

# Tratamento hidrotérmico da biomassa de *Araucaria* spp. para a produção de condicionadores de solos

## *Araucaria* spp. hydrothermal treatment to production of soil conditioners

Eduarda Kalena Kirsch de Ramos<sup>1</sup>

Bárbhara Talyssa Michels<sup>2</sup>

Bruna Maki Utsunomiya Hoso<sup>3</sup>

Jaqueline Nicolini<sup>4</sup>

Keller Paulo Nicolini<sup>5(\*)</sup>

## Resumo

Naturalmente, a biomassa apresenta elevada quantidade de magnésio, sendo que, a partir dela, pode ser produzido o biocarvão, o qual pode ser aplicado no solo para aumentar sua eficiência microbiana. Estudos propõem modificações no mecanismo de pirólise da biomassa pela adição de até 8 % de  $MgCl_2$ . Este estudo avaliou biocarvões gerados na presença e na ausência de  $MgCl_2$ , para uso agrícola. A biomassa de falhas de *Araucaria* spp. (BA), foi tratada na presença e na ausência de  $MgCl_2$ , nas temperaturas de 250, 300, 350, 400, 450 e 500 °C. A amostra de biomassa de falhas de *Araucaria* spp., tratada hidrotermicamente a 300 °C, na presença de 8 mmol de  $Mg^{2+}$  por grama de biomassa (BAMg300) está associada à maior altura das plantas de *Eruca sativa* monitoradas. A maior produção de espuma para organismos de *Saccharomyces cerevisiae* ocorre em meios de cultura contendo a biomassa tratada a 400 °C, na presença de 8 mmol de  $Mg^{2+}$  por grama de biomassa (BAMg400). Os materiais tratados hidrotermicamente na ausência de  $MgCl_2$  a 300 °C apresentam menor toxicidade no desenvolvimento da cultura de *Saccharomyces cerevisiae* e melhores taxas de germinação e crescimento inicial para *Eruca sativa*. Os materiais foram avaliados por espectroscopia de refletância difusa (DRUV), entre 200 e 400 nm, indicando haver diferenças espectroscópicas entre os materiais avaliados.

**Palavras-chave:** *Eruca sativa*; *Saccharomyces cerevisiae*; espectroscopia.

## Abstract

Naturally, biomass has a high amount of magnesium and from biomass can be produced biochar, which can be applied to the soil to increase its microbial efficiency. Studies

- 1 Graduação em Agronomia; Instituto Federal do Paraná, IFPR, Brasil; Endereço: Av. Bento Munhoz da Rocha Neto S/N, Trevo da Codapar – PRT - 280. CEP: 85555-000 Palmas - PR - Brasil; E-mail: eduardakkirsch@gmail.com
- 2 Graduação em Agronomia; Instituto Federal do Paraná, IFPR, Brasil; Endereço: Av. Bento Munhoz da Rocha Neto S/N, Trevo da Codapar – PRT - 280. CEP: 85555-000 Palmas - PR - Brasil; E-mail: barbharamichels@gmail.com
- 3 Técnico em Alimentos; Instituto Federal do Paraná, IFPR, Brasil; Endereço: Av. Bento Munhoz da Rocha Neto S/N, Trevo da Codapar – PRT - 280. CEP: 85555-000 Palmas - PR - Brasil; E-mail: bmuhosoi@gmail.com
- 4 Dra.; Química; Instituto Federal do Paraná, IFPR, Brasil; Endereço: Av. Bento Munhoz da Rocha Neto S/N, Trevo da Codapar – PRT - 280. CEP: 85555-000 Palmas - PR - Brasil; E-mail: jaqueline.nicolini@ifpr.edu.br
- 5 Dr.; Química; Instituto Federal do Paraná, IFPR, Brasil; Endereço: Av. Bento Munhoz da Rocha Neto S/N, Trevo da Codapar – PRT - 280. CEP: 85555-000 Palmas - PR - Brasil; E-mail: keller.nicolini@ifpr.edu.br (\*) Autor para correspondências

Recebido para publicação em 22/06/2017 e aceito em 18/11/2019

propose modifications in the mechanism of biomass pyrolysis by the addition of up to 8 %  $\text{MgCl}_2$ . This study evaluated biocarbons generated in the presence and absence of  $\text{MgCl}_2$  for agricultural use. The biomass of *Araucaria* spp. (BA), was treated in the presence and absence of  $\text{MgCl}_2$  at temperatures of 250, 300, 350, 400, 450 and 500 °C. The biomass sample of *Araucaria* spp. was hydrothermally treated at 300 °C in the presence of 8 mmol of  $\text{Mg}^{2+}$  for each gram of biomass (BAMg300) is associated with higher height of the monitored *Eruca sativa* plants. The highest foam production for *Saccharomyces cerevisiae* organisms occurs in culture media containing the biomass treated at 400 °C in the presence of 8 mmol of  $\text{Mg}^{2+}$  for each gram of biomass (BAMg400). The hydrothermally treated materials in the absence of 300 g  $\text{MgCl}_2$  showed lower toxicity in the development of *Saccharomyces cerevisiae* culture and better germination and initial growth rates for *Eruca sativa*. The materials were evaluated by diffuse reflectance spectroscopy (DRUV) between 200 and 400 nm indicating spectroscopic differences among the evaluated materials.

**Palavras-chave:** *Eruca sativa*; *Saccharomyces cerevisiae*; spectroscopy.

## Introdução

Naturalmente, a composição da biomassa apresenta elevada quantidade de carbono, oxigênio, potássio, sódio, magnésio e cálcio. Quando a biomassa, é aquecida há redução dos teores de carbono e oxigênio e ocorre a formação de óxidos de potássio, sódio, magnésio e cálcio (ABDULLAH et al., 2017). O magnésio tem função de transporte, sendo essencial para enzimas celulares, para a agregação de ribossomos, além de ser o átomo central da molécula de clorofila (SHAUL, 2002). No entanto, em quantidades maiores que 500 mmol  $\text{L}^{-1}$ , os íons  $\text{Mg}$  (II), são fitotóxicos em meio aquoso (TOBE et al., 2002). Estudos propõem modificações no mecanismo de pirólise da biomassa, pela adição de até 1 % de potássio na forma de  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (TRENDEWICZ et al., 2015) e 8% de  $\text{MgCl}_2$  (WAN et al., 2009). A presença dos compostos  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaHPO}_4$  na biomassa, durante o tratamento térmico, favorece a formação de espécies de baixa massa molar, enquanto que a presença de  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$  e  $\text{MgCl}_2$  reduz o rendimento de levoglucosano (1,6-anidro- $\beta$ -D-glicopirranose) nos processos de tratamento térmico da biomassa (SLÁDKOVIČOVÁ et al., 2008). Todo sal de metal que catalisa reações de pirólise de hemicelulose reduz o rendimento em ácido metanoico e 1-hidroxipropan-2-ona (KABIR; HAMEED, 2017). O biocarvão pode ser aplicado no solo para melhorar suas propriedades físicas, remover substâncias tóxicas (TAN et al., 2017), aumentar a eficiência microbiana (RIAZ et al., 2017), promover o armazenamento de carbono no solo (ZHU et al., 2017) e a sorção de fósforo (NGATIA et al., 2017). Biomassas tratadas hidrotermicamente apresentam diferentes comportamentos com relação à remoção de cobre (II) (LIU et al., 2010; PELLERA et al., 2012; REGMI et al., 2012).

Os organismos de *Saccharomyces cerevisiae* podem conter antioxidantes naturais (JILANI et al., 2016), ter aplicações biotecnológicas (REIS et al., 2017), além de serem um modelo eucariota para estudos de toxicidade ambiental (BRACONI et al., 2016). A literatura descreve que organismos de *Saccharomyces cerevisiae* podem ser imobilizados por impregnação em alginato de cálcio (LEE et al., 2012; MISHRA et al., 2016), em microesferas magnéticas de quitosana (YIN et al., 2017), em esferas híbridas de alginato-quitosana (ZHOU et al., 2010), em óxido de

grafeno (CHEN; WANG, 2016), em celulose tubular lignificada (SERVETAS et al., 2013), em polpa seca de beterraba açucareira (VUČUROVIĆ; RAZMOVSKI, 2012), entre outros.

