



CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

Influência do tratamento hidrotérmico na energia de band gap de carvões de *Eucalyptus* spp.

*Influence of hydrothermal treatment in band gap energy of *Eucalyptus* spp.*

Aline Zanquetti ¹; Amanda Christina Finkler ¹; Bruna Maki Utsunomiya Hosoi ¹; Jaqueline Nicolini ¹; Keller Paulo Nicolini ¹

RESUMO

O carvão vegetal é produzido pela pirólise de biomassa em baixas temperaturas. Estudos recentes indicam ser possível melhorar as propriedades químicas de carvões através do tratamento hidrotérmico. Neste estudo avaliou-se carvões de *Eucalyptus* spp. que passaram por tratamento hidrotérmico a 105°C sob pressão de 1,1 atm durante 0, 20, 120, 200, 340 e 400 min. Foram avaliadas as propriedades dos diferentes carvões quanto à alteração na energia de band gap e quanto à toxicidade para culturas de *Saccharomyces cerevisiae*. Com o estudo verificou-se que o tratamento hidrotérmico de carvões é capaz de alterar a energia de band gap e o perfil espectroscópico de carvões de eucalipto. Em comparação com os carvões não tratados hidrotérmicamente, os carvões pirolisados e tratados hidrotérmicamente por 20 e 120 min, apresentam aumento na concentração inibitória (CI10) proporcional ao tempo de tratamento hidrotérmico.

Palavras-chave: *Eucalyptus* spp.; *Saccharomyces cerevisiae*; Resíduos de madeira.

ABSTRACT

Coal is produced by the pyrolysis of biomass at low temperatures. Recent studies indicate that it is possible to improve the chemical properties of coals by hydrothermal treatment. In this study, *Eucalyptus* spp. which underwent hydrothermal treatment at 105°C under pressure of 1.1 atm for 0, 20, 120, 200, 340 and 400 min. The properties of the different coals were evaluated for band gap energy change and for toxicity to *Saccharomyces cerevisiae* cultures. With the study it was verified that the hydrothermal treatment of coals is capable of altering band gap energy and the spectroscopic profile of *Eucalyptus* coals. Compared with hydrothermally untreated coals, the hydrothermally treated coals for 20 and 120 min, show an increase in the inhibitory concentration (IC10) proportional to the hydrothermal treatment time.

Keywords: *Eucalyptus* spp.; *Saccharomyces cerevisiae*; Wood waste.

¹ IFPR – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná, Palmas/PR - Brasil.

1. INTRODUÇÃO

As variações da energia de *band gap* são de crescente interesse da comunidade científica (GRANERØD et al., 2018), com aplicações relacionadas ao desenvolvimento de diodos emissores de luz (LEDs), fotodetecção, conversão de energia solar e estudo da energia de ligação (MENG et al., 2018). A energia de *band gap* também está associada à superfície de contato (ARAKHA et al., 2017) e à composição química (DENIS et al., 2017; SAXENA et al., 2017) dos materiais. A energia de band gap depende do tamanho e da forma das partículas aumentando quando o tamanho de partícula diminui (SINGH et al., 2017). O intervalo de gap aumenta com o aumento da citotoxicidade (ARAKHA et al., 2017) e maiores massas moleculares resultam em energias de band gap menores (ZHENG et al., 2017).

O uso de processos hidrotérmicos vem sendo empregado no tratamento da biomassa para sintetizar minerais a partir de cinzas (JIMÉNEZ et al., 2017), no tratamento de farinhas de arroz e de milho (BOUREKOUA et al., 2016), no tratamento do lodo da indústria de celulose e papel (MÄKELÄ & YOSHIKAWA, 2016), na decomposição de grupos contendo oxigênio presentes no grafeno (NIU et al., 2016), no aumento da resistência à desintegração térmica de amidos (YANG et al., 2016), na decomposição de grupos funcionais contendo oxigênio do linhito, substituindo-os por hidrogênio (LIU et al., 2016), também promovendo a hidrólise enzimática da madeira (JEONG & LEE, 2016) e a produção de materiais híbridos contendo carvão de biomassa e copolímeros (ANTONIETTI et al., 2013).

