



CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO INDUSTRIAL CASCA DE ARROZ COM VISTAS A SUA UTILIZAÇÃO COMO BIOMASSA

Iara J. Fernandes¹ (ijk.fernandes@gmail.com), Emanuele C. A. dos Santos¹ (emanuelearaujo@gmail.com), Roxane Oliveira¹ (oliveiraroxane@gmail.com), Janaína M. Reis¹ (Janaina_mreis@hotmail.com), Daiane Calheiro¹ (dcalheiro@unisinis.br), Carlos A. M. Moraes¹ (cmoraes@unisinis.br), Regina C. E. Modolo¹ (reginaespinosamodolo@gmail.com)

¹ Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

RESUMO

O Brasil é o nono maior produtor mundial de arroz e o maior fora da Ásia. A casca do arroz é o subproduto mais expressivo do processo de beneficiamento do arroz e seu volume representa cerca de 20% da massa do arroz em casca. Esta casca pode ser considerada uma matéria-prima de baixo custo, de difícil reaproveitamento e de baixas propriedades nutritivas. Em função do seu elevado poder calorífico, a casca de arroz é hoje considerada uma biomassa, produzida de maneira sustentável, substituindo o uso convencional de madeira visando a produção de energia. Com o crescente uso da casca como biomassa e a necessidade de obtenção de uma cinza de casca de arroz de melhor qualidade, se faz necessário o aprofundamento de estudos referentes a casca de arroz, através de sua caracterização. O objetivo deste trabalho é apresentar uma caracterização preliminar de duas cascas de arroz de diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul. A fim de utilizar a casca de arroz como biomassa para geração de energia foram realizadas análises de teor de umidade; cinzas; materiais voláteis; carbono fixo, massa específica, análise termogravimétrica, granulometria e poder calorífico. Os resultados obtidos mostram que as duas cascas analisadas são muito semelhantes e que estas apresentam elevado potencial de utilização como biomassa para geração de calor e eletricidade.

Palavras-chave: Casca de arroz; Caracterização; Biomassa.

CHARACTERIZATION OF RICE HUSK INDUSTRIAL WASTE TOWARD ITS USE AS BIOMASS

ABSTRACT

Brazil is the ninth largest producer of rice in the world and the largest apart from Asian countries. Rice husk is the most significant co-product of rice manufacturing process, and its volume is about 20% of the rice husk mass. This biomass is a low cost raw material, difficult to reuse and show low nutritional properties. Because of the high calorific value, the rice husk is considered a biomass produced in a sustainable way when replace the conventional firewood as energy source. The husk as biomass increasing use and the need to obtain a rice husk ash with the best quality requires a detailed characterization of such materials. Following this perspective, the aim of this study was presenting a preliminary characterization of two rice husks from different regions of Rio Grande do Sul. The evaluated parameters involved moisture content, ash content, loss on ignition, fixed carbon, specific mass, thermal analysis, particle size distribution and calorific value. The results showed that the two analyzed samples are very similar and considering their characteristics they have potential to be used as biomass to heat and electricity generation.

Keywords: Rice husk; characterization; biomass.

Realização



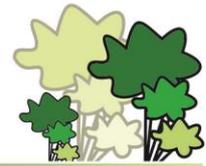
Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica



Universidade de Brasília





1. INTRODUÇÃO

De acordo com as estatísticas da FAO, o Brasil é o nono maior produtor de arroz do mundo, tendo colhido na safra de 2012-2013 cerca de 11,5 milhões de toneladas de arroz em casca (FAOSTAT, 2014). A produção está localizada, principalmente, no estado do Rio Grande do Sul, maior produtor nacional, com 66,5% da produção (MAPA, 2013).

A casca do arroz é o subproduto mais expressivo gerado no beneficiamento do arroz, e seu volume representa cerca de 20% da massa do arroz em casca (PANDEY; SOCCOL; MITCHELL, 2010). Esta casca é uma matéria-prima de baixo custo, de difícil reaproveitamento, baixas propriedades nutritivas e elevado teor de sílica. Segundo Hounston (1972 apud KIELING, 2009), trata-se de uma dura capa lenhosa, formada por celulose, lignina e materiais inorgânicos.

