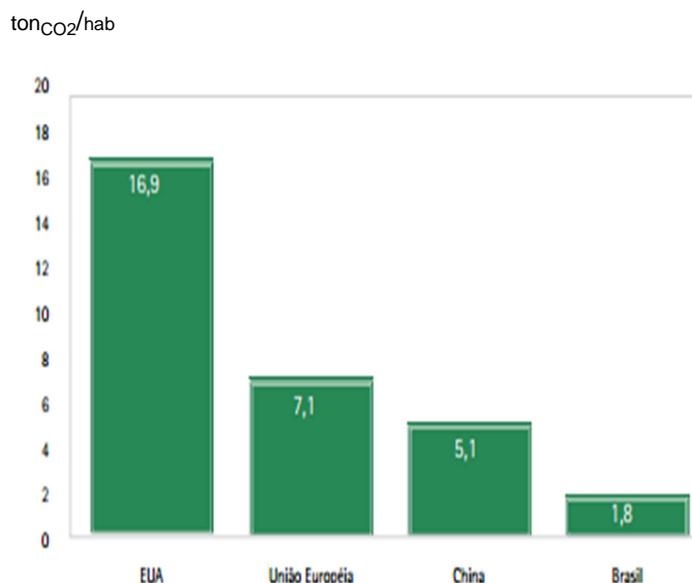
Como visto, o incremento das biomassas na matriz energética é crescente. Se tratando, da projeção da produção de energia renovável no Brasil, o MME (2013a) estima que nosso país possa atingir 9,1 Mtep no ano de 2030 (GRÁFICO 8).

Gráfico 8 - Evolução da estrutura da oferta de energia até 2030.



Fonte: MME (2013a).

Ainda segundo ainda o MME (2013a), as emissões poluentes de dióxido de carbono (CO_2) per capita, relativas ao ano de 2011, advindas da produção e do consumo de energia (GRÁFICO 9), chegando ao montante de 20 toneladas de CO_2 por habitante ($\text{ton}_{\text{CO}_2}/\text{hab}$). Assim, cada brasileiro emite, em média, quatro vezes menos do que um habitante europeu, nove vezes menos do que um cidadão americano e menos da metade do que emite um habitante chinês.

Gráfico 9 - Emissões per capita de CO₂ na produção e consumo de energia.

Fonte: MME (2013a).

Com isso, no campo das matrizes energéticas, tanto em nível mundial como nacional, as biomassas aparecem com distinta importância e fundamental projeção.

2.3.3 Biomassa

Sabe-se que o termo biomassa foi inicialmente introduzido por Eugene Adam Paulin, físico e estudioso de botânica que, por volta de 1882 na Pensilvânia - EUA descrevia que a biomassa é constituída pelo material produzido por todos os seres vivos - animais, vegetais, fungos e protistas - ou seja, a matéria viva, em seus diferentes processos por meio da fixação da energia solar nas moléculas constituintes de suas células, passando por todos os estágios da cadeia alimentar. (BRISTOTI E SILVA, 1993; JOHANSSON et al., 1993; WEREKO; CHARLES Y E HAGEN, 1996).

No mesmo caminho, historiadores evidenciam que a descoberta do fogo data de 500.000 antes de Cristo, correspondendo às primeiras utilizações da biomassa como fonte energética, na época, principalmente com queima de madeira de

árvores, promovendo a geração de calor para cozimento de alimentos e proteção contra o frio (ABIB, 2010).

Com isso, durante um longo período, o termo biomassa estava diretamente relacionado à ideia de desmatamento, incluindo-se aí a Europa e os Estados Unidos. Da mesma forma ocorreu no Brasil, donde se viram as derrubadas da Mata Atlântica e de grande parte da Floresta Amazônica. Somente a partir do século XX iniciou-se o uso da biomassa moderna¹⁰, com o programa álcool no Brasil e o exercício do reflorestamento para a produção de madeira (GUARDABASSI, 2006; CENBIO, 2009).

Por sua vez, alguns autores determinam o termo biomassa como sendo qualquer material derivado da vida vegetal e que seja renovável em um espaço de tempo inferior a 100 anos, e sendo assim, entendem que a maioria dos recursos energéticos, tais como o petróleo, carvão mineral e xistos betuminosos não são considerados renováveis, apesar de serem derivados da vida vegetal. Entretanto, algumas microalgas e materiais com altos índices de umidade, não se enquadram a esta regra, donde se conclui que a biomassa se caracteriza, essencialmente, por ser uma matéria carbonada em estado sólido (PROBSTEIN, HICKS, 1982; KLASS, 1998; HIGMAN, VAN DER BURGT, 2003; FONSECA 2009).

O conceito geral do ponto de vista energético, abordada pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO, 2013), é que biomassa seria todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizado para produção de energia. Entretanto, a biomassa deve sua característica energética à conversão da energia solar, sendo uma das mais importantes fontes no futuro e em curto prazo, ditando como exemplo: a madeira, detritos animais e resíduos orgânicos, momento que também considera de grande conveniência os resíduos agrícolas, tais como a casca de arroz, a serragem e o bagaço da cana-de-açúcar (BRIDGWATER, 1965; LORA ET AL., 2005).

¹⁰ [...] Biomassa moderna trata-se do uso de tecnologias avançadas de conversão de biomassa em eletricidade e o uso de biocombustíveis (KAREKESI ET AL., 2005).

A grande vantagem como fonte renovável da biomassa, que tem como principais componentes a hemicelulose¹¹ e a lignina¹² estão associadas com a mitigação das emissões de CO₂. E nesta acepção, é dado que todo o CO₂ emitido na utilização energética da biomassa tenha sido antecipadamente fixado no crescimento da matéria vegetal. Logo, as principais desvantagens estão em sua baixa densidade e seu relevante conteúdo de umidade que contribuem nos custos relacionados ao transporte para o seu aproveitamento energético (USHIMA, 2006; ZURICH, 2008).

O Mapa 1, demonstra as regiões brasileiras e os respectivos resíduos de biomassa, onde na Região Sul apresenta em destaque a casca do arroz.

Mapa 1 - Disponibilidade residual de biomassa nas diferentes regiões do Brasil.



Fonte: Adaptado da EMBRAPA (2002).

Para Karekesi et al. (2005), a biomassa divide-se em três categorias, de acordo com a tecnologia empregada na sua utilização energética: a primeira,

¹¹ Literalmente: "meia celulose" são polissacarídeos. Junto com celulose, a pectina e as glicoproteínas, formam a parede celular das células vegetais (VALE, 2000).

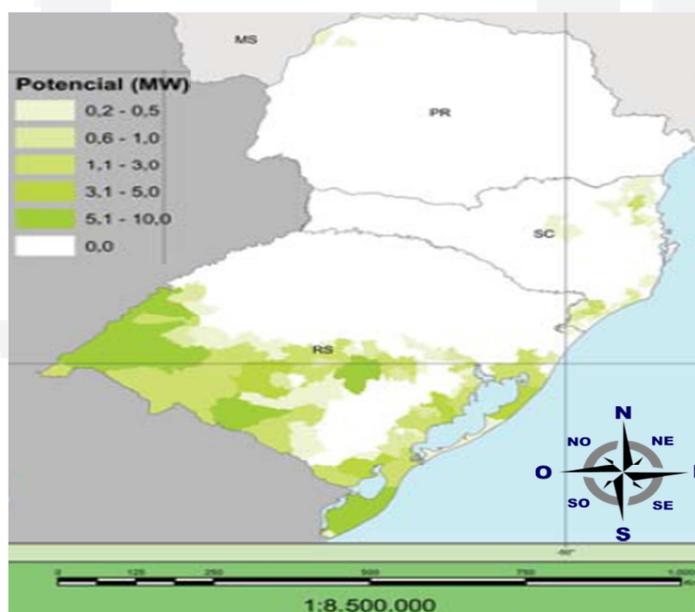
¹² A lignina é um complexo polímero fenólico, encontrada integralmente como componente da parede celular e não pode ser digerida pelas enzimas dos animais mamíferos (Van Soest, 1994). Ou ainda, É um polímero aromático com alto peso molecular, tem como base estrutural unidades de fenilpropano e está ligada aos polissacarídeos da madeira. Componente de várias plantas, que diferem uma da outra de acordo com a espécie e localização na planta. A função da lignina na planta é aumentar a rigidez da parede celular, unir as células, reduzir a permeabilidade da parede celular da água (KLOCK, 1989).

chamada de tecnologias tradicionais de uso da biomassa - combustão direta; a segunda, como tecnologias “aperfeiçoadas” de uso da biomassa - tecnologias aperfeiçoadas e mais eficientes de combustão direta de biomassa e a terceira; nomeada como tecnologias modernas de uso da biomassa - tecnologias avançadas de conversão de biomassa em eletricidade e o uso de biocombustíveis.

No mesmo contexto, para a Embrapa (2012) e Quirino (2004), todas as biomassas vegetais constituídas de celulose, hemicelulose e lignina, denomina-se biomassa lignocelulósica, assunto que será melhor discutido na próxima seção.

No Mapa 2 destaca-se o potencial de geração de energia a partir de resíduos agrícolas nos municípios da Região Sul do Brasil. O RS apresenta maior área com potencial de geração de energia, a partir de casca de arroz, no comparativo entre os três Estados, em torno de 50% de sua extensão territorial (CENBIO BIONERGIA, 2002).

Mapa 2 - Potencial de geração de energia de resíduos agrícolas na Região Sul.



Fonte: Adaptado do Atlas Bioenergia, CENBIO (2002).

2.3.4 Biomassa lignocelulósicas

As biomassas lignocelulósicas compõem as fontes de carboidratos mais abundantes na natureza, os resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Sendo

na maioria das vezes subutilizadas industrialmente e, de modo paralelo, destacando-se como importantes matérias-primas com capacidade de serem transformadas em subprodutos e energia através de processos bioquímicos e ou mecânicos (JOHN; NAMPOOTHIRI E PANDEY, 2007).

Entre os constituintes das biomassas lignocelulósicas estão principalmente a celulose com ~40-50%, a hemicelulose com ~25-30% e a lignina com ~15-20%, além de extrativos e distintos materiais inorgânicos. A lignina, juntamente com a hemicelulose, forma uma matriz que envolve a celulose, fazendo com que estes três componentes predominantes encontrem-se completamente associados em uma estrutura cristalina, variando conforme a propriedade particular de cada vegetal (KNAUF E MONIRUZZAMAN, 2004).

O Brasil, por ser um país com grande potencial agrícola, os resíduos de colheita e do processamento de culturas como arroz, cana-de-açúcar, cítricos, coco, gramíneas, mandioca, milho, trigo e soja representam 597 milhões de toneladas por ano. Por isso, o país ocupa posição estratégica para assumir a liderança no aproveitamento integral destas biomassas (FERREIRA et al., 2010). Ainda sobre o mesmo tema, para a Embrapa (2011), a compreensão da estrutura da parede celular vegetal e de como atuam as enzimas que degradam os polissacarídeos¹³ em açúcares fermentescíveis, é de essencial importância na viabilização do uso da biomassa vegetal como fonte de energia renovável.

Vistos os constituintes e a estrutura das biomassas lignocelulósicas, a seguir está apresentado uma abordagem sobre o arroz, que é uma biomassa agrícola lignocelulósica.

2.3.5 Arroz

De acordo com a Embrapa (2002), preliminarmente, antes mesmo de ter algum registro, o arroz foi, provavelmente, o principal alimento e a primeira planta

¹³Os polissacarídeos são compostos macromoleculares (moléculas gigantes), formadas pela união de muitos (centenas) monossacarídeos (VALE, 2000).

cultivada na Ásia, local de origem, conforme relato de historiadores e cientistas. Registros antigos sobre o arroz foram encontrados na literatura chinesa, há cerca de 5.000 anos, sendo citado em todas as escrituras hindus.

Variedades especiais de arroz eram utilizadas como oferendas em cerimônias religiosas. Somente há cerca de mil anos antes de Cristo surgiram algumas diferenças entre as formas de arroz cultivadas na Índia e sua divisão em grupos, levando-se em consideração seu valor nutritivo, o comportamento e a exigência das plantas. Portanto, foi a partir da Índia que essa cultura estendeu-se aos demais continentes.

Segundo a Embrapa (2002), alguns autores relatam que o Brasil foi o primeiro País a cultivar este cereal no continente americano. Nomeado de “milho d’água” (*abatiuaupé*), os Tupis, bem antes de terem contato com os portugueses, já colhiam este cereal nas áreas alagadas¹⁴ próximas ao litoral. Já no ano de 1587, lavouras arrozeiras já se espalhavam em terras na Bahia e, por volta de 1745, no Maranhão. A instalação da primeira descascadora de arroz no Brasil ocorreu na cidade do Rio de Janeiro, isso em 1766, autorizada pela Coroa Portuguesa.

A prática da orizicultura no Brasil, de forma organizada e racional, se deu por volta da metade do século XVIII e, daquela época até a metade do século XIX, o País tornou-se um grande exportador de arroz. Hoje em dia, o arroz encontra-se disseminado no mundo todo, sendo cultivado em todos os continentes, em cerca de 120 países, tornando seu consumo um hábito inquestionável pela população mundial. O Brasil figura entre os dez maiores produtores e consumidores de arroz no mundo (EMBRAPA, 2002).

O arroz está entre os cereais que ascendeu seu cultivo juntamente com o a evolução cultural e tecnológica da humanidade. Associado a isto, grande escala de cultivo e produção de arroz, elevou-se a oferta deste resíduo agrícola (IRGA, 2002).

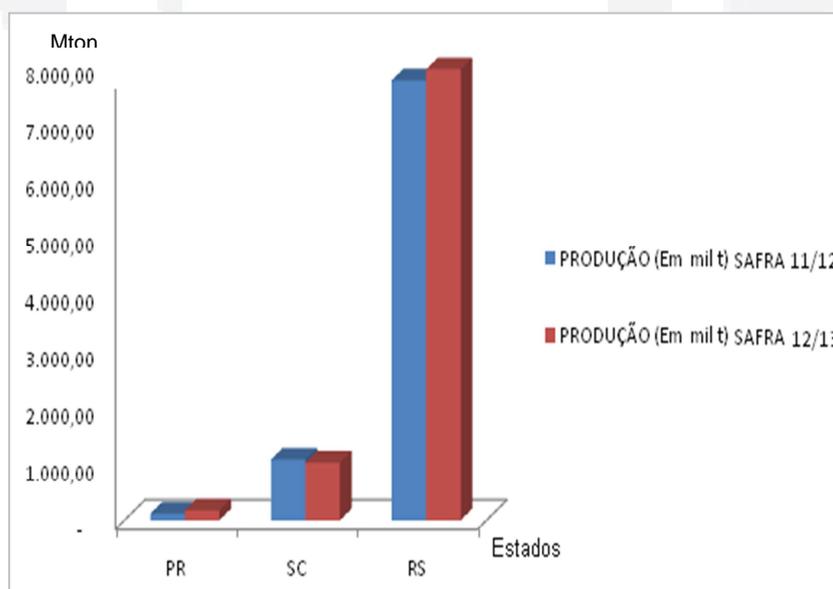
¹⁴A literatura aponta ainda que integrantes da expedição de Pedro Álvares Cabral, após uma viagem, adentrando-se por cerca de 5 Km de solo brasileiro, traziam consigo amostras de arroz, confirmando registros de Américo Vespúcio que trazem a referência a este cereal em grandes áreas alagadas do Amazonas (EMBRAPA, 2002).

O Brasil encontra-se na nona posição entre os maiores produtores mundiais de arroz, colheu 11,6 milhões de toneladas na safra 2011/2012. Já o cultivo de arroz irrigado, praticado na região Sul do Brasil, contribui, em média, com 77,4% da produção nacional, sendo o RS o maior produtor brasileiro, com 66,7% (CONAB, 2013).

Pode-se dizer que existem dois sistemas de plantio e de cultivo de arroz praticados no Brasil, o sistema irrigado e de sequeiro. No sistema de sequeiro, a exemplo de outras culturas como soja e milho, conta apenas com as quedas de chuvas para seu crescimento, sendo este sistema utilizado na maior parte dos estados do país (IRGA, 2012).

Na Região Sul, (GRÁFICO 10), predomina o plantio de arroz irrigado, da mesma forma, ocorre nos estados de Tocantins, na Região Norte e no estado do Maranhão, Região Nordeste do país. Neste sistema, a irrigação por inundação com nivelamento do terreno, por meio de curvas de níveis, atinge 87% e os 13% restantes, a inundação ocorre em patamares¹⁵(CONAB, 2013).

Gráfico 10 – Produção de arroz na região sul do Brasil em milhões de toneladas.



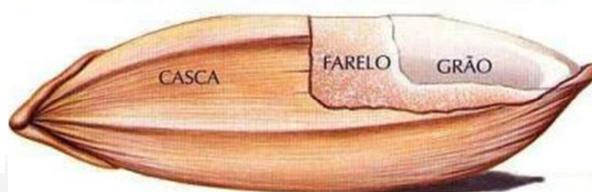
Fonte: Elaborado pela autora com base na CONAB (2013).

¹⁵Área com nível constante (CONAB, 2013).

O Rio Grande do Sul mantém-se na liderança com as maiores áreas de plantio do arroz. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2013), com 1.066,6 mil hectares, representando 44,5% da área nacional, respondendo ainda por 66,5% da produção brasileira. O IRGA (2013) destacam os municípios de Uruguaiana e Itaqui na fronteira oeste, como os dois maiores produtores de arroz do estado do RS demonstrados no Mapa 3 - R1.

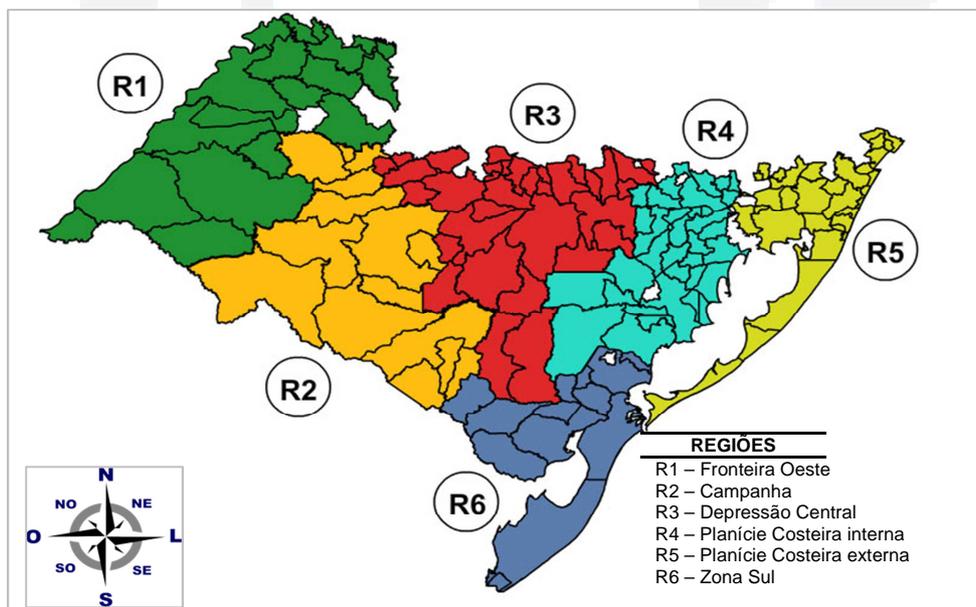
Segundo o IRGA (2002), no processo de beneficiamento do arroz, resulta uma série de resíduos, ou subprodutos. Dentre eles: a casca do arroz, o farelo e os grãos (FIGURA 1).

Figura 1 - Perspectiva de divisão do grão do arroz.



Fonte: UFRGS (2013).

Mapa 3 - Regiões gaúchas produtoras de arroz.



Fonte: IRGA (2013).

Quirino (2003) destaca que a utilização dos resíduos da biomassa, a exemplo a casca do arroz, na produção de energia é uma alternativa para agregar valor e diminuir os impactos causados pelos resíduos advindos de vários segmentos

industriais. Aponta ainda grandes vantagens, dentre elas, incremento na matriz energética e redução na emissão dos gases que provocam o efeito estufa, o que se dá devido a uma redução no uso dos combustíveis fósseis; a diminuição considerável no volume de resíduos depositados em aterros sanitários ou a céu aberto.

2.3.5.1 Características da casca do arroz

A casca do arroz (FIGURA 2) é um resíduo agrícola lignocelulósico, caracterizado pela natureza abrasiva e baixa densidade. O percentual de casca corresponde o equivalente a 22% da massa total do grão. Com elevado conteúdo de sílica e lignina, causando resistência à degradação, podendo chegar até cinco anos para se dissociar. Ainda, de difícil digestibilidade se ingerida por animais. Representa o maior volume entre os subprodutos obtidos durante o beneficiamento do grão (CUNHA, 1986; FAVARO et. al., 2006; MAYER; HOFFMANN; RUPPENTHAL, 2006 E SAHA E COTTA, 2008).

Figura 2 - Casca do arroz no estado natural.



Fonte: Embrapa (2012).

Ferreira, Gobo e Cunha (2008), ressaltam que a casca de arroz, em sua condição natural, caracteriza-se como sendo um material leve e de granulometria uniforme, com massa específica de $0,086 \text{ g/cm}^3$. Entretanto, a massa pode apresentar variações no seu diâmetro alterando entre 1,19 mm a 0,42 mm.

Dentre seus constituintes, podem-se observar alguns valores de referência para a análise elementar desta, comparado a outras biomassas vegetais. Por meio

desta análise, obtêm-se as frações em peso dos elementos químicos constituintes da biomassa, como as concentrações de carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N), e enxofre (S). A fração de oxigênio (O) pode ser determinada por diferença analítica (PAULA, 2011).

Tabela 1 - Valores de referência para análise elementar (% C, H, N, S, O).

Biomassa	C	H	N	S	O	Referência
Casca de arroz	46,96	4,30	0,40	0,02	48,32	Jenkins (1990)
Grão de café	44,00	5,40	0,70	-	49,90	Brum et al. (2008)
Bagaço de cana	43,42	5,71	1,23	-	49,64	Seye et al. (2003)
Madeira	48,06	6,30	0,70	-	45,21	Seye et al. (2003)
Palha de milho	45,80	4,50	0,75	-	48,90	Raveendran et al. (1995)

Fonte: Adaptado de Ramos e Paula et al. (2011).

De acordo com Friedl et al. (2005), o valor da volatilidade do combustível sólido utilizado e seu teor de cinzas (TABELA 2) são propriedades relevantes para a concepção do controle das plantas térmicas.

Tabela 2- Análise imediata de biomassa (Umidade, voláteis, cinzas, carbono fixo).

	Análise imediata (%)					
	Bagaço de cana	Palha de milho	Serragem de madeira	Casca de arroz	Capim-elefante	Palha de trigo
Umidade ^{*bu}	12,90	12,60	13,50	10,90	11,10	11,90
Voláteis	82,33	81,70	85,60	81,60	80,20	83,90
Cinzas	0,80	1,58	0,18	10,30	0,70	9,30
Carbono Fixo	16,87	16,72	14,22	8,10	19,10	6,80

Fonte: Horst (2013) - **base úmida, amostras foram estabilizadas em laboratório.*

No mesmo contexto, Ramos e Paula (2011) apresentam na Tabela 3, os valores de referência para análise imediata. Esta que, fornece as frações em peso, teores de umidade, frações voláteis, teores de cinzas e de carbono fixo de amostras de diferentes biomassas.

Tabela 3 - Valores de referência para análise imediata da biomassa (%).

Amostra	Voláteis (%)	Carbono fixo (%)	Umidade (%)	Referência
Cascas de arroz	63,6	15,8	10,0	Souza et al. (2005) Diniz et al. (2004)
Bagaço de cana	64,30	11,90	6,4	Jenkins (1990) Seye et al. (2003)
Madeira de eucalipto	73,78	14,95	12,4	Brito (1993) Jenkins (1990)
Palha de milho	74,10	24,30	5,7	Reveendran et al. (2005) Quirino et al. (2005)
Grão de soja	63,50	27,70	6,2	Silva et al. (2008)

Fonte: Adaptado de Ramos e Paula et al. (2011).

A Norma Técnica NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004), determina a classificação¹⁶ dos resíduos quanto ao grau de periculosidade. O grau varia de acordo com as características físicas, químicas ou biológicas, ainda infectocontagiosa. A casca do arroz está incluída na categoria dos resíduos sólidos resultante de atividade de origem agrícola, classificada como sendo um resíduo não perigoso e pertencente à Classe II. Isto, por apresentar algumas propriedades como baixa biodegradabilidade e alta combustibilidade. Assim sendo, sua disposição final necessita de um tratamento adequado, para que não resulte em impactos ambientais negativos para o meio ambiente.