O carvão vegetal é produzido pela queima parcial de material celulósico. Estudos demonstram que o tratamento hidrotérmico da biomassa pode alterar suas propriedades químicas, sendo aplicado para a modificação de resíduos com a finalidade de estabilizar metais (HUANG & YUAN, 2016). O tratamento hidrotérmico de carvão em autoclave é um método eficaz para desoxigenar o material, reduzir os teores de grupos funcionais com oxigênio, aumentando a porcentagem de átomos de carbono alquílicos em comparação com o carvão bruto (ZHANG et al., 2016).

O Fe^{3+} é um micronutriente utilizado como insumo agrícola na forma de cloreto de ferro III (FeCl_3), um composto facilmente lixiviado (PATEL et al., 2017). Além da aplicação agrícola, o FeCl_3 é usado em processos de tratamento de águas como floculante (RANA et al., 2017), nem sempre sendo removido totalmente do meio causando reações adversas em pessoas com hipersensibilidade ao íon Fe^{3+} . O limite máximo aceito pela legislação brasileira em ensaios de solubilização é $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ de ferro (ABNT, 2004). Os íons Fe^{3+} podem ser empregados para indicar a capacidade de remoção de espécies aniônicas em materiais com potencialidade para serem utilizados como suportes iônicos ou materiais adsorventes.

Diversos indicadores biológicos têm sido utilizados, dentre eles plantas, para monitorar pesticidas no meio ambiente (NAIR et al., 2010), crustáceos para monitorar fluorantenos presentes no ar (OGUNTMEHIN et al., 2010), cavalo-marinho como bioindicadores de exposição ao petróleo bruto (DELUNARDO et al., 2015), folhas de árvores como marcadores morfológicos, químicos e bioquímicos (DOMINGOS et al., 2015), plantas de tabaco para avaliar a toxicidade de O_3 (DIAS et al., 2011), antocianinas e taninos de plantas no estudo de poluentes atmosféricos (SANDRE et al., 2014) e também o fungo *Saccharomyces cerevisiae* como um modelo biológico para o estudo da toxicidade em diferentes substratos (KETHIREDDY et al., 2016; SÁNCHEZ-RUBIO et al., 2016). A cultura de *Saccharomyces cerevisiae* é considerada um modelo eucariota para estudos toxicológicos permitindo

previsões de toxicidade em eucariotas superiores (BRACONI et al., 2016). Suportes funcionalizados contendo *Saccharomyces cerevisiae* têm sido usados como adsorventes de metais tóxicos, com regeneração dos suportes funcionalizados (ZHANG et al., 2011).

Este trabalho tem como objetivo estudar a influência do tratamento hidrotérmico de carvões de *Eucalyptus* spp. na energia de *band gap* e no desenvolvimento de culturas de *Saccharomyces cerevisiae*, usado como modelo eucariota para avaliar potenciais efeitos nocivos à biota do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O tratamento hidrotérmico do carvão vegetal foi realizado a partir de uma adaptação de métodos (HUANG & YUAN, 2016; ZHANG et al., 2016). O carvão vegetal de *Eucalyptus* spp. (CV0) sofreu tratamento hidrotérmico a temperatura de 105°C sob pressão de 1,1 atm durante os tempos de 20 (CV20), 120 (CV120), 200 (CV200), 340 (CV340) e 400 (CV400) minutos, em uma autoclave vertical Primatec Modelo CS.

Os espectros por refletância difusa (DRUV) das amostras foram adquiridos em um espectrofotômetro PerkinElmer, LAMBDA 365 entre 200 e 400 nm em triplicata. A energia de *band gap* representada por E (eV) foi calculada pela Equação 1, onde h é a constante de Plank ($6,63 \cdot 10^{-34}$ J s), c é a velocidade da luz ($3,00 \cdot 10^8$ m s⁻¹) e λ é o comprimento de onda em que ocorre o *band gap* (nm) (EBRAHEEM & EL-SAIED, 2013).

