

## INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA COMPOSIÇÃO DO BIO-ÓLEO OBTIDO POR PIRÓLISE RÁPIDA DA CASCA DO ARROZ EM REATOR DE AÇO INOX

Pedro José Sanches Filho<sup>1</sup>, Lucas Aldrigui Silveira<sup>2</sup>, Glauco Rasmussem Betemps<sup>3</sup>, Laiza Canielas Krause<sup>4</sup>, Elina Bastos Caramão<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Grupo de Pesquisa em Contaminantes Ambientais - [pjsans@ibest.com.br](mailto:pjsans@ibest.com.br)

<sup>2</sup> Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Grupo de Pesquisa em Contaminantes Ambientais - [lucas.aldrigui@gmail.com](mailto:lucas.aldrigui@gmail.com)

<sup>3</sup> Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Grupo de Pesquisa em Contaminantes Ambientais - [glauco.betemps@gmail.com](mailto:glauco.betemps@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Tiradentes, Instituto de Tecnologia e Pesquisa - [laiza\\_canielasl@hotmail.com](mailto:laiza_canielasl@hotmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Tiradentes, Instituto de Tecnologia e Pesquisa - [elina@ufrgs.br](mailto:elina@ufrgs.br)

### RESUMO

No panorama atual, a biomassa surge como uma fonte de energia limpa abundante que pode vir a substituir parcialmente as energias fósseis. A casca de arroz é uma fonte considerável de biomassa. Seu descarte ou utilização incorreta pode levar a graves problemas ambientais. Essa casca pode ser utilizada para a produção de bio-óleo através do processo de pirólise. A pirólise é a quebra da biomassa em ausência de oxigênio. A constituição do bio-óleo depende do processo adotado e pode ser utilizado como combustível ou como matéria prima. Este trabalho tem por objetivo a caracterização dos compostos presentes do bio-óleo obtido por pirólise rápida da casca de arroz a duas temperaturas. A pirólise foi realizada em planta piloto com reator de aço inox a 500 e 700°C. O bio-óleo foi separado em fases orgânica e aquosa, sendo a fase orgânica analisada por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas. O rendimento dos produtos da pirólise não apresentou diferença para as duas temperaturas. Os dois bio-óleos apresentaram semelhança nos compostos encontrados, bem como nas suas respectivas porcentagens de funções orgânicas. Foram encontrados principalmente fenóis, ácidos, ésteres, éteres e cetonas. . Pode-se determinar que 32,6 % (BO a 500°C) e 34,4 % (BO 700°C) dos fenóis correspondem ao fenol, benzenodióis e fenóis alquilados, enquanto em torno de 17%, para ambos BOs corresponde a metóxifenóis, e metoxifenóis alquilados. Os compostos majoritários foram os mesmos, sendo eles: fenol, cresóis, etilfenol, o-metóxifenol e 2,3-dihidro-o-benzofurano. Conclui-se não ocorreu influência das temperaturas na constituição dos bio-óleos. Este pode ser utilizado para obtenção de produtos de valor comercial. A produção de produtos com maior valor agregado a partir da casca de arroz demonstrou ser extremamente vantajosa.

Palavras-chave: Biomassa, bio-óleo, pirólise, GC/MS.

### 1. INTRODUÇÃO

O panorama atual da geração de energia aponta para uma necessidade de buscar fontes que sejam ecologicamente amigáveis. [KANAUJIA *et al.*, 2014] O uso de energias renováveis vem crescendo substancialmente em virtude dos problemas ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis. A biomassa é uma das mais abundantes fontes de energia renovável e sustentável. [QING-LAN *et al.*,

2015] A utilização da energia proveniente para a biomassa para obtenção de produtos gasosos, líquidos e sólidos pode ser uma alternativa para uma substituição parcial das energias fósseis. [FAN *et al.*, 2015; HSU *et al.*, 2015]

Dentre as diversas fontes de biomassa, os resíduos agroindustriais contêm uma quantidade significativa desta matéria orgânica. Ao contrário das fontes de combustíveis fósseis, que são limitadas, esses