No mesmo contexto, a resolução do Conselho Nacional do Meio ambiente - CONAMA 005/1993, em seu Art. 7º, reafirma que, os resíduos sólidos devam ser encaminhados para destinação final seguindo as normas estabelecidas pela ABNT (MMA, 2011).

Sirvinskas (2002) relata que as formas mais comuns, referente o destino final dos resíduos sólidos industriais, a exemplo a casca de arroz, são: “depósito a céu aberto; depósito em aterro sanitário; usina de compostagem; usina de reciclagem e usina de incineração”. E relacionado ao aspecto das políticas do RS, a casca do

¹⁶ [...] A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes, características, a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (NBR 10.004, 2004).

arroz tem sua proibição de queima a céu aberto, previsto na Lei Nº. 9.921/93 e Decreto Estadual Nº. 38.656/98 (IRGA, 2013).

Com isso, temos que a casca do arroz é um subproduto agrícola com grande potencial para o seu aproveitamento e reutilização, como forma alternativa na produção de energia. Com possibilidades, inclusive, através da sua transformação, desencadear outra forma de aproveitamento, como uso de briquetes, por exemplo. O arroz é um produto sazonal, sendo que sua casca pode estar disponível de forma homogênea, no decorrer do ano todo (MAYER, HOFFMANN E RUPPENTHAL, 2006).

Atualmente, a casca do arroz, comumente está sendo utilizada em granjas como material de cama de aviário. Uma destinação viável das cascas pela indústria geradora é a transformação deste resíduo em briquetes, que é um biocombustível sólido, promovendo com isso, que a casca que antes era um resíduo agrícola, passe a ser uma importante matéria-prima para a produção deste novo produto de valor econômico e ambiental agregado (EMBRAPA, 2012).

A casca do arroz é considerada como uma importante biomassa residual vegetal com grande potencial de transformação energética. Com isso, a seguir serão vistos os principais processos de conversão energética deste resíduo.

2.3.5.2 Processos de conversão energética da casca do arroz

Mayer, Hoffmann e Ruppenthal (2006), destacam que são diversas as formas de aproveitamento energético para a casca do arroz, além dos vários produtos obtidos através das diferentes tecnologias envolvidas. Os três principais processos são: os físicos; os termo-químicos e os biológicos.

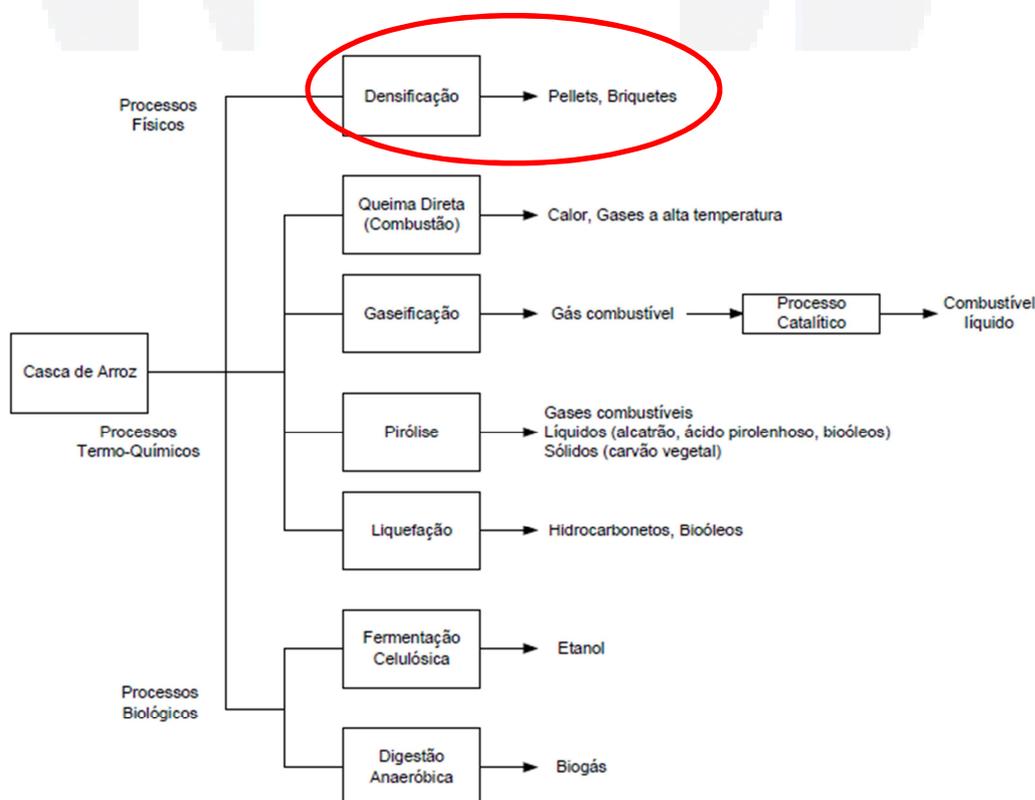
O Diagrama 1, demonstra as principais maneiras de aproveitamento energético para a casca de arroz, assim como os produtos obtidos pelas diferentes tecnologias empregadas. Logo depois da apresentação do diagrama, são apresentadas as definições dos processos. Portanto, os processos termo-químicos e biológicos são definidos sucintamente por não integrarem este estudo.

Dentre estes processos, a combustão e a densificação (processos físicos) são os mais utilizados, pelo motivo de que as outras tecnologias são, atualmente, economicamente inviáveis (MAYER; HOFFMANN E RUPPENTHAL, 2006).

Processos Físicos - a densificação é considerada como sendo o principal processo físico que a casca de arroz pode ser submetida para aproveitamento energético. A briquetagem consiste em gerar mecanicamente elevadas pressões e temperatura (MAYER; HOFFMANN E RUPPENTHAL, 2006).

Quirino (2001) e Lippel (2013) definem a densificação como sendo o efeito da compactação dos resíduos realizados com a utilização de máquinas de enfardamento, ou com prensas de pistão hidráulico. Segundo ele, com a utilização de equipamentos que geram calor acima de 100°C, a lignina amolece e age como um adesivo de partículas, não sendo necessária, a adição de produtos aglomerantes. Isto, adicionado à aplicação de pressões acima de 1.000,0 kg/cm² que provoca fricção entre partículas.

Diagrama 1 - Principais processos de conversão energética da casca do arroz.



Fonte: Lora e Nogueira (2003), adaptado.

Biomachine (2006) ressalta que para a aglutinação ser bem sucedida, é necessário uma granulometria adequada das partículas dos resíduos, entre 5 a 10 mm e uma quantidade de água em torno de 8 a 15% de umidade.

Barros (2013) explica que a qualidade do briquete diferencia de acordo com a destinação de sua aplicação. Na siderurgia, por exemplo, ele é utilizado como termo redutor, necessitando com isso ter resistência a altas temperaturas. Para aplicação doméstica, a característica mais relevante é a baixa toxidez e a resistência ao manuseio, bem como a otimização no transporte e armazenamento.

Filippeto (2008) destaca que o processo de briquetagem consiste na aplicação de uma pressão, através de uma prensa mecânica em uma massa de matéria-prima, onde esta massa é transformada em um sólido cilíndrico e compacto, apresentando elevada densidade e, com isso, eleva a geração energética por unidade de volume.

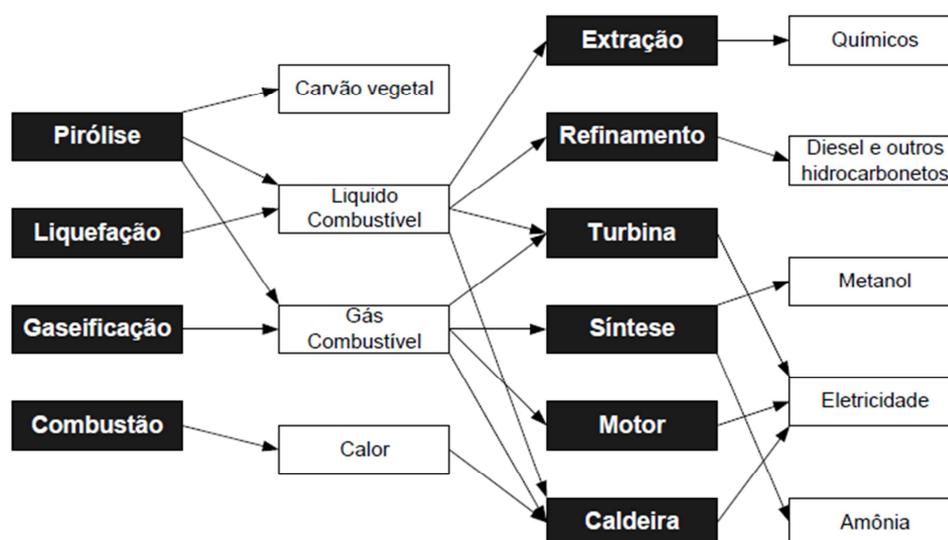
Um dos parâmetros que deve ser considerado para avaliar a qualidade do briquete é a massa específica (o que determina o volume de material utilizado). Podendo ser determinado através da divisão entre a massa do briquete e o volume obtido a partir de suas dimensões após a compactação (CETEM, 2004).

Ainda nesse contexto, um dos desafios para produzir briquetes da casca de arroz é a questão da logística do resíduo, fator que se torna preponderante na escolha da localização para instalação de unidades produtivas de briquetes (MAYER; HOFFMANN E RUPPENTHAL, 2006).

Processos termo-químicos - estes processos, (DIAGRAMA 2), se caracterizam por temperaturas elevadas e incluem: a combustão direta, a gaseificação, a pirólise e a liquefação, sendo considerados os mais comuns para sistemas dendroenergéticos¹⁷ (MAYER; HOFFMANN E RUPPENTHAL, 2006).

¹⁷ [...] O termo “dendroenergia” se associa com a biomassa lignocelulósica em geral, e seus subprodutos, sobretudo, em bases renováveis. Considerando os aspectos técnicos, sócio-econômicos e ambientais relacionados com a produção florestal, o pré-processamento dos recursos florestais e ambientais, sua eventual conversão em outras formas de energia final e, por último, sua utilização (MME, 2012).

Diagrama 2 - Processamentos termoquímicos das biomassas e produtos.



Fonte: Bridgewater et al.(1999), adaptado.

Andrade et al. (2007), explicam que os sais de dióxido de silício e o óxido de potássio presentes na casca do arroz, quando em temperaturas acima de 850°C se fundem formando pequenas barras de material vítreo, pelo processo da sinterização.

Processos biológicos – processos que referem-se à utilização de enzimas e microrganismos, capazes de metabolizar materiais orgânicos complexos, dentre eles: os carboidratos, lipídios e proteínas para produzir metano (CH₄); o dióxido de carbono (CO₂) inclusive, álcool etílico (etanol). Para Mayer, Hoffmann e Ruppenthal (2006), estes processos são tecnicamente executáveis, apesar de, não serem economicamente competitivos.

2.4 Briquetagem

Nos Estados Unidos, em 1848, William Easby patenteou um método de conversão de carvão miúdo em torrões sólidos, por meio da pressão. A explicação apresentada naquela época para a patente era a de que, um produto de pequeno valor poderia ser transformado em outro artigo, de formas e tamanhos variados (um aglomerado sólido), com um elevado valor combustível. Tornou-se então, o método pioneiro de aglomeração, posteriormente denominado briquetagem (CETEM, 2004).

Segundo, o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM, 2004), depois de 14 anos da patente de Easby, na cidade de Paris, na França, surge à palavra *briquette*, como sendo uma mistura de turfa¹⁸, água e argila plástica. Sendo que, após este fato, outras abordagens surgiram no decorrer dos anos, todas buscando a forma de como poderia ser definido a briquetagem.

De acordo com Mayer et al. (2006), é possível obter um combustível com homogeneidade granulométrica, com elevada densidade e resistência a geração de finos durante a manipulação e transporte, por meio do processo de briquetagem (FIGURA 3).

De acordo com Cattaneo (2003) e a Embrapa (2008), os briquetes apresentam massa específica entre 1,0 a 1,4 kg/m³, e diâmetro compreendendo 50,0 a 70,0 mm e comprimento em torno de 50,0 a 100,0 mm. Essas dimensões podem variar dependendo da matriz onde o briquete é confeccionado, podendo atingir diâmetros de até 120,0 a 130,0 mm (BIOMACHINE, 2006).

Figura 3 - Exemplos de briquetes de materiais diversos.



Fonte: Briqsul (2013).

¹⁸Turfa é um material de origem vegetal, leve e com grande capacidade de retenção de água, usada como mistura em substratos. Possui elevada capacidade de troca catiônica (CTC), e valores de pH que variam de 3,5 a 8,5 (EMPRAPA, 2013).

O Brasil encontra-se em fase de estabelecer a normatização de briquetes e pellets¹⁹, sendo que esta ação é liderada pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB/MMA), o qual visa propor classes de qualidade para estes combustíveis sólidos, baseados: no teor de cinzas; na forma de utilização (industrial ou doméstica); na procedência dos resíduos e no processo de fabricação. E para os casos que se tenha interesse em entrar no mercado externo, as exigências internacionais (QUADRO 1) devem ser consideradas para a venda desses materiais transformados (EMBRAPA, 2012).

Quadro 1- Principais Normas Técnicas internacionais dos péletes e briquetes.

Instituição Normatizadora	Principal norma ou orientação
Deutsches Institut für Normung - DIN (Alemanha)	A norma DIN Plus estabelece padrões para péletes e briquetes de alta qualidade, propondo testes de qualificação de teor de metais pesados entre outros requisitos físico-químicos. Prescreve ainda, dentre outras propriedades, que a biomassa seja natural.
Osterreichisches Normungsinstitut - ONORM (Áustria) Svensk standards - SS (Suécia)	A norma ONORM M7135 apresenta parâmetros físico-químicos de péletes e briquetes de madeira com ou sem casca. A norma SS187120 estabelece três categorias na qualidade dos péletes, sendo os do grupo 1, péletes de mais alta qualidade e o grupo 3 de qualidade mais baixa. A norma SS187121 trata exclusivamente de briquetes.
Comitato Termotecnico Italiano - CTI (Itália)	A orientação CTI-R04/05 estabelece os parâmetros de qualidade de péletes derivados de biomassa. Divide-se em 3 categorias, dependendo da origem da biomassa. Possui Selo onde combina requisitos de conformidade exigidos (por exemplo, ONOM, DIN e PFI). A característica especial deste tipo é para avaliar o teor de formaldeído, uma substância tóxica, que pode ser encontrado na serragem de resíduos da madeira, derivados de mobiliário.
Internacional Association of Bioenergy Professionals - ITEBE (França)	Orientação que classifica péletes de acordo com seu uso (fogão, caldeiras e incineradores) e apresenta parâmetros físico-químicos de qualidade.
European Committee for Standardisation - CEN (Europa)	Norma BS EM 14961:2010 apresenta definições, especificações e classe de biocombustíveis sólidos.
Pellet Fuel Institute - PFI (EUA)	Propõe a utilização de várias normas ASTM para caracterização físico-química de péletes.

Fonte: Embrapa (2012), adaptado.

¹⁹É denominado péletes quando possuir dimensões entre 10,0 a 30,0 mm de comprimento e entre 6 a 8 mm de diâmetro. No entanto, usam-se máquinas maiores e de custos mais elevados e o mercado mais interessado é o Europeu pelas suas características de clima frio. Se fizer uma comparação, o pélete possui dimensão variando entre 6,0 e 16,0 mm, enquanto o briquete possui diâmetro a partir de 50,0 mm (EMBRAPA, 2012).

Para o processo de briquetagem, Moro (1987) definiu sete etapas fundamentais para transformar os resíduos em um novo material (QUADRO 2).

Quadro 2 - Etapas para o processo de briquetagem.

Etapa	Descrição
Definição do material	Escolha do tipo da matéria-prima a ser utilizado, tipo de briquete que se pretende produzir e as características do material que será utilizado (densidade e umidade, tamanho das partículas).
Secagem	Etapa que quando necessária, retira-se a umidade dos resíduos, com a finalidade de deixar o material com a umidade ideal para a realização do processo.
Moagem dos Resíduos	Esta etapa objetiva a trituração dos resíduos, formando partículas menores. Com isso, facilitará o processo e a ação dos aglutinantes, quando necessário.
Peneiramento	Com este processo, quando necessário, realiza-se a separação das partículas geradas na moagem em granulometrias diferentes, com a finalidade de promover uma seleção nas partículas a serem utilizadas e a eliminação das indesejadas no processo.
Mistura com Aglutinante	O aglutinante é quem promove a aderência dos resíduos. Nesta etapa, considera-se o tipo e a qualidade do aglutinante escolhido, onde essas influenciam diretamente no custo do processo. Nem sempre ocorre esta etapa, por alguns resíduos apresentarem a capacidade de se aglutinar apenas com a plastificação da lignina em ambiente de alta pressão e temperatura.
Prensagem	Etapa fundamental que proporciona a resistência dos briquetes. Ocorre por meio da utilização de prensas que aplicam altas pressões e temperaturas, a massa de resíduos ao ligante. É esta etapa que define o formato final do briquete, de acordo com a prensa e molde utilizado.
Estocagem e embalagem	Após a fabricação, os briquetes devem ser armazenados em locais de estocagem, com a finalidade de manter um estoque intermediário e a distribuição.

Fonte: Moro (1987), adaptado.

Quanto à secagem (cura) dos briquetes obtidos, eles podem ser aquecidos e posteriormente resfriados lentamente, evitando com isso, a formação de fraturas provenientes de choques térmicos, permitindo o manuseio (OLIVEIRA, 2013).

Quirino e Brito (1991), enfatizam que a briquetagem é uma importante forma de concentrar a energia disponível na biomassa. Considera-se que 1,0 m³ de briquete contém pelo menos, cinco vezes maior energia que o mesmo 1,0 m³ do resíduo na sua forma original, tendo como base a densidade a granel e o poder calorífico médio.

Segundo Gentil (2008), o briquete em comparação com a lenha, é um combustível sólido concorrente direto, apresenta várias vantagens, tornando-o atraente no mercado. Sendo elas: maior densidade energética na geração de temperatura e calor; apresenta maior rapidez na geração de calor e temperatura. Ainda, proporciona redução dos custos de transporte, repercutindo em menor custo de operação, infraestrutura e armazenamento.

Observa-se que a maioria dos autores destaca que a briquetagem é um processo capaz de prover a unificação de partículas e, com isto, elevar a densificação de materiais que geralmente são considerados resíduos, tornando-os novos produtos de maior valor agregado.

2.4.1 Briquetagem no Brasil

De acordo com o Centro de Tecnologia Mineral e Mota (2004), a origem da briquetagem se deu na Europa. No Brasil, as primeiras iniciativas de utilização deste processo, somente correram por volta da metade da década de 60 no estado de Minas Gerais, onde a Companhia Siderúrgica Belgo Mineiro instalou um equipamento advindo da empresa alemã Humboldt.

Segundo Quirino (2000), ainda é pouco conhecido à técnica de compactação de resíduos para fins energéticos, principalmente no Brasil, necessitando de um maior foco ao incentivo industrial de equipamentos adequados para o reaproveitamento de biomassa.

O Brasil vive atualmente um momento em que muitos processos tecnológicos de geração de energia são investigados, visando atender à demanda crescente. Entre as fontes de energia renováveis, a utilização da biomassa no processo de briquetagem apresenta um papel importante no incremento destas fontes. É uma técnica utilizada para o aproveitamento dos resíduos lignocelulósicos como forma de combustível (MORAIS, 2007).

Atualmente, o Brasil possui 28 empresas fabricantes de briquetes e péletes, que distribuem para o mercado interno, porém, com grande potencial para exportação (EMBRAPA, 2012c).

Para a Embrapa (2012b), na esfera de emissões atmosféricas, os briquetes e péletes são considerados fontes de energia renovável, que cooperam para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. O Brasil apresenta uma das matrizes energéticas com maior participação das energias renováveis do mundo. Ainda assim, precisará ampliar o uso das biomassas e de seus resíduos.

2.4.2 Princípios básicos de equipamentos de compactação

De acordo com Quirino (2001), já existem no mercado alguns equipamentos ou princípios básicos de compactação de alta eficiência. No entanto, são equipamentos industriais de grande porte, pesados e voltados a grande produtividade, dentre alguns, cita-se cinco tipos de prensas compactadoras de biomassa:

- ✓ **Extrusora de pistão mecânico** - É uma tecnologia que vem sendo usada desde o início do século XX e bastante difundida no mundo todo. Segundo Gentil (2008), é o equipamento mais utilizado no Brasil, sendo constituída por

um pistão de aço horizontal pulsante com movimentos alternados, ligado excêntrica a um virabrequim²⁰ acoplado a um volante.

- ✓ **Extrusora de pistão hidráulico** – Por meio de um pistão, é acionado hidráulicamente, o material a ser compactado é alimentado lateralmente com o auxílio de uma rosca sem fim. Ao atingir a pressão desejada, uma peça em frente ao êmbolo abre e libera o briquete, neste caso o briquete apresentará um orifício interno.
- ✓ **Extrusora de rosca sem fim** - Muito usada para resíduos em países do exterior, demonstrando bons resultados. Com seu princípio mecânico semelhante aos das marombas, utilizadas nas indústrias cerâmicas, é de fácil manutenção, baixo investimento quando comparado a outros modelos fabricados no exterior.
- ✓ **Peletizadoras** - Seu funcionamento é similar ao dos equipamentos de produção de ração animal, precisa da aplicação de vapor para aquecer e adequar à umidade. Opera também com processo extrusivo, apresentando resultados razoáveis nas compactações de resíduos.
- ✓ **Enfardadeira** – É um equipamento que comprime e amassa o resíduo, no caso, como exemplo, o bagaço da cana-de-açúcar com 20% de umidade, elevando sua densidade (compacta) até chegar 500 kg/m³, sem a necessidade de pré-secagem. O Brasil já produz este equipamento, que é muito utilizado para ração e enfardamento do bagaço da cana.

Com a aproximação das partículas por meio da compactação (densificação) dos resíduos, obtém-se uma nova propriedade no briquete, denominada de “poder calorífico”, que será discutido a seguir.

²⁰ Principal componente na transmissão de força de rotação aos demais componentes móveis do conjunto de uma máquina ou motor (GM, 2013).

2.4.3 Potencial calorífico dos briquetes

De acordo com a Norma Técnica NBR 8112/1986 (ABNT,1983), o poder calorífico é uma importante propriedade na avaliação de um combustível sólido, e compreende a quantidade de calor emitidas durante a combustão completa em uma unidade de massa do material combustível avaliado. Sua unidade de medida pode ser informada em caloria por grama (cal/g) ou quilocaloria por quilograma (kcal/kg). O poder calorífico divide-se em dois, sendo:

- ✓ **Poder calorífico superior (PCS)** - É aquele em que a combustão se efetua a volume constante, e no qual a água formada durante a queima é condensada e, o calor que é derivado desta condensação é recuperado (BRIANE E DOAT, 1985).
- ✓ **Poder calorífico inferior (PCI)** – É a energia efetivamente livre por unidade de massa de combustível, após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989).

Stolf (2013), de outra forma, ressalta que o PCS é quando a água advinda da queima está no estado líquido. E, a partir do PCS, subtrai-se a energia gasta para evaporar o hidrogênio de formação do combustível na forma de água (H₂O), com isto, obtêm-se o poder calorífico inferior (PCI), sendo este considerado a energia efetiva de um combustível.

Para Quirino e Brito (1991), o PCS, a densidade (ou massa específica), a resistência à compressão, o teor de cinzas, o índice de umidade, o teor de carbono fixo e o de matéria volátil, são as propriedades que qualificam um briquete. Para muitos fins, a massa específica é o parâmetro de qualidade mais importante, pois representará o tanto de energia concentrada no briquete.

De acordo com Mayer et al. (2006), ainda que encaminhe para a queima direta para obtenção de energia na própria indústria, a briquetagem das cascas de arroz seria uma forma eficiente do emprego dessa energia, por ganhos de densidade do produto final, por meio da compactação, o que levaria a um aumento de até 2,5 vezes o poder calorífico.

No Quadro 3 é possível observar algumas diferenças entre a lenha e o briquete de resíduos florestais sem aglutinantes.

Quadro 3 - Comparativo da lenha *versus* briquete.

	Lenha	Briquete
Poder calorífico	Baixa temperatura da chama 1.700-2.500 kcal/kg	Elevado poder calorífico 4.000-4.800 kcal/kg
Armazenagem	Grandes áreas para armazenamento	Armazenagem coerente por ser padronizado
Manuseio	Maior mão de obra Não uniforme	Mão de obra reduzida no manuseio uniformidade
Higiene e limpeza	Sujeira no local de estocagem e no transporte	Redução de volume na estocagem e no transporte
Resíduos de cinzas, fuligem e fumaça	Grande quantidade de cinzas	Menor poluição com mais energia
Chama	Quebras de partes internas da fornalha	Maior temperatura da chama
Isento de licenças especiais	Licenças especiais e Guia de Transporte ATPF/RET do IBAMA com taxas	Isento de licenças especiais
Comercialização	Por m ³ (impreciso)	Por peso (exato)

Fonte: Biomachine (2006) e Stolf (2013), adaptado.