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \text{ (Equação 1)}$$

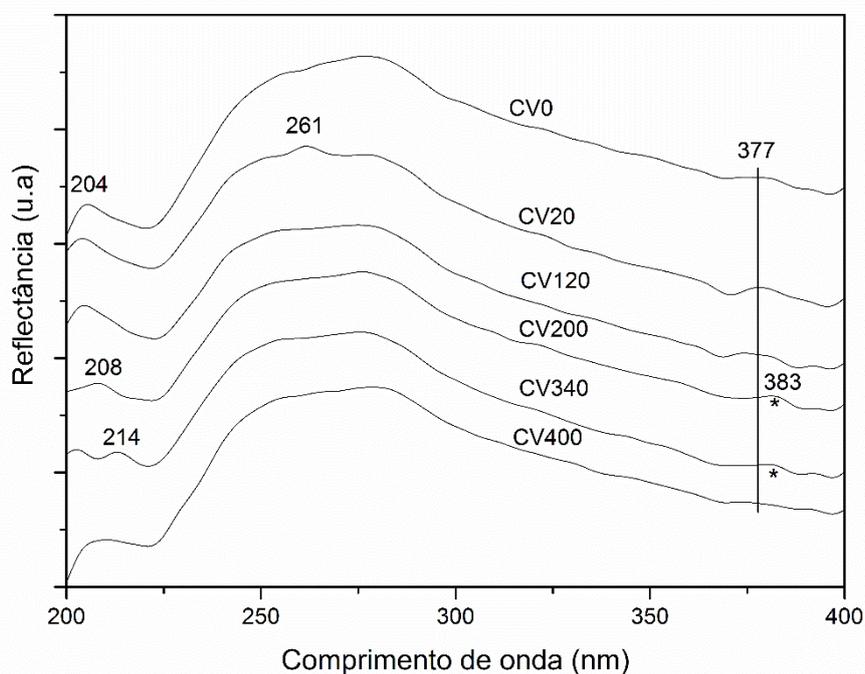
Foi determinada a capacidade de remoção de íons Fe³⁺ a partir do uso dos carvões que passaram por tratamento hidrotérmico. A partir do cloreto de ferro (III) hexahidratado (FeCl₃·6H₂O, Vetec, pureza igual a 97%), preparou-se uma solução aquosa de íons ferro (III) na concentração de $5,0 \cdot 10^{-4}$ mol L⁻¹ ($2,8 \cdot 10^{-2}$ mg g⁻¹). Em um béquer contendo 0,1 L de solução aquosa de Fe (III), na concentração de $5,0 \cdot 10^{-4}$ mol L⁻¹, sob agitação em um agitador magnético a 25°C, adicionou-se 0,5 g de carvão. Foram usados os carvões: CV0, CV20, CV120, CV200, C340 e CV400. A remoção de íons Fe³⁺ foi monitorada com o auxílio de um espectrofotômetro PerkinElmer modelo LAMBDA 365 utilizando em 330 nm, conforme (DURIGAN et al., 2012). A eficiência do tratamento foi feita comparando-se com a concentração do íon livre sem tratamento prévio da amostra (LOURES et al., 2013; TOSONIAN et al., 2013). A intensidade da absorção foi determinada após 5 min.