**II CONEPETRO**

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

resíduos são extremamente abundantes. A casca de arroz é uma fonte considerável de biomassa, originando combustíveis gasosos e líquidos através de processos termoquímicos de conversão. Seu descarte incorreto é danoso para o ecossistema por ter um alto teor de silicone, uma superfície rígida, baixa densidade e não ser decomposto por bactérias. [SOLTANI *et al.*, 2015] De acordo com dados do IRGA (Instituto Rio Grandense do Arroz) a produção de arroz no Rio Grande de Sul na safra de 2014/15 foi de 8719449 toneladas, sendo que 20% deste total corresponde à casca. [IRGA, 2015]

Este resíduo geralmente é tratado utilizando processos de compostagem e/ou incineração. [HEO *et al.*, 2010]. Entretanto, a queima da casca implica em efeitos carcinogênicos causados pelos compostos constituintes da fumaça gerada no processo. Há relatos de que o uso da casca para geração de energia elétrica acarreta no desprendimento de gases causadores do efeito estufa. [FOO & HAMEED, 2009]. Dentre as técnicas termoquímicas de conversão desta biomassa, a que melhor se apresenta é a pirólise rápida, principalmente por suas vantagens logísticas e econômicas. [HEO *et al.*, 2010; LU *et al.*, 2010]

A pirólise rápida da biomassa é rápida decomposição térmica da matéria orgânica em atmosfera inerte a por curtos períodos de

tempo, gerando gás, carvão e um produto líquido de alto valor agregado, o bio-óleo (BO). [FAN *et al.*, 2015; ONOREVOLI *et al.*, 2014]. Este líquido é uma mistura complexa de compostos orgânicos, de coloração escura, alta viscosidade, corrosivo e com grande composição oxigenada. [BAKAR & TITILLOYE, 2013]

O BO é originado da fragmentação da lignina, da celulose e da hemicelulose, os três constituintes principais da biomassa, convertidos em moleculares menores. A composição molecular do BO depende do processo de pirólise utilizado e/ou do tipo de biomassa. [SCHNEIDER *et al.*, 2014] O BO bruto e sem nenhum tratamento pode vir a substituir combustíveis sólidos utilizados em evaporadores. É também fonte de uma grande variedade de produtos químicos com valor comercial. Levando em consideração seu menor impacto ecológico, os bio-óleos são considerados energia limpa em comparação aos combustíveis fósseis. [KANAUJIA *et al.*, 2014]. Com teor de oxigênio de cerca de 50% p/p, a composição do BO é majoritariamente de compostos oxigenados: ácidos orgânicos, aldeídos, cetonas, fenóis, ésteres, hidrocarbonetos aromáticos, compostos nitrogenados e anidro açúcares. [BAKAR & ITILOYE, 2013; LU *et al.*, 2011; ONOREVOLI *et al.*, 2014]

**[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)**

(83) 3322.3222

[contato@conepetro.com.br](mailto:contato@conepetro.com.br)

A utilização do BO em escala industrial ainda é pequena. Para um melhor conhecimento da aplicabilidade do BO, seja como combustível, matéria-prima ou outra utilização, faz-se necessário a caracterização dos compostos presentes. [FAN *et al.*, 2015] A determinação da composição do bio-óleo é realizada através da utilização principalmente por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (GC/MS). [LU *et al.*, 2011]

Considerando a necessidade da caracterização do BO e a influência dos parâmetros, como a temperatura, da pirólise, este trabalho tem por objetivo a caracterização dos compostos presentes do bio-óleo obtido por pirólise rápida da casca de arroz a duas temperaturas (500 e 700°C).

## 2. METODOLOGIA

A amostra de casca de arroz (CA) foi cedida por uma arrozeira da região de Pelotas-RS. Inicialmente a casca de arroz foi moída em um moinho de facas para redução de tamanho e seca o por 4 dias a  $\pm 60$  °C.

### 2.1 Pirólise

O processo de pirólise foi efetuado em reator de inox (planta piloto) na Universidade Tiradentes (UNIT), Aracaju - SE. A planta é constituída de um forno e três condensadores. O estudo foi realizado nas temperaturas de 500

e 700°C, com um tempo de reação de 15 min. Foram utilizados 200g de casca de arroz seca para o processo, nitrogênio como gás de arraste, com vazão média de 35 mL.min<sup>-1</sup>, e uma faixa constante de aquecimento na faixa de 30°C.min<sup>-1</sup>. O rendimento dos produtos obtidos foi calculado em porcentagem peso/peso (% p/p). O bio-óleo bruto obtido foi separado em fases orgânica (FO) e aquosa (FA) por extração líquido-líquido com diclorometano. As fases foram controladas gravimetricamente. A FO foi utilizada neste estudo.