A compostagem é, para a maioria dos produtores de arroz, o primeiro destino da casca, com o objetivo de reduzir sua carga orgânica. Geralmente é depositada diretamente no solo. No entanto, o tempo que a casca de arroz leva para se decompor é extremamente elevado, além de liberar um grande volume de metano (CH_4), apresentar baixa densidade, resultando num grande volume a ser disposto e conter baixas quantidades de nutrientes (OLIVEIRA; TANNOUS, 2009).

Segundo Armesto (2002), a casca do arroz é a capa que encobre o grão, pesa cerca de 20% de sua massa, apresenta poder calorífico de cerca de 16 MJ/kg, teor de voláteis de 74% e cerca de 12,8% de cinzas, o que indica que esta pode ser um bom combustível.

Em função do elevado poder calorífico, a casca de arroz tem sido utilizada como biomassa na alimentação de reatores para geração de energia e/ou vapor, o que reduz o impacto ambiental causado pela destinação do resíduo, além de contribuir para a redução da dependência dos derivados de petróleo e uso de fontes renováveis (KIELING, 2009). Ainda, a maioria dos combustíveis de biomassa tem pouco ou nenhum enxofre em sua composição, portanto as emissões de SO_2 podem ser reduzidas se os combustíveis como o carvão, que contêm alto teor de enxofre, for substituído (YIN; ROSENDAHL; KAER, 2008).

Biomassa é qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. Pode ser classificada de acordo com sua origem em biomassa florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). Os derivados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada (cujo potencial energético varia de tipo para tipo) quanto da tecnologia de processamento (ANEEL, 2008). Esta fonte de energia é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética, visto que a dependência com relação ao uso de combustíveis fósseis tem gerado preocupações quanto ao esgotamento destes recursos e às mudanças climáticas (LIM et al., 2012).

A possibilidade da redução dos recursos utilizados para a produção de energia, os passivos causados ao meio ambiente e a preocupação com o aumento do preço do petróleo e seus derivados que atingiram recordes históricos fazem com que muitos países apostem na Bioenergia como um elemento chave para a estratégia nacional de energia (GOLDEMBERG; NIGRO; COELHO, 2008). As vantagens de utilizar a casca de arroz fazem com que, atualmente, várias indústrias no Rio Grande do Sul tenham pequenas centrais termoeletricas que utilizam o resíduo como combustível para geração de vapor e energia (KIELING, 2009).

Sendo assim, a casca de arroz é considerada uma biomassa produzida de maneira sustentável que exclui o uso tradicional da biomassa, como por exemplo a madeira, e inclui a geração de eletricidade e produção de calor, bem como de combustíveis de transporte a partir de resíduos agrícolas e florestais (PINATTI et al. 2005 apud BUDEMBERG, 2013).

A utilização da biomassa como fonte de energia enquadra-se no conceito de desenvolvimento sustentável, visto que permite a criação de empregos na região, dinamiza as atividades econômicas, reduz os custos relativos à distribuição e transmissão da energia gerada e, quando utilizada de forma sustentável, não “agride” o meio ambiente (FOLETTI et al., 2005).