Para a obtenção de um novo produto com maior energia concentrada, como o briquete, em alguns casos é necessária a adição de misturas, assunto que abordado no subtítulo logo a seguir.

2.4.4 Misturas utilizadas na briquetagem

Os briquetes, também denominados de “lenha ecológica”, podem ser produzidos a partir de um único material, ou com misturas de outras biomassas. Isto subtrairia os custos de produção na briquetagem e evitaria a dependência de um único tipo de biomassa, especialmente nos períodos de escassez deste resíduo (QUIRINO, 2004; GENTIL, 2008 E LIPPEL, 2013).

Para Antunes (1982), o grau de trituração (moagem) da matéria-prima principal ou da mistura considerada correta, é o que produz uma quantidade de pó suficiente para preencher os vazios entre as partículas maiores da biomassa, evitando a desagregação na compactação sem o uso de aglutinantes.

A necessidade ou não da adição de misturas na briquetagem, geralmente é determinada pelo tipo (característica) de matéria-prima principal utilizada no processo de fabricação, da mesma forma que, o tipo do agente aglomerante (GENTIL, 2008 E LIPPEL, 2013).

2.4.5 Aglomerantes utilizados na briquetagem

Segundo Filippeto (2008), existem muitas formas que permitem a ligação entre as partículas da biomassa compactada, na maioria das vezes todas elas influenciam na resistência e a coesão final do briquete. Podem-se mencionar a ação de aglutinantes já contidos na matéria-prima ou adicionados às forças de *Van Der Waals*, as forças de valência e o entrelaçamento entre as partículas.

Quirino e Okino (1989) apresentam que dentre os aglutinantes estudados estão o amido de milho, a fécula de mandioca, o breu, a resina sintética, o alcatrão vegetal, a cola de tanino, o óleo de caju e o melaço de cana.

Mannesmann S.A. no ano de 1979 demonstraram em pesquisas desenvolvidas em laboratório, que o briquete de melhor qualidade obtido foi o com o uso do aglutinante de melaço de cana, em comparação aos vários outros aglutinantes testados. No entanto, a aplicação do melaço nos briquetes apresentou alta higroscopicidade²¹ e necessidade de uma adição elevada deste ligante, em torno de 30%. A partir destes resultados, estudou-se posteriormente, submeter o aglomerado a um tratamento térmico, objetivando com isto a redução da quantidade do melaço e a higroscopia do briquete (MOTTER, ARFELD E RODRIGUEZ, 1979).

Para Barros (2013), os aglomerantes são elementos indispensáveis para o processo de briquetagem, tanto tecnicamente como economicamente, onde o mais

²¹É a capacidade que alguns materiais têm de absorver água (MACHADO, 2006).

aplicado é o de amido de milho. No Brasil, devido à grande quantidade disponível, o amido de mandioca (fécula) é o mais utilizado. Os aglomerantes são classificados em três tipos, divididos de acordo com sua função na mistura, sendo:

Tipo matriz (Exemplos: alcatrão e piche) – Aglomerantes “betuminosos” - Formam uma matriz contínua e influenciam diretamente nas propriedades dos briquetes.

Tipo filme (Exemplos: silicato de sódio, amido e melão) - Aglomerante orgânico - Apresenta função similar com as colas adesivas, dependem principalmente da evaporação da água para que ocorra uma maior resistência mecânica.

Tipo químico (Exemplos: silicato de sódio + CO₂, epóxis) – Aglomerante que a aderência depende das reações químicas dos compostos dos aglomerantes. Podem ser usados tanto como matriz como filme.

Alguns aglomerantes, como exemplo, o amido de mandioca, necessitam de um tratamento prévio de pré-gelatinação, podendo ser obtida pela aplicação de aquecimento (QUIRINO, OKINO, 1989).

Antunes (1982) ressalta que praticamente todo adesivo pode ser usado como ligante. A escolha se dá em função do custo e do uso final que se objetiva para o briquete. Na briquetagem de carvão vegetal, como exemplo, um briquete típico contém: 87,0% de carvão, 8,0% de amido e 5,0% de umidade. Os ligantes podem ser classificados em dois grupos, os “não emissores de fuligem” e os que “emitem” fuligem, a saber:

Grupo 1 – Ligantes não emissores de fuligens - Incluem o amido, o melão de cana, o cimento e licor sulfítico (subproduto da produção de papel). O principal componente aglomerante dos licores sulfíticos é a lignina.

Grupo 2 - Ligantes emissores de fuligens - Incluem o pixe de petróleo e o alcatrão de carvão vegetal ou mineral.

2.5 Outros usos da casca do arroz

Favaro et al. (2006) relatam que a casca do arroz pode ser utilizada em aplicação como material de reforço para elastômeros. Pode ser transformada em carvão ativo e utilizada em leitos de filtração. Ainda, pode ser usada como material isolante para a construção de casas e como reforço em compósitos, tal como termoplásticos.

Rambo (2009) destaca algumas aplicações das cinzas da casca do arroz, além do uso na agricultura, como a utilização como fertilizante e correção em solos, que promove a elevação à resistência a várias doenças fúngicas, entre outras pragas. A aplicação na construção civil, como fonte de sílica reativa para o cimento. O uso na indústria farmacêutica e de cosméticos, bem como, adicionando no cimento no lugar da areia, objetivando redução nos custos e melhorias nas propriedades físico-mecânicas.

2.6 Outros trabalhos realizados com briquetes

Esta seção apresenta resultados de alguns autores, realizados em briquetes obtidos a partir de biomassas vegetais como: fibra de palmeira; folha de bananeira; casca de maracujá, de coco, de laranja, mandioca e de sabugo de milho.

Morais et al. (2006) demonstraram em um estudo referente obtenção de briquetes de carvão de cascas de arroz em baixa pressão de compactação (com pressão média de 200 kgf/cm²), que é necessária uma granulometria fina do carvão. O briquete obtido apresentou teores (% em peso) de 2,45 de hidrogênio, 51,02 de carbono, 4,37 de oxigênio e 42,16 de cinzas. Quanto a análise imediata os valores encontrados (por amostra) foram: umidade 4,28%; cinzas 42,16%; voláteis 10,13%; carbono fixo 47,50% e poder calorífico superior de 17,73 MJ/kg. Constatou-se ainda um rendimento gravimétrico do processo de briquetagem superior a 80% e resistência mecânica adequada à utilização em gaseificadores.

Souza (2012), em uma pesquisa referente o aproveitamento das fibras da palmeira e resíduo de fundição para a produção de briquetes, demonstra o

percentual de carbono presente na fibra, o que facilita a aglomeração na formação de briquete e o teor de umidade inicial, donde registrou 18,3%. A análise elementar detectou em média, 0,14% de enxofre, que foi significativa para a confecção do briquete, visto que teores acima de 0,20% seriam considerados danosos. O teor de carbono da fibra de 41,28%, juntamente com o percentual de carbono do resíduo foi primordial para o processo de auto-redução. Souza (2012), ainda constatou que o briquete apresentou boa resistência à compressão (59 kgf/cm²), quando comparados aos briquetes de carvão vegetal como agente redutor (61,2 kgf/cm²).

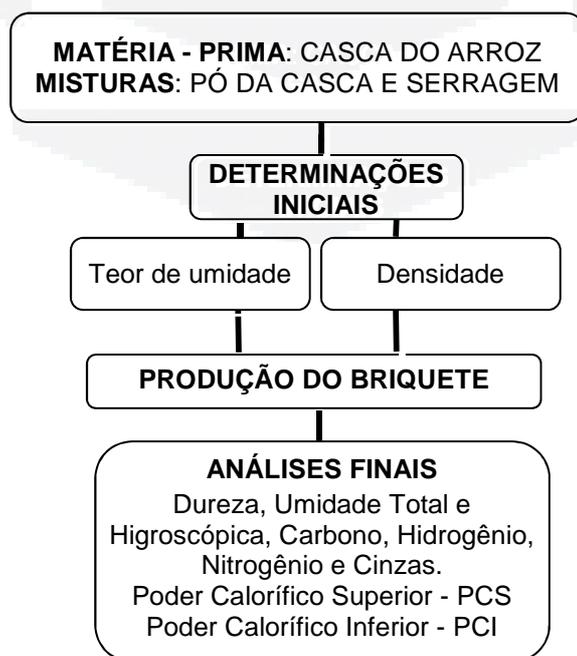
Barros (2012) analisou a viabilidade de produção de briquetes de cascas de maracujá, coco, laranja, mandioca e de sabugo de milho, bem com, a qualificação destes briquetes e a comparação entre eles, considerando a densidade energética numa briquetadeira de laboratório (temperatura de 130°C - pressão pelo cilindro inferior de 82,38 MPa e do cilindro superior de 48,25 Mpa), com resfriamento de 10 min. O estudo de Barros (2012), apontou que o resíduo com maior teor de materiais voláteis, menor teor de cinza e maior teor de carbono fixo, foi a casca de laranja, e o que apresentou as piores propriedades foi o sabugo de milho.

Maia (2013) averiguou quanto valorização de resíduos da bananicultura e da rizicultura na produção de briquetes (com pressão 18 MPa - folhas e pseudocaule de bananeira e de casca de arroz). Como resultado, o briquete de casca de arroz apresentou um teor de carbono de 37,59 ± 0,8% e os briquetes de folha e pseudocaule de bananeira 44,28 ± 0,2% e 37,69 ± 1,80%, respectivamente. O teor de hidrogênio para o briquete de folha de bananeira foi de 6,23 ± 0,03% e para o pseudocaule 5,58 ± 0,43%, detectou-se baixos teores de nitrogênio e enxofre, e altos teores de materiais voláteis e carbono em todos os briquetes produzidos. Na combustão, a energia máxima foi de 580°C e 350°C, respectivamente. Ainda segundo Maia (2013) o poder calorífico superior (PCS) dos resíduos foi de 15 a 17 MJ/kg. O estudo mostrou que dos três resíduos avaliados, as folhas de bananeira foram as que apresentaram maior potencial para a briquetagem.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreve as características dos materiais que foram utilizados para realização do experimento, bem como os procedimentos e métodos empregados para o alcance dos objetivos propostos (DIAGRAMA 3). Os critérios técnicos empregados foram denominados experimentais de laboratório.

Diagrama 3 - Esquema simplificado das etapas que foram desenvolvidas.



Fonte: Da autora.

As condições de briquetagem foram determinadas experimentalmente através de teste piloto de aplicação de pressão e determinação do tempo esperado para a desmoldagem e cura. A pressão escolhida de 14.000,0 kgf/cm² foi em função da melhor compactação e a escolha da temperatura foi determinada em função do ponto de transição vítrea da lignina que se inicia em torno de 70°C (FILIPPETTO, 2008). Com isto, optou-se pela temperatura de 300°C, uma vez que a prensa utilizada não gerou impactos e nem calor, conseqüentemente, teve-se que adicionar aglutinantes e água.

O capítulo divide-se em quatro seções, na primeira, descreve o local de estudo. Na segunda, os aspectos referentes às amostragens, como a caracterização da matéria-prima, misturas e aglomerantes utilizados. Na terceira, o método que foi utilizado para a obtenção dos briquetes e, por último, as análises que foram realizadas.

3.1 Local de estudo

Os experimentos para a obtenção dos briquetes e as caracterizações básicas, dentre elas teor de umidade e densidade, bem como, da matéria-prima e das misturas inseridas no processo foram realizados no Laboratório de Solos e Betume no Prédio 17 do Centro Universitário Univates.

3.2 Materiais

Em prosseguimento ao trabalho, determinou-se que a casca do arroz, demonstrada anteriormente na pesquisa bibliográfica como sendo um resíduo agrícola e/ou biomassa residual, nesse capítulo, passa-se a ser denominada de “matéria-prima” e ou “biomassa”.

Nos experimentos realizados, a casca de arroz foi utilizada como matéria-prima principal e inseriram-se ao processo duas misturas diferentes, o pó da própria casca de arroz e a serragem de madeira.

Também dois tipos de materiais foram utilizados como agentes ligantes, o amido de milho e o melado da cana-de-açúcar, ambos de origem vegetal.

Por final, a água utilizada nos ensaios foi coletada na rede de abastecimento do laboratório.

3.2.1 A casca e o pó do arroz e a serragem de madeira

A escolha da biomassa para esse estudo se deu pelos seguintes fatores: abundância da cultura no Brasil, principalmente no Rio Grande do Sul; disponibilidade o ano todo e pela baixa massa específica que apresenta gerando com isso grandes volumes junto às indústrias do setor.

As biomassas, casca e pó do arroz foram fornecidos pela empresa beneficiadora de alimentos Arroz Santos, localizada na Linha Glauco Scherer, Zona Rural do Município de Venâncio Aires RS (FIGURA 4).

Após o processamento do grão na indústria que possui capacidade de produção de três mil toneladas ao ano, a casca de arroz segue para uma caixa de armazenamento externa, por meio de um duto aéreo (FIGURA 4 - C), compelido por uma turbina.

No início do percurso da casca do arroz para a armazenagem, ocorre à captura do pó, evitando sua dispersão para atmosfera. Isto acontece, devido ao duto que conduz a casca do arroz possuir orifícios num trecho inicial e, com auxílio de “sprinkler”²² instalados sob este local, reter o excesso do pó, promovendo com que estas finas partículas permaneçam acumuladas nas laterais e junto a água (FIGURA 4 - B) armazenada no fundo de uma “caixa de pó” construída para este fim.

O pó da casca do arroz (umedecido) acumulado na “caixa de pó” é retirado semanalmente e distribuído em lavouras como biofertilizante. É importante ressaltar que, segundo ainda a Embrapa (2012), nesse pó tem-se a presença de amido entre suas partículas. Com isso deu-se o interesse em incorporá-lo neste experimento

²²Chuveiro em forma de gradeamentos, neste caso não é acionado automaticamente (Figura 5 – B).

como um contribuinte para o preenchimento dos espaços entre as cascas do arroz, além de favorecer a aglutinação do briquete.

A casca do arroz, livre do pó, segue pelo duto para o local de armazenamento (FIGURA 4 - C) que se encontra elevado cinco metros do nível do chão, possibilitando assim a entrada dos veículos para a retirada e destinação desta biomassa. O depósito apresenta dimensões de 8,0 m de largura por 10,0 m de comprimento e 3,76 m de altura, com capacidade total de armazenamento de 300,0 m³, o suficiente para armazenar a casca do arroz somente por doze dias da produção da indústria.

Figura 4 - Local da coleta da casca e do pó do arroz.



Fonte: Da autora.

Atualmente, na empresa, as cascas do arroz são todas destinadas para granjas criadoras de aves no próprio município de Venâncio Aires - RS, sendo utilizadas como cama de aviário. Vale lembrar que, de acordo com a Embrapa (2012), essa forma de utilização da casca do arroz apresenta restrições normativas quanto a sua disposição final no solo sem prévio tratamento (Ver seção 2.3.5.1).

A casca do arroz utilizada foi disponibilizada sem misturas e nas condições em que se encontrava após o processamento do grão. Entretanto, levando em conta que a indústria adquire o arroz com casca de vários municípios do Vale do Taquari e Vale do Rio Pardo - RS, as características genéticas do grão não foram informadas pela empresa e, por isto, não foram relatadas neste trabalho.

Realizou-se a coleta da casca do arroz e do pó da casca do arroz junto à empresa. Os materiais foram colocados em embalagens fechadas, a fim de preservar as características iniciais (teor de umidade). Posteriormente, ambos foram encaminhados e armazenados em temperatura ambiente no laboratório onde se realizaram os experimentos.

Não houve necessidade de moagem da casca do arroz. Confirmaram-se durante os ensaios os apontamentos de Ferreira, Gobo e Cunha (2008), de que, esta biomassa apresenta granulometria ideal para a briquetagem, onde a massa pode apresentar variações no seu diâmetro alterando entre 1,19 mm a 0,42 mm.

A serragem de madeira, a terceira biomassa incorporada no experimento, foi fornecida pela Marcenaria Gullich, localizada na Rua Berlim da Cruz, 1040 no centro de Venâncio Aires - RS. A serragem foi coletada e armazenada em embalagem plástica que permaneceu fechada no laboratório para manter o teor de umidade presente no material até a realização dos experimentos.

3.2.2 Aglomerantes - Melado e amido

Esta seção descreve os aglomerantes utilizados e suas principais propriedades para facilitar as etapas posteriores do experimento.

A escolha dos dois tipos de aglomerantes que foram utilizados neste trabalho baseou-se, exclusivamente, por ligantes naturais e preferencialmente originados de biomassas vegetais.

Para promover a aglutinação das partículas da casca do arroz com suas misturas na elaboração dos briquetes utilizaram-se, em momentos distintos, dois

produtos para atuarem como ligantes, o melado (em substituição ao melaço, pela dificuldade de obtenção do produto na região) e o amido de milho.

O melaço de cana-de-açúcar foi citado por vários autores como sendo um bom ligante orgânico do tipo filme. Antunes (1982), e classifica-o como não emissor de fuligem.

Define-se o melaço como sendo um subproduto líquido da fabricação do açúcar cristalizado do melado ou da refinação do açúcar bruto. É relativamente abundante no Brasil e com grande potencial em inúmeras aplicações na indústria. Enquanto que o melado é o líquido xaroposo obtido pela evaporação do caldo de cana (*Saccharum officinarum*) ou a partir da rapadura, por processos tecnológicos adequados (CNNPA, 1978).

De mesma forma, a Resolução Normativa Nº 78 da Comissão Nacional de Normas e Padrões para alimentos (CNNPA, 1978), descreve que o melado apresenta as seguintes características visuais: aspecto líquido, xaroposo e denso; cor amarela e castanha amarela; cheiro próprio e sabor doce. E características físicas e químicas com teores: 25% de umidade máxima parte por parte (p/p); 10% de acidez em solução máxima p/p; 50% de glicídios totais mínimos p/p e, 6% de resíduo mineral fixo máximo p/p.

O segundo ligante utilizado nos experimentos foi o amido de milho, que de acordo com a Resolução Normativa do CNNPA (1978), classifica-o como um produto amiláceo extraído de milho (*Zeamaya, L.*) e, visualmente possui a característica como sendo um pó fino e branco. As características físicas e químicas do amido compreendem: 14% de umidade máxima p/p; 2,5% de acidez em solução máxima p/p; 84% de glicídios totais mínimos p/p e, 0,20% de resíduo mineral fixo máximo p/p.

O melado e o amido de milho são usualmente utilizados no preparo de alimentos. Para a possibilidade de aplicações nestes experimentos, ambos os produtos foram adquiridos no comércio local.

3.3 Métodos – Descrição dos procedimentos

O método adotado para a realização do projeto proposto, onde se transformou uma biomassa de origem agrícola em briquetes, ocorreu por meio de processos físicos, através da compactação desta matéria-prima de baixa massa específica, com isto, obteve-se uma densificação expressiva nos briquetes. Ressalta-se que segundo Biomachine (2006), o processo físico através da densificação é considerado um dos principais métodos que a casca de arroz pode ser submetida para uso energético.

3.3.1 Análises iniciais

Foram realizadas análises anteriores ao preparo do aglomerado para a produção dos briquetes, duas determinações em cada material: massa específica e o teor de umidade.

3.3.2 Determinação da massa específica inicial dos materiais

Para determinação da massa específica foi realizado ensaio baseado na norma técnica NBR 6922/1981 (ABNT, 1981), que prescreve o método de determinação do carvão vegetal como recebido. Para isto, os materiais foram inseridos individualmente em uma caixa com dimensões reduzidas e proporcionais a norma. Esta caixa foi confeccionada em material de vidro com dimensões de 10,0 cm de largura por 10,0 cm de comprimento e 10,0 cm de altura e foi preenchida adequadamente. Em seguida, foi verificada a massa total em uma balança de precisão marca Marte Slim, modelo MS 10 k, carga máxima 10.000,0 g e carga mínima de 5,0 g (escala = 0,1 g), disponível no laboratório.

A massa específica foi determinada por meio da Equação 1:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Onde: ρ é a massa específica a granel da casca do arroz em g/cm^3 , m é a massa em gramas da casca do arroz e v corresponde ao volume interno da caixa em cm^3 .

3.3.3 Determinação da umidade inicial dos materiais

Antes da utilização da casca do arroz, do pó da casca do arroz e da serragem no preparo do aglomerado, foram determinados os teores de umidade presente no momento do recebimento destes materiais.

Baseou-se na norma técnica NBR 14929/2003 (ABNT, 2003), que define o método para a determinação dos teores de umidade da madeira por meio de secagem em estufa.

Esta etapa consistiu na realização da pesagem individual dos materiais em um béquer de 1.000,0 mL em uma balança de precisão, em seguida foram colocados em um almofariz e conduzidos até a estufa com temperatura graduada em $102 \pm 2^\circ\text{C}$ por 48 horas. Esta temperatura não influenciou na característica da casca do arroz para este estudo, visto que, estas amostras de biomassas não foram utilizadas no processo de produção dos briquetes.

Decorrido este período, efetuou-se novamente a pesagem dos materiais, e por meio da Equação (2) foram determinados os teores de umidade presente na casca do arroz, no pó da casca do arroz e na serragem em %.

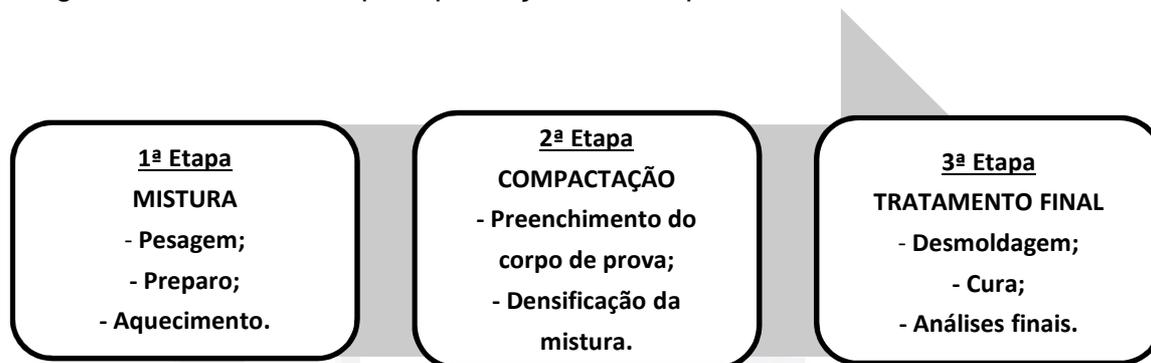
$$\text{Teor de Umidade (\%)} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Onde: m_1 é a massa inicial e m_2 é a massa final, ambas expressas em gramas.

3.3.4 Produção dos briquetes

A produção dos briquetes no laboratório ocorreu seguindo três etapas estabelecidas e demonstradas no Diagrama 4.

Diagrama 4 - Processos para produção dos briquetes e análises finais.

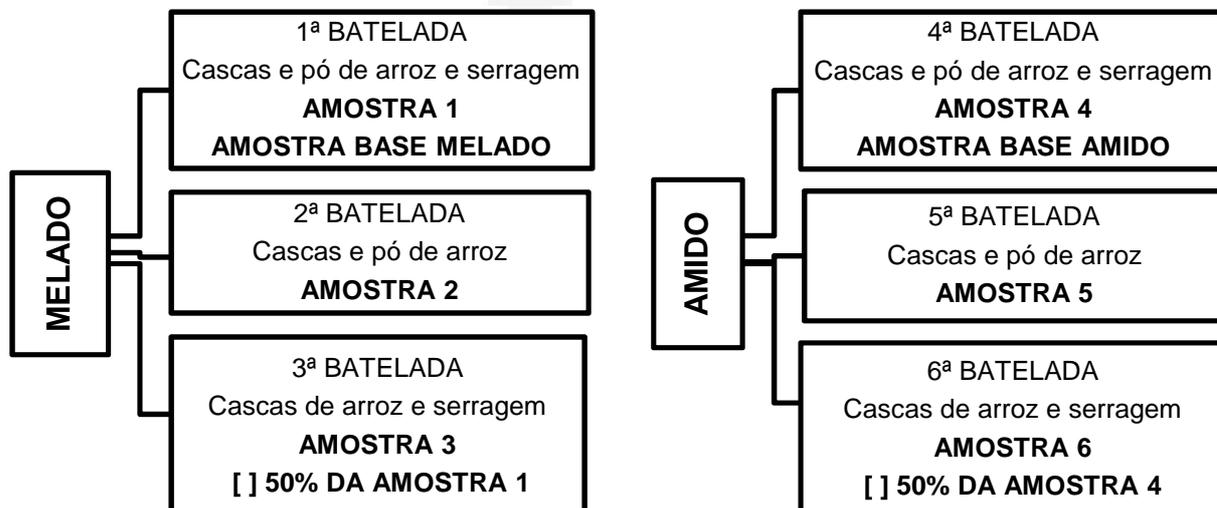


Fonte: Da autora.