### 2.2 Análise da fase orgânica por GC/MS

A análise foi realizada no Laboratório de Análise em Contaminantes Ambientais (LACA) localizado no Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSul), Campus Pelotas.

A FO foi analisado por cromatografia gasosa monodimensional com detector de espectrometria de massas do tipo quadrupolar (GC/qMS) em equipamento da marca Shimadzu, modelo QP2010 - Ultra.

A análise foi conduzida sob as seguintes condições: coluna Restek 5MS - 95% de dimetil-polisiloxano e 5% de grupos fenila - (30 m, 0,25 mm, 0,25  $\mu$ m); programa de aquecimento do forno: 60°C (10 min) – 5°C/min. – 200°C (5 min.) ate 300 °C (20min); temperatura do injetor: 280°C e injeção de 1



$\mu\text{L}$  com split de 1:20, interface a  $200^\circ\text{C}$ . O detector foi operado no modo eletrônico e a energia do feixe de elétrons foi de 70 eV.

Os compostos foram tentativamente identificados por associação de seu tempo de retenção e seu espectro de massa com a biblioteca do aparelho [BIBLIOTECA NIST], com similaridades acima de 80%.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1: Rendimentos dos produtos de pirólise

	em % p/p $\pm$ coeficiente de variação	
	$500^\circ\text{C}$	$700^\circ\text{C}$
Bio-óleo	$38,8 \pm 3,8$	$37,5 \pm 2,1$
RSP	$40,5 \pm 2,4$	$37,5 \pm 0,2$
Gás	$20,7 \pm 0,6$	$25,1 \pm 2,8$
FO	$10,9 \pm 6,5$	$9,4 \pm 5,2$
FA	$27,9 \pm 1,8$	$28,1 \pm 2,1$

FO: Fase orgânica; FA: Fase aquosa;

RSP: Resíduo Sólido de Pirólise

Não foram observadas diferenças nos rendimentos de bio-óleo a partir das duas temperaturas.

Considerando porcentagens de área relativa superiores 0,3% e similaridades superiores a 80%, foram tentativamente identificados 68 compostos na FO do bio-óleo obtido a  $700^\circ\text{C}$  e 65 a  $500^\circ\text{C}$ . Foram encontrados ésteres, éteres, hidrocarbonetos fenóis, aldeídos, ácidos, nitrogenados e outros. Na classe definida como outros reuniram-se os anidros açúcares e álcoois. O único composto nitrogenado encontrado foi 1-piperidinacarbonitrila com 2,8 e 2,5% nos FOs de  $500^\circ\text{C}$  e  $700^\circ\text{C}$  respectivamente.

Agrupando, por função, as porcentagens de área relativa e de número de compostos, observa-se a semelhança na constituição dos dois bio-óleos com a presença majoritária de Fenóis e Cetonas, conforme pode ser observado na Figura 1.