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica



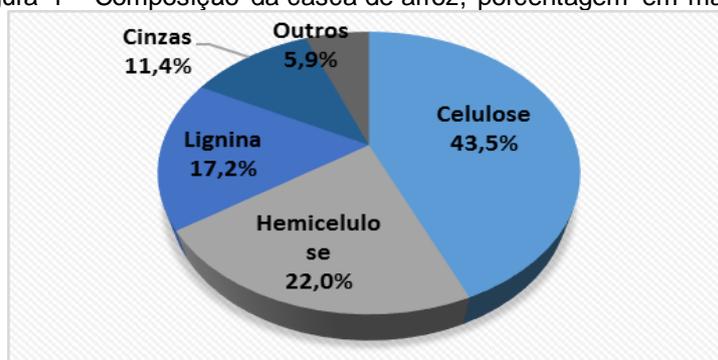
Universidade de Brasília





Devido ao crescente uso da casca de arroz como biomassa e a necessidade de obtenção de uma cinza de casca de arroz de melhor qualidade a fim de utilizá-la em diversos setores industriais como coproduto, faz-se necessário o aprofundamento de estudos referentes a casca de arroz, o que pode ser obtido através da caracterização da mesma. A composição da casca de arroz depende da safra, ou seja, da variedade plantada, do clima e das condições do solo, além da localização geográfica (FERNANDES, 2006). Segundo Ferreira (2005), a composição da casca de arroz apresenta um teor de cinzas de 11,4% e, essas cinzas geralmente contêm 80-90% de SiO₂, 5% de K₂O, 4% de P₂O₅ e 1-2% de CaO e pequenas quantidades de Mg, Fe e Na. Contudo, os principais componentes orgânicos são a celulose, a hemicelulose e a lignina, nas proporções que podem ser vistas na Figura 1.

Figura 1 – Composição da casca de arroz, porcentagem em massa.



Fonte: Adaptado de Ferreira (2005).

Sánchez (2010) salienta que o destaque que se tem dado ao uso de biomassas faz necessário um maior cuidado na caracterização das mesmas. Ao caracterizar a biomassa é necessário avaliar seu uso e buscar informações que sejam úteis para melhor compreender suas propriedades relevantes.

Para a caracterização de uma biomassa devem-se levar em conta propriedades físicas, químicas, mineralógicas e estruturais, como por exemplo, a granulometria, a massa específica e teor de umidade; análises imediatas como teor de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo; análise elementar (CHON); análises somativas como os teores de lignina, celulose e hemicelulose e principalmente o poder calorífico (VIEIRA, 2012).

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo apresentar a caracterização preliminar do resíduo industrial casca de arroz, de diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul.

3. METODOLOGIA

Neste trabalho foram caracterizadas duas cascas de arroz, uma proveniente da região de Alegrete, RS (denominada casca de arroz A) e outra proveniente da região de São Borja, RS (que foi denominada casca de arroz B).

3.1 Análise granulométrica

A análise de distribuição granulométrica permitiu a identificação dos tamanhos médios das partículas das amostras. A análise foi realizada de acordo com a norma CEMP 081 (ABIFA, 2003). Para as amostras A e B utilizou-se o agitador de peneiras tipo magnético, por um período de quinze minutos e a parcela de massa retida em cada peneira foi quantificada.

Realização



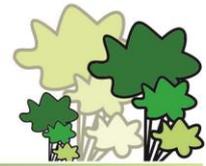
Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica



Universidade de Brasília





3.2 Massa específica

Para Rendeiro et al. (2008), massa específica é a razão entre a massa da biomassa pelo volume que a mesma ocupa. Para as amostras A e B a massa específica real foi obtida através de picnômetro a gás hélio, Modelo AccuPyc II 1340 da marca Micromeritics.

3.3 Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica (ATG) é uma técnica na qual a variação de massa da amostra é determinada em função da temperatura e/ou tempo, enquanto a amostra é submetida a uma programação controlada de temperatura. Para as amostras A e B a análise termogravimétrica foi realizada em sistema de análise térmica marca BP Engenharia, Modelo RB – 3000 – 20, sem controle atmosférico, com rampa de aquecimento de 10°C/min de 25 a 1000°C.

3.4 Teor de umidade, cinzas, materiais voláteis e carbono fixo

As análises imediatas de teor de umidade, teor de cinzas, teor de materiais voláteis, bem como o cálculo de carbono fixo foram realizadas conforme a norma ABNT NBR NM 8112 (ABNT, 1986) adaptada.

O teor de umidade foi obtido mantendo-se através de secagem à 105°C em estufa até massa constante. Para determinação do teor de cinzas, as amostras, secas, foram submetidas a uma temperatura de 700°C em forno Mufla até que a amostra fosse queimada completamente. O teor de materiais voláteis foi encontrado mantendo-se as amostras sobre a porta aberta do forno Mufla à 900°C por três minutos, e após a amostra foi colocada dentro do forno com a porta fechada, por sete minutos. Segundo Cortez, Lora e Gómez (2009) os voláteis são importantes durante a ignição e as etapas iniciais de combustão de biomassa. Para as amostras A e B, a determinação de carbono fixo foi realizada através da equação descrita na norma ABNT NBR NM 8112 (ABNT, 1986), utilizando os valores encontrados de teor de cinzas e teor de materiais voláteis.