O meio de cultura contendo cloreto de sódio (NaCl, Neon, pureza igual a 99,6%), sacarose (C₁₂H₂₂O₁₁, Synth, superior a 99%) e carboidrato de origem vegetal P.A. (CH₂O, Synth, superior a 99 %) (CORONETTI et al., 2017) foi transferido para tubos de ensaio de vidro com capacidade para 20 mL e mantido a 40°C em banho Maria, contendo (a) 0,0; (b) $1,0 \times 10^3$; (c) $5,0 \times 10^3$; (d) $1,0 \times 10^4$; e (e) $5,0 \times 10^4$ ppm dos carvões CV0, CV20, CV120, CV200, C340 e CV400. As concentrações inibitórias para 10% (CI₁₀), 30% (CI₃₀) e 50% (CI₅₀) (IWASHIMA et al., 1992; PARK et al., 2014) para as culturas de *Saccharomyces cerevisiae* foram determinadas por ajuste linear após 25 min de exposição ao meio de cultura aos diferentes carvões tratados hidrotermicamente (KETHIREDDY et al., 2016; SÁNCHEZ-RUBIO et al., 2016) contendo: a) 0,0; b) $1,0 \times 10^3$; c) $5,0 \times 10^3$; d) $1,0 \times 10^4$; e e) $5,0 \times 10^4$ ppm dos carvões CV0, CV20, CV120, CV200, C340 e CV400. As concentrações inibitórias foram determinadas por ajuste linear. Todas as análises foram feitas em triplicata.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os espectros de reflectância difusa (DRUV) apresentados na Figura 1 para as amostras CV0, CV20, CV120, CV200, C340 e CV400 evidenciam a presença de uma banda de reflectância em 214 nm apenas para a amostra CV340, que está associada à maior CI_{10} para culturas de *Saccharomyces cerevisiae*. As concentrações inibitórias CI_{10} , CI_{30} e CI_{50} foram obtidas por ajuste linear. Já a amostra CV400 apresenta ausência de bandas em 204 e 214 nm e a menor capacidade de remoção de íons Fe^{3+} . A Figura 1 também mostra que maiores tempos de tratamento hidrotérmico reduzem a diversidade de bandas de transições eletrônicas, elevando a estabilidade do carvão (HRNČIČ et al., 2016).

Figura 1 – Espectros de reflectância difusa (DRUV) das amostras CV0, CV20, CV120, CV200, C340 e CV400.



As maiores alterações espectrais são observadas na amostra CV340, sendo esta, a única amostra com banda de reflectância em 214 nm. Os carvões CV200 e CV340 apresentam deslocamento da banda de reflectância de 377 nm para 383 nm. Bandas de reflectância deslocadas para maiores comprimentos de onda, implicam em estruturas com transições eletrônicas de maior energia (NICOLINI et al., 2009; SILVERSTEIN & WEBSTER, 1997), o que resulta nos maiores valores de *band gap* (3,77 eV) das amostras CV200 e CV340. Os carvões CV340 e CV400 apresentam as menores razões entre λ_{max} 205/277, que estão associadas às maiores taxas de remoção de íons Fe^{3+} , menores CI_{10} e CI_{30} e maiores valores de *band gap* (Tabela 1), o que sugere uma relação de proporcionalidade entre as razões de λ_{max} e a atividade fungistática dos carvões. Estudos relatam que a absorção de luz e o comprimento de onda máximo de absorção podem ser considerados no estudo de antimicrobianos (WAINWRIGHT, 1998).

Tabela 1. Tempo de tratamento hidrotérmico (TH), energia de *band gap* (EGap), comprimento de onda com maior reflectância (λ_{\max}), remoção de íons Fe^{3+} (RFe) e concentração inibitória para *Saccharomyces cerevisiae* CI_{10} , CI_{30} e CI_{50} .

Carvões	Parâmetros ^a							SD
	TH (min)	EGap (eV)	Razão λ_{\max} 205/277	RFe (mg.g ⁻¹)	CI_{10} (ppm)	CI_{30} (ppm)	CI_{50} (ppm)	
CV0	0	3,57	0,922	1,34	6260	31886	> 50000	0,090
CV20	20	3,66	0,953	1,33	26656	> 50000	> 50000	0,023
CV120	120	3,51	0,954	1,40	> 50000	> 50000	> 50000	0,040
CV200	200	3,77	0,932	1,26	> 50000	> 50000	> 50000	-
CV340	340	3,77	0,926	1,26	1584	27712	> 50000	0,126
CV400	400	3,73	0,899	0,54	13050	45041	> 50000	0,108

^a Há significância entre as amostras pelo teste ANOVA ($p < 0,05\%$).