## II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

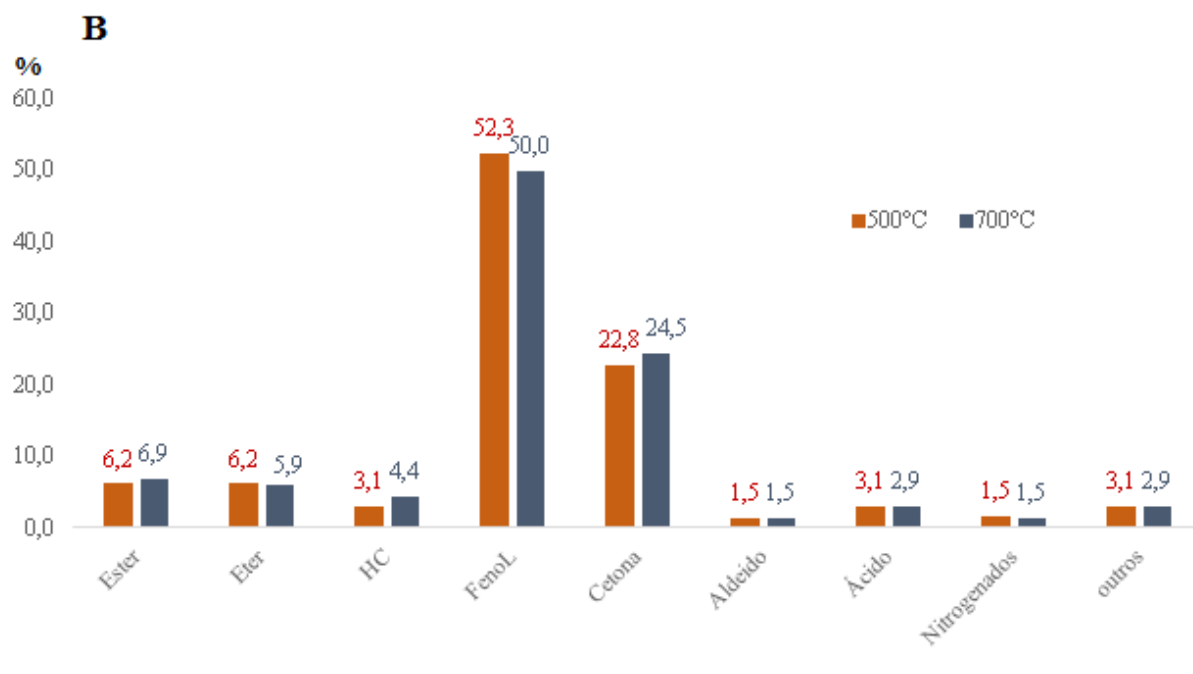
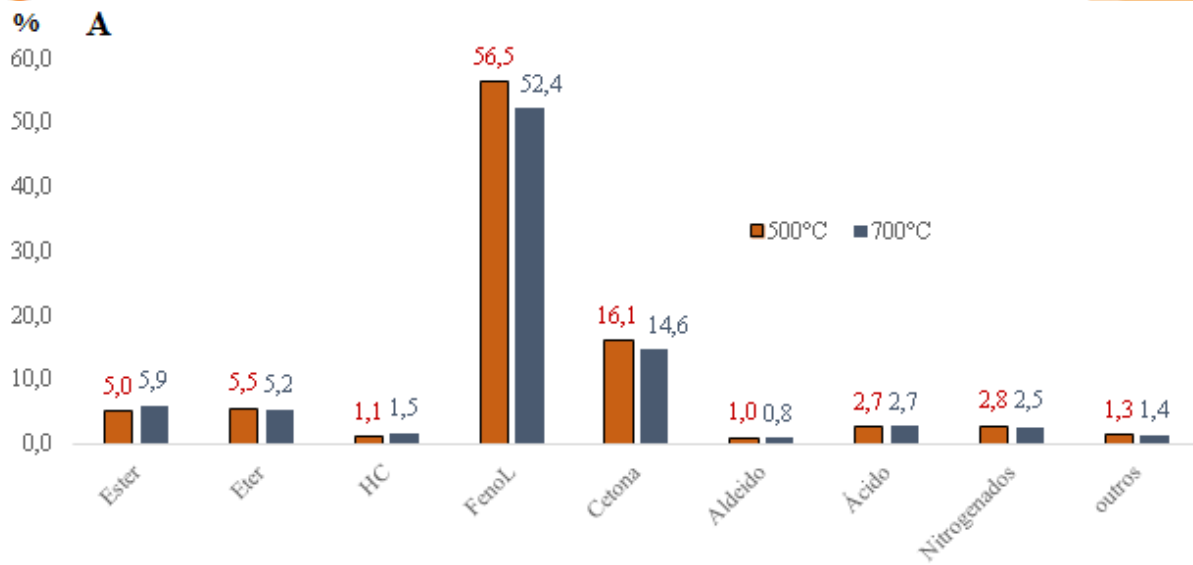


Figura 1: Distribuição das principais funções encontradas no bio-óleo (FO) da casca do arroz em função da temperatura (% > que 0,3% e similaridades >80%) em: A) porcentagem de área relativa B) porcentagem de número de compostos.

A Figura 2, que apresenta a comparação dos cromatogramas, mostra a mesma constituição para as duas FOs. Os compostos majoritários encontrados foram fenóis, cresóis, etilfenóis e metóxicresóis.