3.5 Poder Calorífico Superior

O poder calorífico é a quantidade de energia liberada quando queimada totalmente a biomassa, sendo dividido entre poder calorífico superior e inferior. O poder calorífico superior (PCS) é determinado quando o aquecimento seguido de combustão da amostra ocorre em volume constante, pelo que a água libertada durante estes processos é condensada e o calor derivado desta condensação é recuperado. Pode-se determinar o PCS com a técnica da bomba calorimétrica. Esta técnica mede o calor liberado pela combustão de uma biomassa, a volume constante, em oxigênio a uma pressão de 3000kPa (SÁNCHEZ, 2010).

O poder calorífico superior das cascas A e B foi determinado através de análise em Calorímetro da marca IKA modelo C200 utilizando oxigênio a uma pressão de 30 bar.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise granulométrica

O tamanho e a homogeneidade das partículas da biomassa interferem diretamente na qualidade da combustão uma vez que quanto menor o tamanho da biomassa maior área de contato a mesma possui, bem como quanto mais homogênea a granulometria do combustível mais uniforme será o processo de queima. Jenkins et al. (1998 apud Klautau, 2008) afirmam que a liberação de voláteis é mais rápida em lenhas que possuem pedaços mais finos, conseqüentemente a queima é mais rápida. No caso da madeira, por exemplo, é necessário, em alguns casos, reduzir a granulometria da biomassa adequando-a ao tipo de sistema que a mesma será utilizada (KLAUTAU, 2008).

Realização



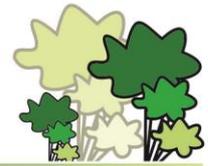
Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica



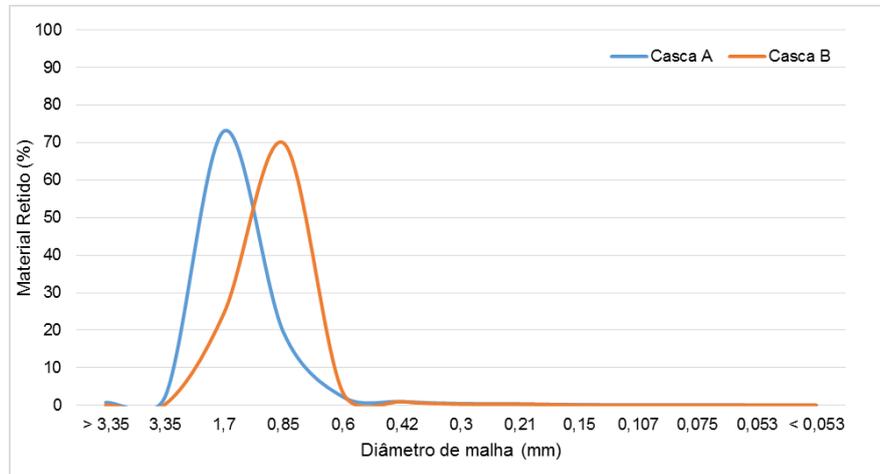
Universidade de Brasília





A Figura 2 mostra as distribuições granulométricas obtidas para as duas cascas.

Figura 2 – Distribuição granulométrica das cascas A e B.



Pode-se observar que ambas as cascas de arroz possuem granulometria homogênea gaussiana onde cerca de 93% de seus grãos fica entre as peneiras de 0,85 e 1,7mm. Ferreira et al. (2008) ao realizar análise granulométrica utilizou peneiras de 0,42; 0,59; 1,19; 2,00 e 4,76mm de abertura de malha e observou que 89% dos grãos da casca ficaram compreendidos entre as peneiras de 2 e 1,19mm. Os resultados dos trabalhos se mostram semelhantes e realçam que, com relação a granulometria, a casca de arroz se mostra adequada para combustão já que não são necessários processos de redução granulométrica ou segregação do material.