A amostra CV400 apresentou redução de 60%, na capacidade de remoção de íons Fe^{3+} (Tabela 1) quando comparada à amostra não tratada hidrotérmicamente (CV0). A redução na capacidade de remoção de íons Fe^{3+} para a amostra CV400, que sofreu tratamento hidrotérmico por 400 min, está associada à remoção de oxigênio do material, aumentando a porcentagem de átomos de carbono alquílicos em comparação com o carvão bruto (ZHANG et al., 2016). O tratamento hidrotérmico reduz as proporções de hidrogênio e de oxigênio de carvões (YAO et al., 2016) e promove a dissolução de ânions (CHEN & PAGANO, 1986; JIMÉNEZ et al., 2017).

O fungo *Saccharomyces cerevisiae* é um modelo eucariota (BRACONI et al., 2016) utilizado para avaliar a toxicidade de carvões, sendo capaz de remover cátions de metais como, Fe^{3+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} , Ag^+ , Ni^{2+} e Fe^{2+} (WANG & CHEN, 2006). Este estudo indica que as culturas de *Saccharomyces cerevisiae* na presença dos carvões pirolisados e tratados hidrotérmicamente por 20, 120 e 200 min, elevam à concentração inibitória (CI_{10}) com relação aos carvões não tratados hidrotérmicamente (CV0), indicando menor toxicidade do material, sendo a concentração inibitória definida como a menor concentração que inibiu o crescimento microbiano (BESADA-LOMBANA et al., 2017) por um período de 25 min. No entanto, o tratamento hidrotérmico em tempos maiores que 200 minutos reduzem a CI_{10} dos carvões, o que pode ser observado na Tabela 1.

4. CONCLUSÃO

Carvões de eucalipto tratados hidrotermicamente em tempos de até 200 min apresentam menor ação fungistática inibitória e uma das maiores capacidades de remoção de íons Fe^{3+} , indicando que o tratamento hidrotérmico de carvões reduz a toxicidade dos carvões para o modelo eucariota como o *Saccharomyces cerevisiae*. Estudos em andamento estão avaliando o comportamento do tratamento hidrotérmico de carvões enriquecidos com metais.

5. AGRADECIMENTOS

Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do IFPR – IBIC/IFPR, Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica Júnior – PIBIC-Jr, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

6. REFERÊNCIAS

ABNT, NBR. 10004: 2004. **Resíduos sólidos: Classificação. Associação Brasileira de Normas**, 2004.

ANTONIETTI, Markus; TITIRICI, Maria Magdalena; CAKAN, Rezan Demir. Process for the preparation of hydrothermal hybrid material from biomass, and hydrothermal hybrid material obtainable by the process. **United States Patent**, (US 8481642 B2), p., 2013.

ARAKHA, Manoranjan; ROY, Jyoti; NAYAK, Parth Sarthi; MALLICK, Bibekanand; JHA, Suman. Zinc oxide nanoparticle energy band gap reduction triggers the oxidative stress resulting into autophagy-mediated apoptotic cell death. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 110, p. 42-53, 2017.

BESADA-LOMBANA, Pamela B.; FERNANDEZ-MOYA, Ruben; FENSTER, Jacob; DA SILVA, Nancy A. Engineering *Saccharomyces cerevisiae* fatty acid composition for increased tolerance to octanoic acid. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 114, n. (7), p. 1531-1538, 2017.

BOUREKOUA, Hayat; BENATALLAH, Leila; ZIDOUNE, Mohammed Nasreddine; ROSELL, Cristina M. Developing gluten free bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours. **LWT - Food Science and Technology**, v. 73, n. (-), p. 342-350, 2016.

BRACONI, Daniela; BERNARDINI, Giulia; SANTUCCI, Annalisa. *Saccharomyces cerevisiae* as a model in ecotoxicological studies: A post-genomics perspective. **Journal of Proteomics**, v. 137, n. (-), p. 19-34, 2016.

CHEN, Han Lin; PAGANO, Mark. The removal of chlorine from Illinois coal by high temperature leaching. **Fuel Processing Technology**, v. 13, n. (3), p. 261-269, 1986.