A predominância dos compostos fenólicos no bio-óleo pode ser vista na Tabela 2 e na Figura 1, bem como a diversidade de compostos presentes. No cromatograma (Figura 2) dos dois bio-óleos encontram-se

identificados os compostos majoritários: fenol (9), os isômeros dos cresóis (16, 18, 19), etilfenol (30), o-metóxfenol (34), 2,3-dihidro-o-benzofurano (37), descritos por outros autores como HSU *et al.*[2015], HEO

*et al.* [2010], LU *et al.* [2011], BAKAR & TITILLOYE [2013] e ONOREVOLI *et al.* [2014]. Estes compostos estão também destacados na Tabela 2.

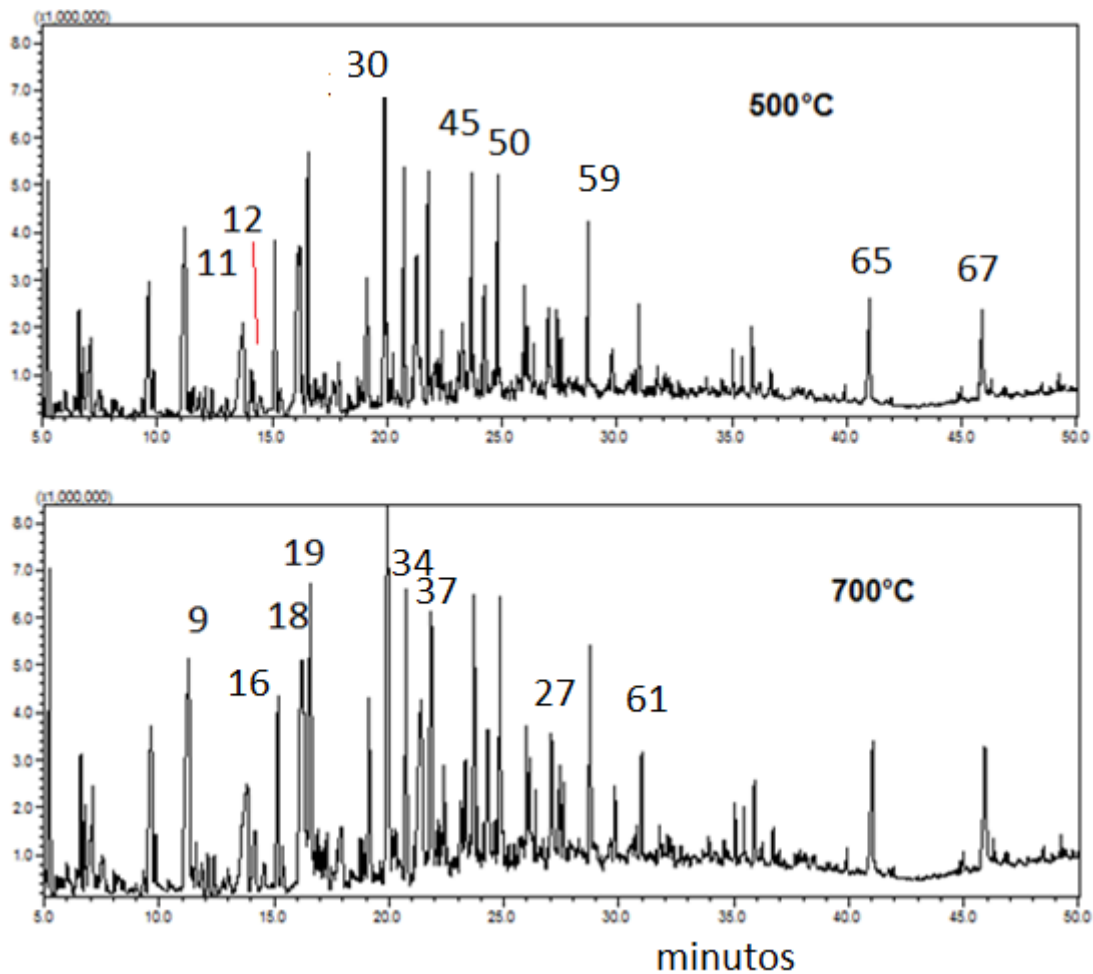


Figura 2: Comparação dos cromatogramas obtido para as duas temperaturas com os picos dos compostos majoritários identificados