4.2 Massa específica

A determinação da massa específica de uma biomassa é muito importante, pois quanto menor a massa específica, mais oneroso será o transporte e armazenamento.

A casca de arroz apresenta massa específica extremamente baixa, Oliveira e Tannous (2009) encontraram massa específica igual a 1,60 g/cm³.

A massa específica obtida foi de 1,41 g/cm³ para Casca A e de 1,40 g/cm³ para a Casca B, resultados que mostram que as diferentes cascas analisadas apresentam valores muito semelhantes e vão ao encontro da literatura revisada.

Em função desses baixos valores de massa específica e, conseqüentemente, elevado volume ocupado, um dos fatores que deve ser levado em consideração para o uso da casca de arroz como biomassa é a distância entre o local que esta é produzida e o local onde será queimada. No entanto, esta também pode ser uma vantagem do processo de queima já que reduz o volume da casca.

4.3 Análise termogravimétrica

A Figura 3 mostra as curvas termogravimétricas das cascas de arroz, onde é possível observar suas principais perdas de massa.

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA Politécnica

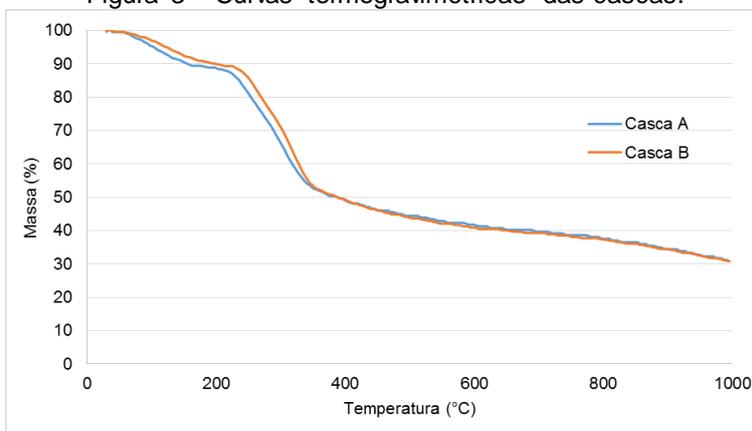


Universidade de Brasília





Figura 3 – Curvas termogravimétricas das cascas.



A perda de massa da casca durante a análise pode ser dividida em intervalos que correspondem a perda de umidade e matéria orgânica como, por exemplo, hemicelulose, celulose e lignina (DINIZ, 2005; TARLEY; ARRUDA, 2003). A queima total da casca de arroz ocorre abaixo dos 700°C (ALMEIDA, 2010).

Já Tarley e Arruda (2003) verificaram que a perda de umidade incorporada ocorre em torno de 250°C, a perda de hemicelulose e celulose entre 250 e 360°C, e a decomposição da lignina se dá entre 360 e 525°C.

A Tabela 1 apresenta as temperaturas onde houve as maiores perdas de massa.

Tabela 1 – Principais perdas de massa durante a análise termogravimétrica.

Temp. (°C)	Limites considerados	Perda de massa Casca A (%)	Perda de massa Casca B (%)
105°C	47 - 176 °C	10,05	8,72
299°C	176 - 442°C	43,31	44,44
512°C	442 - 615°C	5,80	5,96

Pode-se observar que tanto as curvas termogravimétricas quanto a perda de massa foram muito semelhantes nas duas cascas. Entre as temperaturas de 47 e 176°C houve a perda de umidade da casca, aproximadamente 10%; entre 176 e 442°C houve uma acentuada perda de massa, causada pela queima de compostos voláteis como a hemicelulose, celulose e lignina; por fim, até 615°C, completou-se o processo.

4.4 Teor de umidade, teor de cinzas, teor de materiais voláteis e carbono fixo

A quantidade de umidade, bem como o teor de cinzas, e de voláteis presentes em uma biomassa influenciam a sua combustão.