CORONETTI, Mayse Rosa; CORTES, Amerieli Leticia Marquezoti; FRANZEN, Mitaly; HOSOI, Bruna Maki Utsunomiya; ALVES, Gabriel Neves; NICOLINI, Jaqueline; NICOLINI, Keller Paulo. Avaliação *in vitro* de alterações em *Lactuca* spp. de *Saccharomyces cerevisiae* na presença de fármacos. **Infarmacia - Ciências Farmacêuticas**, v. 29, n. (2), p. 8, 2017.

DELUNARDO, Frederico Augusto Cariello; CARVALHO, Luciano Rodrigues de; SILVA, Bruno Ferreira da; GALÃO, Michel; VAL, Adalberto Luís; CHIPPARI-GOMES, Adriana R. Seahorse (*Hippocampus reidi*) as a bioindicator of crude oil exposure. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 117, n. (-), p. 28-33, 2015.

DENIS, Pablo A.; PEREYRA HUELMO, C.; IRIBARNE, Federico. On the band gaps and effective masses of mono and dual doped monolayer graphene. **Computational Materials Science**, v. 137, n. (-), p. 20-29, 2017.

DIAS, Ana P. L.; DAFRÉ, Marcelle; RINALDI, Mirian C. S.; DOMINGOS, Marisa. How the redox state of tobacco 'Bel-W3' is modified in response to ozone and other environmental factors in a sub-tropical area? **Environmental Pollution**, v. 159, n. (2), p. 458-465, 2011.

DOMINGOS, Marisa; BULBOVAS, Patricia; CAMARGO, Carla Z. S.; AGUIAR-SILVA, Cristiane; BRANDÃO, Solange E.; DAFRÉ-MARTINELLI, Marcelle; DIAS, Ana Paula L.; ENGELA, Marcela R. G. S.; GAGLIANO, Janayne; MOURA, Barbara B.; ALVES, Edenise S.; RINALDI, Mirian C. S.; GOMES, Eduardo P. C.; FURLAN, Claudia M.; FIGUEIREDO, Ana Maria G. Searching for native tree species and respective potential biomarkers for future assessment of pollution effects on the highly diverse Atlantic Forest in SE-Brazil. **Environmental Pollution**, v. 202, n. (-), p. 85-95, 2015.

DURIGAN, Marco A Benedetti; VAZ, Sergio Renato; ZAMORA, Patrício Peralta. Degradação de poluentes emergentes por processos fenton e foto-fenton. **Química Nova**, v. 35, n. (7), p. 1381-1387, 2012.

EBRAHEEM, Saif; EL-SAIED, Antar. Band gap determination from diffuse reflectance measurements of irradiated lead borate glass system doped with TiO₂ by using diffuse reflectance technique. **Materials Sciences and Applications**, v. 4, n. (-), p. 324-329, 2013.

GRANERØD, Cecilie S.; ZHAN, Wei; PRYTZ, Øystein. Automated approaches for band gap mapping in STEM-EELS. **Ultramicroscopy**, v. 184, n. (-), p. 39-45, 2018.

HRNČIČ, Maša Knez; KRAVANJA, Gregor; KNEZ, Željko. Hydrothermal treatment of biomass for energy and chemicals. **Energy**, v. 116, Part 2, n. (-), p. 1312-1322, 2016.

HUANG, Hua-jun; YUAN, Xing-zhong. The migration and transformation behaviors of heavy metals during the hydrothermal treatment of sewage sludge. **Bioresource Technology**, v. 200, n. (-), p. 991-998, 2016.

IWASHIMA, A.; KAWASAKI, Y.; NOSAKA, K.; NISHIMURA, H. Effect of thiamin on cordycepin sensitivity in *Saccharomyces cerevisiae*. **FEBS Letters**, v. 311, n. (1), p. 60-62, 1992.

