**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Aplicação da eletrocoagulação na purificação e clarificação do
caldo de cana-de-açúcar**

Felipe Iwagaki Braga Ogando

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Microbiologia
Agrícola

**Piracicaba
2019**

Felipe Iwagaki Braga Ogando
Engenheiro Agrônomo

Aplicação da eletrocoagulação na purificação e clarificação do caldo de cana-de-açúcar

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **CLAUDIO LIMA DE AGUIAR**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Microbiologia
Agrícola

Piracicaba
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Ogando, Felipe Iwagaki Braga

Aplicação da eletrocoagulação na purificação e clarificação do caldo de cana-de-açúcar / Felipe Iwagaki Braga Ogando. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

137 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Eletrocoagulação com eletrodos de alumínio 2. Eletrocoagulação com eletrodos de ferro 3. Fabricação de açúcar cristal 4. Otimização de processo l.
Título

RESUMO

Aplicação da eletrocoagulação na purificação e clarificação do caldo de cana-de-açúcar

A cor é um atributo muito importante para a fabricação de açúcar uma vez que ela está relacionada diretamente a qualidade e valor do produto. Um dos gargalos da produção de açúcar no Brasil é a utilização de sulfito durante o processo de clarificação, tal técnica permite um residual de enxofre que limita a comercialização do açúcar branco para mercados importantes como o europeu. É criado então a necessidade de buscar processos alternativos de clarificação. A eletrocoagulação surge como um candidato devido seu sucesso no tratamento de muitos compostos orgânicos. O presente trabalho buscou avaliar a capacidade da eletrocoagulação na clarificação do caldo de cana-de-açúcar. O trabalho foi dividido em duas partes, num primeiro momento foi testado as variáveis que influenciam na performance da eletrocoagulação com eletrodos de alumínio. Foi utilizado um delineamento fatorial fracionado com a metodologia da superfície de resposta para avaliar a influência da tensão, pH, sólidos solúveis totais (Brix), temperatura e distância dos eletrodos no processo eletrocoagulativo. As respostas foram: turbidez, cor Icmsa, teor de sacarose aparente (pol%caldo) e açúcares redutores (AR). O residual de alumínio também foi analisado pela voltametria e pela espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS). Ainda para os eletrodos de alumínio foram avaliados a cor Icmsa, turbidez, concentração de compostos fenólicos e parâmetros de cor CIELAB através de cinéticas. O planejamento fatorial fracionado indicou que a eletrocoagulação com eletrodos de alumínio reduziu a cor e a turbidez, em especial a baixo pH (2,5), alta tensão (25 V) e mínima distância entre os eletrodos (1,0 cm). Todavia, nessas condições a sacarose foi degradada a AR. A concentração do alumínio residual após o tratamento foi elevado somando as três fases formadas, porém apenas 2% do alumínio ficou no caldo clarificado. O estudo cinético indicou que maiores tensões atingiram maiores reduções de cor Icmsa, turbidez e compostos fenólicos totais (embora sem impactar no conteúdo de compostos fenólicos simples). A colorimetria triestímulos apresentou alguns comportamentos que foram além das análises tecnológicas, incluindo que o tratamento com maior tensão 65 V) mudou a pigmentação do caldo de cana-de-açúcar e teve uma estabilização do croma. Num segundo momento foi avaliada a capacidade da eletrocoagulação com eletrodos de ferro e seu impacto na descontaminação microbiológica do caldo e fermentação. Também se objetivou avaliar a combinação da eletrocoagulação com a peroxidação e peroxi-oxidação. Foi executado um planejamento fatorial completo 2^3 . Os fatores avaliados foram: pH inicial, corrente aplicada e tempo de reação. As respostas foram açúcares redutores (AR) e turbidez. Nas condições ótimas (pH 4,9; 0,77 A e 29 min), houve diminuição da turbidez em 92%, sem grandes variações nos teores de AR. As condições otimizadas reduziu a carga microbiana do caldo de cana-de-açúcar, e não houve variação no processo fermentativo. A combinação da eletrocoagulação com a aplicação externa de peróxido de hidrogênio reduziu em mais de 80% a absorbância a 420 nm, porém sem impacto na turbidez e com aumento de AR de até 40%. As varreduras de absorbância indicaram que a eletrocoagulação e o peróxido atuaram

na redução de compostos fenólicos. Por fim, não foi possível otimizar a peroxi-eletrocoagulação devido a falta de eletrodos de qualidade.