Os briquetes foram produzidos em seis bateladas, onde se variaram os tipos de misturas (DIAGRAMA 5) e ligantes em cada amostra. Cada batelada foi realizada em triplicata, totalizando dezoito briquetes.

Para produzir as amostras contendo apenas dois materiais na sua composição (amostra número três com o melado e a seis como o amido) utilizou-se teores correspondentes a 50% da concentração das misturas utilizadas na amostra número um com o melado, e na amostra número quatro com o amido. Com isto, ambas as amostras, foram denominadas “amostras base”.

Diagrama 5 – Matéria-prima e misturas utilizadas em cada amostra.



Ao retirar uma das misturas do processo, necessitou encontrar o percentual da outra mistura para briquetar com as cascas nas novas amostras. Para isto, somaram-se os percentuais das duas misturas utilizadas na amostra definida como “amostra base” (% serragem + % pó da casca do arroz), o que se chegou a um percentual de mistura acumulado (%_{acum}).

Com isto, para encontrar a quantidade de massa (m) necessária da mistura, pó da casca do arroz ou da serragem de madeira para incorporar nas amostras, utilizou-se a Equação (3).

$$\text{Massa mistura (g)} = \left(\frac{m \cdot \%_{\text{acumulado}}}{\%_{\text{mistura}}} \right) \quad (3)$$

As concentrações dos materiais, agentes aglomerantes e teores de água utilizados em cada batelada estão demonstrados na Tabela 4.

3.3.5 Teores de materiais utilizados em cada amostra

Cada amostra produzida teve suas particularidades durante o processo de produção. Levaram-se em conta os materiais utilizados em cada batelada, a forma de preparo da liga (diluição do melado e ou a pré-gelatinação do amido), a homogeneização dos componentes. Ainda, o tempo e a temperatura de aquecimento na estufa, a intensidade de força aplicada na prensa, o tempo aguardado antes de realizar a desmoldagem e o período de cura dos briquetes até apresentarem massa constante (TABELA 4).

Tabela 4 – Materiais utilizados em cada amostra (%).

Briquetes	Aglomerantes (% Massa)		Água (% Massa)	Matéria-prima (% Massa)	Misturas (% Massa)		Total (% Massa)
	Melado	Amido		CA	Pó da CA**	Serragem	
1	16	-	15	9	43	17	100
2	16	-	15	9	60	-	100
3*	16	-	15	9	-	60	100
4	-	12	18	9	43	18	100
5	-	12	15	10	63	-	100
6*	-	12	15	12	-	61	100

Fonte: Da autora.

* Teor referente a 50% da amostra 1 e 4 com melado e com o amido, respectivamente e **CA – Casca de Arroz

Os procedimentos adotados para produzir as seis bateladas com teores diferentes de materiais são descritas no subitem a seguir.

3.3.6 Etapa 1 – Descrição dos procedimentos no preparo das misturas

Para as pesagens dos materiais aplicados no processo de briquetagem deste estudo, utilizou-se uma balança de precisão da marca Urano, modelo US 15/5POP-S, carga máxima 15.000,0 g e carga mínima de 100,0 g (escala = 5,0 g) disponível no laboratório.

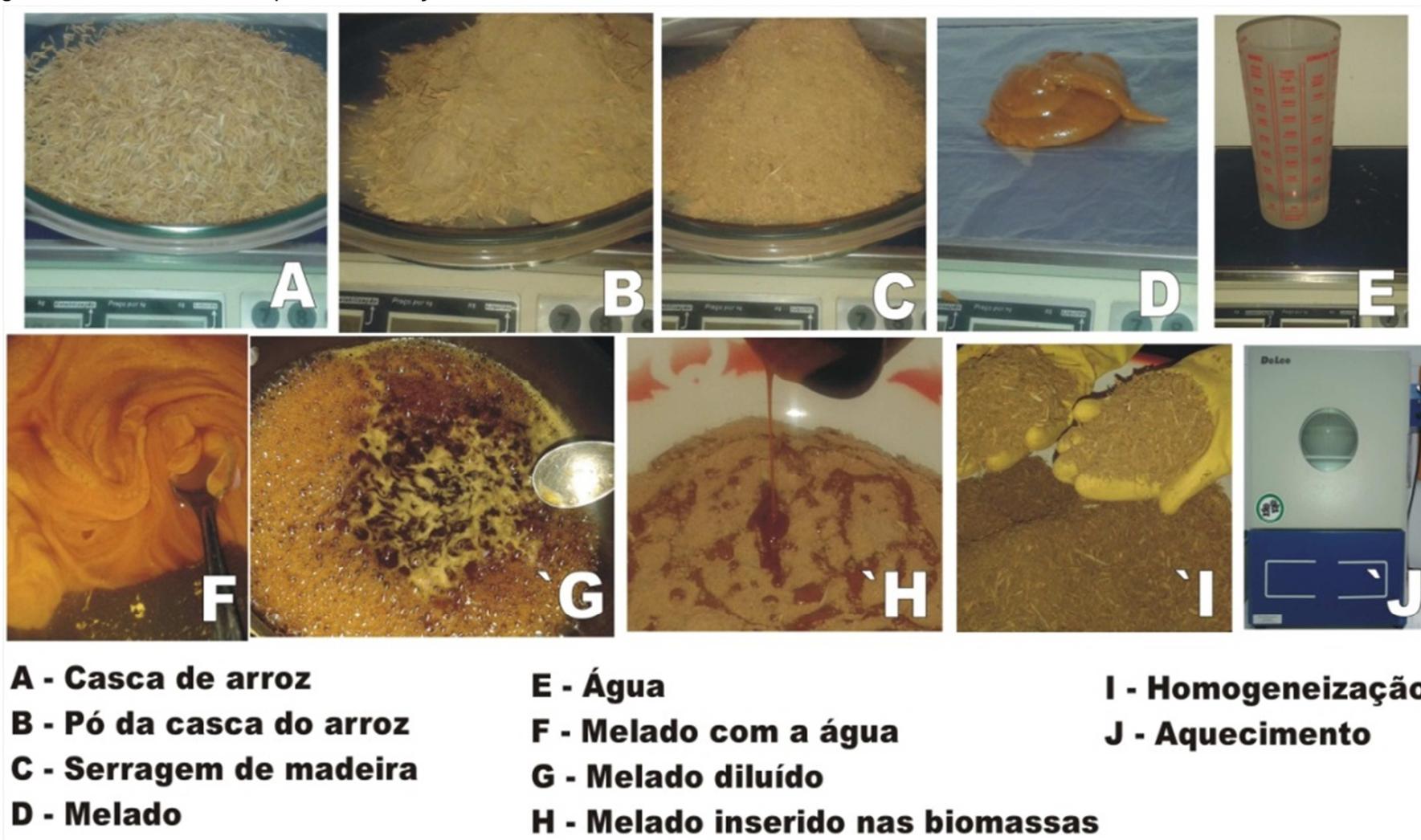
Para cada briquete produzido pesou-se individualmente a casca de arroz, o pó da casca do arroz, a serragem de madeira e a água. Todos com a precisão (em gramas) dos valores dos materiais anteriormente determinados.

Nas amostras produzidas, tendo o melado como ligante, após o melado ser pesado, foi diluído com a água em temperatura acima de 100°C. Para isto, utilizou-se um fogareiro portátil disponível no laboratório. O aquecimento fez com que o melado de característica bastante densa tornasse mais líquido, promovendo com isto, uma melhor distribuição sobre os demais materiais (FIGURA 5).

No ligante amido realizou-se o tratamento prévio de pré-gelatinação por aquecimento. Para isto, o pó do amido foi misturado com a água e levado ao fogo. Obteve-se assim um gel que foi misturado aos demais materiais há uma temperatura não inferior a 60°C (FIGURA 6).

A homogeneização entre todos os materiais utilizados foi realizada manualmente durante um período médio de dez minutos, até que se observou uma homogeneização adequada entre todas as partículas. Permitindo com isto, a obtenção um aglomerado uniforme, com plasticidade e consistência necessária.

Figura 5 - Procedimentos para a obtenção das amostras com o melado.



Fonte: Da autora.

Figura 6 - Procedimentos para a obtenção das amostras com o amido.



Fonte: Da Autora

Para preparar a amostra número três, com o melado, e a amostra número seis, com o amido (TABELA 4), utilizaram-se duas biomassas no processo, ambas com baixa massa específica, a casca de arroz e a serragem, repercutindo em maior volume frente as demais amostras anteriormente produzidas. Para comportar este volume, considerou-se a capacidade interna do molde de 1.717,0 cm³ e, adequaram-se as concentrações do aglomerado em quantidade suficiente para ocupar o tamanho do molde. Para isto, calcularam-se os teores dos materiais correspondentes para 50% da amostra um, com a utilização do melado como ligante e para 50% da amostra quatro, com o amido.

O aglomerado homogeneizado foi levado para ser aquecido junto à estufa do laboratório, previamente aquecida a uma temperatura de 300°C. Marca De Leo, tipo A3AF (Nº.1009 2420 W 220 V 11 A).

Este tempo de aquecimento (determinado anteriormente em um ensaio piloto) foi fundamental para efetivar a unificação entre as partículas dos materiais utilizados durante a briquetagem. Entretanto, as amostras produzidas com o amido necessitaram de um minuto a mais na estufa do que as com o melado, ou seja, permaneceu por quatro minutos na estufa, e por três minutos o aglomerado com o melado.

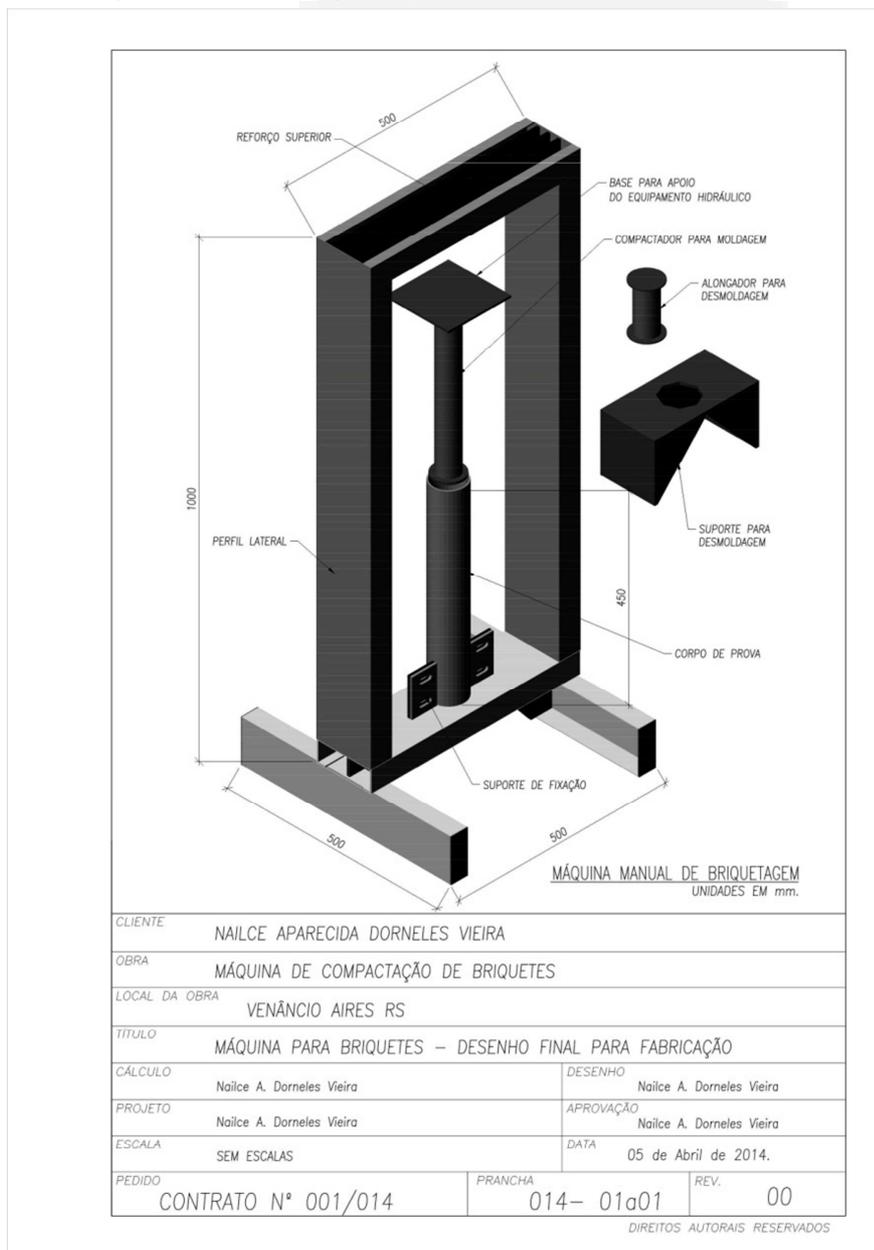
Esta necessidade de aquecimento foi de encontro aos relatos de Quirino (2001), Mayer, Hoffmann e Ruppenthal (2006) e Lippel (2013), de que quando a casca do arroz quando for submetida para aproveitamento energético por meio da briquetagem, necessita de elevadas pressões e temperatura. No entanto, vale lembrar que estas afirmações relacionam-se para processos com equipamentos apropriados para briquetagem. Ou seja, que geram impactos e calor, com isto, liberando por meio da temperatura a lignina presente na casca de arroz, que age como um adesivo de partículas, o que não foi o caso deste trabalho onde necessitou da adição de ligantes.

O aglomerado permaneceu na estufa aquecida até que se prosseguiu a segunda etapa da produção do briquete, que consistiu na compactação dos mesmos.

3.3.7 Etapa 2 – Descrição dos procedimentos de compactação

A segunda etapa consistiu em desenvolver uma prensa manual, projeto (FIGURA 7) e fabricação, de maneira a fornecer capacidade de pressão necessária para densificar e dar forma adequada aos briquetes. Para permitir também realizar o preenchimento do corpo de prova com os materiais, em uma única vez, a fim de evitar a formação de camadas na estrutura do briquete, conforme observado durante a utilização da prensa do laboratório, durante os experimentos preliminares.

Figura 7 - Projeto técnico da prensa manual.



Fonte: Da autora.

A prensa foi fabricada com perfil metálico para compor a sua estrutura externa, com dimensões de 0,50 m de largura por 0,50 m de base e 1,00 m de altura. Foram fabricadas três peças, tubos metálicos, para compor os corpos de prova, com dimensões de 45,0 cm de altura por 6,97 cm de diâmetro. Para facilitar o processo de compactação e de desmoldagem foi desenvolvido um tubo maciço com 37,0 cm de altura por 5,8 cm de diâmetro, e mais outro tubo menor, também maciço, de 11,0 cm de altura por 5,8 cm de diâmetro (compactador e alongador para prensagem e desmoldagem). Ainda, foi confeccionada uma peça retangular metálica de aço de $\frac{1}{4}$ polegadas de espessura da chapa, que foi utilizada como suporte de elevação do corpo de prova durante a desmoldagem.

Para a compactação dos briquetes, fixou-se inicialmente o molde à prensa, com o auxílio de parafusos. Retirou-se o aglomerado aquecido da estufa (300°C) e, imediatamente foi realizado o preenchimento do corpo de prova, previamente lubrificado com gordura animal. Em seguida, foram inseridos os dois tubos maciços no interior do corpo de prova. E por último, fixou-se sobre o molde o macaco hidráulico do tipo garrafa, da marca Toolmix MG 420, com capacidade de 20 toneladas (20.000,0 kgf/cm²).

Ao ser acionado manualmente o macaco, o pistão elevava-se verticalmente até a parte superior da prensa e, a pressão aplicada fez com que os tubos maciços deslizassem no interior do corpo de prova promovendo a densificação. O tempo necessário de compactação em média foi de um minuto.

Para garantir que todos os dezoito briquetes produzidos recebessem a mesma aplicação de carga, utilizou-se uma fita métrica para medir 14,0 cm de elevação do pistão do macaco, uma vez que, para este modelo de macaco hidráulico, cada centímetro de elevação do pistão, corresponde a uma tonelada de força (1.000,0 kgf/cm²). Assim, cada briquete produzido recebeu 14,0 toneladas de pressão por cm² (14.000,0 kgf/cm²).

Depois de encerrado o processo de compactação, as amostras número um e dois com o melado, e quatro e cinco, com amido, permaneceram no interior do molde acoplado à prensa, por um período de cinco minutos e, por dez minutos as amostras número três com melado, e amostra seis, com amido.

Encerrada a compactação das amostras, prosseguiu-se com a terceira e última etapa da produção dos briquetes.

3.3.8 Etapa 3 – Descrição dos procedimentos do tratamento final

Concluída a densificação dos briquetes, realizou-se a extração das amostras do molde. Para isso, foi feito o desmonte do corpo de prova (desparafusamento) da prensa e, em seguida, colocou-se o molde sobre a peça retangular metálica, de aço de ¼ polegadas de espessura da chapa, que serviu de apoio. Posteriormente, com o macaco hidráulico acoplado à prensa, aplicou-se força suficiente para que os tubos maciços inseridos dentro do molde provocassem o deslizamento do briquete no seu interior.

Imediatamente, após a desmoldagem realizou-se a pesagem e anotou-se em uma planilha a altura dos briquetes obtida após a densificação, para isto, utilizou-se uma régua graduada. As amostras foram colocadas para curarem em temperatura ambiente e em local adequado no próprio laboratório. As amostras foram pesadas novamente (periodicamente) até apresentarem massa constante.

Decorrido o período de cura, 48 horas, uma amostra de cada batelada produzida (total de seis briquetes) foram embaladas individualmente em sacos plásticos e identificadas com etiquetas, a fim de diferenciar uma amostra da outra e preservar as características obtidas no processo de briquetagem.

As amostras estavam concluídas para serem realizadas as análises finais, a fim de alcançar os objetivos propostos neste projeto.

3.4 Análises finais nos briquetes produzidos

Os ensaios de dureza nas amostras foram realizados no Laboratório de Solos e Betume do Centro Universitário Univates.

As análises, elementar e imediata dos briquetes, foram executadas no Laboratório de Ensaios em Combustíveis na Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC em Porto Alegre – RS. Este laboratório é uma Fundação Pública ligada a Secretaria da Ciência Inovação e Desenvolvimento Tecnológico do RS. Ressalta-se que os ensaios de dureza, análise elementar e análise imediata foram realizados em triplicata. Portanto, os resultados apresentados correspondem à média obtida.

3.4.1 Ensaio de dureza

Após a cura dos briquetes, seis amostras, uma de cada batelada, foram submetidas a testes de dureza, a fim de constatar o endurecimento de cada briquete produzido e verificar a resistência mecânica a deformações permanentes. Para isto, utilizou-se um Durômetro Portátil da marca Cade ISH-PH Insize, disponível no laboratório.

Inicialmente realizou-se a calibração da caneta leitora de dureza. Em seguida, com as amostras individualmente identificadas, iniciaram-se os ensaios, que consistiu em engatilhar a caneta conectada ao Durômetro Portátil, posicioná-la perpendicularmente ao briquete, logo após disparar o dispositivo do equipamento e realizar a leitura.

A unidade de medida deste aparelho é em HB, onde "HB" é a dureza na escala Brinell (*Hardness Brinell*), utilizada para ensaios em metais, que é a relação entre a carga aplicada e a área da calota esférica impressa no material ensaiado (SOUZA, 1974).

O grau de dureza registrado no ensaio padrão do aparelho do laboratório é de 578 HB. Realizado em um disco metálico de aço temperado de 100,0 mm de diâmetro por 13,0 mm de espessura, específico para esta finalidade.

3.4.2 Análise elementar

Utilizando a metodologia D-3176/09 e por meio da combustão das seis amostras (base seca) com detecção por infravermelho e condutividade térmica, a CIENTEC realizou as análises elementares, onde determinou os teores (%) de carbono (C), hidrogênio (H) e nitrogênio (N). Utilizou-se instrumental da LECO Corporation, modelo TruSpec CHN.

3.4.3 Análise imediata

Para a preparação das amostras a metodologia empregada pela CIENTEC foi a BS-EM 14780/2011. Por meio da metodologia ASTM D-7582/12 por macro análise termogravimétrica, o laboratório realizou os ensaios que determinou pela base úmida os teores (%) de umidade total e umidade de higroscopia. Para análise das cinzas, utilizou-se a base seca das amostras. Para estes testes utilizaram o equipamento denominado Analisador Termogravimétrico TGA 701 da LECO Corporation.

A partir das cinzas de carbono, hidrogênio e nitrogênio foram feitas as determinações (%) de oxigênios mais halogênios. Para estes ensaios o laboratório utilizou a metodologia D-3176/09.

3.4.4 Poder calorífico dos briquetes

Por meio da base seca das amostras e através do método D-5865/13, a CIENTEC realizou os ensaios para determinar o Poder Calorífico Superiores (PCS) e o Poder Calorífico Inferior. Para a realização destes ensaios o laboratório utilizou a Bomba Calorimétrica Isoperibol PARR 1281.

3.5 Volume inicial dos materiais e volume dos briquetes

Considerando que o diâmetro do corpo de prova era de 6,97 cm, através da Equação (3), calculou-se o volume dos briquetes.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (3)$$

Onde V é o volume do briquete em cm^3 , r é o raio em cm e h é a altura do briquete.

A partir do volume dos briquetes, utilizou-se a Equação (4) a seguir, para verificar a redução em percentual do volume do aglomerado utilizado (casca de arroz, pó da casca, serragem, ligante e água) após a densificação em cada amostra.

$$\text{Redução dos } V_{\text{briquetes}} (\%) = \left(1 - \frac{V_{\text{briquete}}}{V_{\text{corpo de prova}}}\right) \cdot 100 \quad (4)$$

Para encontrar a redução percentual do volume dos materiais utilizados em cada amostra, inicialmente relacionou-se a massa e a densidade de todos os materiais utilizados na amostra em questão. Por meio da Equação (5) a seguir determinou o volume corresponde aos materiais desta amostra.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (5)$$

Onde: V é o volume em cm^3 , m é a massa do material em gramas e ρ é a densidade em g/cm^3 correspondente ao material.

A partir disto, aplicou-se a Equação (6) e encontrou-se o percentual de redução de volume, correspondente a cada amostra após a densificação.

$$\text{Redução } V_{\text{materiais}} (\%) = \left(1 - \frac{V_{\text{materiais}}}{V_{\text{corpo de prova}}}\right) \cdot 100 \quad (6)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados experimentais dos seis experimentos realizados, bem como, discussões acerca do potencial energético e ambiental dos briquetes produzidos com biomassas vegetais, sem a adição de ligantes químicos, estão sendo apresentados a seguir.

4.1 Características iniciais das biomassas

Anteriormente ao preparo do aglomerado para compor os briquetes, foi realizado os ensaios para verificar dois parâmetros fundamentais das biomassas a serem utilizadas, a massa específica e a umidade. Os valores obtidos foram demonstrados nos subitens a seguir.

4.1.1 Ensaio da massa específica nas biomassas utilizadas

Observou-se na avaliação dos resultados demonstrados na Tabela 6 a seguir, que as três biomassas, a casca e o pó do arroz e a serragem, apresentaram massa específica relativamente baixa ($<0,7 \text{ g/cm}^3$). Entretanto, a casca de arroz destacou-se como a de menor valor, ou seja, cinco vezes menor que o pó da casca e uma vez, comparado com a serragem. Assim, ao confrontar com a literatura, confirma ser um resíduo agrícola lignocelulósico muito leve, representando assim o maior volume entre os subprodutos obtidos durante o beneficiamento do arroz.

Tabela 5 - Densidades dos materiais que foram utilizados no processo.

Biomassas	Massa Específica (g/cm^3)
Casca de arroz	0,10
Pó da casca de arroz	0,56
Serragem	0,23

Fonte: Da autora.

O valor de massa específica da casca de arroz obtido neste ensaio se aproximou do valor encontrado por Ferreira, Gobo e Cunha (2008), de $0,086 \text{ g/cm}^3$ no estudo realizado para avaliar a incorporação de casca de arroz e de braquiária na produção de tijolos.

Nos experimentos realizados, levou-se em consideração a massa específica de cada material utilizado, pois, conforme se diversificava o tipo de mistura em cada amostra (pó de arroz ou a serragem de madeira), aumentava consideravelmente o volume do aglomerado preparado para ser compactado, influenciando diretamente na capacidade do molde que possuía volume interno fixo de $1.717,0 \text{ cm}^3$ (45,0 cm de altura por 6,97 cm de diâmetro). Portanto, isto justifica cada amostra que foi produzida apresentar valores de concentrações (massa) dos materiais utilizados, uma diferente da outra.