As duas amostras apresentaram os mesmos compostos majoritários, indicando que a temperatura não influenciou na constituição dos bio-óleos. A Tabela 2 apresenta o estudo semi-quantitativo da

análise das triplicatas de cada BO obtido a 500°C e 700°C. Podemos observar que 32,6 % (BO a 500°C) e 34,4 % (BO 700°C) dos fenóis correspondem ao fenol, benzenodióis e fenóis alquilados, enquanto em torno de 17%,

para ambos BOs corresponde a metóxfenóis, e metoxifenóis alquilados. A presença de fenóis está relacionada as cisões da lignina [KANAUIA *et al.*, 2014]. Já a maioria das cetonas 7,0 %(BO a 500°C) e 5,4 % (BO 700°C) apresentam o núcleo Cyclopenten-1-

one. Estes compostos caracterizam o bio óleo como uma potencial fonte de matérias primas para indústria petroquímica, fármacos, desinfetantes e etc. [KANAUIA *et al.*, 2014; SCHNEIDER *et al.*, 2014].

Tabela 2: Composição semi-quantitativa da FO do bio-óleo da casca de arroz

Pico	Composto	500°C		700°C		Função
		AR (%)	±CV(%)	AR (%)	±CV(%)	
1	1,2-Ethanediol, diacetate	3,2	7,1	2,9	6,2	Éster
2	2-Cyclopenten-1-one, 2-methyl-	1,4	5,2	1,4	5,8	Cetona
3	Ethanone, 1-(2-furanyl)-	0,9	9,1	0,8	14,3	Cetona
4	2(5H)-Furanone	1,8	2,3	2,1	4,3	Cetona
5	1,2-Cyclopentanedione	nd	14,5	0,6	18,9	Cetona
6	2(3H)-Furanone, 5-methyl-	nd	7,8	0,6	17,2	Cetona
7	1-Piperidinecarbonitrile	3,0	6,9	2,9	12,3	Nitrogenado
8	2-Butanone, 1-(acetyloxy)-	0,6	1,4	0,5	16,7	Cetona
<b>9</b>	<b>Phenol</b>	<b>6,3</b>	<b>5,8</b>	<b>6,0</b>	<b>4,1</b>	<b>Fenol</b>
10	Benzofurano	0,5	4,2	0,5	8,4	Cetona
11	2-Cyclopenten-1-one, hydroxy-methyl- (Isômero 1)	2,7	11,2	2,0	8,1	Cetona
12	2-Cyclopenten-1-one, hydroxy-methyl- (Isômero 2)	1,2	6,9	0,9	9,2	Cetona
13	2-Cyclopenten-1-one, dimethyl-	0,9	7,4	0,8	11,4	Cetona
14	Indene	nd	4,8	0,6	16,2	HC
15	Methyl-5H-furan-2-one (Isômero 1)	0,4	12,5	0,5	15,2	Cetona
<b>16</b>	<b>Cresol (Isômero 1)</b>	<b>2,5</b>	<b>5,7</b>	<b>2,6</b>	<b>12,1</b>	<b>Fenol</b>
17	Methyl-5H-furan-2-one (Isômero 2)	0,4	10,5	0,6	13,5	Cetona
<b>18</b>	<b>Cresol (Isômero 2)</b>	<b>4,3</b>	<b>6,8</b>	<b>5,3</b>	<b>3,5</b>	<b>Fenol</b>
<b>19</b>	<b>Cresol (Isômero 3)</b>	<b>2,3</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>4,8</b>	<b>Fenol</b>
20	Phenol, 2-methoxy-	2,3	3,9	4,4	2,5	Fenol
21	Butyric acid, 4-pentadecyl ester	0,3	5,9	0,7	6,2	Éster
22	Benzofuran, methyl- (Isômero 1)	0,5	13,2	0,5	16,2	Éter
23	Benzofuran, methyl- (Isômero 2)	0,4	14,9	0,6	14,2	Éter
24	Phenol, dimethyl-	0,6	8,9	0,5	11,7	Fenol
25	Maltol (Isômero 1)	0,5	7,8	0,5	6,8	Fenol
26	Maltol (Isômero 2)	0,6	4,5	0,6	7,2	Fenol