Palavra-chave: Eletrocoagulação com eletrodos de alumínio, Eletrocoagulação com eletrodos de ferro, Fabricação de açúcar cristal, Otimização de processo

ABSTRACT

Electrocoagulation application in the purification and clarification of sugarcane juice

The color is an important attribute for the sugar manufacturing since it has correlation with the final product quality and value. One of the sugar manufacturing problems in Brazil is the use of sulfitation during clarification process; this technique allows for residual sulfur that limits the commercialization of Brazilian white crystal sugar to important market as European. Then there is a need to find alternative processes of clarification. Electrocoagulation emerges as an possibility due its success in the treatment of many organic compounds. This research aimed to evaluate the electrocoagulation capacity in the sugarcane juice clarification. The Thesis is divided in two parts, in the first moment it was tested the variables that influence in the electrocoagulation with aluminum electrodes. This work chapter evaluated the variables which influence the electrocoagulation with aluminium electrode performance on the sugarcane juice purification. A fractional factorial design with the surface response methodology was used to evaluate the influence of voltage, pH, soluble solids total (Brix), temperature and distance between the electrodes in the electrocoagulation process. The outputs were turbidity, Icumsa color, content of sucrose (as pol%juice) and reducing sugars (RS). Residual aluminum was also analyzed by voltammetry and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). After that, it was evaluated Icumsa color, turbidity, phenolic compounds content and CIELAB color parameters by kinetics. The factorial design showed that electrocoagulation with aluminum electrodes reduced color and turbidity, in special at low pH (2.5), the highest voltage (25 V) and minimal distance of electrode (1.0 cm). Although in this condition sucrose was degraded to RS. The residual aluminum concentration in the three phases formed after the treatment was elevated, only 2% stayed in the clarified juice though. Then the kinetics presented that higher voltage treatments achieved greater reduction of Icumsa color, turbidity and total phenolic compounds (although it was not impacted simple phenolic content). Triestimulus colorimetry presented some pattern that went beyond from technological analysis, including that higher tension essay (65 V) changed the pigmentation of sugarcane juice and an early stabilization on chroma. In a second momento, it was evaluated sugarcane juice clarification by electrocoagulation with iron electrodes and their impact on microbial decontamination and fermentation. It was also aimed to evaluate the combination of electrocoagulation with peroxidation and peroxi-coagulation. It was executed a complete factorial design 23. The factors were initial pH, current and time. The outputs were turbidity reduction and reducing sugars (RS) concentration. In the optimal condition (pH 4.9; 0,77 A e 29 min), there were 92% turbidity reduction, without higher variation in RS content. The optimal condition were capable of microbial reduction from sugarcane juice too, there is no variation of fermentation. The combination of electrocoagulation with external application of hydrogen peroxide reduced more than 80 % of absorbance at 420 nm, however there were no impact on turbidity and the RS content increase up to 40%. The scanning showed electrocoagulation and H₂O₂ reduced phenolic compounds. Then, it was not possible optimize peroxi-electrocoagulation due the lack of quality electrodes..

Keywords: Electrocoagulation with aluminum electrode, Electrocoagulation with iron electrode, Sugar manufacturing, Process optimization

1. INTRODUÇÃO

A cor é um importante atributo no valor do açúcar cristal e, por isso, essa característica ganha especial atenção ao longo do tratamento. Existem quatro causadores de cor: pigmentos da cana-de-açúcar (por exemplo: clorofilas, xantofilas, carotenóides e antocianinas), melanoidinas, caramelos e produtos da degradação alcalina de frutose. Os três últimos são promovidos durante o processamento da cana-de-açúcar pelas usinas (DAVIS, 2001).