4.1.2 Ensaio da umidade inicial das biomassas

Constataram-se através da análise dos resultados que os teores de umidade presente nas biomassas no seu recebimento, expressaram baixos valores ($< 13\%$).

No entanto, a casca do arroz apresentou umidade inferior às demais biomassas ensaiadas.

Este teor aproximou-se do valor de 10,9% apurado por Hort (2013), em sua pesquisa para avaliar a produção energética a partir de ligninas contidas em biomassas e, 10,0% analisado por Ramos e Paula et al. (2011), no estudo de caracterização de resíduos de biomassa vegetal para uso na geração de energia. Ressalta-se que ambas as amostras também foram estabilizadas em laboratório.

Tabela 6 - Teor de umidade dos materiais no recebimento.

Biomassas	Umidade (%)
Casca de arroz	10,00
Pó da casca de arroz	12,55
Serragem	11,32

Fonte: Da autora.

O parâmetro umidade, ou seja, a baixa presença detectada nos ensaios foi determinante para a necessidade de inserir água no processo de briquetagem deste estudo (TABELA 7). Assim, confirmou-se as abordagens de Biomachine (2006) e Mayer et al. (2006), onde destacam que para o processo de aglutinação na briquetagem ser bem sucedido, depende além de uma granulometria dos materiais adequada entre 5,0 a 10,0 mm, uma quantidade de água em torno de 8 a 15% de umidade.

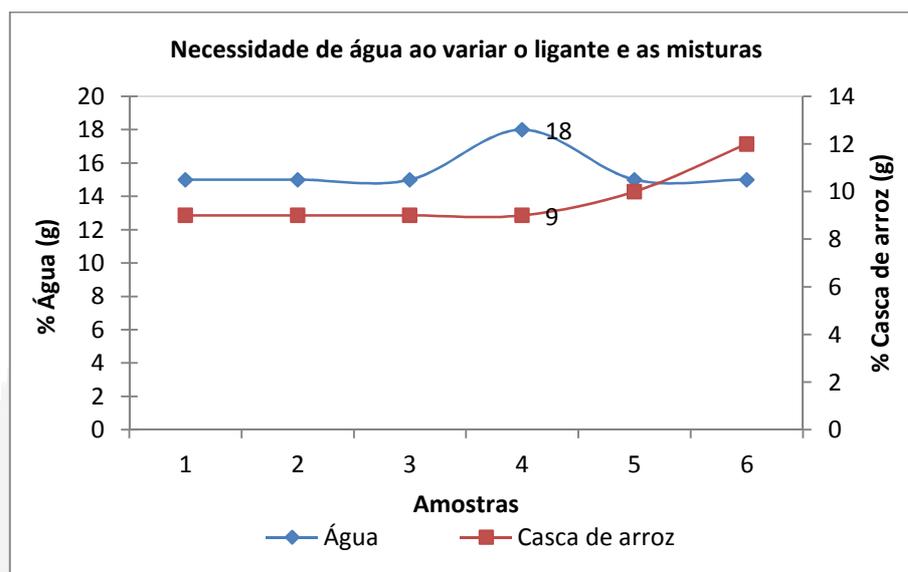
Por outro lado, segundo Coelho et al. (2002), a alta umidade nas biomassas reduz consideravelmente o poder calorífico inferior e a eficiência dos equipamentos utilizados para a geração de energia com os materiais da qual foram compostos.

Nas amostras números quatro, cinco e seis foram necessários adicionar 20% de água a mais ao processo, pois, o amido é um pó fino e com baixa presença de umidade. Assim, esta quantidade de água maior, compensou a umidade presente no melado nos experimentos anteriores.

Frente a isto, constatou-se conforme demonstrado no Gráfico 11, que a amostra número quatro, com o amido e contendo todos os materiais na sua composição (casca de arroz, pó da casca e a serragem), apresentou maior

necessidade de água no processo de produção, que as demais amostras. Isto se deve ao fato do amido ao ser pré-gelatinado, tornar-se muito denso, também por ser inserido em biomassas de baixa densidade e umidade. Com isto, maior teor de água, possibilitou uma melhor homogeneização entre as misturas.

Gráfico 11 – Adição de água nas amostras.



Fonte: Da autora.

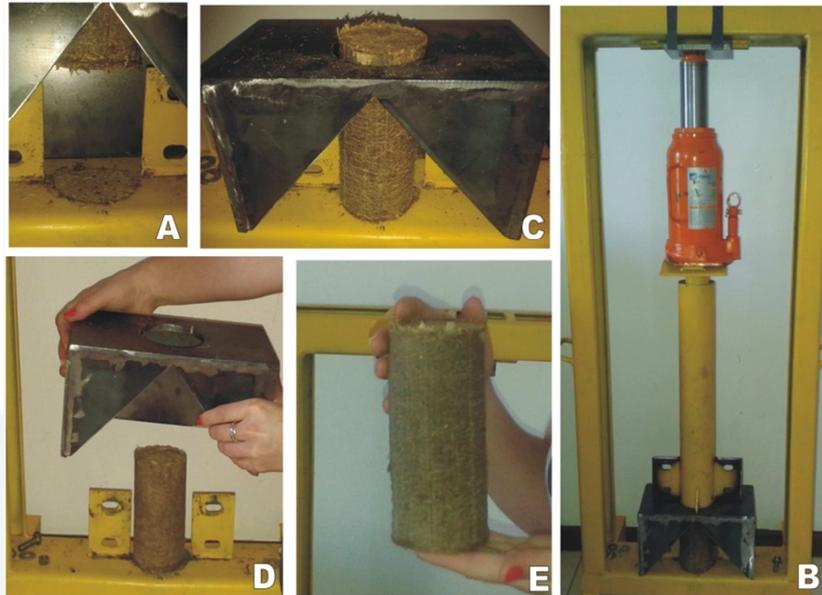
A presença de água nas amostras facilitou a transferência de energia em forma de calor, melhorando a plastificação da lignina dos briquetes aliada aos ligantes presentes nas amostras, isso ocorre porque a água é melhor condutora de calor em comparação com o ar, conseqüentemente, favorecendo a forma dos briquetes (RODRIGUES, 2010).

4.2 Desmoldagem dos briquetes

A desmoldagem dos briquetes ocorreu por meio manual com o auxílio da prensa. Na análise visual, os briquetes apresentaram comportamento semelhante durante a desmoldagem (FIGURA 8) e no período da cura, exceto as amostras três com melado e amostra seis com amido. Pois, estes dois tipos de briquetes, foram produzidos com casca de arroz e serragem, o que resultaram em briquetes com

baixa resistência mecânica, e conseqüentemente, estabilidade dimensional reduzida.

Figura 8 - Processo de desmoldagem dos briquetes.



Fonte: Da autora.

A Figura 8 (A até a E) demonstra que após a desmoldagem, não foi observado nos briquetes à presença de rachaduras ou fissuras, nem deformações nas laterais.

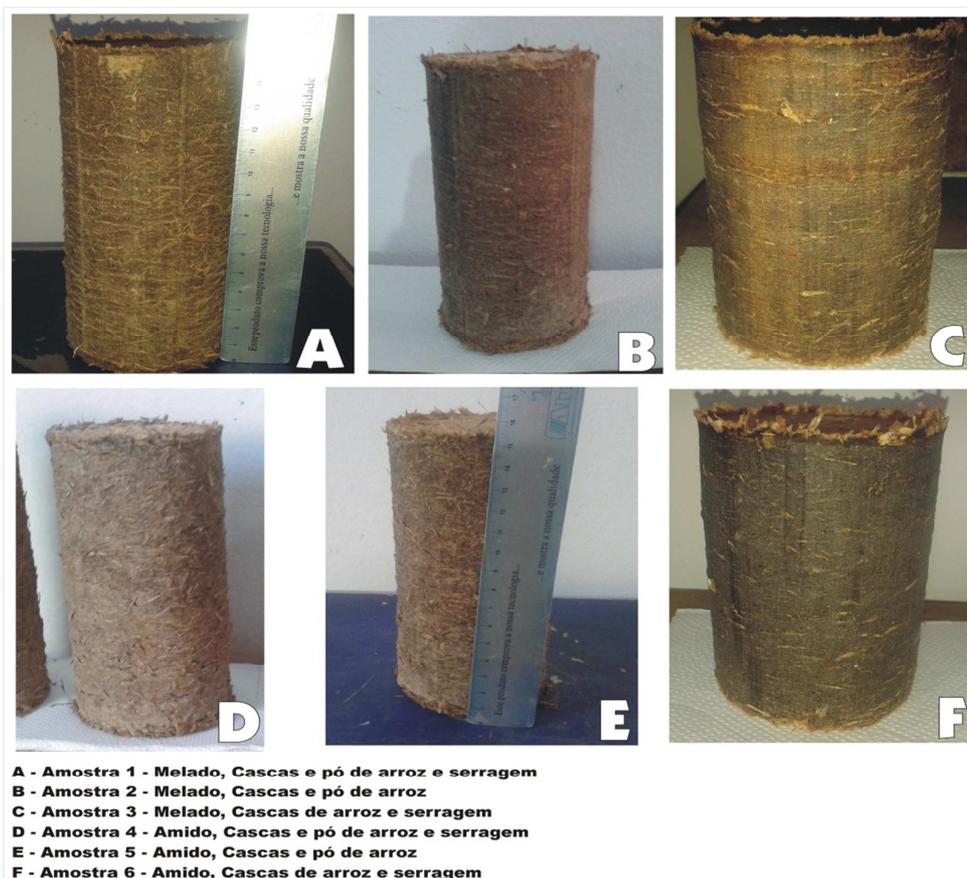
4.3 Formato e cura dos briquetes produzidos

As dezoito amostras produzidas foram conformadas em moldes de mesmo tamanho, com formato geométrico definido e uniforme, onde receberam igual pressão (FIGURA 8). No entanto, a maior redução na massa (6,35%), após as 48 horas de cura, observou-se na amostra número um (determinada anteriormente como “amostra base” com o melado) que teve as duas misturas, pó da casca do arroz e serragem de madeira. Comparativamente, à amostra número quatro (“amostra base” com o amido), contendo os mesmos materiais, reduziu menos da metade deste teor (3,04%), como demonstrado no Gráfico 12.

Por outro lado, a diminuição da massa foi mais expressiva na amostra número três (3,17%), seguida pela amostra número seis (3,28%) que tiveram a serragem

como mistura. No entanto, as amostras número dois e a número cinco, com o pó da casca e o amido, variando apenas o ligante, tiveram a mesma redução percentual (3,31%).

Figura 9 – Briquetes com os materiais pertinentes a este projeto.



Fonte: Da autora.

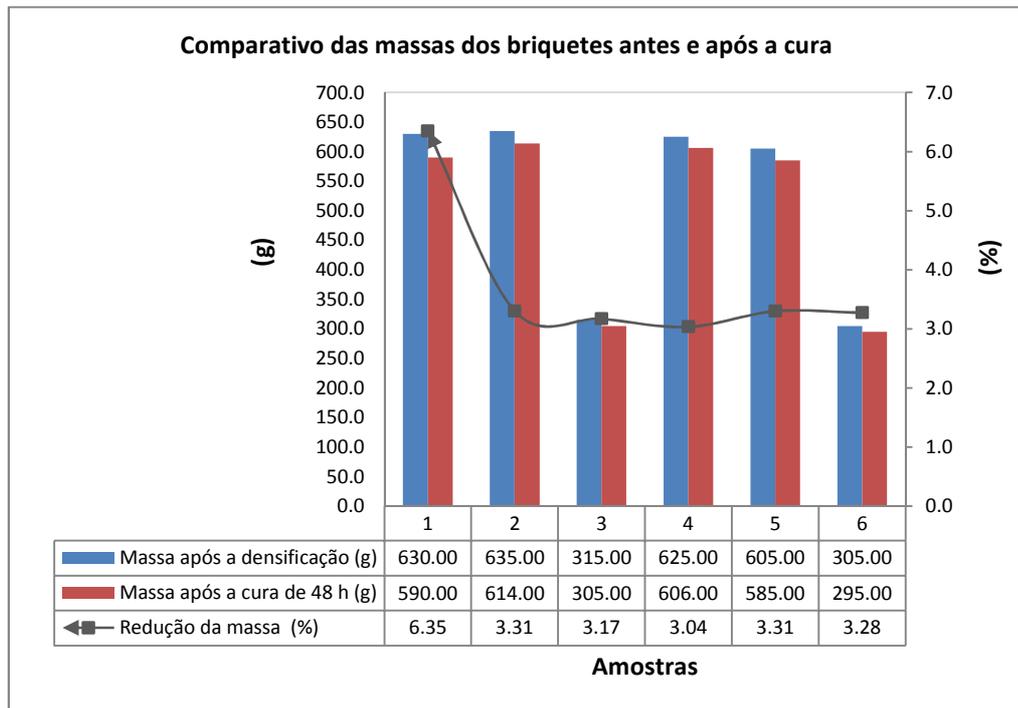
Figura 10 – Aspecto visual dos briquetes após a secagem.



Fonte: Da autora.

Após a secagem, as amostras apresentaram similaridade quanto ao aspecto visual (FIGURA 10). Apenas nas amostras produzidas com maior concentração de serragem, as laterais dos briquetes aparentaram cor mais escura. Deve-se isto pela expansão dentro do molde, aderindo nas amostras à cor da superfície interna do tubo que não havia recebido pintura.

Gráfico 12 – Comparativo entre as massas das amostras antes e após a cura.



Fonte: Da autora.

Estas observações evidenciam que a redução na massa dos briquetes durante a secagem está relacionada com a combinação do tipo de ligante com o tipo de mistura inserido na amostra. Visto que ocorreu a evaporação da umidade presente nos briquetes, neste caso, do melado e da serragem principalmente.

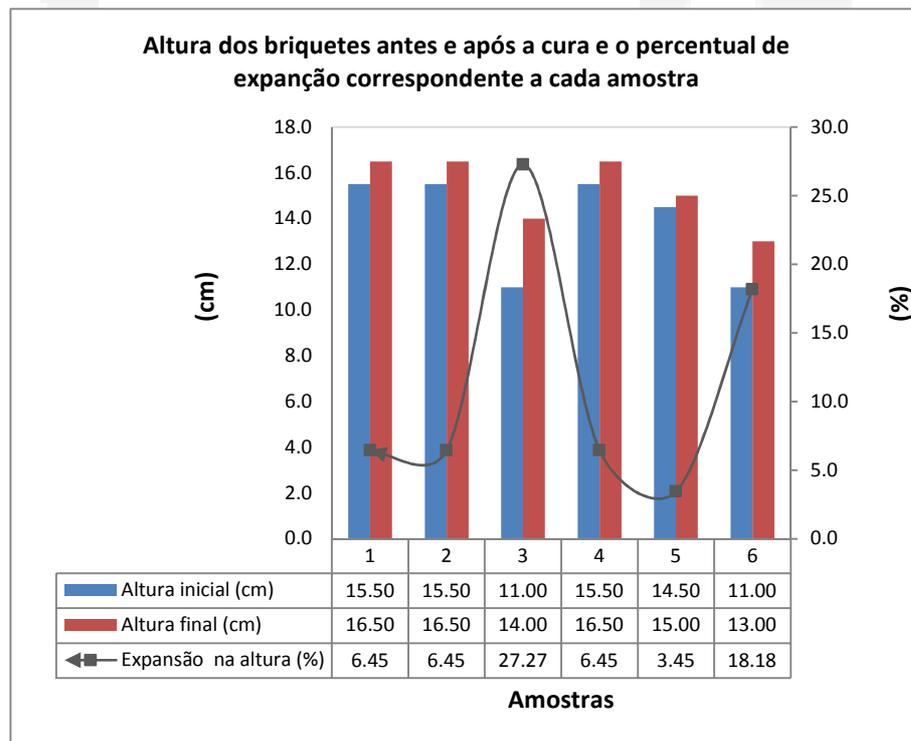
Ainda em relação ao formato dos briquetes, salienta-se que após a densificação, as amostras foram mantidas na prensa por um tempo de cinco minutos para evitar a expansão. Nesta etapa, os briquetes ficaram protegidos da expansão de comprimento pelo tubo projetado para auxiliar na compactação, inserido no interior do molde e, pela pressão exercida pelo macaco hidráulico. Mesmo com esta configuração, ainda foi observado um aumento no comprimento dos briquetes durante a etapa de secagem.

Referente à altura final (comprimento longitudinal), constatou-se que o tamanho das amostras números três e seis, que foram produzidas com 50% da quantidade dos materiais das amostras base, apresentaram altura entre 13,0 cm e 14,0 cm, respectivamente. Esta expansão observada após a cura, maior que as demais amostras, indicaram que produzir briquetes apenas com casca de arroz e a serragem da madeira, tanto com o melado como ligante, quanto o amido, resultaram em briquetes com densidade aparente reduzida, comprometendo a estrutura do briquete, pois se percebeu que eles começaram a se desintegrar durante o manuseio.

Para este caso, possivelmente o uso de aquecimento durante a prensagem possa diminuir esta expansão, conforme sugere Yamagi et al. (2013), ao avaliar briquetes de capim e bagaço de cana que apresentaram o mesmo problema.

Por outro lado, em relação à expansão no tamanho dos briquetes, no Gráfico 13 é possível observar que a maior alteração foi constatada nas amostras números três e seis, ambas com a serragem como mistura, ou seja, nas mesmas amostras que apresentaram fragilidade na estrutura.

Gráfico 13 – Comparativo entre as alturas das amostras antes e após a cura.



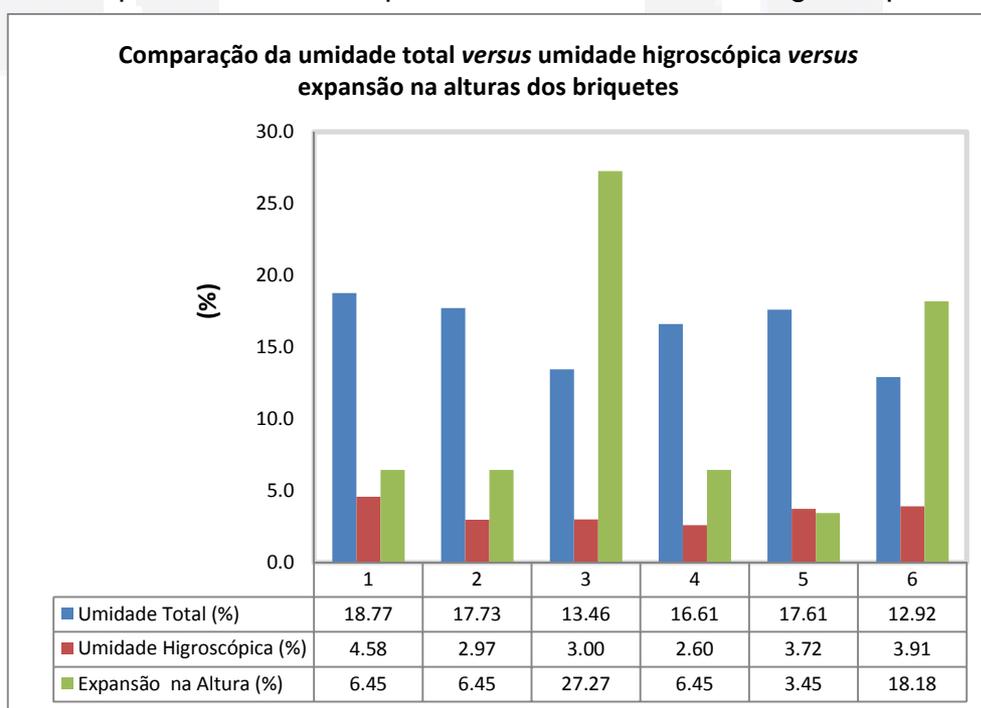
Fonte: Da autora.

No Gráfico 13 está plotado a altura obtida após a densificação dos briquetes e o percentual de expansão após a cura. Como pode se observar, a amostra que menos expandiu foi a número cinco (3.45%), composta de cascas, pó do arroz e o amido como ligante. Por outro lado, a amostra número três, com cascas, serragem e melado, apresentou-se com maior expansão frente às demais (27,27%).

Em sequência, a amostra que apresentou a segunda maior expansão, foi a número seis (18,18%), também tendo a casca e a serragem na sua composição, apenas tendo o ligante diferente, o amido. Logo, pode-se dizer que, quanto à expansão das amostras destes experimentos, a maior influência se deve ao uso da serragem da madeira.

Constatou-se conforme demonstrado no Gráfico 14 que a expansão dos briquetes não teve relação com a umidade higroscópica avaliada nas amostras. Assunto melhor discutido na seção 4.6 deste trabalho.

Gráfico 14 – Comparativo entre a expansão, a umidade total e higroscópica.

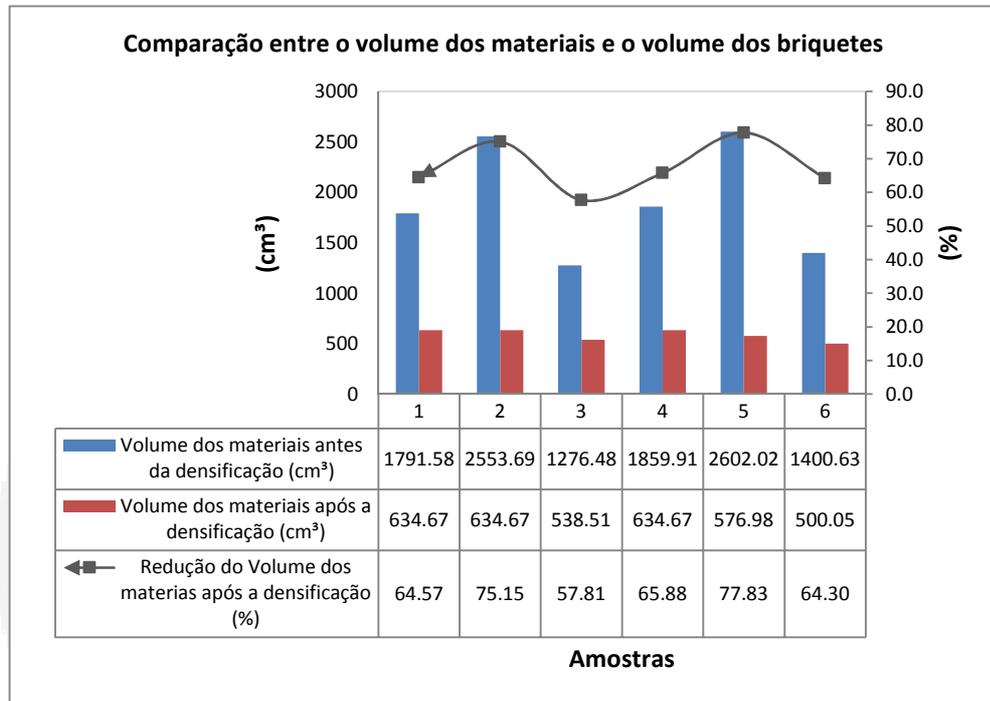


Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

Ao analisar os resultados referentes à redução percentual do volume dos materiais, antes e após a densificação em cada amostra, a número cinco destacou-se com a maior redução no volume, 77,83%, no seu processo, que teve o pó do

arroz como mistura e o amido como ligante. No entanto, a amostra número três, teve menor redução no volume, 57,81%, nesta, o ligante utilizado foi o melado e a mistura, a serragem (GRÁFICO 15).

Gráfico 15 – Redução do volume dos materiais antes e após a compactação.



Fonte: Da autora.

Em geral, conforme demonstrados no Gráfico 15, constatou-se que foi significativa a redução do volume dos materiais após o processo de briquetagem em todas as amostras. Enquanto, em relação à influência do ligante na redução do volume, as amostras produzidas com o amido obtiveram redução mais expressiva do que as com o melado, conforme demonstrados na Tabela 7.

Tabela 7 – Comparativo entre amostras com mesmos materiais e ligantes diferentes.

Amostras	Redução do Volume dos		Média (%)	Desvio Padrão
	Material	após a Densificação (%)		
1		64.57		
4		65.88	65.23	±0.378
2		75.15		
5		77.83	76.49	±0.774
3		57.81		
6		64.30	61.06	±1.873

Fonte: Da autora.

Convém salientar que a casca do arroz, matéria-prima principal deste estudo, teve maior participação em volume no aglomerado (em todas as bateladas), frente às demais misturas utilizadas. Com isto, confirma a referência feita por Mayer, Hoffmann e Ruppenthal (2006), de que a casca do arroz é uma biomassa com grande potencial para utilização em processos de briquetagem, visto a grande redução de volume quando submetido a um processo de densificação.

Diante destes resultados, constatou-se que transformar a casca do arroz (com a adição de outras biomassas) em briquetes é uma solução viável para minimizar o grande problema das indústrias beneficiadoras do grão, quanto aos vultosos resíduos gerados. De modo que, os briquetes podem ser utilizados para gerar calor na caldeira da própria empresa (co-geração de energia).