O cobre é tóxico em concentrações elevadas, sendo considerado eco tóxico para 50 % dos organismos ( $CE_{50}$ ) a partir de concentrações  $\geq$  a 0,007 mg L<sup>-1</sup>, na forma de cloreto de cobre (II) (ACROS ORGANICS, 2007), de óxido de cobre (II) (SIGMA-ALDRICH, 2014a) e sulfato de cobre (II) (SIGMA-ALDRICH, 2014b). O cobre é um elemento essencial para as células vivas tendo grande afinidade com os transportadores de membrana plasmática Ctr1 e Ctr3 (XIAO et al., 2004), e forma sítios de Fet3p na multicobre oxidase (MACHONKIN et al., 2001) em organismos de *Saccharomyces cerevisiae*. A remoção do cobre (II) por leveduras de *Saccharomyces cerevisiae* ocorre em duas fases: na primeira fase, o Cu (II) se liga rapidamente à superfície do fungo e, na segunda fase, que é mais lenta, ocorre absorção intracelular de Cu (II) (HUANG et al., 1990).

Indicadores biológicos são caracterizados como espécies que apresentam resposta característica frente a determinados contaminantes ou poluentes ambientais que permitem perceber a presença de determinadas substâncias no ambiente e antecipar processos de remediação. Diversos vegetais têm sido usados como modelos biológicos (AZANU et al., 2016; FABBRIS; NICOLINI, 2016; WOLDETSADIK et al., 2017), além de fungos que são modelos eucariotas importantes (BRACONI et al., 2016; CUNHA et al., 2016).

O uso da espectroscopia de ultravioleta UV permite estudar o comportamento de modelos moleculares associada a estudos com modelos biológicos. Dentre as substâncias que são modelos moleculares que prejudicam o desenvolvimento de plantas, destaca-se, o comportamento de herbicidas pré-emergentes com máximos de absorção ( $\lambda_{max}$ ) em 201 (alaclor) e 213 nm (napropamida), indicando que menores coeficientes de absorção de carbono orgânico refletem em menores níveis de contaminação, quando comparados a um herbicida com um máximo de absorção ( $\lambda_{max}$ ) em 221 nm (prometrina) (QING et al., 2012). Por espectroscopia de UV, foram detectados terbutilazina em 210, 215 e 220 nm (CABRAS et al., 1989), etil pirazosulfuron em 230 nm (MONICKA; JAMES, 2014), triazinas em 213 nm (KOVAČIĆ et al., 2004) e alaclor, metolacloro, diazinon e diclorvos entre 240 e 320 nm (FEIGENBRUGEL et al., 2005). Os ácidos indol-3-acético (CHITRA et al., 2017), 4-cloroindolil-3-acético (MARUMO et al., 1971), fenilacético (AMOMBO NOA; JACOBS, 2017) e indolil-3-butírico (COUSSON, 2010), são auxinas que refletem modelos moleculares que promovem o desenvolvimento vegetal, sendo detectados por espectroscopia de UV em 252 nm (FRANKENBERGER; BRUNNER, 1983).

O objetivo deste estudo foi avaliar biocarvões de biomassa residual de *Araucaria* spp. produzidos na presença e na ausência de MgCl<sub>2</sub> com potencialidade para uso agrícola.

## Material e Métodos

### Tratamento hidrotérmico da biomassa de *Araucaria* spp

A biomassa residual de falhas de pinha de *Araucaria* spp. (BA) foi moída até granulometria  $\leq$  2,0 mm. As amostras foram hidratadas na ausência de íons Mg<sup>2+</sup> (BA) e com uma solução aquosa contendo íons Mg (II) (BAMg), (BAMg) na concentração de 1 mol L<sup>-1</sup> na proporção de 8 mL de solução de Mg (II) para cada 10 gramas de biomassa moída, equivalendo a 8 mmol de de Mg (II) por grama de biomassa. As soluções de de Mg (II) foram preparadas a partir do cloreto de magnésio hexahidratado (MgCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O) Vetec, 98 %. A biomassa (BA) passou por tratamento

hidrotérmico nas temperaturas de: 250 (BA250), 300 (BA300), 350 (BA350), 400 (BA400), 450 (BA450) e 500 (BA500) °C, na ausência de íons Mg (II); e 250 (BAMg250), 300 (BAMg300), 350 (BAMg350), 400 (BAMg400), 450 (BAMg450) e 500 (BAMg500) °C, na presença de íons Mg (II). O tratamento hidrotérmico foi realizado em um forno Mufla Quimis, modelo 318 D24 adaptado, sob pressão de 1 atm durante 120 min (HUANG; YUAN, 2016; ZHANG et al., 2016).

### Capacidade de remoção dos íons cobre (II)

Em triplicata, determinou-se a capacidade de remoção dos íons cobre (II) em meio aquoso a 25 °C. A solução de trabalho continha íons cobre (II) na concentração de  $2,0 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ , onde foram avaliados os materiais, BA, BA250, BA300, BA350, BA400, BA450, BA500, BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450 e BAMg500. A absorvância do meio aquoso foi avaliada em 768 nm (AKHULI et al., 2013; BENNICI et al., 2003; BRENNAN et al., 2011; LAKSHMANA RAO et al., 2004), em um espectrofotômetro PerkinElmer, LAMBDA 365. A capacidade de remoção de Cu (II) pela biomassa foi calculada pela Equação 1 (ÇABUK et al., 2007):

$$q_e = ((C_i - C_f) \cdot V) / m \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:  $q_e$  corresponde à quantidade de Cu (II) removido pela biomassa em  $\text{mg g}^{-1}$ ;  $C_i$  a concentração inicial de íons Cu (II) da solução em  $\text{mg L}^{-1}$ ;  $C_f$  a concentração final de íons Cu (II) da solução em  $\text{mg L}^{-1}$ ;  $V$  o volume de solução de íons Cu (II) em mL; e  $m$  a massa dos materiais BA, BA250, BA300, BA350, BA400, BA450, BA500, BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450 e BAMg500 adicionada a solução em g.

### Avaliação da produção de espuma em culturas de *Saccharomyces cerevisiae*

O meio de cultura foi preparado a partir de: 1,5 g de *Saccharomyces cerevisiae*; 0,3 g de cloreto de sódio (NaCl); 3,0 g de sacarose ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ); 9,0 g de carboidrato de origem vegetal ( $\text{CH}_2\text{O}$ ); e 60 mL de água destilada ( $\text{H}_2\text{O}$ ) a 40 °C. Em seguida, o meio de cultura foi transferido para tubos de ensaio à temperatura de 40 °C, em um banho Maria (HOSOI et al., 2016) contendo  $10^3$  ppm dos materiais BA, BA250, BA300, BA350, BA400, BA450, BA500, BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450 e BAMg500. A altura da espuma relativa, com relação ao meio de cultura referência, isto é, sem a presença dos materiais BA, BA250, BA300, BA350, BA400, BA450, BA500, BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450 e BAMg500, na escala milímetros (mm), foi determinada após 25 min de exposição ao meio de cultura contendo os diferentes materiais tratados hidrotermicamente. (GIRELLI et al., 2019; GUIMARÃES et al., 2018; KETHIREDDY et al., 2016; SÁNCHEZ-RUBIO et al., 2016; ZANQUETTI et al., 2018). A inibição para a produção de espuma foi avaliada em meios de cultura contendo  $10^3$  ppm dos diferentes materiais. A avaliação foi realizada em triplicata.