Biomassas que apresentam elevado teor de umidade apresentam dificuldade de utilização como combustível reduzindo a quantidade de energia que é convertida em calor. Percentuais acima de 50% não são aconselháveis (KLAUTAU, 2008).

Cerca de 70-80 % da matéria seca é transformada em voláteis durante a combustão da biomassa, além disso, a ignição é mais rápida quanto maior o teor de voláteis, pois maior é a reatividade do combustível (LEWANDOWSKI, 1997 apud KLAUTAU, 2008).

Segundo Strehler (2000), o poder calorífico é prejudicado quando a biomassa apresenta alto teor de compostos inorgânicos, que vão gerar cinzas.

Os resultados obtidos de Teor de umidade, Teor de cinzas, Teor de materiais voláteis e Carbono fixo encontram-se na Tabela 3.

Realização



Apoio Acadêmico





Tabela 3 – Teor de umidade, cinzas, materiais voláteis e carbono fixo para as cascas e para literatura.

Análise	Casca A	Casca B	Vieira et al. (2013)	Morais et al. (2006)
Teor de Umidade (%)	11,00	9,25	11,31	10,61
Teor de Cinzas (%)	21,52	22,13	15,51	23,84
Teor de Voláteis (%)	36,12	34,75	82,09	64,26
Carbono Fixo (%)	42,37	43,12	2,39	11,90

Os resultados obtidos para teor de umidade foram ao encontro da literatura. Como pode-se observar na Tabela 3, a casca de arroz mostra-se como uma biomassa de baixo teor de umidade tornando-a apta para combustão.

O teor de cinzas também apresentou resultados próximos aos encontrados na literatura. Um teor de cinzas alto não é ideal, pois além de prejudicar o poder calorífico também gera maior quantidade de resíduo e material particulado. A casca apresenta um teor de cinzas relativamente alto, porém esta cinza pode ser usada como coproduto em diversas áreas.

Com relação ao teor de voláteis, os resultados encontrados não foram semelhantes à literatura. Isso pode se explicar pela diferença de método ou condições de cultivo da casca. Como o teor de carbono fixo depende do teor de voláteis, o mesmo, conseqüentemente, também não foi ao encontro com a literatura.

4.5 Poder calorífico

O poder calorífico é a energia liberada durante a transferência de calor, quanto maior o PCS mais eficaz é o combustível. A Casca A apresentou PCS de 13,54 MJ/kg e a Casca B 13,26MJ/kg, os resultados foram muito semelhantes para ambas e vão ao encontro com os trabalhos de Vieira (2012) que obteve 14,67 MJ/kg, e Morais et al. (2006) que obteve 12,92 MJ/kg.

5. CONCLUSÃO

Através das análises de caracterização realizadas pode-se concluir que a casca de arroz apresenta grande potencial para ser utilizada como biomassa para geração de calor e eletricidade, principalmente devido ao fato de apresentar granulometria adequada, baixo teor de umidade e alto teor de voláteis. Como a maioria das empresas de beneficiamento de arroz necessitam de calor para a secagem e parboilização dos grãos a mesma necessita de pouco transporte. O elevado teor de silício encontrado faz com que a queima da casca gere *um potencial coproduto*, a cinza, que apresenta diversas aplicações industriais.

6. AGRADECIMENTOS

À CAPES, FAPERGS e ao CNPq pela concessão de bolsas de pesquisa, e às empresas que forneceram as cascas de arroz para estudo.

REFERÊNCIAS

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

ALMEIDA, S. R. **Pirólise rápida da casca de arroz: estudo de parâmetros e caracterização de produtos**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, RS, 2010.