4.4 Ensaio de dureza nos briquetes

Durante a realização do teste de dureza nas amostras (FIGURA 11 - A a D) constatou-se que este método de análise não foi bem sucedido em todos os briquetes ensaiados. Nas amostras número um, dois, três e seis, o aparelho não efetuou a leitura. Isto ocorreu, por possíveis heterogeneidades da microestrutura do material compactado (cascas do arroz e das misturas), ou seja, apenas as amostras número quatro e cinco, com o amido e sem a presença de serragem na sua composição foram sensíveis ao método (TABELA 8).

Tabela 8- Leituras dos valores de dureza nos briquetes.

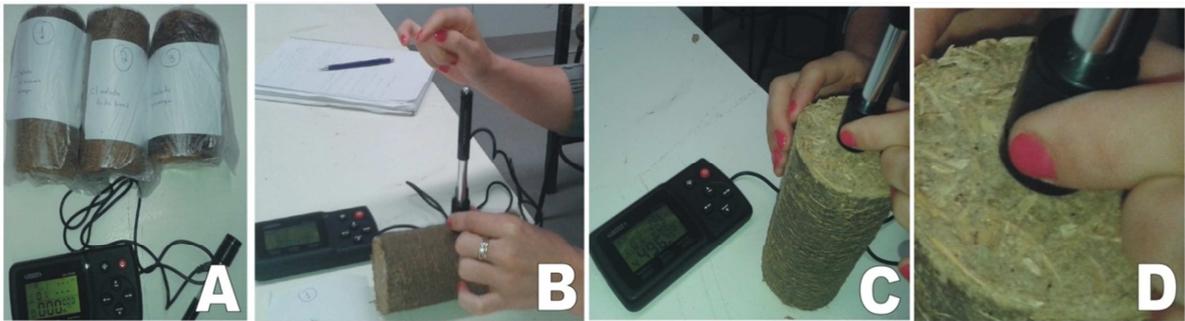
Briquetes (Nº Amostra)	Aglomerantes	Dureza (HB = kgf/mm ²)
1	Melado	ND
2	Melado	ND
3	Melado	ND
4	Amido	182
5	Amido	202
6	Amido	ND

Fonte: Da autora.

(ND) = Não Detectável.

O método do teste padrão de dureza *Hardness Brinell*, expressa valores em kgf/mm^2 , sendo omitido e representado pelo símbolo HB, onde seus valores demonstram uma "média" da dureza de uma determinada região da peça (ideal para a medição de peças que não necessitam ser lixadas).

Figura 11 – Realização dos ensaios de dureza.



Fonte: Da autora.

A partir dos valores de dureza (FIGURA 11- A até a D) observados na amostra número quatro, 182 HB e na amostra cinco, 202 HB, pode-se dizer que o ligante amido favoreceu melhor a uniformidade entre as partículas após a compactação (superfície do briquete mais lisa), frente ao melado. Ressalta-se que na amostra número cinco, que apresentou o maior valor de dureza, teve o pó da própria casca do arroz como mistura. Este pó é um subproduto do grão, que segundo a Embrapa (2012), tem amido presente na sua composição, ou seja, nesta amostra teve a presença do amido, tanto no ligante como na composição da mistura.

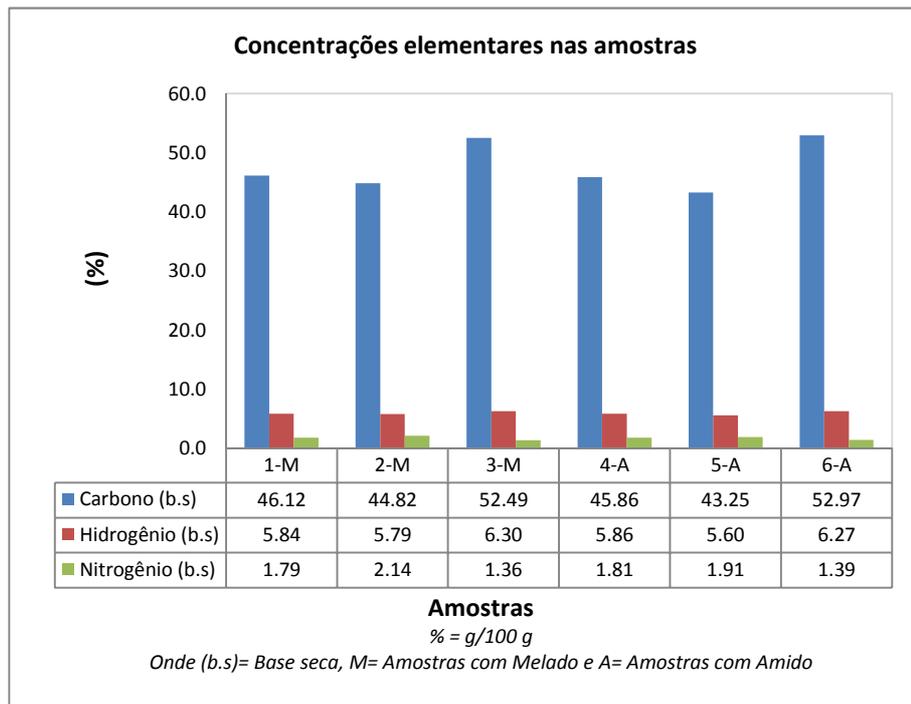
Comparando-o com o ensaio padronizado do aparelho detector de dureza do metal que foi de 578 HB, esta amostra apresentou uma resistência mecânica de aproximadamente de 34,95%, que é um indicador de ser um briquete mais resistente durante a manipulação, transporte e uso. Ou seja, este briquete com o amido e sem a serragem na sua composição tem maior resistência à deformação plástica localizada.

O método não mostrou-se adequado para determinar a dureza nas amostras número um, dois, três e seis.

4.5 Análise elementar dos briquetes (C, H, N)

No Gráfico 21 estão demonstrados os resultados obtidos referente os teores de carbono (C), hidrogênio (H) e nitrogênio (N).

Gráfico 16 - Comparativo entre as seis amostras dos elementos (C,H e N).



Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

Onde (b.s)= Base seca, M= Amostras com Melado e A= Amostras com Amido

Ao contrário do teor de cinzas na combustão da biomassa, o carbono tem relação direta com o poder calorífico. Ou seja, maior teor de carbono fixo, resulta em um maior tempo de permanência dentro do aparelho de queima como em lareiras, churrasqueiras, entre outros (BIOESFERA, 2013).

A presença de carbono detectado nos ensaios das seis amostras (TABELA 9) demonstraram teores expressivos para material combustível, com média entre 44,04% e 52,73%. Estes teores foram mais elevados que os 37,59% em briquetes de casca de arroz carbonizada, encontrados por Maia (2013).

Tabela 9- Comparativo dos teores e médias de C, H e N entre as amostras.

Compa- Rativo	C			H			N		
	Carbono* (%)	Média (%)	Desvio Padrão	Hidrogênio* (%)	Média (%)	Desvio Padrão	Nitrogênio* (%)	Média (%)	Desvio Padrão
Amostra 1	46.12			5.84			1.79		
Amostra 4	45.86	45.99	±0.130	5.86	5.85	±0.006	1.81	1.8	±0.006
Amostra 2	44.82			5.79			2.14		
Amostra 5	43.25	44.04	±0.785	5.60	5.70	±0.055	1.91	2.03	±0.066
Amostra 3	52.49			6.30			1.36		
Amostra 6	52.97	52.73	±0.240	6.27	6.29	±0.009	1.39	1.38	±0.009

Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

Onde (*)= Base seca.

Constatou-se que as amostras números, três e seis (GRÁFICO 16), produzidas com casca de arroz e serragem, apresentaram maior teor de carbono. Para os teores de hidrogênio não se observou uma expressiva diferença entre as seis amostras, embora, nas amostras número três e seis tenham sido maiores, 6,30% e 6,27%, respectivamente. Maiores teores de carbono e hidrogênio elevam a eficiência na liberação de energia durante a combustão (DE SENA, 2005).

Por outro lado, estas mesmas amostras tiveram os menores valores de nitrogênio. Maior percentual de nitrogênio presente nos briquetes diminui a sua eficiência energética no processo de combustão, pois o nitrogênio compete com o carbono durante as reações de oxidação (BORGES ET AL., 2008). Constatou-se que as amostras número três e seis demonstraram melhor eficiência para combustão, perante as demais (52,49% - 52,97%).

Em relação à combustão dos briquetes produzidos, pode-se dizer que, a escolha dos dois ligantes utilizados para este estudo, o melado de cana-de-açúcar (com características similares ao melaço) e o amido de milho, tornam-se ambientalmente viáveis suas aplicações na briquetagem, pois eles estão no grupo dos ligantes considerados não emissores de fuligem durante a sua queima, segundo Antunes (1982).

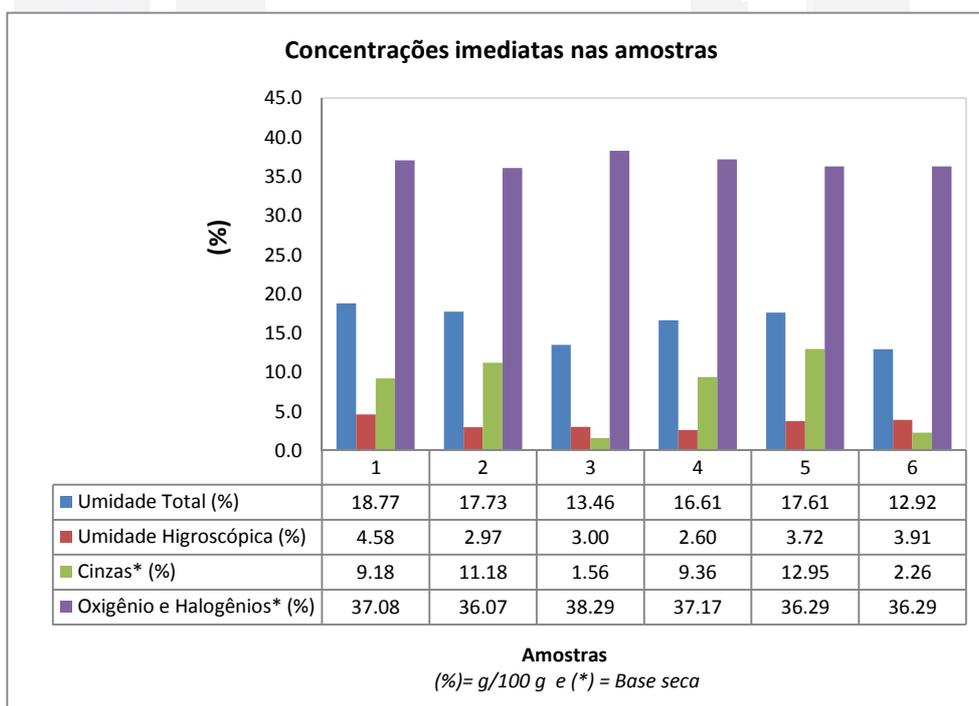
4.6 Análise imediata, umidade total, higroscópica, cinzas, oxigênio e halogênios

O Gráfico 17 a seguir apresenta os teores de umidade total, umidade higroscópica, cinzas e oxigênio mais halogênios das amostras ensaiadas.

O menor teor de umidade total entre as seis amostras, conforme demonstrado no Gráfico 22 observou-se na amostra número seis, que teve serragem e amido na sua composição, 12,93%. Entretanto, o maior teor de umidade total, 18,77%, constatou-se na amostra número um, contendo todos os matérias e melado na sua composição.

Os teores de umidade total deste estudo ficaram acima de 6,98% avaliados em briquetes de babaçu, produzidos pela empresa Florestas Brasileiras S.A – MA (2014), porém, próximos de 12,0% informados pela Biomax (2014), em briquetes de casca de arroz.

Gráfico 17 – Teor de umidade total e higroscópica, cinzas e oxigênio e Halogênios.



Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

Embora os resultados do teor de umidade total deste estudo demonstraram-se teores mais elevados (12,92% - 18,77%), mesmo assim, ficaram inferiores que a umidade da lenha (25% - 30%) segundo a Biomax (2014).

Como já dito, higroscopia é a capacidade que alguns materiais têm de absorver água do ambiente. Ainda, nas análises imediatas das amostras, constatou-se que os briquetes produzidos com o melado, e nos briquetes que tiveram maior concentração de serragem na sua produção, apresentaram teores de umidade higroscópica mais elevada (3,0% - 4,55%), frente às demais amostras (GRÁFICO 17).

Ao aumentar o teor de água de saturação, provoca o afastamento das cadeias de celulose e microfibrilas que são essenciais para a integridade das fibras elásticas, gerando as variações de inchamento. Isto é, a serragem é um material altamente higroscópico que sofre inchaço e retração conforme a umidade ambiente, devido à presença dos grupos hidroxilas livre (SILVA; OLIVEIRA, 2003).

Evidentemente, conhecer o comportamento do material perante a água é interessante, pois contribui para a compreensão da estabilidade e resistência dos briquetes em função da exposição dos mesmos a diferentes condições climáticas ao ser transportado e armazenado. Neste sentido, também se destaca as vantagens do pó do arroz na composição dos briquetes, como demonstrado no Gráfico 17, apresentando o menor percentual de umidade higroscópica entre as seis amostras avaliadas (2,60%), conferindo-lhes uma menor absorção de água, de modo a promover-lhe maior resistência física.

O valor médio de umidade de higroscopia, 3,46%, entre as seis amostras (TABELA 10), foi maior que os valores do teste realizado por Yamaji et al. (2013) ao analisarem o comportamento de briquetes de diferentes matérias-primas, porém, produzidas sem a adição de ligantes e temperatura, como o pinus com 2,56% de absorção de água do ambiente. No entanto, inferior ao valor do eucalipto com 3,96%, da cana com 11,56% e do capim com 3,88%.

Morais et al. (2006) detectaram teor de umidade de 4,28% ao avaliarem briquetes de carvão de casca de arroz em baixa pressão de compactação (200,0 kgf/cm²), também superior a média deste trabalho. Os teores higroscópicos dos briquetes deste estudo entre 2,60% e 4,58% foram menores que 5,12% mensurados em briquetes de babaçu (FLORESTAS BRASILEIRAS S.A, 2014).

Tabela 10 - Teor de umidade de higroscopia nos briquetes após a combustão.

Comparativo	Umidade Higroscópica (%)	Média (%)	Desvio Padrão
Amostra 1	4.58		
Amostra 4	2.60	3.59	±0.572
Amostra 2	2.97		
Amostra 5	3.72	3.34	±0.216
Amostra 3	3.00		
Amostra 6	3.91	3.46	±0.263

Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

Segundo Quirino (2000) quanto menor o teor de umidade, maior é a resistência dos briquetes quanto ao apodrecimento ou a degradação, quando comparado com os resíduos no seu estado natural. Portanto, pode-se dizer que os briquetes produzidos neste trabalho são mais resistentes a acondicionamentos úmidos.

Por outro lado, os problemas de se utilizar matérias-primas alternativas como uma possibilidade para gerar energia, estão relacionados com a poluição causada pela combustão, geração de cinzas e emissão de poluentes. Com isto, neste estudo foi avaliada a geração de cinzas após a combustão dos briquetes.

Em relação aos teores de cinzas demonstradas no Gráfico 17 e comparadas as duplas de amostras que tiveram os mesmos materiais, apenas com ligantes diferentes na Tabela 11, pode-se observar que o menor percentual de cinzas gerado a partir da combustão dos briquetes, teve média de 1,91% entre as duas amostras que tiveram a serragem como mistura na sua composição, amostras número três e seis.

Tabela 11 - Teor de cinzas nos briquetes após a combustão.

Comparativo	Teor de cinzas* (%)	Média (%)	Desvio Padrão
Amostra 1	9.18		
Amostra 4	9.36	9.27	±0.090
Amostra 2	11.18		
Amostra 5	12.95	12.07	±0.885
Amostra 3	1.56		
Amostra 6	2.26	1.91	±0.350

Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

(*)= Base seca.

Adiante na avaliação dos resultados deste estudo, sabe-se que as cinzas são substâncias com presença de material inorgânico e tem relação inversa com o poder calorífico. O teor de cinzas corresponde à porcentagem de material inerte na geração de calor presente na amostra.

Durante a combustão da biomassa, os materiais voláteis evaporam rapidamente diminuindo o tempo de permanência do combustível dentro do aparelho de combustão, contribuindo com isso, para uma baixa eficiência energética (BIOESFERA, 2013).

Segundo Carvalho (2010), o teor de cinzas é a fração que permanece como resíduo após a combustão do carvão vegetal. Este teor varia de 0,5% a mais de 5,0%, dependendo da espécie de combustível sólido e da quantidade de materiais inorgânicos, obviamente não combustíveis, presentes na amostra.

Por isto, almeja-se que após a queima dos briquetes haja a menor quantidade de resíduos possíveis, indicando que grande parte do material foi utilizada na geração de calor sobrando apenas às cinzas.

Quanto a influencia do tipo de misturas utilizado e a geração de cinzas, pode-se observar que briquetes com maiores porcentagens de serragem de madeira, tanto com melado, na amostra número três (1,56%), como com o amido, na amostra número seis (2,26%), resultaram em menor quantidade de cinzas após a queima entre as seis amostras analisadas, ou seja, possuem maior teor de combustíveis que briquetes com menor percentual de serragem, ou mesmo sem a presença desta mistura na sua composição.

Convém ressaltar que estas duas amostras exigiram maior cuidado no manuseio durante as avaliações, pois, começaram a se desintegrar. Os teores de cinzas destas amostras foram inferiores a 3,93% avaliados em briquetes de babaçu (FLORESTAS BRASILEIRAS S.A, 2014).

Por outro lado, as amostras números, dois e cinco, com melado e amido, respectivamente, onde ambas as amostras foram produzidas com a casca do arroz e o pó da casca apresentaram os maiores teores de cinzas neste estudo (11,18% e 12,95%). Mesmo assim, ficaram inferiores aos avaliados por Morais et al. (2006),

teores de 42,16% em briquetes de carvão de cascas de arroz, com pressões de 200,0 kgf/cm² e teores de 17,39% avaliado por Barros (2012), em briquetes produzidos com sabugo de milho.

Frente a isto, constatou-se que a adição do pó da casca do arroz favoreceu o processo de briquetagem, porém, resultou em teores de cinza entre 9,36% e 12,95%, ou seja, mais elevados que em briquetes produzidos com cascas de laranja com 4,53% de cinzas, de cascas de coco com 4,71% e briquetes de cascas de mandioca com 7,51% também avaliados em laboratório por Barros (2012). Mesmo assim, pode-se dizer que este estudo, obteve resultados satisfatórios.

Dentre as seis amostras analisadas, no âmbito de menor geração de cinzas relacionado ao tipo de ligantes utilizado, conclui-se que as amostras que tiveram o melado como ligante apresentaram menores teores (1,56% - 11,18%). Logo, as que foram produzidas com o amido obtiveram teores bem aproximados (2,26% - 12,95%).

Como destino final do resíduo da combustão, as cinzas, podem ser utilizadas como corretor de nutrientes e pH do solo, para promover a elevação à resistência a várias doenças fúngicas, entre outras pragas. Bem como, ser utilizada na construção civil, como fonte de sílica reativa para o cimento, também, o uso de cinzas na indústria farmacêutica e de cosméticos (RAMBO, 2009). Embora, seja necessário avaliar a periculosidade dos compostos inorgânicos presentes no material de cada amostra deste estudo.

A partir das cinzas de carbono, hidrogênio e nitrogênio foram feitas as determinações de oxigênios e halogênios que indicam a presença destes compostos na matéria orgânica, e adsorvidos nos briquetes, conforme demonstrados no Gráfico 22 e comparado entre as duplas de amostras na Tabela 12 a seguir.

Schirmer e Rudniak (2009) conceituam compostos orgânicos voláteis como, toda substância formada por vários elementos químicos que, à exceção do metano, contém carbono e hidrogênio, os quais possivelmente podem ser substituídos por outros átomos como é o caso dos halogênios e oxigênio. De forma ampla, são compostos orgânicos com pressão de vapor elevada, conseqüentemente, são

facilmente vaporizados às condições de temperatura e pressão ambientes (25 °C e 1 atm) e possuem pesos moleculares menores que 200,0 g mol⁻¹.

Constatou-se que houve uma similaridade entre as seis amostras produzidas para o parâmetro oxigênio mais halogênios (36,08% - 38,29%), teores aproximados com os de briquetes de babaçu (38,04%) avaliados pelas Florestas Brasileiras S. A (2014).

No Gráfico 18, de uma forma geral, está demonstrada a participação percentual das análises elementares e imediata, em cada um dos briquetes deste trabalho.

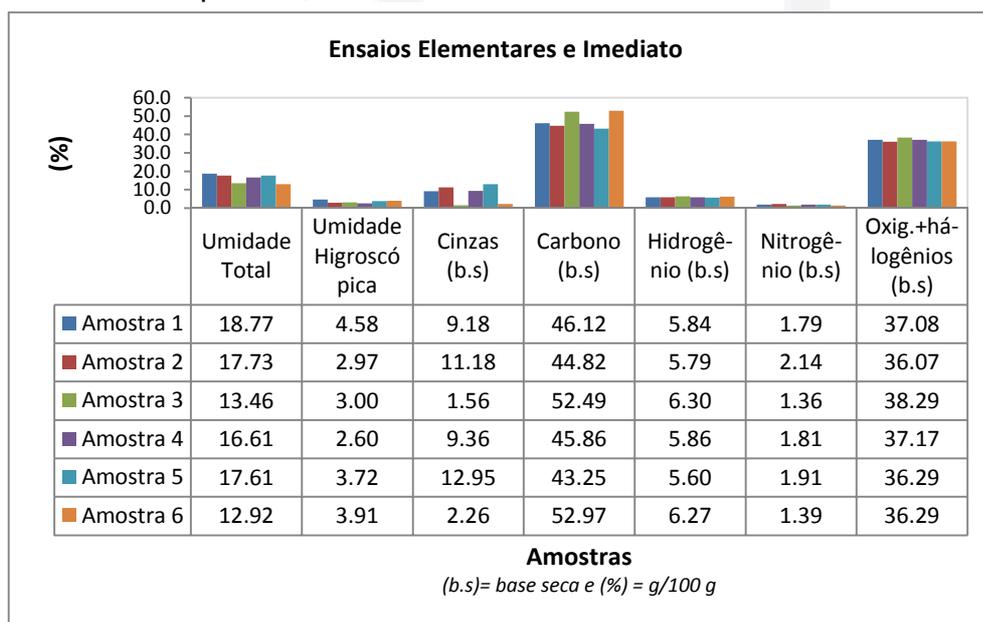
Tabela 12 - Teor de oxigênio e halogênios nos briquetes após a combustão.

Comparativo	Oxigênio e Halogênios* (%)	Média (%)	Desvio Padrão
Amostra 1	37.08		
Amostra 4	37.17	37.13	±0.05
Amostra 2	36.07		
Amostra 5	36.29	36.18	±0.11
Amostra 3	38.29		
Amostra 6	36.29	37.29	±1.00

Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

(*) = Base seca.

Gráfico 18 – Análise química, teor de cinzas e umidades nas seis amostras.



Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

A biomassa com maior teor de carbono e menor teor de cinzas apresenta, normalmente, maior poder calorífico, assunto mais bem discutido nas seções 4.7 e 4.8 a seguir.

4.7 Poder Calorífico Superior nos briquetes (PCS)

Estudos mostram que para que um determinado briquete se tornar um produto concorrente no mercado, é necessário que seu poder calorífico esteja dentro dos padrões desejados para as finalidades ao qual é destinado, seja em caldeiras, fornalhas, churrasqueiras, fogões ou na geração de eletricidade. Para tanto, é interessante observar que o teor de umidade seja em torno de 10,0% a 15,0% para que não reduza a qualidade do produto final como combustível.

O poder calorífico superior (PCS), como já descrito neste trabalho, é aquele em que a combustão se efetua a volume constante, no qual a água formada durante a queima condensa e o calor é recuperado.

Constatou-se que todos os briquetes produzidos apresentaram elevados valores do PCS (3.835,0 – 4.680,0 kcal/kg), independente do tipo de ligante. Os menores valores constataram-se nas amostras que tiveram o pó do amido como mistura, conforme demonstrados na Tabela 13 e no Gráfico 19 a seguir.

Tabela 13 – Comparativo do poder calorífico superior entre as amostras.