### Avaliação de parâmetros fisiológicos de *Eruca sativa*

O cultivo foi realizado *in vitro* em placas de Petri contendo substrato inerte enriquecido com  $33,3 \text{ g kg}^{-1}$  de BA, BA250, BA300, BA350, BA400, BA450, BA500, BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450 e BAMg500, separadamente. As plantas foram colhidas no 8º dia de cultivo (HASHEM et al., 2013; OGUNTIMHIN et al., 2010; PHILLIPS et al., 2015), sendo determinada a taxa de germinação e a altura das plantas em triplicata.

## Avaliação espectroscópica

Os espectros por refletância difusa (DRUV) foram adquiridos em um espectrofotômetro PerkinElmer, LAMBDA 365 entre 200 e 400 nm. A energia de *Band Gap* ( $E$ ) foi calculada pela Equação 2, onde  $h$  é a constante de Plank Planck ( $6,63 \times 10^{-34}$  J s),  $c$  é a velocidade da luz ( $3,00 \times 10^8$  m s<sup>-1</sup>) e  $\lambda$  é o comprimento de onda em que ocorre o *Band Gap* (nm) (EBRAHEEM; EL-SAIED, 2013).

$$E=(h.c)/\lambda \quad (\text{Equação 2})$$

Para avaliação estatística dos ensaios, foi realizada a análise de variância ANOVA.

## Resultados e Discussão

### Tratamento hidrotérmico na ausência de íons Mg<sup>2+</sup>

O tratamento hidrotérmico da biomassa de *Araucaria* spp. (BA) reduz a taxa de remoção de íons cobre (II), chegando a zero em BA250, BA350, BA400 e BA450 °C (Tabela 1). O tratamento hidrotérmico a 500 °C (BA500), quando comparado ao tratamento a 300 °C (BA300), tem menor capacidade de remoção de íons Cu (II), o que pode estar associado a menores taxas de carboxilas (-COOH), carbonilas de lactonas (C=O) e hidroxilas de fenóis (-OH) (LIU *et al.*, 2010). Em materiais tratados hidrotérmicamente a 300 °C, podem ser formadas esferas de coordenação entre o cobre (II) e o oxigênio (NAUMOV *et al.*, 2001) o que justifica a menor remoção de cobre (II) pelos materiais pirolisados em maiores temperaturas pela remoção dos grupos funcionais contendo oxigênio no processo de tratamento termico (LIU *et al.*, 2016).

A menor produção relativa de espuma de *Saccharomyces cerevisiae* para a amostra BA (Tabela 1) está associada com a maior capacidade para remoção de íons Cu (II) e com a maior energia de *Band Gap*. Na Tabela 1 é possível verificar que a amostra tratada hidrotérmicamente a 250 °C apresenta a maior energia de *Band Gap* e a maior produção relativa de espuma de *Saccharomyces cerevisiae*. A variação da energia de *Band Gap* do material pode variar em função de sua ação fungistática (FABBRO *et al.*, 2016; GAVRILIU *et al.*, 2009) e a atividade fotocatalítica pode promover a inativação de fungos (KANHERE; CHEN, 2014).

Neste estudo, a maior taxa de germinação para *Eruca sativa* em substratos contendo BA350 (Tabela 1) está relacionada com uma das maiores alturas das plantas em substratos contendo BA350 e a menor a energia de *Band Gap* (3,2 eV), quando comparada com as amostras BA, BA250, BA300, BA400, BA450 e BA500. O microclima interfere no desenvolvimento de cultivos de rúcula (SCHMIDT *et al.*, 2017) e a energia de *Band Gap* pode descrever a interferência de materiais no desenvolvimento de plantas terrestres, quando convertida em energia de excitação de elétrons do mecanismo fotossintético (HATAMI *et al.*, 2016). Materiais com *Band Gap* igual a 3,2 eV, têm capacidade para interferir no teor de massa verde e na taxa de germinação de plantas (MIR *et al.*, 2016).

A amostra BA500 apresenta a maior banda de reflectância em 265 nm (Figura 1), tendo as menores taxas de germinação de *Eruca sativa* (Tabela 1). Comportamentos espectroscópicos semelhantes na região do UV, são observados em estudos utilizando os herbicidas prometon, propazina, prometrina e simazina (FREI; NOMURA, 1968).

**Tabela 1. Parâmetros avaliados para os materiais BA, BA250, BA300, BA350, BA400, BA450 e BA500.**

| Amostra | Parâmetros <sup>a</sup>                  |                 |                  |                 |                            |                  |                 |                          |                 |
|---------|--|-----------------|------------------|-----------------|----------------------------|------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|
|         | Cobre (mg g <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup> | DP <sup>g</sup> | ESP <sup>c</sup> | DP <sup>g</sup> | Band Gap (eV) <sup>d</sup> | TGR <sup>e</sup> | DP <sup>g</sup> | Altura (mm) <sup>f</sup> | DP <sup>g</sup> |
| BA      | 30,9                                     | < 0,1           | 0,5              | < 0,1           | 4,22                       | 0,4              | < 0,1           | 67                       | 8               |
| BA250   | 0,0                                      | < 0,1           | 0,5              | < 0,1           | 3,82                       | 0,4              | < 0,1           | 65                       | 5               |
| BA300   | 4,2                                      | < 0,1           | 0,9              | < 0,1           | 3,33                       | 0,7              | < 0,1           | 72                       | 1               |
| BA350   | 0,0                                      | < 0,1           | 1,0              | < 0,1           | 3,25                       | 0,7              | < 0,1           | 72                       | 2               |
| BA400   | 0,0                                      | < 0,1           | 0,9              | < 0,1           | 3,54                       | 0,2              | < 0,1           | 66                       | 3               |
| BA450   | 0,0                                      | < 0,1           | 1,1              | < 0,1           | 3,48                       | 0,5              | < 0,1           | 72                       | 7               |
| BA500   | 15,5                                     | < 0,1           | 0,8              | < 0,1           | 3,63                       | 0,2              | < 0,1           | 68                       | 6               |

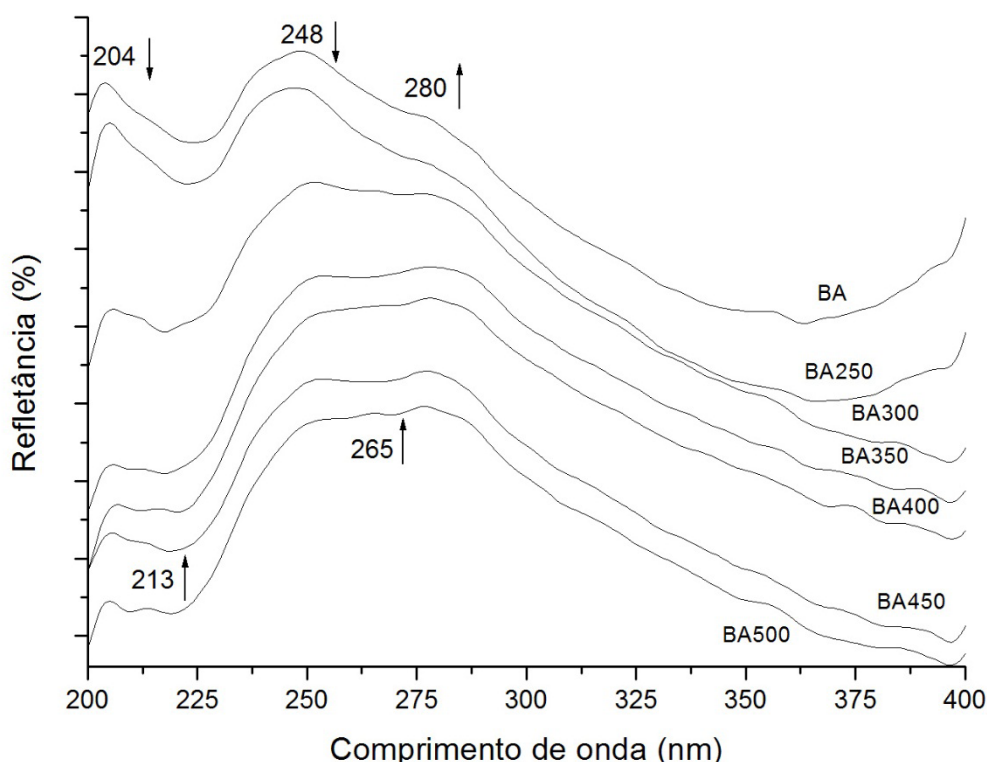
Nota: a Há significância entre as amostras pelo teste ANOVA (valor-P < 0,05 %); b Massa de íons Cu (II) removida por grama das amostras de BA, BA250, BA300, BA350, BA400, BA450 e BA500; c Produção relativa de espuma média para *Saccharomyces cerevisiae* em meios de cultura contendo 103 ppm de BA, BA250, BA300, BA350, BA400, BA450 e BA500; d Energia de Band Gap média de BA, BA250, BA300, BA350, BA400, BA450 e BA500; e Taxa de germinação relativa média de *Eruca sativa* ao 8o dia de cultivo em substratos contendo 33,3 g kg<sup>-1</sup> de BA, BA250, BA300, BA350, BA400, BA450 e BA500, onde 1,0 corresponde a 100 %; f Altura média das plantas de *Eruca sativa* ao 8o dia de cultivo em substratos contendo 33,3 g kg<sup>-1</sup> de BA, BA250, BA300, BA350, BA400, BA450 e BA500; g Desvio padrão.