Realização



Apoio Acadêmico

ESCOLA
Politécnica





- ARMESTO, L. et al. Combustion behavior of rice husk in a bubbling fluidised bed. **Biomass and Bioenergy**, v. 23, p. 171-179. 2002.
- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR NM 8112: Carvão vegetal - Análise imediata** - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. **CEMP 081 – Determinação da Distribuição Granulométrica**. São Paulo: ABIFA, 2003.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Brasil projeções do agronegócio 2012/2013 a 2022/2023**. Brasília, DF, 2013.
- BUDEMBERG, E. R. **Caracterização da sílica amorfa extraída da casca de arroz obtida por pré-hidrólise ácida e calcinação, e sua aplicação em borracha de estireno-butadieno (SBR)**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia) Universidade de São Paulo, Lorena, SP, 2013.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. (Org.). **Biomassa: para energia**. Campinas: Ed. UNICAMP, 2009. 734 p.
- DINIZ, J. **Conversão Térmica de Casca de Arroz à Baixa temperatura: Produção de Bioóleo e resíduo Sílico-Carbonoso Adsorvente**. 2005. Tese (Doutorado em Química), UFSM, RS, 2005.
- FERNANDES, A. **Síntese de Zeólita e Wolastonita a partir de cinza de casca de arroz**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia). USP, São Paulo, SP, 2006.
- FERREIRA, C.S. **Desenvolvimento do processo de obtenção de filme polimérico a partir de cinza de casca de arroz**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFSC, 2005.
- FERREIRA, R.C.; GOBO, J.C.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**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.28, n.1, p.1-11, jan./mar. 2008.
- FOLETTI, L. F.; HOFFMANN, R.; HOFFMANN, R.S.; PORTUGAL JR, U.L.; JAHN, S.L. **Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz**. Química Nova. V. 28, n. 6, p. 1055-1060. 2005.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics – FAOSTAT. **Food and Agricultural commodities production**. [2014]. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 21 abril 2014.
- GOLDEMBERG, J; NIGRO, F.E.B; COELHO, S.T; **Bioenergia no Estado de São Paulo: Situação Atual, Perspectivas, Barreiras e Propostas**. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2008.
- KIELING, A. G. **Influência da segregação no desempenho de cinzas de casca de arroz como pozolanas e material adsorvente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UNISINOS. São Leopoldo, RS, 2009.



- KLAUTAU, J. V. P. **Análise Experimental de uma Forno a Lenha de Fluxo Co-corrente para Secagem de Grãos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – UFP, Curitiba, PR, 2008.
- LIM, Jeng Shiun; MANAN, Zainuddin Abdul; ALWI, Sharifah Rafidah Wan; HASHIM, Haslenda. **A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. V. 16, p. 3084-3094. 2012.
- MORAIS, M. R.; SEYE, O.; FREITAS, K.T.; RODRIGUES, M.; SANTOS, E. C. S.; SOUZA, R. C. R. **Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação**. Anais 6º Encontro de energia no meio rural, p. 1-8, 2006. Manaus, 2006
- OLIVEIRA C. M; TANNOUS K. **Fluidodinâmica de biomassa em leito fluidizado gasoso**. 5f. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009 Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.
- PANDEY, A.; SOCCOL, C. R; MITCHELL, D. **New developments in solid state fermentation: I-bioprocesses and products**. *Process Biochemistry*. v. 35, p. 1153–1169. 2000.
- RENDEIRO, G.; NOGUEIRA, M. F. M.; BRASIL, A. C. M.; CRUZ, D. O. A.; GUERRA, D. R. S.; MACÊDO, Emanuel Negrão; ICHIHARA, Jorge de Araújo. **Combustão e gasificação de Biomassa sólida (Soluções energéticas para a Amazônia)**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.
- SÁNCHEZ, C. G. (Org.). **Tecnologia da gaseificação de biomassa**. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010. p. 189.
- STREHLER, A. **Technologies of wood combustion**. *Ecological Engineering*, v. 16, p. 25-40, 2000.
- TARLEY, C.R.T.; ARRUDA, M.A.Z. Biosorption of heavy metals using rice milling by-products. **Characterisation and application for removal of metals from aqueous effluents**. *Chemosphere* v.54, p. 987–995, 2003.
- VIEIRA, A.C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas**. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 72p. 2012.
- VIEIRA, A. C. et al. **Caracterização da Casca de Arroz para Geração de Energia**. *Varia Scientia Agrárias*, v. 03, 2013, p. 51-57.
- YIN Chungen; ROSENDAHL Lasse A.; KÆR Søren K. Grate-firing of biomass for heat and power production. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 34, p. 725-754. 2008.