JEONG, So-Yeon; LEE, Jae-Won. Sequential Fenton oxidation and hydrothermal treatment to improve the effect of pretreatment and enzymatic hydrolysis on mixed hardwood. **Bioresource Technology**, v. 200, n. (-), p. 121-127, 2016.

JIMÉNEZ, Ivelisse; PÉREZ, Gloria; GUERRERO, Ana; RUIZ, Begoña. Mineral phases synthesized by hydrothermal treatment from biomass ashes. **International Journal of Mineral Processing**, v. 158, n. (-), p. 8-12, 2017.

KETHIREDDY, V; OEY, I; JOWETT, Tim; BREMER, P. Critical analysis of the Minimum Non Inhibitory Concentration (MNIC) method in quantifying sub-lethal injury in *Saccharomyces cerevisiae* cells exposed to either thermal or pulsed electric field treatments. **International Journal of Food Microbiology**, v. 233, n. (-), p. 73-80, 2016.

LIU, Yongli; ZHOU, Qingxiang; LI, Jing; LEI, Man; YAN, Xiuyi. Selective and sensitive chemosensor for lead ions using fluorescent carbon dots prepared from chocolate by one-step hydrothermal method. **Sensors and Actuators B: Chemical**, v. 237, n. (-), p. 597-604, 2016.

LOURES, Carla CA; ALCÂNTARA, Marco AK; IZÁRIO FILHO, Hécio J; TEIXEIRA, ACSC; SILVA, Flávio T; PAIVA, Teresa CB; SAMANAMUD, Gisella RL. Advanced oxidative degradation processes: fundamentals and applications. **International Review of Chemical Engineering**, v. 5, n. (2), p. 102-120, 2013.

MÄKELÄ, Mikko; YOSHIKAWA, Kunio. Ash behavior during hydrothermal treatment for solid fuel applications. Part 2: Effects of treatment conditions on industrial waste biomass. **Energy Conversion and Management**, v. 121, n. (-), p. 409-414, 2016.

MENG, Ruishen; SUN, Xiang; JIANG, Junke; LIANG, Qihua; YANG, Qun; CHEN, Xianping. Novel GaN-based nanocomposites: Effective band structure and optical property tuning by tensile strain or external field. **Applied Surface Science**, v. 427, n. (-), p. 554-562, 2018.

NAIR, Remya; VARGHESE, Saino Hanna; NAIR, Baiju G.; MAEKAWA, T.; YOSHIDA, Y.; KUMAR, D. Sakthi. Nanoparticulate material delivery to plants. **Plant Science**, v. 179, n. (3), p. 154-163, 2010.

NICOLINI, Jaqueline; VENTURINI, Cristina de Garcia; ANDREAUS, Jürgen; MACHADO, Clodoaldo; MACHADO, Vanderlei Gageiro. Interaction of Cyclodextrins with Brooker's Merocyanine in Aqueous Solution. **Spectroscopy Letters**, v. 42, n. (1), p. 35-41, 2009.

NIU, Yongan; FANG, Qinghong; ZHANG, Xin; ZHANG, Panpan; LI, Yao. Reduction and structural evolution of graphene oxide sheets under hydrothermal treatment. **Physics Letters A**, v. 380, n. (38), p. 3128-3132, 2016.

OGUNTIMEHIN, Ilemobayo; KONDO, Hiroaki; SAKUGAWA, Hiroshi. The use of Sunpatiens (*Impatiens* spp.) as a bioindicator of some simulated air pollutants - Using an ornamental plant as bioindicator. **Chemosphere**, v. 81, n. (2), p. 273-281, 2010.

PARK, Jeong-Hoon; KIM, Sang-Hyoun; PARK, Hee-Deung; KIM, Jun Seok; YOON, Jeong-Jun. Simultaneous utilization of galactose and glucose by *Saccharomyces cerevisiae* mutant strain for ethanol production. **Renewable Energy**, v. 65, n. (Supplement C), p. 213-218, 2014.

PATEL, Sunita; BAJPAI, A. K.; BAJPAI, Jaya; SAINI, Rajesh Kumar; ACHARYA, Somen. Facile preparation of iron loaded calcium alginate nanocarriers and study of controlled release of iron. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, n. (6), p. 5337-5346, 2017.