## II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

27	2-Cyclopenten-1-one, 3-ethyl-2-hydroxy-	1,0	6,9	0,7	8,3	Cetona
28	Cycloprop[a]indene, 1,1a,6,6a-tetrahydro-	0,5	8,4	0,5	8,1	HC
29	Phenol, dimethyl- ( <i>Isômero 1</i> )	2,7	8,8	2,3	1,6	Fenol
<b>30</b>	<b>Phenol, ethyl- (<i>Isômero 1</i>)</b>	<b>6,5</b>	<b>10,2</b>	<b>6,0</b>	<b>2,9</b>	<b>Fenol</b>
31	Phenol, ethyl- ( <i>Isômero 2</i> )	0,8	8,5	0,7	5,9	Fenol
32	Methoxy-methylphenol	0,4	10,3	0,5	10,4	Fenol
33	Phenol, dimethyl- ( <i>Isômero 2</i> )	0,9	5,6	0,5	12,6	Fenol
<b>34</b>	<b>Methoxy-methylphenol</b>	<b>3,6</b>	<b>4,9</b>	<b>3,3</b>	<b>3,4</b>	<b>Fenol</b>
35	Phenol, trimethyl-	0,4	8,9	0,0		Fenol
36	Catechol	4,8	4,3	4,8	2,5	Fenol
<b>37</b>	<b>Benzofuran, 2,3-dihydro-</b>	<b>4,0</b>	<b>6,9</b>	<b>3,8</b>	<b>12,4</b>	<b>Éter</b>
38	Phenol, ethyl-methyl-	0,5	11,5	0,5	5,3	Fenol
39	2,3-Anhydro-d-mannosan	0,4	12,3	0,5	16,1	Açúcar
40	Resorcinol monoacetate	0,9	10,5	0,6	6,1	Fenol/Éster
41	Benzene, ethyl, methoxy-	1,0	2,5	1,1	17,2	Éter
42	Phenol, ethyl methyl- ( <i>Isômero 1</i> )	1,0	8,9	0,5	8,2	Fenol
43	Phenol, ethyl methyl- ( <i>Isômero 2</i> )	0,4	11,5	1,1	9,1	Fenol
44	1,2-Benzenediol, methyl-	1,8	12,2	1,7	5,2	Fenol
45	Phenol, ethyl, methoxy-	2,8	8,7	2,5	10,5	Fenol
46	1H-Inden-1-one, 2,3-dihydro-	0,6	9,9	0,6	11,7	Cetona
47	Naphthalene, 2-methyl-	0,6	9,3	0,7	5,9	HC
48	1,2-Benzenediol, methyl-	2,5	1,5	2,4	16,5	Fenol
49	1-Phthalanol, 1,3,3-trimethyl-Ethanone, 1-(2-hydroxy-5-methylphenyl)-	0,5	10,4	0,6	2,3	Álcool/Éter
50		3,1	8,7	2,8	11,3	Cetona
51	Phenol, 4-(2-propenyl)-, acetate	0,4	9,7	0,5	2,3	Fenol/Éster
52	Phenol, dimethoxy-	1,6	5,6	1,4	2,3	Fenol
53	Eugenol	1,2	9,1	1,4	7,9	Fenol
54	Phenol, methoxy-propyl-	0,6	6,3	0,7	5,2	Fenol
55	1,3-Benzenediol, ethyl-	1,7	7,5	2,1	5,3	Fenol
56	Vanillin	1,5	1,8	1,4	15,2	Fenol
57	Phenol, methoxy, (1-propenyl)- ( <i>Isômero 1</i> )	0,9	5,7	0,8	18,6	Fenol
58	Phenol, methoxy, (1-propenyl)- ( <i>Isômero 2</i> )	0,5	8,4	0,5	4,2	Fenol
59	3-Allyl-6-methoxyphenol	2,7	5,5	2,5	5,6	Fenol
60	Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (Z)-	1,0	7,1	0,9	7,1	Fenol





## II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE  
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS  
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