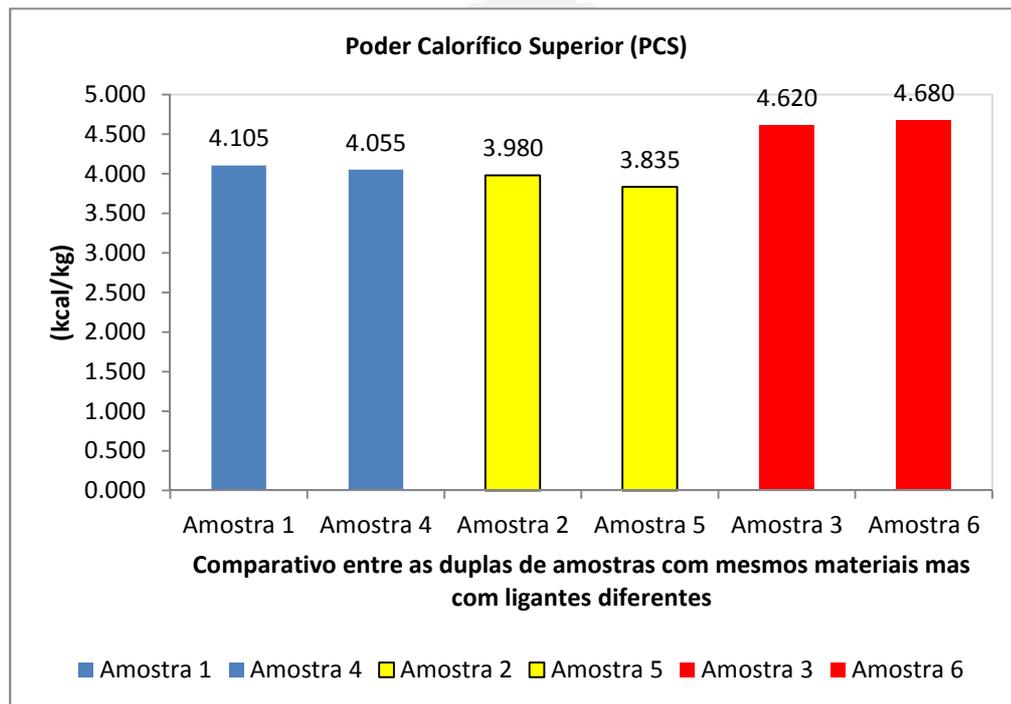
Comparativo	Poder Calorífico Superior (PCS)** (kcal/kg)	Média (kcal/kg)	Desvio Padrão
Amostra 1	4.105		
Amostra 4	4.055	4.080	0.03
Amostra 2	3.980		
Amostra 5	3.835	3.908	0.07
Amostra 3	4.620		
Amostra 6	4.680	4.650	0.03

Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

(**)= Base seca

A média do PCS entre as duas amostras que apresentaram os maiores valores do PCS, números três e seis, foi de 4.650,0 kcal/kg, tendo nas duas amostras a serragem em suas composições. Sendo que, a com maior PCS foi à amostra número seis que teve o amido como ligante (4.680,0 kcal/kg), sendo superior ao PCS de briquetes de babaçu, 4.489,0 kgf/kg (FLORESTAS BRASILEIRAS S.A, 2014).

Gráfico 19 – Comparativo do PCS entre duplas de amostras com ligantes diferentes.



Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

4.8 Poder Calorífico Inferior nos briquetes (PCI)

Convém ressaltar que o poder calorífico inferior (PCI) é a energia livre por unidade de massa de um combustível, após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989). Por isso, é fundamental avaliar o PCI de um combustível, pois é a forma de quantificar a energia efetiva do material.

Quanto ao PCI deste estudo, todos os briquetes produzidos demonstram valores elevados entre 3.545,0 e 4.355,0 kcal/kg, variando muito pouco entre uma e

outra. A comparação do potencial de energia entre as amostras que foram produzidas com os mesmos materiais, porém, com ligantes diferentes, pode ser observada na Tabela 14 e no Gráfico 20.

Todas as amostras que tiveram em sua composição o pó da casca do arroz demonstraram valores do PCI inferiores, em comparação com as amostras sem a mistura. Sendo que, a número dois e cinco apresentaram os menores valores, entre 3.545,0 e 3.680,0 kcal/kg. Deve-se isso, por estas amostras conterem além do pó, também o ligante de amido.

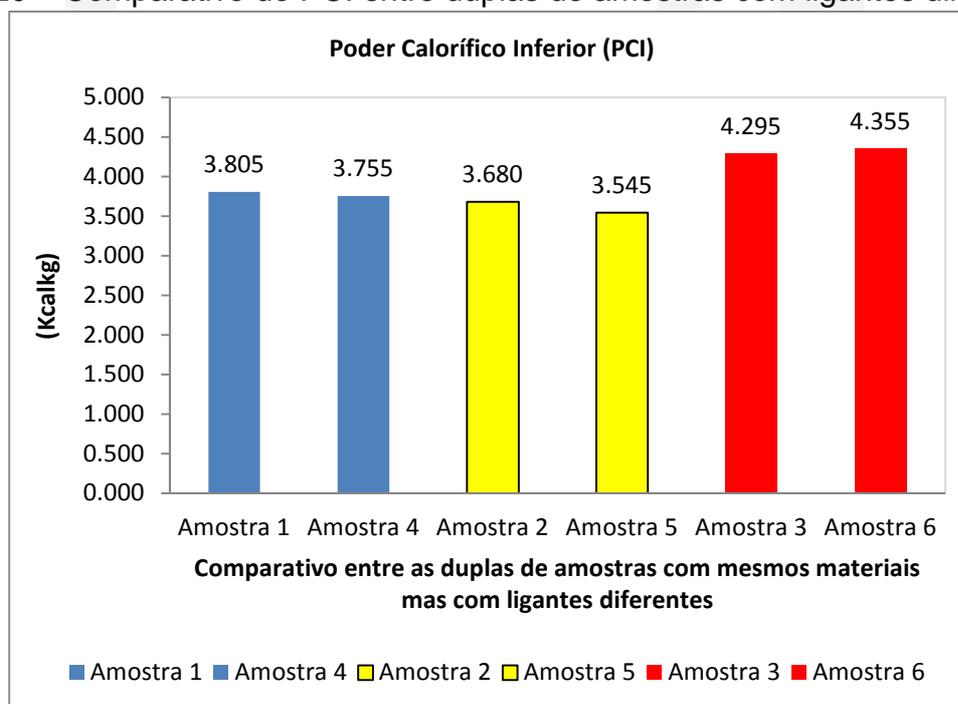
Tabela 14 – Comparativo do poder calorífico inferior entre as amostras.

Comparativo	Poder Calorífico Inferior (PCI)** (kcal/kg)	Média (kcal/kg)	Desvio Padrão
Amostra 1	3.805		
Amostra 4	3.755	3.780	0.03
Amostra 2	3.680		
Amostra 5	3.545	3.613	0.07
Amostra 3	4.295		
Amostra 6	4.355	4.325	0.03

Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

(**)= Base seca

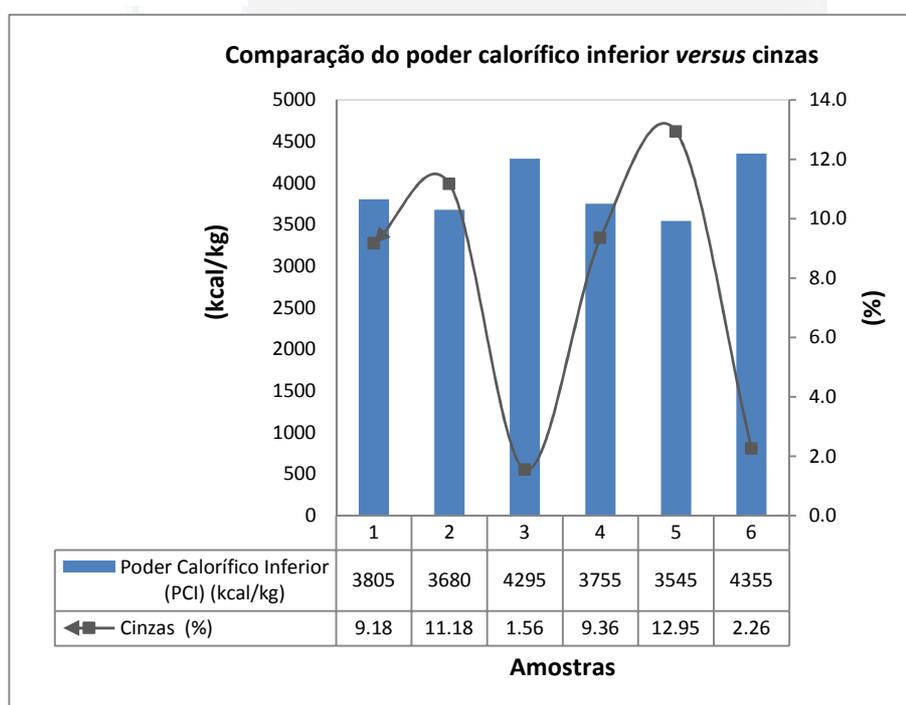
Gráfico 20 – Comparativo do PCI entre duplas de amostras com ligantes diferentes.



Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

Com isto, pode-se dizer que o pó da casca do arroz adicionado ao processo interferiu na geração de energia do briquete, elevando o teor de cinzas nas amostras com este material, conforme apresentado no Gráfico 21. Mesmo assim, esta mistura pode ser utilizada na briquetagem com a casca de arroz, pois os valores analisados ficaram muito próximos do PCI avaliados em briquetes de casca de arroz, 3.800,0 kcal/kg, de cascas de café, 4.100,0 kcal/kg, de resíduos de algodão, 4.300,0 kcal/kg, de resíduos de pinus, 4.600,0 kcal/kg e em briquetes de bagaço de cana, 4.700,0 kcal/kg avaliados pela Biomax (2014).

Gráfico 21 – Interferência das cinzas no poder calorífico inferior dos briquetes (PCI).



Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

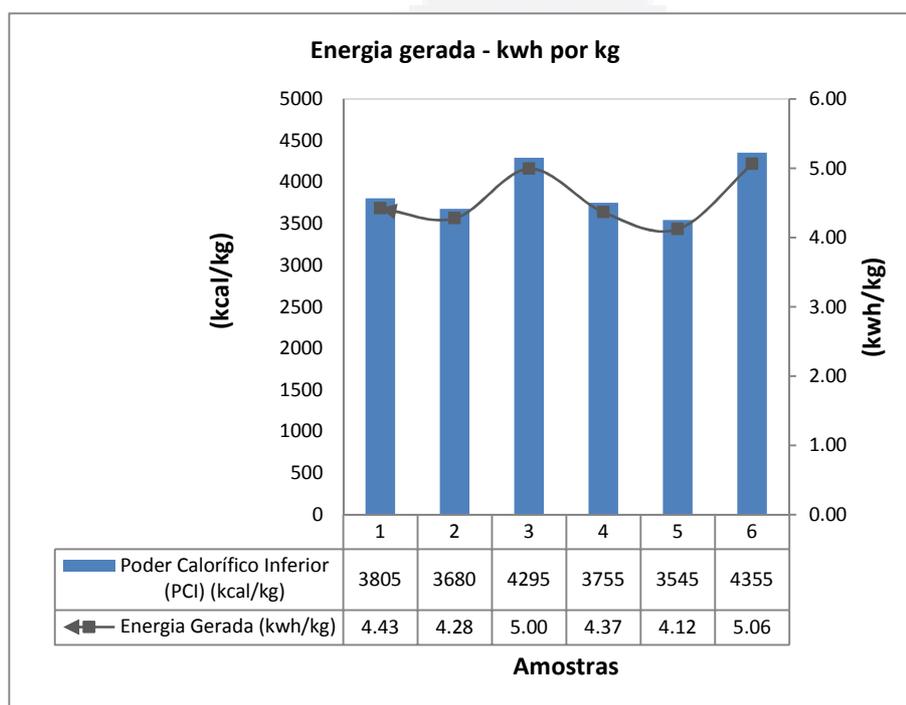
Os ligantes não influenciaram significativamente no PCI dos briquetes. Como já dito, a quantidade de energia observada em cada amostra, relacionou-se com o tipo e a concentração das misturas inseridas no processo.

É possível afirmar que em relação ao potencial de energia concentrada nos briquetes deste estudo (3.545,0 – 4.355,0 kcal/kg), em comparação com a lenha, (1.700,0 – 2.500,0 kcal/kg), avaliados por Biomachine (2006) e Stolf (2013), são duas vezes mais eficientes.

O Gráfico 22 plota a conversão da energia concentrada em cada amostra para quilowatts por hora.

Como exemplo, um quilograma da amostra número seis equivale a 5.06 kwh de energia. Considerando o valor de tarifa (mais ICMS) da empresa fornecedora de energia elétrica da região (AESSUL), local deste estudo, pode-se dizer que ao fazer uso de um quilograma desta amostra, economiza-se R\$ 1,94.

Gráfico 22 – Energia gerada em um quilograma de briquete.

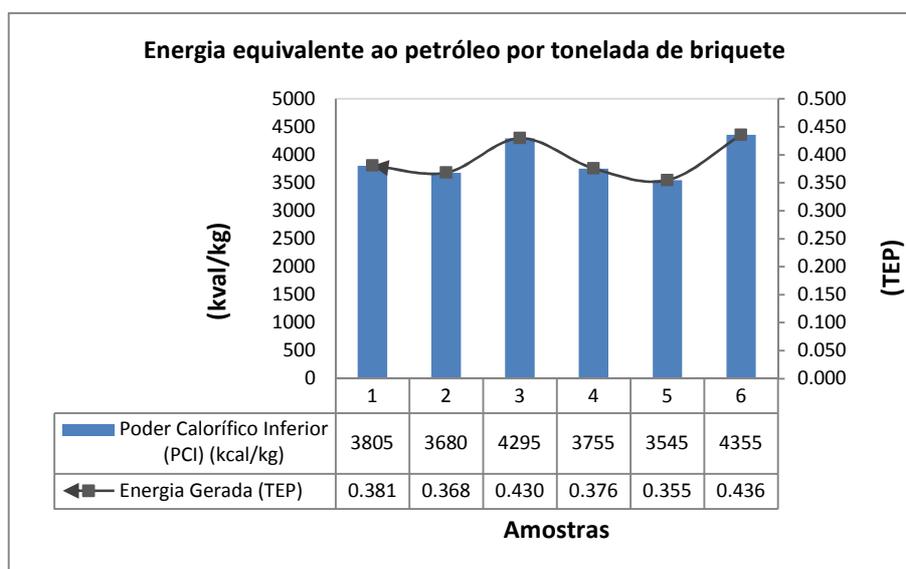


Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

De outra forma, é possível observar no Gráfico 23 a seguir a energia fornecida por cada briquete por tonelada equivalente de petróleo (TEP).

Considerando a relação entre o PCI do briquete da amostra número seis (4.355,0 kcal/kg) e a do petróleo (10.000,0 kcal/kg), obtém-se o coeficiente 0,436, ou seja, uma tonelada de briquete é igual a 0,436 TEP. O petróleo é dito como referência internacional ao comparar as diferentes formas de energias (MME, 2013a).

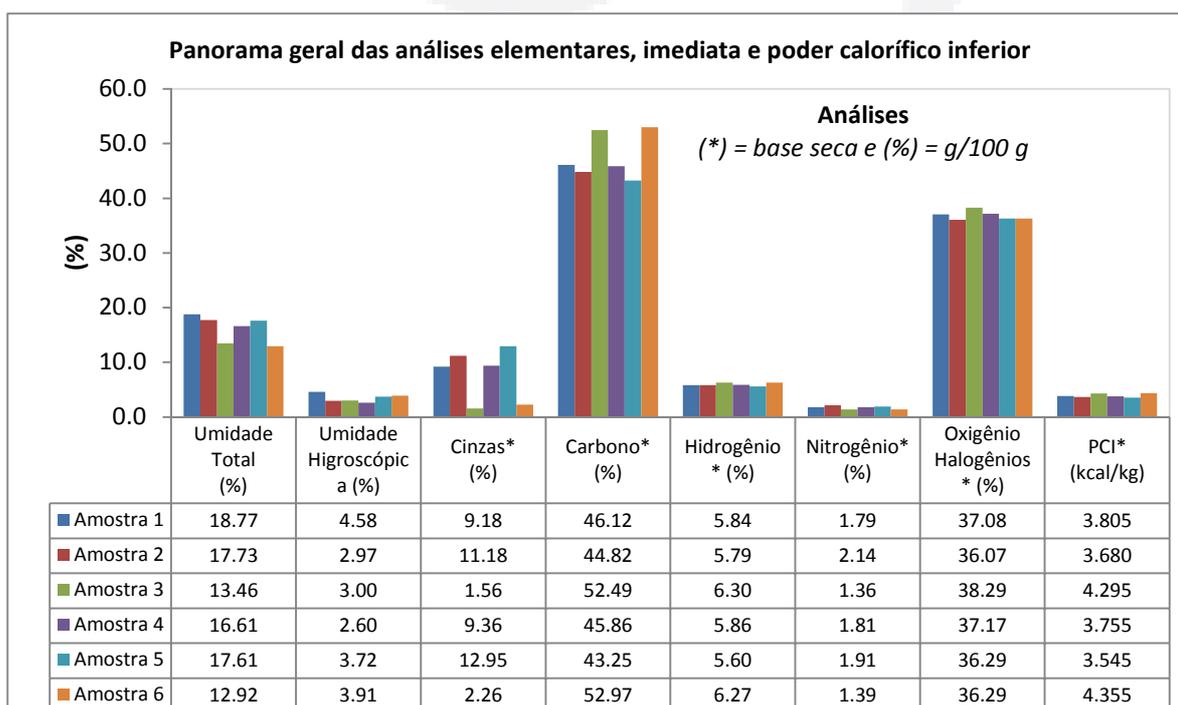
Gráfico 23 – Energia dos briquetes em tonelada equivalente ao petróleo.



Fonte: Da autora com base nas análises da CIENTEC.

Estes resultados confirmam que quanto mais baixas as massa específica e umidades após a compactação, maior será o aumento de seu poder calorífico (QUIRNO, 2004). Desta forma, a adição da serragem nos briquetes trouxe vantagem do ponto de vista energético. Isto pode ser observado no Gráfico 24, onde constam todos os resultados das análises elementares, imediatas e poder calorífico inferior (PCI) realizados neste estudo no Laboratório da CIENTEC.

Gráfico 24 – Demonstração geral das análises elementares, imediatas e PCI.



5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Baseando-se nos resultados deste estudo experimental e metodologia adotada, conclui-se que:

A casca de arroz não briquetou somente com a aplicação de pressão, necessitou a utilização de ligantes, misturas, água e temperatura. De modo que, a adição destes materiais foi fundamental para a unificação das partículas e a obtenção dos briquetes.

A matéria-prima e as misturas demonstraram massa específica e umidade relativamente baixas. No entanto apresentaram-se adequadas para a produção de briquetes.

A prensa projetada para este fim demonstrou-se eficiente, promovendo com isto, o formato esperado e a densificação necessária nas amostras (14.000,0 kgf/cm² e dimensões 15,0 cm de altura por 7,0 cm de diâmetro).

Tanto o amido quanto o melado demonstraram-se eficazes como agentes ligantes. Embora, o melado elevou os teores de umidade higroscópica das amostras, tornando-as mais sensíveis a absorção de umidade do ambiente. Logo, estes teores foram similares a briquetes de outras biomassas.

É interessante dar uma maior atenção ao tipo de aglomerante, devido à proporção utilizada, o que pode repercutir no aumento do custo do briquete em escala industrial.

Os briquetes que apresentaram o maior teor de umidade total (18,77%) foram os que se utilizaram o melado. Porém, ainda inferiores à umidade da lenha (25,0 – 30,0%).

As amostras que tiveram a serragem na sua composição apresentaram maior diminuição da massa após a cura, bem como, maior expansão no tamanho. Pode-se afirmar que a redução do volume dos materiais (das biomassas) após a densificação, em todas as amostras foi muito expressiva (57,81 – 77,83%), onde a maior redução constatou-se na amostra número dois, que continha pó da casca do arroz incluído no processo.

O teste de dureza só foi possível detectar nas amostras número quatro e cinco contendo pó da casca do arroz e amido. Demonstraram resistência à deformação plástica indicada pelos valores de 182 e 202 HB. Nas demais amostras, a leitura não se deu por possíveis heterogeneidades na superfície dos briquetes.

Conclui-se que, a densificação das cascas de arroz com a inclusão do pó da casca do arroz facilita as operações de manuseio do material combustível, além de concentrar a energia disponível em termos de volume. Entretanto, a presença deste pó no briquete, elevou o teor de cinzas após a combustão, ainda assim, os teores ficaram inferiores aos de briquetes produzidos com outras biomassas em outros trabalhos. O inverso ocorreu na compactação das cascas de arroz com a adição de serragem de madeira, onde se constatou que dificultou as operações de manuseio e armazenamento dos briquetes. Frente a isto, demonstraram viabilidade mecânica reduzida para a produção de briquetes pelo método adotado neste estudo.

Todas as amostras denotaram altos teores de carbono (indicador de boa combustão), baixos teores de cinzas e baixos teores de hidrogênio e nitrogênio. Assim como as amostras produzidas com o amido, também concentraram energia disponível em termos de volume satisfatoriamente, ou seja, nas amostras com o melado o maior PCI foi 4.295,0 kcal/kg e nas com o amido, 4.355,0 kcal/kg.

Para as propriedades físico-químicas das amostras, pode-se concluir que os briquetes produzidos com os dois tipos de ligantes, melado e amido, bem como, com as duas misturas, pó das cascas de arroz e serragem de madeira, contribuem para geração de energia e aproveitamento de resíduos.

Os produtos finais, os briquetes, atenderam as funções esperadas deste estudo podendo desempenhar satisfatoriamente a substituição das fontes caloríficas tradicionais, comparando-se inclusive aos tradicionais briquetes de carvão vegetal e lenha.

Portanto, os resultados deste trabalho sinalizaram a viabilidade de briquetar cascas de arroz com ligantes de origem vegetal, como uma solução para o aproveitamento dos resíduos lignocelulósicos. Do ponto de vista ambiental, a principal vantagem é a substituição de fontes não renováveis de energia por uma matéria-prima sustentável, de baixo custo e disponível o ano todo.

Como sugestão pode-se realizar novamente o experimento, e avaliar as emissões atmosféricas resultantes da combustão dos briquetes, bem como, a composição das cinzas.

Sugerem-se também estudos mais aprofundados, visando conhecer em maior detalhe, o processo de briquetagem de resíduos de casca de arroz no seu estado natural, possibilitando assim, o aproveitamento de um maior volume e variedades de misturas.

Pesquisas futuras devem ser feitas na tentativa de otimizar o tempo e a temperatura de briquetagem, assim como, estudar a viabilidade econômica para possível produção em escala industrial

Avaliar briquetes produzidos a partir de misturas dos resíduos da folha, pseudocaule e casca de arroz, apresenta-se como tema interessante para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ABIB, B. B. **Energias Renováveis**. 2010. Disponível em: <<http://www.calameo.com/books/000200968c8b06bd30f3c>>. Acesso em : 15 set. 2013.
- ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão caupi avaliados para feijão fresco. 2007. Revista Ciência Agronômica. Anais.
- ANTUNES, R. C. **Briquetagem de carvão vegetal**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. Produção e Utilização de Carvão Vegetal. Belo Horizonte. 1982.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - **ABNT NBR 6922**. Carvão vegetal - Ensaio físico - Determinação da massa específica - Densidade a granel. Rio de Janeiro. 1981.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT NBR 8112. Carvão Vegetal. Análise Imediata. Rio de Janeiro. 1981.1983.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 14929**. Madeira: Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro. 2003.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10004**. Madeira: Resíduos Sólidos. Classificação. Rio de Janeiro. 2004.

BANDEIRA, F. P. M. **Desenvolvimento sustentável, matriz energética e tarifas de energia elétrica**. 2012. Disponível em: <http://www.aslegis.org.br/aslegisoriginal/images/stories/cadernos/2012/caderno45/desenhsustentavel.pdf>. Acesso em: 26 out. 2013.

BARROS, L. O. **Densidade energética de briquetes produzidos a partir de resíduos agrícolas**. 2012. Brasília DF. Monografia (Engenharia Florestal). Disponível em: http://bdm.bce.unb.br/bitstream/10483/4448/1/2012_LuanadeOliveiraBarros.pdf. Acesso em: 12 nov. 2013.

BARROS, T. D. **Finos de carvão**. 2013. Agência Embrapa de informação tecnológica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fltrq0q902wyiv80kxlb36pud0u80.html>. Acesso em: 13 out. 2013.

BIOMACHINE S.A. **Produção de briquetes**. 2006. Disponível em: <http://www.biomachine.com.br>. Acesso em: 28 set. 2013.

BIOMASSA, Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável. **Biomassas**. 2010. Disponível em: <http://associacaobrbiomassa.blogs.sapo.pt/>. Acesso em: 20 set. 2013

BORGES, F.; SELLIN, N.; MEDEIROS, S. H. W. **Caracterização e avaliação de lodos de efluentes sanitário e industrial como biomassa na geração de energia**. Ciências & Engenharia. V. 17. 2008.