A amostra BA300 (Figura 1), possui a maior banda de reflectância em 248 nm, estando associada à maior taxa de germinação para BA300 e às maiores alturas das plantas no 8º dia (Tabela 1) quando comparada às amostras BA, BA250, BA350, BA400, BA450 e BA500. As auxinas são reguladores de crescimento (FRANKENBERGER; BRUNNER, 1983) de plantas. Os hormônios vegetais do grupo das auxinas como, o ácido indol-3-acético – que atua como agente antifúngico ((CHITRA et al., 2017) e bactericida (CERBONESCHI et al., 2016) –, o ácido 4-cloroindolil-3-acético (MARUMO et al., 1971), o ácido fenilacético (AMOMBO NOA; JACOBS, 2017) e o ácido indolil-3-butírico (COUSSON, 2010), são detectados por espectroscopia de UV em 252 nm (FRANKENBERGER; BRUNNER, 1983).

### Tratamento hidrotérmico na presença de íons Mg (II)

A presença de íons do metal potássio no processo de pirólise aumenta o rendimento em massa de carvão (TRENDEWICZ et al., 2015) e a presença de íons Mg (II) pela adição de MgCl<sub>2</sub> aumenta a fração de bio-óleo (WAN et al., 2009). O magnésio apresenta afinidade química com a biomassa uma vez que o magnésio está presente na composição natural das plantas, (ABDULLAH et al., 2017) sendo o átomo central da molécula de clorofila (SHAUL, 2002). Após o tratamento hidrotérmico da biomassa na presença de íons Mg (II) (Tabela 2), observa-se que a amostra BAMg500: a) apresenta maior capacidade de remoção de íons cobre II devido à elevada área superficial gerada em pirólises na presença de Magnésio (THINES et al., 2017); b) está associada a um menor *Band Gap*, uma vez que compostos orgânicos em presença de magnésio apresentam resposta espectroscópica da região do UV (EZZAYANI et al., 2017); e c) está relacionada a uma das maiores taxas de germinação para *Eruca sativa* ao 8º dia. O levoglucosano é um dos produtos da pirólise da madeira em temperaturas acima de 300 °C (YOU et al., 2016), sendo gerado em maior quantidade a 500 °C (KABIR; HAMEED, 2017). O levoglucosano está associado ao aumento da germinação (REYES et al., 2015) e ao crescimento

**Figura 1 – Espectros de refletância difusa (DRUV) das amostras BA, BA250, BA300, BA350, BA400, BA450 e BA500.**



de plantas (NIEVA LOBOS et al., 2016). As amostras de BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450 e BAMg500 apresentam bandas de reflectância na região de 202 e 245 nm (Figura 2) características de transições eletrônicas de compostos que contém o metal magnésio (COSTA et al., 2012; KANTAM et al., 2005; MINEMOTO et al., 2000).

A amostra BAMg300 apresenta a menor capacidade para a remoção dos íons cobre (II) (Tabela 2) estando associada à maior altura das plantas de *Eruca sativa*. Há maior quantidade de nitrogênio total na biomassa pirolisada em temperaturas menores (SHINOGI; KANRI, 2003), o que pode estar associado às maiores alturas das plantas.

A menor taxa de germinação de *Eruca sativa* na presença de BAMg400 (Tabela 2) está associada a uma das maiores taxas de produção relativa de espuma em culturas de *Saccharomyces cerevisiae*, o que sugere uma menor disponibilização de íons metálicos para o meio contendo BAMg400, uma vez que culturas de *Saccharomyces cerevisiae* apresentam toxicidade a íons metálicos (GAO et al., 2017; PANKIEWICZ et al., 2017). O processo de produção do carvão BAMg400 a 400 °C ocorre na presença de 8 mmol de Mg (II) por grama de biomassa moída, o que pode favorecer a formação de óxidos de magnésio durante o tratamento térmico (HWANG et al., 2015), sendo que os compostos de magnésio são capazes de remover íons de metais pesados (LI et al., 2011).

É possível verificar que o substrato contendo 33,3 g kg<sup>-1</sup> BAMg350 (Tabela 2) apresenta as menores alturas das plantas de *Eruca sativa* o que está associado a uma das maiores produções de espuma para *Saccharomyces cerevisiae*, e a uma das maiores taxas de germinação de *Eruca sativa* (Tabela 2). A maior produção da enzima fosfatase, uma enzima presente nos organismos

**Tabela 2. Parâmetros avaliados para os materiais BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450, BAMg500.**

| Amostra | Parâmetros <sup>a</sup>                     |                 |                  |                 |                                  |                  |                 |                             |                 |
|---------|---|-----------------|------------------|-----------------|----------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|
|         | Cobre<br>(mg g <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup> | DP <sup>g</sup> | ESP <sup>c</sup> | DP <sup>g</sup> | Band<br>Gap<br>(eV) <sup>d</sup> | TGR <sup>e</sup> | DP <sup>g</sup> | Altura<br>(mm) <sup>f</sup> | DP <sup>g</sup> |
| BAMg250 | 5,1   | < 0,1           | 2,3              | < 0,1           | 3,69                             | 0,2              | < 0,1           | 21                          | 8               |
| BAMg300 | 0,0   | < 0,1           | 0,2              | < 0,1           | 3,53                             | 0,2              | < 0,1           | 25                          | 2               |
| BAMg350 | 31,4  | < 0,1           | 1,1              | < 0,1           | 3,50                             | 0,4              | < 0,1           | 7                           | 4               |
| BAMg400 | 31,3  | < 0,1           | 0,6              | < 0,1           | 3,52                             | 0,1              | < 0,1           | 11                          | 1               |
| BAMg450 | 28,7  | < 0,1           | 0,4              | < 0,1           | 3,54                             | 0,3              | < 0,1           | 20                          | 20              |
| BAMg500 | 45,2  | < 0,1           | 0,3              | < 0,1           | 3,33                             | 0,4              | < 0,1           | 9                           | 1               |

Nota: <sup>a</sup> Há significância entre as amostras pelo teste ANOVA (valor-P < 0,05%); <sup>b</sup> Massa de íons Cu (II) removida por grama das amostras de BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450, BAMg500; <sup>c</sup> Produção relativa de espuma de *Saccharomyces cerevisiae* em meios de cultura contendo 10<sup>3</sup> ppm de BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450, BAMg500; <sup>d</sup> Energia de Band Gap de BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450, BAMg500; <sup>e</sup> Taxa de germinação relativa média de *Eruca sativa* ao 8º dia de cultivo em substratos contendo 33,3 g kg<sup>-1</sup> de BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450, BAMg500, onde 1 corresponde a 100 %; <sup>f</sup> Altura das plantas de *Eruca sativa* ao 8º dia de cultivo em substratos contendo 33,3 g kg<sup>-1</sup> de BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450, BAMg500; <sup>g</sup> Desvio padrão.

de *Saccharomyces cerevisiae* está associada à maior disponibilidade de Mg (II) no meio (HAN et al., 2006), podendo ser essa a justificativa para as maiores produções de espuma de *S. cerevisiae* na presença da amostra BAMg350.