61	Propan-2-one, 1-(4-isopropoxy-3-methoxyphenyl)-	1,1	12,5	1,0	8,1	Cetona
62	3',5'-Dimethoxyacetophenone	0,5	8,4	0,5	9,5	Cetona
63	Phenol, dimethoxy,(2-propenyl)-	0,5	4,1	0,5	7,3	Fenol
64	2-Propenal, 3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-	1,1	7,0	0,9	1,6	Aldeído
65	(+)-Ascorbic acid 2,6-dihexadecanoate	1,1	6,9	2,3	2,9	Éster
66	Octadecanoic Acid ( <i>Isômero 1</i> )	1,8	5,4	1,5	2,1	Ácido
67	Octadecenoic Acid ( <i>Isômero 2</i> )	1,1	4,3	1,6	3,8	Ácido
68	Stigmast-5-en-3-ol, oleate	0,8	7,2	1,0	6,2	Éster
TOTAL		100		100		

AR – Área Relativa; CV – Coeficiente de Variação; nd – Não detectado. Obs.: Nomes em inglês conforme obtido da biblioteca do equipamento.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise por GC/qMS do bio-óleo da pirólise da casca de arroz no reator de aço inox mostrou que existe potencial de emprego deste para produção de resinas fenólicas e outros produtos. Não ocorreu influência das temperaturas na constituição dos bio-óleos.

A utilização da casca do arroz para produção de produtos de maior valor

agregado apresenta vantagens ambientais, uma vez que constitui em um destino a um resíduo agrícola gerado em grandes quantidades em nossa região.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo apoio financeiro. A UNIT, por disponibilizar o uso a planta piloto para obtenção do bio-óleo.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKAR, M. S. A.; TITLOYE, J. O. **Catalytic pyrolysis of rice husk for bio-oil production.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 103, p. 362–368, 2013.

Biblioteca do National Institute of Standards and Technology –NIST– MS Search2.0.

FAN, X. *et al.* **Rapid characterization of heteroatomic molecules in a bio-oil from pyrolysis of rice husk using atmospheric solids analysis probe mass spectrometry.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 115, p. 16–23, 2015.

FOO, K. Y.; HAMEED. B. H., **Utilization of rice husk ash as novel adsorbent: a judicious recycling of the colloidal agricultural waste.** *Advances in Colloid Interface Science*, v. 152, P. 39–47, 2009.

HSU, C.; HUANG, A.; KUO, H. **Analysis of the Rice Husk Pyrolysis Products from a Fluidized Bed Reactor.** *Procedia Engineering*, v. 102, p. 1183–1186, 2015

IRGA. **Produtividades municipais – safra 2014/15.** Disponível em: <[http://www.irga.rs.gov.br/upload/20150710145210produtividade\\_municipios\\_safra\\_14\\_15.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/upload/20150710145210produtividade_municipios_safra_14_15.pdf)>. Acesso em 13/06/2016.

KANAUJIA, P. K.; SHARMA, Y. K.; GARG, M. O.; TRIPATHI, D.; SINGH, R. **Pyrolysis Review of analytical strategies in the production and upgrading of bio-oils derived from lignocellulosic biomass.** *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 105, p. 55–74, 2014.

LU, R. *et al.* **Fractional characterization of a bio-oil derived from rice husk.** *Biomass and Bioenergy*, v. 35, p. 671–678, 2011

ONOREVOLI, B. *et al.* **A one-dimensional and comprehensive two-dimensional gas chromatography study of the oil and the bio-oil of the residual cakes from the seeds of *Crambe abyssinica*.** *Industrial Crops and Products*, v. 52, p. 8–18, 2014

QING-LAN, H. *et al.* **Effect of potassium on pyrolysis of rice husk and its components.** *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, v. 43, p. 34–41, 2015.

SCHNEIDER, J. K. *et al.* **Comprehensive two dimensional gas chromatography with fast-quadrupole mass spectrometry detector analysis of polar compounds extracted from the bio-oil from the pyrolysis of sawdust.** *Journal of Chromatography A*, v. 1356, p. 236–240, 2014.

SOLTANI, N.; BAHRAMI, A.; GONZALEZ, L. A. **Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials.** *Chemical Engineering Journal*, v. 264, p. 899–935, 2015.

HEO, H. S. *et al.* **Fast pyrolysis of rice husk under different reaction conditions.** Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 16, p. 27–31, 2010.