RANA, Rajender Singh; SINGH, Prashant; KANDARI, Vikash; SINGH, Rakesh; DOBHAL, Rajendra; GUPTA, Sanjay. A review on characterization and bioremediation of pharmaceutical industries' wastewater: an Indian perspective. **Applied Water Science**, v. 7, n. (1), p. 1-12, 2017.

SÁNCHEZ-RUBIO, Marta; TABOADA-RODRÍGUEZ, Amaury; CAVA-RODA, Rita; LÓPEZ-GÓMEZ, Antonio; MARÍN-INIESTA, Fulgencio. Combined use of thermo-ultrasound and cinnamon leaf essential

oil to inactivate *Saccharomyces cerevisiae* in natural orange and pomegranate juices. **LWT - Food Science and Technology**, v. 73, n. (9), p. 140-146, 2016.

SANDRE, AdrianaAfonso; PINA, JulianaMoreno; MORAES, ReginaMaria; FURLAN, CláudiaMaria. Anthocyanins and tannins: is the urban air pollution an elicitor factor? **Brazilian Journal of Botany**, v. 37, n. (1), p. 9-18, 2014.

SAXENA, Aditya P.; SRIVASTAVA, Ravi P.; INGOLE, Sarang. Effects of alloying on band gap and morphology of iron pyrite nanoparticles. **Materials Letters**, v. 207, n. (-), p. 202-205, 2017.

SILVERSTEIN, RM; WEBSTER, FX; *Identificação Espectrométrica de compostos orgânicos*. 5th., LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.: Brasil, 1997.

SINGH, Madan; GOYAL, Monika; DEVLAL, Kamal. Size and shape effects on the band gap of semiconductor compound nanomaterials. **Journal of Taibah University for Science**, v. -, n. (-), p. -, 2017.

TOSONIAN, Shawnt; RUIZ, Charles J.; RIOS, Andrew; FRIAS, Elma; EICHLER, Jack F. Synthesis, characterization, and stability of iron (III) complex ions possessing phenanthroline-based ligands. **Open Journal of Inorganic Chemistry**, v. 3, n. (1), p. 7, 2013.

WAINWRIGHT, M. Photodynamic antimicrobial chemotherapy (PACT). **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 42, n. (1), p. 13-28, 1998.

WANG, Jianlong; CHEN, Can. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review. **Biotechnology Advances**, v. 24, n. (5), p. 427-451, 2006.

YANG, Wei; WANG, Hui; ZHANG, Meng; ZHU, Jiayu; ZHOU, Jie; WU, Shengji. Fuel properties and combustion kinetics of hydrochar prepared by hydrothermal carbonization of bamboo. **Bioresource Technology**, v. 205, n. (-), p. 199-204, 2016.

YAO, Zhongliang; MA, Xiaoqian; LIN, Yousheng. Effects of hydrothermal treatment temperature and residence time on characteristics and combustion behaviors of green waste. **Applied Thermal Engineering**, v. 104, n. (-), p. 678-686, 2016.

ZHANG, Dexiang; LIU, Peng; LU, Xilan; WANG, Lanlan; PAN, Tieying. Upgrading of low rank coal by hydrothermal treatment: Coal tar yield during pyrolysis. **Fuel Processing Technology**, v. 141, Part 1, n. (-), p. 117-122, 2016.

ZHANG, Yunsong; LIU, Weiguo; ZHANG, Li; WANG, Meng; ZHAO, Maojun. Application of bifunctional *Saccharomyces cerevisiae* to remove lead(II) and cadmium(II) in aqueous solution. **Applied Surface Science**, v. 257, n. (23), p. 9809-9816, 2011.

ZHENG, Wenji; DING, Rui; YAN, Xiaoming; HE, Gaohong. PEG induced tunable morphology and band gap of ZnO. **Materials Letters**, v. 201, n. (-), p. 85-88, 2017.