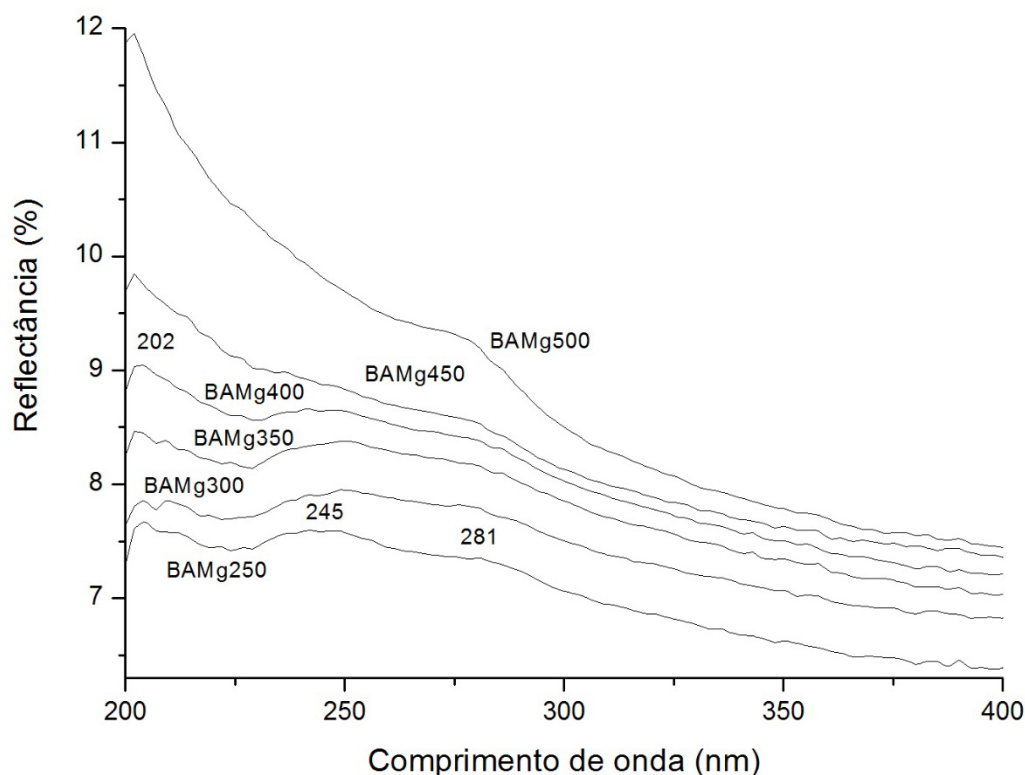
O desenvolvimento de *Eruca sativa* em meios de cultura contendo 33,3 g kg<sup>-1</sup> dos substratos de BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450 e BAMg500 indica que esses substratos apresentam potencial para serem aplicados em solos para melhorar sua fertilidade. O uso da engenharia metabólica de *Saccharomyces cerevisiae* apresenta potencialidades para remover estrôncio (QIU et al., 2017), biossorver radionuclídeos (ZHENG et al., 2017), biosorção-dessorção de Pb(II) (XIN et al., 2017), consumo de xilose em meio anaeróbio (TANI et al., 2017), produção da enzima invertase (CHAND BHALLA et al., 2017), produção de bioetanol (EBRAHIMI et al., 2017; LEE et al., 2017), de biocombustíveis (CHENG et al., 2017), síntese do protopanaxadiol que é um composto ativo do *Panax ginseng* (ZHAO et al., 2017), produção de ácido fumárico (XU et al., 2017), proteínas biofarmacêuticas (WANG et al., 2017), de isopreno (WANG et al., 2017), podendo ser imobilizado na superfície de esteiras de nanofibras à base de (poli ε-caprolactona)/quitosana/rectorita terciária (XIN et al., 2017). O desenvolvimento de *Saccharomyces cerevisiae* em meios de cultura contendo 10<sup>3</sup> ppm dos substratos BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450 e BAMg500 demonstra a potencialidade do uso desses materiais para aumentar a eficiência microbiana do solo.

## Conclusões

Quanto aos materiais tratados hidrotermicamente na ausência de íons Mg (II), a amostra BA300, apresenta maior capacidade para interagir com íons cobre (II), tendo uma das menores toxicidades para o modelo eucariota *Saccharomyces cerevisiae*, além de promover maiores taxas de germinação e crescimento inicial de *Eruca sativa*. Esses resultados sugerem que o material tratado hidrotermicamente a 300 °C (BA300) é promissor no desenvolvimento de condicionadores de solos para *Eruca sativa*. Os resultados obtidos por DRUV mostram que as maiores taxas



**Figura 2 – Espectros de refletância difusa (DRUV) das amostras BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450 e BAMg500.**



de germinação e os maiores crescimentos iniciais de *Eruca sativa* estão associados às maiores bandas de refletâncias em 248 nm dos materiais adicionados aos substratos. Nosso grupo de pesquisa investiga o comportamento do tratamento hidrotérmico de carvões enriquecidos e suas implicações em modelos biológicos.

Dentre os materiais tratados hidrotérmicamente na presença de íons Mg (II), a amostra BAMg300 apresenta a menor capacidade de remoção de íons cobre (II) e a menor produção relativa de espuma de *Saccharomyces cerevisiae*. Substratos contendo BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450 e BAMg500 apresentam potencial para melhorar a fertilidade do solo. O desenvolvimento de *Saccharomyces cerevisiae* em meios de cultura contendo os substratos BAMg250, BAMg300, BAMg350, BAMg400, BAMg450 e BAMg500 demonstram a potencialidade desses carvões para promover o desenvolvimento de microorganismos no solo.

## Referências

Abdullah SHYS, Hanapi NHM, Azid A, Umar R, Juahir H, Khatoon H; Endut A A review of biomass-derived heterogeneous catalyst for a sustainable biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 70, p.1040-1051, 2017.

Acros organics MATERIAL SAFETY DATA SHEET - Copper (II) chloride, anhydrous. n. Disponível em: <<https://www.ch.ntu.edu.tw/~genchem99/msds/exp22/CuCl2.pdf>>. Acessado em: 31 de março de 2017, 2007.

Akhuli B, Ghosh TK; Ghosh P Effect of coordinating (-CN) vs. non-coordinating (-F) substituents in 3-pyridyl urea receptors toward second sphere sulfate recognition: selective crystallisation of CuSO<sub>4</sub> from mixtures of competing anions/cations. **CrystEngComm**, n. 15, p.9472-9482, 2013.

Amombo Noa FM; Jacobs A Phenylacetic acid co-crystals with acridine, caffeine, isonicotinamide and nicotinamide: Crystal structures, thermal analysis, FTIR spectroscopy and Hirshfeld surface analysis. **Journal of Molecular Structure**, n. 1139, p.60-66, 2017.

Azanu D, Mortey C, Darko G, Weisser JJ, Styrihave B; Abaidoo RC Uptake of antibiotics from irrigation water by plants. **Chemosphere**, n. 157, p.107-114, 2016.