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos de Termodinâmica**. Tradução da 8ª edição norte-americana. São Paulo: Blucher. 2013.

BG, E. I. **Energias renováveis internacional**. 2012. Disponível em: <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/statistical-review-of-world-energy-2013/review-by-energy-type/renewable-energy/renewable-power-.html>. Acesso em: 02 out. 2013.

BP, S. R. **Consumo mundial de energia**. 2013. Disponível em: <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/statistical-review-of-world-energy-2013.html>. Acesso em: 05 out. 2013.

BP, S. R. **Energias no mundo**. 2013. Disponível em: <<http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=9051347&contentId=7086257>>. Acesso em: 04 out. 2013.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Resolução Nº 316/2002. **Critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos**. Brasília. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31602.html>>. Acesso em: 02 out. 2013.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Resolução no 382/2006. **Limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas**. Brasília. 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res38206.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2013.

BRASIL, Ministério da Fazenda. **Ponto de contato nacional para as diretrizes da OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico**. 2013. Disponível em: <<http://www.fazenda.gov.br/sain/pcn/PCN/ocde.asp>>. Acesso em: 02 out. 2013.

BRIANE, D.; DOAT, J. Guidetechnique de lacarbonisation: lafabricationducharbon de bois. Aix-en-Provence.ÉDISUD.1985.

BRIDGEWATER, A. V., PEACOCKE, G. V. C., Fast pyrolysis processes for biomass. Renewable&Sustainable Energy Reviews 4.1999.

BRIQSUL. **Briquetes**. 2013. Disponível em: <<http://briqsul.com.br/>>. Acesso em: 03 out. 2013.

BRISTOTI, Anildo; SILVA, Jairo L. dos S. **Diagnóstico da utilização e da oferta da biomassa vegetal no Rio Grande do Sul**. Núcleo de Energia. PROMEC. UFRGS. Porto Alegre. 1993.

CATTANEO, D. Briquetting: a forgotten opportunity. Brecica: University of Brescia. 2013.

CENBIO. Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Atlas de bionergia do Brasil**. USP. São Paulo. 2002. Disponível em: <http://cenbio.iee.usp.br/download/atlas_cenbio.pdf>. Acesso em: 03 out. 2013.

CENBIO. Centro Nacional de Referência em Biomassa. **Biomassa**. USP. São Paulo. 2009. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/conceituando.htm>>. Acesso em: 13 set. 2013.

CETEM, Centro de Tecnologia Mineral. **Briquetagem**. Ministério da Ciência e Tecnologia. Cap. 15. RJ. 2004. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2004-190-00.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2013.

CIDADANIA, Revista Cultura. **Matriz energética do Brasil**. 2012. Disponível em: <<http://revistaculturacidadania.blogspot.com.br/2012/05/artigos-matrizes-energeticas-do-brasil.html>>. Acesso em: 02 out. 2013.

CIENTEC, Fundação de Ciência e Tecnologia. **Análises em combustível**. Análise elementar e imediata em biomassa. Porto Alegre RS. 2014.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**: Acompanhamento de safra brasileira, grãos. Brasília. 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_06_06_09_09_27_boletim_graos_-_junho_2013.pdf>. Acesso em: 18. set. 2013.

CUNHA, J. C. C. **Aproveitamento energético da casca de arroz**. Relatório do projeto de pesquisa. CIENTEC – FINEP. Porto Alegre RS. 1986.

COELHO, S. T.; SILVA, O.; CONSÍGLIO, M.; PISETTA, M.; MONTEIRO, M. B. C. A. **Panorama do potencial de biomassa no Brasil**. ANAEEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Projeto BRA/00/029 – capacitação do setor elétrico brasileiro em relação à mudança global do clima. Universidade de São Paulo, SP. 2002.

CNNPA, Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. **Resolução Nº. 78 - Melão de cana e amido**. 1978. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/anvisa/legis/resol/12_78_melaco.htm>. Acesso em: 03 nov. 2013.

DEMAJORIVIC, J. **Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos:** as novas prioridades. Revista de Administração de empresas. São Paulo. 1995.

DE SENA, R. F. **Avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia.** 2005. Dissertação de Mestrado (Engenharia Química). Departamento de Engenharia Química e de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis SC.

DUNHAM, F. B.; BONTEMPO, J. V.; ALMEIDA, E. L. F. **Trajetórias tecnológicas em combustíveis sintéticos:** Análise dos mecanismos de seleção e indução. Revista Brasileira Inovação. V. 5. Nº 1. 2006.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **História do arroz.** 2002. Disponível em: <http://www.agroplan-consultoria.com.br/historia_arroz/>. Acesso em: 20 set. 2013.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **A parede celular vegetal e as enzimas envolvidas na sua degradação.** Central de Inteligência da Embrapa Suínos e Aves. Concórdia. 2011. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/919344/1/DOC542011.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2013.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Resíduos agroflorestais e agroindustriais para produção de briquetes e péletes.** Artigo. 2012a. Disponível em: <<http://www.biomassabr.com/bio/resultadonoticias.asp?id=2392>>. Acesso em: 29 set. 2013.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Normas e especificações técnicas para análises de briquetes e péletes.** 2012b. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=28322&secao=Artigos%20Especiais>>. Acesso em: 07 out. 2013.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Briquetes:** produção de lenha ecológica. 2012c. Vídeo. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=eEKd5m_-ZWE>. Acesso em: 14 out. 2013.

EPE, Empresa Internacional de Energia. **Balanço Energético**. 2012. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf>. Acesso em: 06 out. 2013.

FARAGE, R. M. **Aproveitamento dos resíduos lignocelulósicos gerados no polo moveleiro de Ubá para fins energéticos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal. Ouro Preto. 2009.

FÁVARO, S. L.; LOPES, M. S.; CAMPESE, G.; RADOVANOVIC, E. **Preparação de compósitos de polietileno pós-consumo com cascas de arroz e estudo de suas propriedades físico-químicas e morfológicas**. 2006. Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu PR. 2006. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-technico/downloadsDT/NTY1Mg>>. Acesso em: 14 out. 2013.

FILIPPETO, D. **Briquetagem de resíduos vegetais: viabilidade técnico-econômica e potencial de mercado**. Dissertação de Mestrado (Faculdade de Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas. Campinas. SP. 2008.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS. **Diretriz técnica Nº. 001/2010 para a atividade de incorporação de resíduos sólidos em processos industriais**. 2010. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/Diret_Incorp_residuos.pdf> Acesso em: 02 out. 2013.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS. **Diretriz técnica Nº 002/2011. para Gestão de Resíduos caracterizados como casca de arroz e cinzas resultantes do processo de queima da casca**. 2011. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/Diret_Tec_02_2011.pdf> Acesso em: 02 out. 2013.

FERREIRA, R. C.; GOBO, J. C.; CUNHA, A. H. N. **Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento**. 2008. Artigo. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162008000100001&script=sci_arttext> . Acesso em: 03 out. 2013.

FERREIRA, LEITÃO, V.; GOTTSCHALK, L. M. F.; FERRARA, M. A.; NEPOMUCENO, A. L.; MOLINARI, H. B. C.; BON, E. P. S. **Biomass residues in**

Brazil: Availability and potential uses. WasteBiomass Valor, v. 1. 2010.

FONSECA, A. D. **Biomass-to-liquids:** uma contribuição ao estudo da obtenção de biocombustíveis sintéticos através da síntese Fischer-Tropsch. Dissertação de mestrado (Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia). Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

FONTES, P. J. P.; QUIRINO, W. F.; PASTORE J. F.; FILGEIRAS, S. M. S. **Aglutinante para briquetagem de carvão vegetal.** DPQ/IBDF. Brasília. 1984.

FLEMING, H. **Forças de van der Waals.** Disponível em:
<<http://www.hfleming.com/waals.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2013.

FRIEDL, A., PADOUVAS, E., ROTTER, H., VARMUZA K. Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. **Analytica Chemical Acta.** 2005.

GENTIL, L. V. B. **Tecnologia e economia do briquete de madeira.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Publicação EFL TD. Departamento de Engenharia Florestal. Universidades de Brasília. Brasília. DF. 2008.

GOLDEMBERG, José. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento.** São Paulo. Edusp. 1998.

GUARDABASSI, Patrícia M. **Sustentabilidade da Biomassa como fonte de energia:** Perspectivas para países em desenvolvimento (Programa de Pós-Graduação em Energia). Universidade de São Paulo. São Paulo. 2006.

GM, Oficina Brasil. **Virabrequim e Bielas do Motor:** Visão Geral dos Componentes. 2013. 2013. Disponível em:
<http://www.oficinabrasil.com.br/hotsites/gm/3.VerdadeGenuina_set09.pdf>. Acesso em: 03 out. 2013.

HIGMAN, C; VAN DER BURGT, M. Gasification. Oxford: Gulf professional Publishing. 2003.

HOFFMAN, R. **Método avaliativo da geração regionalizada de energia, em potências inferiores a 1MW a partir da gestão de resíduos de Biomassa: O caso da casca de arroz.** Dissertação de Doutorado (PROMEC UFRGS) Porto Alegre. RS. 1999. Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGETP2007_TR650480_0007_Pdf>. Acesso em: 01 out. 2013.

HORST, D. J. **Avaliação da produção energética a partir de ligninas contidas em biomassa.** Dissertação de Mestrado (Engenharia de Produção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2013.

IEA, International Energy Agency. **Estatísticas das energias primárias mundiais.** 2011. Disponível em: <<http://www.iea.org/stats/WebGraphs/WORLD5.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2013.

IRGA. Instituto Riograndense do Arroz. **Gestão dos resíduos do arroz.** 2002. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/cic/2011/anais/pdf/EN/EN_00725.pdf>. Acesso em: 27 out. 2013.

IRGA. Instituto Riograndense do Arroz, **Sistema de Informações Geográficas do IRGA.** 2012. Disponível em: <<http://www.codexremote.com.br/irga/introducao/>>. Acesso em: 29 set. 2013.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil.** Comunicação Técnica Nº 1797. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. IPT. São Paulo.1989.

JOHANSSON, T.B.; KELLY, H.; REDDY, A.K.N.; WILLIAMS, R.H. **Eds. Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity.** Island Press. Washington DC. 1993.

JOHN, R. P.; NAMPOOTHIRI, K. M. & PANDEY, A. **Fermentative production of lactic acid from biomass: an overview on process developments and future perspectives.** Applied Microbiology and Biotechnology, v. 74. 2007.

KARAYILDIRIM, T.; SINAG, A.; KRUSE, A. **Char and coke formation as unwanted side reaction of the hydrothermal biomass gasification.** Chemical Engineering Technology, Weinheim: Wiley-VCH. Verlag GmbH & Co. KGaA, v.31.

KAREKESI, S., COELHO, S. T., LATA, K. Traditional Biomass Energy: Improving its Use and Moving to Modern Energy Use. In: International Conference for Renewable Energies, 2004, Bonn. Thematic Background Paper. Alemanha. 2005.

KUHN, T.S.: **A Conservação da Energia como Exemplo da Descoberta Simultânea**. Lisboa. 1989.

KLASS D.L. 1998. Biomass for renewable energy: fuels and chemicals. Academicpress. California, USA. 1998.

KLOCK, U. **Qualidade da Madeira de Pinus o ocarpa, Shiéde e Pinus caribaeavar.hondurensis, Barr e Golf**. Dissertação de Mestrado (Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba PR. 1989.

KNAUF, M; MONIRUZZAMAN, M. Lignocellulosic biomass processing: A perspective. International Sugar Journal, v. 106. 2004.

LIPPEL. **Equipamentos para reciclagem de biomassa**. 2013. Disponível em: <<http://www.lippel.com.br/br/sustentabilidade/275-briquetagem-e-peletizacao.html#.UlWB19K-ofg>>. Acesso em 15 out. 2013.

LORA, E. E. S.; NOGUEIRA, L. A. **Dendroenergia: Fundamentos e aplicações**. 2ª edição. Editora interciência. Rio de Janeiro. 2003.

LORA, E.E.S; CORTEZ, L.A.B; GOMEZ, E.O. (org). **Gaseificação - Biomassa para energia**. Ed. UNICAMP. Campinas. São Paulo. 2005.

MACHADO, N. C. C. M. **Varição dimensional da madeira devido ao seu comportamento higroscópico**. Disponível em: <<http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12372/2/Texto%20integral.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2013.

MAIA, B. G. O.; Valorização de resíduos da bananicultura e da rizicultura a produção de briquetes. 2013. Joinville SC. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Processos). Disponível em: <univille.edu.br/community/mestrado.../VirtualDisk.html?...>. Acesso em: 12 nov. 2013.

MAYER, F. D.; HOFFMANN, R.; RUPPENTHAL, J. E. **Gestão energética, econômica e ambiental do resíduo da casca do arroz em pequenas e médias agroindústrias de arroz**. XIII SIMPEP. Bauru. SP. 2006.

MCCORMICK, K. Communicating bioenergy: a growing challenge. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*.v.4. 2010.

MORAIS, M. R.; SEYE, O.; FREITAS, K. T.; RODRIGUES, M.; SANTOS, E. S. S.; SOUZA, R. C. **Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação**. 2006. Artigo. Manaus AM. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022006000200019&script=sci_arttext>. Acesso em: 12 nov. 2013.

MORAIS, D.M. **Briquetes de resíduos ligno-celulósicos como potencial energético para queima de blocos cerâmicos**: uma aplicação em uma indústria de cerâmica vermelha que abastece o Distrito Federal. Tese de Doutorado (Estruturas e Construção Civil). Universidade de Brasília. Brasília. 2007.

MORO, J. P.; **Briquetagem de finos de carvão vegetal**. Anais da 2ª jornada de engenharia dos países de língua portuguesa. Rio de Janeiro. 1987.

MOTTER, C.; ARFELD, E. D.; RODRIGUEZ, M. **Aproveitamento dos finos de carvão vegetal para a produção de briquetes de uso siderúrgico**. Mannesmann S.A. Trabalho apresentado no XXXIV congresso anual da ABM. Porto Alegre. RS. 1979.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/253/publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf>. Acesso em: 07 out. 2013.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético**. 2013a. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf>. Acesso em: 29 set. 2013.

MME, Ministério de Minas e Energia. **PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica**. 2013b. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/menu/programa/Energias_Renovaveis.html>. Acesso em: 05 out. 2013.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética 2030**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/spe/galerias/arquivos/Publicacoes/matriz_energetica_nacional_2030/MatrizEnergeticaNacional2030.pdf>. Acesso em: 29 set. 2013.

NOGUEIRA, G. **Combustão e gasificação de biomassa sólida**. Brasília. Ministério de Minas e Energia. 2008.

OLIVEIRA, R. Z. L. **Moldagem de briquetes com finos de carvão vegetal aglutinados com parafina**: Caracterização de algumas propriedades. Dissertação de Mestrado (Ciências dos Materiais). Sorocaba SP. 2013. Disponível em: <http://www.bdt.d.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=6776>. Acesso em: 31 out. 2013.

PACHECO, F. **Energias Renováveis**: Breves Conceitos. 2006. Disponível em: <http://www.ieham.org/html/docs/Conceitos_Energias_renov%E1veis.pdf>. Acesso em: 02 out. 2013.

PAULA, L. E. R. **Características químicas de resíduos de resíduos lignocelulósicos visando à produção de energia**. Anais. Encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira. 2010.

PAULA, J. C. **Aproveitamento de resíduos de madeira para confecção de briquetes**. Monografia de Pós Graduação *Latu Sensu* (Ciências Florestais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica. 2006.

PROBSTEIN, R.F.; HICKS, R.E. *SynthetieFuels*. McGraw Hill Book Company. 1982.

QUIRINO, W. F. **Aspectos técnicos da briquetagem do carvão vegetal no Brasil**. 1989. Disponível em: <<http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/aspectos.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2013.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. . Laboratório de produtos florestais. LPF/IBAMA. Brasília. 1991.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Laboratório de produtos florestais LPF/IBAMA. Módulo do Curso “Capacitação de agentes multiplicadores em valorização da madeira e dos resíduos vegetais”. 2000.

QUIRINO, W. F. **Briquetagem de Resíduos Ligno-celulósicos**. Laboratório de Produtos Florestais – LPF/IBAMA. Brasília, 2004.

RAMOS; PAULA, L. E; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. Cerne, Lavras. 2011.

RAMBO, M. **Aproveitamento da casca de arroz para produção de xilitol e sílica xerogel**. 2009. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. RS. 2009. Disponível em:
<<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTY1Mg==>>.
Acesso em: 14 out. 2013.

REIS, B. O.; SILVA, I. T.; SILVA, I. M. O.; ROCHA, B. R. P. **Produção de briquetes energéticos a partir de caroços de açaí**. 2002. Disponível em:<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022002000200044&script=sci_arttext. Acesso em: 30 set. 2013.

RODRIGUES, V. A. J.; **Valorização energética de lodo biológico da indústria de polpa celulósica através da briquetagem**. 2010. Disponível em:<
http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9006/dissertacao_Val%C3%A9ria%20Ant%C3%B4nia%20Justino%20Rodrigues.pdf?sequence=1.
Acesso em: 14 jun. 2014.

RS, Assembleia Legislativa. **Código Estadual do Meio Ambiente. Lei 11.520/00**. 2012. Disponível em:<
Asse<http://www.al.rs.gov.br/legiscomp/arquivo.asp?idNorma=11&tipo=pdf>>. Acesso em: 26 out. 2013.

SAHA, B. C. & COTTA, M. A. Lime pretreatment, enzymatic saccharification and fermentation of rice hulls to ethanol. Biomass and Bioenergy. 2008.

SANTANA, M. A. E.; PASTORE JÚNIOR, F. **Adesivo de tanino-formaldeído para aglomerados**. Brasília: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. 1981.

SANTOS, A. H. M. Análise econômica em conservação de energia. In: Jamil Haddad; André Ramon Silva Martins; Milton Marques. (Org.). **Conservação de energia eficiência energética de instalações e equipamentos**. Itajubá: Editora da Efei. 2001.

SANTOS, F. **Glossário Unicamp**. Disponível em: <<http://www2.ib.unicamp.br/profs/fsantos/refer/Glossario.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2013.

SEBRAE, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Agroenergia: Plano energético 2006 – 2011**. Disponível em: <[http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/5B18771A2EE876568325753D005A20DF/\\$File/NT0003DAF2.pdf](http://201.2.114.147/bds/BDS.nsf/5B18771A2EE876568325753D005A20DF/$File/NT0003DAF2.pdf)>. Acesso em: 27 set. 2013.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S. **Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de Eucalyptus saligna Sm. em diferentes condições de umidade relativa do ar**. Revista Árvore. V. 27. 2003.

SIRVINSKAS, L. P. **Manual de Direito Ambiental**. São Paulo. Editora Saraiva. 2002.

SOUZA, S. A. **Ensaio Mecânicos em Materiais Metálicos**, Editora Edgard Blucher Ltda. São Paul. Brasil. 1974.

SOUSA, T. Z. **Desenvolvimento de briquetes autorredutores com resíduo de fundição e fibra da palmeira**. 2012. Volta Redonda RJ. Dissertação de Mestrado (Mestre em Materiais). Disponível em: <http://www.unifoa.edu.br/portal_ensino/pos_OLD/memat/arquivos/dissertacao/7.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2013.

STOLF, Empresa. **Briquete misto de resíduos de madeiras de reflorestamento**. 2013. Disponível em: <<http://www.stolf.ind.br/briquetes.php>>. Acesso em: 29 set. 2013.

UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Portal terra do arroz**. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/Alimentus/terradearroz/grao/gr_divisao.htm>. Acesso em: 10 out. 2013.

VALE, A. T.; GENTIL, L. V. **Produção e uso energético de biomassa e resíduos agroflorestais**: tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III. Suprema. Rio Branco. 2008.

VAN SOEST, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994.

WEI, G.; GAO, W.; JIN, I.; YOO, S.; LEE, J.; CHUNG, C.; LEE, J. Pretreatment and saccharification of rice hulls for the production of fermentable sugars. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. 2009.

WEREKO, Brobby, CHARLES Y. ; HAGEN, E.1996. Biomass conversion and technology: UNESCO energy engineering series, John Wiley & Sons Ltda. England. 1996.

WILSON, M. A. **Energia**. Rio de Janeiro: José Olympio. 1968. Disponível em:<http://www.if.ufrgs.br/tapf/v17n3_Bucussi.pdf>. Acesso em: 17 set. 2013.

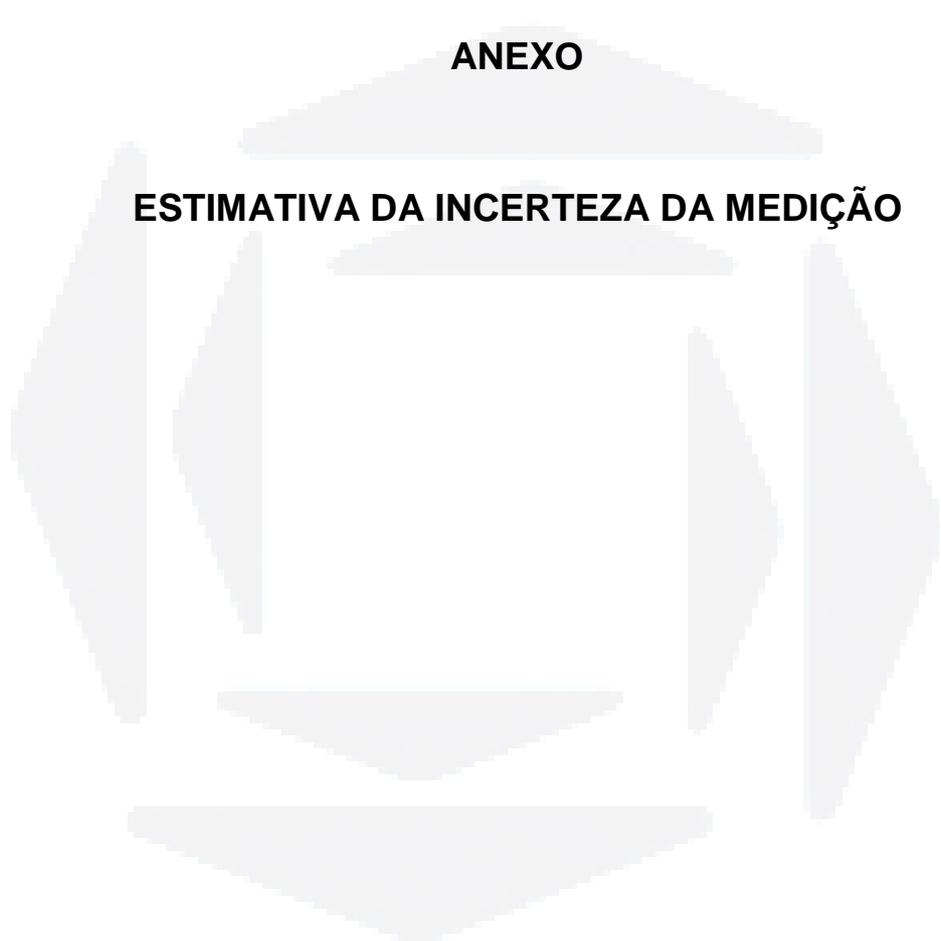
YAMAJI, F.M.; VENDRASCO, L.; CHRISOSTO, W.; FLORES, W.P. Análise do Comportamento Higroscópico de Briquetes. 2013. Disponível em:<<http://energia.fca.unesp.br/index.php/energia/article/viewFile/111/Acesso>>. Acesso: 25 de mai. 2014.

ZHANG, Y. P. Reviving the carbohydrate economy via multi-product lignocellulose biorefineries. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, v. 35. 2008.

ZURICH, ETH. Energy Strategy. 2008. Disponível em:<http://www.ethz.ch/publications/energy/energy/Energy_Strategy.pdf>. Acesso em: 13. Set. 2013.

ANEXO

ESTIMATIVA DA INCERTEZA DA MEDIÇÃO



EXPRESSÃO DA ESTIMATIVA DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO DO PEDIDO 38187

Ensaio	U	K
Umidade de higroscopia, %	±0,10	2,28
Cinzas _(b.s.) , %	±0,64	2,28
Carbono _(b.s.) , %	±0,73	2,02
Hidrogênio _(b.s.) , %	±0,19	2,87
Nitrogênio _(b.s.) , %	±0,25	2,87
Poder calorífico superior _(b.s.) , kcal/kg	±38	2,12
Poder calorífico inferior _(b.s.) , kcal/kg	±41	2,11

1. Abreviatura: (b.s.) = base seca.
2. % = g/100g.
3. U = incerteza expandida de medição
4. Fator de abrangência K, e nível de confiança aproximadamente 95%.

Resultados enviados por email em 16/07/2014, para Nailce

Fornecido pelo Laboratório de Ciência e Tecnologia – CIENTEC.