Bennici S, Gervasini A; Ragaini V Preparation of highly dispersed CuO catalysts on oxide supports for de-NO<sub>x</sub> reactions. **Ultrasonics Sonochemistry**, n. 10, p.61-64, 2003.

Braconi D, Bernardini G; Santucci A *Saccharomyces cerevisiae* as a model in ecotoxicological studies: A post-genomics perspective. **Journal of Proteomics**, n. 137, p.19-34, 2016.

Brennan BJ, Kenney MJ, Liddell PA, Cherry BR, Li J, Moore AL, Moore TA; Gust D Oxidative coupling of porphyrins using copper (II) salts. **Chemical Communications**, n. 47, p.10034-10036, 2011.

Cabras P, Spanedda L, Pellecchia M; Gennari M High-performance liquid chromatographic determination of the herbicide terbutylazine and its dealkylated metabolites in soil. **Journal of Chromatography A**, n. 472, p.411-415, 1989.

Çabuk A, Akar T, Tunali S; Gedikli S Biosorption of Pb (II) by industrial strain of *Saccharomyces cerevisiae* immobilized on the biomatrix of cone biomass of *Pinus nigra*: Equilibrium and mechanism analysis. **Chemical Engineering Journal**, n. 131, p.293-300, 2007.

Cerboneschi M, Decorosi F, Biancalani C, Ortenzi MV, Macconi S, Giovannetti L, Viti C, Campanella B, Onor M, Bramanti E; Tegli S Indole-3-acetic acid in plant-pathogen interactions: a key molecule for in planta bacterial virulence and fitness. **Research in Microbiology**, n. 167, p.774-787, 2016.

Chand Bhalla T, Bansuli, Thakur N, Savitri; Thakur N Invertase of *Saccharomyces cerevisiae* SAA-612: Production, characterization and application in synthesis of fructo-oligosaccharides. **LWT - Food Science and Technology**, n. 77, p.178-185, 2017.

Chen C; Wang J Uranium removal by novel graphene oxide-immobilized *Saccharomyces cerevisiae* gel beads. **Journal of Environmental Radioactivity**, n. 162-163, p.134-145, 2016.

Cheng C, Zhang M, Xue C, Bai F; Zhao X Development of stress tolerant *Saccharomyces cerevisiae* strains by metabolic engineering: New aspects from cell flocculation and zinc supplementation. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, n. 123, p.141-146, 2017.

Chitra G, Franklin DS, Sudarsan S, Sakthivel M; Guhanathan S Indole-3-acetic acid/diol based pH-sensitive biological macromolecule for antibacterial, antifungal and antioxidant applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, n. 95, p.363-375, 2017.

Costa VV, Estrada M, Demidova Y, Prosvirin I, Kriventsov V, Cotta RF, Fuentes S, Simakov A; Gusevskaya EV Gold nanoparticles supported on magnesium oxide as catalysts for the aerobic oxidation of alcohols under alkali-free conditions. **Journal of Catalysis**, n. 292, p.148-156, 2012.

Cousson A Indolyl-3-butyric acid-induced Arabidopsis stomatal opening mediated by 3',5'-cyclic guanosine-monophosphate. **Plant Physiology and Biochemistry**, n. 48, p.977-986, 2010.

Cunha JRB, Santos FCPD, Assis FGDVD; Leal PL Cultivo de *Penicillium* spp. em resíduos da colheita de soja para produção de celulase, protease e amilase. **Revista Ceres**, n. 63, p.597-604, 2016.

Ebraheem S; El-Saied A Band gap determination from diffuse reflectance measurements of irradiated lead borate glass system doped with TiO<sub>2</sub> by using diffuse reflectance technique. **Materials Sciences and Applications**, n. 4, p.324-329, 2013.

Ebrahimi M, Caparanga AR, Ordone EE, Villaflores OB; Pouriman M Effect of ammonium carbonate pretreatment on the enzymatic digestibility, structural characteristics of rice husk and bioethanol production via simultaneous saccharification and fermentation process with *Saccharomyces cerevisiae* Hansen 2055. **Industrial Crops and Products**, n. 101, p.84-91, 2017.

Ezzayani K, Ben Khelifa A, Saint-Aman E, Loiseau F; Nasri H Complex of hexamethylenetetramine with magnesium-tetraphenylporphyrin: Synthesis, structure, spectroscopic characterizations and electrochemical properties. **Journal of Molecular Structure**, n. 1137, p.412-418, 2017.

Fabbris EZ; Nicolini KP Detecção de progesterona em tecidos vegetais de *Lactuca sp.* por espectroscopia de UV. **Revista Mundi Saúde e Biológicas**, n. 1, p.8, 2016.

Fabbro MT, Foggi CC, Santos LPS, Gracia L, Perrin A, Perrin C, Vergani CE, Machado AL, Andres J, Cordoncillo E; Longo E Synthesis, antifungal evaluation and optical properties of silver molybdate microcrystals in different solvents: a combined experimental and theoretical study. **Dalton Transactions**, n. 45, p.10736-10743, 2016.

Feigenbrugel V, Loew C, Calvé SL; Mirabel P Near-UV molar absorptivities of acetone, alachlor, metolachlor, diazinon and dichlorvos in aqueous solution. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, n. 174, p.76-81, 2005.

Frankenberger WT; Brunner W Method of Detection of Auxin-Indole-3-Acetic Acid in Soils by High Performance Liquid Chromatography1. **Soil Science Society of America Journal**, n. 47, p.237-241, 1983.

Frei RW; Nomura NS A comparison of new techniques for the detection and quantitative determination of triazine herbicides separated by thin-layer chromatography. **Microchimica Acta**, n. 56, p.565-573, 1968.

Gao G, Fang D, Yu Y, Wu L, Wang Y; Zhi J A double-mediator based whole cell electrochemical biosensor for acute biotoxicity assessment of wastewater. **Talanta**, n. 167, p.208-216, 2017.

Gavriliu S, Lungu M, Gavriliu LC, Grigore F; Groza C Antimicrobial colloidal suspensions of silver-titania. **The Open Chemical and Biomedical Methods Journal**, n. 2, p.77-85, 2009.

Girelli GC, Cordeiro ME, Nicolini J; Nicolini KP Reflectance and ultraviolet spectroscopy: predicting the relative growth of *Saccharomyces cerevisiae* in pine biomass. **Spectroscopy Letters**, n. 52, p.1-7, 2019.

Guimarães AR, Cordeiro ME, Nicolini J; Nicolini KP Use of ultrasound to modify the pyrolyzed biomass of *Pinus* spp. and the implications for biological models. **Information Processing in Agriculture**, n. 5, p.199-204, 2018.

Han G-S, Wu W-I; Carman GM The *Saccharomyces cerevisiae* Lipin homolog is a Mg<sup>2+</sup>-dependent phosphatidate phosphatase enzyme. **Journal of Biological Chemistry**, n. 281, p.9210-9218, 2006.

Hashem HA, Hassanein RA, El-Deep MH; Shouman AI Irrigation with industrial wastewater activates antioxidant system and osmoprotectant accumulation in lettuce, turnip and tomato plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, n. 95, p.144-152, 2013.

Hatami M, Kariman K; Ghorbanpour M Engineered nanomaterial-mediated changes in the metabolism of terrestrial plants. **Science of The Total Environment**, n. 571, p.275-291, 2016.

Hosoi BMU, Ramos EKKD, Nicolini J; Nicolini KP Uso de indicadores biológicos na avaliação de materiais pirolisados em baixas temperaturas. **In: XXIII Encontro de Química da Região Sul, Santa Maria - RS**, n. -, p.26, 2016.

Huang C-P, Huang C-P; Morehart AL The removal of Cu(II) from dilute aqueous solutions by *Saccharomyces cerevisiae*. **Water Research**, n. 24, p.433-439, 1990.

Huang H-J; Yuan X-Z The migration and transformation behaviors of heavy metals during the hydrothermal treatment of sewage sludge. **Bioresource Technology**, n. 200, p.991-998, 2016.

Hwang H, Oh S, Choi I-G; Choi JW Catalytic effects of magnesium on the characteristics of fast pyrolysis products – Bio-oil, bio-char, and non-condensed pyrolytic gas fractions. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, n. 113, p.27-34, 2015.

Jilani H, Cilla A, Barberá R; Hamdi M Improved bioaccessibility and antioxidant capacity of olive leaf (*Olea europaea* L.) polyphenols through biosorption on *Saccharomyces cerevisiae*. **Industrial Crops and Products**, n. 84, p.131-138, 2016.

Kabir G; Hameed BH Recent progress on catalytic pyrolysis of lignocellulosic biomass to high-grade bio-oil and bio-chemicals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 70, p.945-967, 2017.

Kanhere P; Chen Z A Review on Visible Light Active Perovskite-Based Photocatalysts. **Molecules**, n. 19, p.19995-20022, 2014.

Kantam LM, Roy S, Roy M, Sreedhar B; Choudary B Nanocrystalline Magnesium Oxide-Stabilized Palladium (0): An Efficient and Reusable Catalyst for Suzuki and Stille Cross-Coupling of Aryl Halides. **Advanced Synthesis & Catalysis**, n. 347, p.2002-2008, 2005.

Kethireddy V, Oey I, Jowett T; 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**, n. 233, p.73-80, 2016.

Kovačić N, Prosen H; Zupančič-Kralj L Determination of triazines and atrazine metabolites in soil by microwave-assisted solvent extraction and high-pressure liquid chromatography with photo-diode-array detection. **Acta Chim. Slov**, n. 51, p.395-407, 2004.

Lakshmana Rao J, Sivaramaiah G; Gopal NO EPR and optical absorption spectral studies of Cu<sup>2+</sup> ions doped in alkali lead tetraborate glasses. **Physica B: Condensed Matter**, n. 349, p.206-213, 2004.

Lee W-S, Chen IC, Chang C-H; Yang S-S Bioethanol production from sweet potato by co-immobilization of saccharolytic molds and *Saccharomyces cerevisiae*. **Renewable Energy**, n. 39, p.216-222, 2012.

Lee Y-G, Jin Y-S, Cha Y-L; Seo J-H Bioethanol production from cellulosic hydrolysates by engineered industrial *Saccharomyces cerevisiae*. **Bioresource Technology**, n. 228, p.355-361, 2017.

Li J, Zhang Y, Cai W; Shao X Simultaneous determination of mercury, lead and cadmium ions in water using near-infrared spectroscopy with preconcentration by thiol-functionalized magnesium phyllosilicate clay. **Talanta**, n. 84, p.679-683, 2011.

Liu Y, Zhou Q, Li J, Lei M; Yan X Selective and sensitive chemosensor for lead ions using fluorescent carbon dots prepared from chocolate by one-step hydrothermal method. **Sensors and Actuators B: Chemical**, n. 237, p.597-604, 2016.

Liu Z, Zhang F-S; Wu J Characterization and application of chars produced from

pinewood pyrolysis and hydrothermal treatment. **Fuel**, n. 89, p.510-514, 2010.

Machonkin TE, Quintanar L, Palmer AE, Hassett R, Severance S, Kosman DJ; Solomon EI Spectroscopy and Reactivity of the Type 1 Copper Site in Fet3p from *Saccharomyces cerevisiae*: Correlation of Structure with Reactivity in the Multicopper Oxidases. **Journal of the American Chemical Society**, n. 123, p.5507-5517, 2001.

Marumo S, Hattori H; Abe H Chromatography of a new natural auxin, 4-chloroindolyl-3-acetic acid and related chloro derivatives. **Analytical Biochemistry**, n. 40, p.488-490, 1971.

Minemoto T, Negami T, Nishiwaki S, Takakura H; Hamakawa Y Preparation of  $Zn_{1-x}Mg_xO$  films by radio frequency magnetron sputtering. **Thin Solid Films**, n. 372, p.173-176, 2000.

Mir H, Ahangar AG; Mir N Superior Performance of Dye-Sensitized versus Conventional  $TiO_2$  Nanoparticles for Promoting Germination and early Growth of Barley: From Photovoltaic to Biotechnological Application. **Journal of Nano Research**, n. 35, p.77-91, 2016.

Mishra A, Sharma AK, Sharma S, Bagai R, Mathur AS, Gupta RP; Tuli DK Lignocellulosic ethanol production employing immobilized *Saccharomyces cerevisiae* in packed bed reactor. **Renewable Energy**, n. 98, p.57-63, 2016.

Monicka JC; James C DFT-assisted spectroscopic characterization of pyrazosulfuron-ethyl: FT-Raman, FTIR and UV-vis studies of a sulfonyl urea herbicide. **Journal of Molecular Structure**, n. 1075, p.335-344, 2014.

Naumov P, Jovanovski G, Drew MGB; Ng SW Outer-sphere coordination, N-coordination and O-coordination of the deprotonated saccharin in copper(II) saccharinato complexes. Implications for the saccharinato carbonyl stretching frequency. **Inorganica Chimica Acta**, n. 314, p.154-162, 2001.

Ngatia LW, Hsieh YP, Nemours D, Fu R; Taylor RW Potential phosphorus eutrophication mitigation strategy: Biochar carbon composition, thermal stability and pH influence phosphorus sorption. **Chemosphere**, n. 180, p.201-211, 2017.

Nieva Lobos ML, Campitelli P, Volpe MA; Moyano EL Catalytic and non-catalytic pyrolysis of Kraft pulp waste into anhydrosugars containing bio-oils and non-phytotoxic biochars. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, n. 122, p.216-223, 2016.

Oguntimehin I, Kondo H; Sakugawa H The use of Sunpatiens (*Impatiens* spp.) as a bioindicator of some simulated air pollutants - Using an ornamental plant as bioindicator. **Chemosphere**, n. 81, p.273-281, 2010.

Pankiewicz U, Sujka M, Kowalski R, Mazurek A, Włodarczyk-Stasiak M; Jamroz J Effect of pulsed electric fields (PEF) on accumulation of selenium and zinc ions in *Saccharomyces cerevisiae* cells. **Food Chemistry**, n. 221, p.1361-1370, 2017.

Pellera F-M, Giannis A, Kalderis D, Anastasiadou K, Stegmann R, Wang J-Y; Gidaracos E Adsorption of Cu (II) ions from aqueous solutions on biochars prepared from agricultural by-products. **Journal of Environmental Management**, n. 96, p.35-42, 2012.

Phillips DP, Human LRD; Adams JB Wetland plants as indicators of heavy metal contamination. **Marine Pollution Bulletin**, n. 92, p.227-232, 2015.

Qing X-D, Wu H-L, Li Y-N, Nie C-C, Wang J-Y, Zhu S-H; Yu R-Q Simultaneous determination of pre-emergence herbicides in environmental samples using HPLC-DAD combined with second-order calibration based on self-weighted alternating trilinear decomposition algorithm. **Analytical Methods**, n. 4, p.685-692, 2012.

Qiu L, Feng J, Dai Y; Chang S Biosorption of the strontium ion by irradiated *Saccharomyces cerevisiae* under culture conditions. **Journal of Environmental Radioactivity**, n. 172, p.52-62, 2017.

Regmi P, Garcia Moscoso JL, Kumar S, Cao X, Mao J; Schafran G Removal of copper and cadmium from aqueous solution using switchgrass biochar produced via hydrothermal carbonization process. **Journal of Environmental Management**, n. 109, p.61-69, 2012.

Reis VR, Antonangelo ATBF, Bassi APG, Colombi D; Ceccato-Antonini SR Bioethanol strains of *Saccharomyces cerevisiae* characterised by microsatellite and stress resistance. **Brazilian Journal of Microbiology**, n. 48, p.268-274, 2017.

Reyes O, Kaal J, Arán D, Gago R, Bernal J, García-Duro J; Basanta M The effects of ash and black carbon (biochar) on germination of different tree species. **Fire Ecology**, n. 11, p.119-133, 2015.

Riaz M, Roohi M, Arif MS, Hussain Q, Yasmeen T, Shahzad T, Shahzad SM, Muhammad HF, Arif M; Khalid M Corn-cob-derived biochar decelerates mineralization of native and added organic matter (AOM) in organic matter depleted alkaline soil. **Geoderma**, n. 294, p.19-28, 2017.

Sánchez-Rubio M, Taboada-Rodríguez A, Cava-Roda R, López-Gómez A; Marín-Iniesta F 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**, n. 73, p.140-146, 2016.

Schmidt D, Gabriel VJ, Caron BO, Souza VQ, Boscaini R, Pinheiro RR; Cocco C Hydroponic rocket salad growth and production according to different color profiles. **Horticultura Brasileira**, n. 35, p.111-118, 2017.

Servetas I, Berbegal C, Camacho N, Bekatorou A, Ferrer S, Nigam P, Drouza C; Koutinas AA *Saccharomyces cerevisiae* and *Oenococcus oeni* immobilized in different layers of a cellulose/starch gel composite for simultaneous alcoholic and malolactic wine fermentations. **Process Biochemistry**, n. 48, p.1279-1284, 2013.

Shaul O Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. **Biometals**, n. 15, p.307-321, 2002.

Shinogi Y; Kanri Y Pyrolysis of plant, animal and human waste: physical and chemical characterization of the pyrolytic products. **Bioresource Technology**, n. 90, p.241-247, 2003.

Sigma-Aldrich Óxido de cobre (II). **Ficha de informações de segurança de produtos químicos**, n.(-), 2014a

Sigma-Aldrich Sulfato de cobre (II) pentahidratado. **Ficha de informações de segurança de produtos químicos**, n.(-), 2014b.

Sládkovičová M, Smrčok L, Mach P, Tunega D; Ramirez-Cuesta AJ Inelastic neutron scattering and DFT study of 1,6-anhydro- $\beta$ -d-glucopyranose (levoglucosan). **Journal of Molecular Structure**, n. 874, p.108-120, 2008.

Tan Z, Lin CSK, Ji X; Rainey TJ Returning biochar to fields: A review. **Applied Soil Ecology**, n. 116, p.1-11, 2017.

Tani T, Taguchi H; Akamatsu T Analysis of metabolisms and transports of xylitol using xylose- and xylitol-assimilating *Saccharomyces cerevisiae*. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, n. 123, p.613-620, 2017.

Thines KR, Abdullah EC, Mubarak NM; Ruthiraan M Synthesis of magnetic biochar from agricultural waste biomass to enhancing route for waste water and polymer application: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 67, p.257-276, 2017.

Tobe K, Li X; Omasa K Effects of sodium, magnesium and calcium salts on seed germination and radicle survival of a halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae). **Australian Journal of Botany**, n. 50, p.163-169, 2002.

Trendewicz A, Evans R, Dutta A, Sykes R, Carpenter D; Braun R Evaluating the effect of potassium on cellulose pyrolysis reaction kinetics. **Biomass and Bioenergy**, n. 74, p.15-25, 2015.

Vučurović VM; Razmovski RN Sugar beet pulp as support for *Saccharomyces cerevisiae* immobilization in bioethanol production. **Industrial Crops and Products**, n. 39, p.128-134, 2012.

Wan Y, Chen P, Zhang B, Yang C, Liu Y, Lin X; Ruan R Microwave-assisted pyrolysis of biomass: Catalysts to improve product selectivity. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, n. 86, p.161-167, 2009.

Wang F, Lv X, Xie W, Zhou P, Zhu Y, Yao Z, Yang C, Yang X, Ye L; Yu H Combining Gal4p-mediated expression enhancement and directed evolution of isoprene synthase to



improve isoprene production in *Saccharomyces cerevisiae*. **Metabolic Engineering**, n. 39, p.257-266, 2017.

Wang G, Huang M; Nielsen J Exploring the potential of *Saccharomyces cerevisiae* for biopharmaceutical protein production. **Current Opinion in Biotechnology**, n. 48, p.77-84, 2017.

Woldetsadik D, Drechsel P, Keraita B, Itanna F, Erko B; Gebrekidan H Microbiological quality of lettuce (*Lactuca sativa*) irrigated with wastewater in Addis Ababa, Ethiopia and effect of green salads washing methods. **International Journal of Food Contamination**, n. 4, p.3, 2017.

Xiao Z, Loughlin F, George GN, Howlett GJ; Wedd AG C-Terminal Domain of the Membrane Copper Transporter Ctr1 from *Saccharomyces cerevisiae* Binds Four Cu(I) Ions as a Cuprous-Thiolate Polynuclear Cluster: Sub-femtomolar Cu(I) Affinity of Three Proteins Involved in Copper Trafficking. **Journal of the American Chemical Society**, n. 126, p.3081-3090, 2004.

Xin S, Zeng Z, Zhou X, Luo W, Shi X, Wang Q, Deng H; Du Y Recyclable *Saccharomyces cerevisiae* loaded nanofibrous mats with sandwich structure constructing via bio-electrospraying for heavy metal removal. **Journal of Hazardous Materials**, n. 324, Part B, p.365-372, 2017.

Xu G, Wu M; Jiang L Site-saturation engineering of proline 474 in pyruvate carboxylase from *Rhizopus oryzae* to elevate fumaric acid production in engineered *Saccharomyces cerevisiae* cells. **Biochemical Engineering Journal**, n. 117, Part B, p.36-42, 2017.

Yin Y, Wang J, Yang X; Li W Removal of Strontium Ions by Immobilized *Saccharomyces Cerevisiae* in Magnetic Chitosan Microspheres. **Nuclear Engineering and Technology**, n. 49, p.172-177, 2017.

You C, Xu C, Xu B, Zhao H; Song L Levoglucosan evidence for biomass burning records over Tibetan glaciers. **Environmental Pollution**, n. 216, p.173-181, 2016.

Zanquetti A, Finkler AC, Hosoi BMU, Nicolini J; Nicolini KP Influência do tratamento hidrotérmico na energia de *band gap* de carvões de *Eucalyptus* spp. **Revista Thema**, n. 15, p.9, 2018.

Zhang D, Liu P, Lu X, Wang L; Pan T Upgrading of low rank coal by hydrothermal treatment: Coal tar yield during pyrolysis. **Fuel Processing Technology**, n. 141, Part 1, p.117-122, 2016.

Zhao F, Du Y, Bai P, Liu J, Lu W; Yuan Y Enhancing *Saccharomyces cerevisiae* reactive oxygen species and ethanol stress tolerance for high-level production of protopanaxadiol. **Bioresource Technology**, n. 227, p.308-316, 2017.

Zheng X-Y, Wang X-Y, Shen Y-H, Lu X; Wang T-S Biosorption and biomineralization of uranium(VI) by *Saccharomyces cerevisiae*—Crystal formation of chernikovite. **Chemosphere**, n. 175, p.161-169, 2017.

Zhou Z-D, Li G-Y; Li Y-J Immobilization of *Saccharomyces cerevisiae* alcohol dehydrogenase on hybrid alginate–chitosan beads. **International Journal of Biological Macromolecules**, n. 47, p.21-26, 2010.

Zhu X, Chen B, Zhu L; Xing B Effects and mechanisms of biochar-microbe interactions in soil improvement and pollution remediation: A review. **Environmental Pollution**, n. 227, p.98-115, 2017.