A sulfitação é a ferramenta mais utilizada nas refinarias brasileiras para decaimento da cor (REIN, 2007). Porém, existem sérios problemas relacionados ao processo de sulfitação. Normas de segurança alimentar, questões operacionais (segurança do trabalho e dificuldades de ajuste do processo), ambientais (poluição atmosférica e chuva ácida) e possibilidade de riscos à saúde humana limitam a utilização do sulfito como clarificante (MACHADO; TOLEDO, 2006). Dessa forma existem barreiras para a exportação do açúcar branco brasileiro, e consequentemente, o Brasil acaba exportando basicamente o açúcar *Very High Polarity*, conhecido como açúcar VHP e que possui baixo valor agregado (MORILLA; ALVES; AGUIAR, 2015).

Dentre os possíveis substitutos da sulfitação, a aplicação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) possui destaque devido ao alto potencial de oxidação 1,77 V, não necessitar de mudanças nos métodos tradicionais e por possuir condições ótimas de trabalho próximas das ambientais (SARTORI et al., 2015; MORALES et al., 2018). Existem duas formas de uso do peróxido de hidrogênio. Uma delas é a aplicação direta do H_2O_2 e a outra consiste na geração eletroquímica que combate as desvantagens do método convencional, como necessidade de transporte e armazenamento e utilização de altas temperatura e pressão (REIS et al., 2012). Para tornar o processo mais completo foi desenvolvido a peroxi-coagulação que combina o método eletroquímico de geração de H_2O_2 com utilização de íons de ferro como catalisadores e coagulantes (POZA-NOGUEIRAS et al., 2018).

A eletrocoagulação-eletroflotação também surge como alternativa para o processo de purificação do caldo. A técnica vem sendo aplicada no tratamento de água, águas residuárias e outros resíduos da indústria (como da extração de óleo). Essa metodologia consiste na geração *in-situ* de coagulantes a partir da aplicação de corrente elétrica no ânodo. Os coagulantes são capazes de neutralizar as

impurezas e sedimenta-las ou flotá-las (MOLLAH et al., 2001; TAK et al., 2015; GARCIA-SEGURA et al., 2017; YAVUZ; ÖGÜTVEREN, 2018).

Acredita-se que a eletrocoagulação e a sua combinação com a peroxidação possam ser utilizadas como alternativa para decaimento da cor em caldo de cana-de-açúcar. Dentro desse cenário, o presente trabalho possuiu como objetivo geral determinar a eficiência da eletrocoagulação no decaimento de cor e turbidez em caldo de cana-de-açúcar. Os objetivos específicos foram:

- (1) Estruturação do reator eletroquímico e definição das condições ótimas para as reações de eletrocoagulação testando eletrodos de alumínio e ferro;
- (2) Definição das condições experimentais ótimas para as reações eletroquímicas de clarificação combinando com a aplicação de peróxido de hidrogênio;
- (3) Avaliação e análise da eficiência dos processos na clarificação do caldo de cana-de-açúcar com foco na qualidade tecnológica;
- (4) Associar os efeitos dos processos à composição da cor do caldo de cana-de-açúcar;
- (5) Avaliar o impacto dos residuais de ferro da eletrocoagulação na descontaminação microbiana e fermentação

2. CONCLUSÃO

Independente do eletrodo testado, alumínio ou ferro, a eletrocoagulação foi eficiente na purificação do caldo de cana-de-çáúcar.

A eletrocoagulação com eletrodos de alumínio atingiu altos valores de remoção de turbidez e cor Icumsa. Ensaios com maiores tensões (75 V) diminuíram a turbidez em até 99,9% e a cor Icumsa em 70,4%. Todavia, utilizando o planejamento fatorial fracionado foi possível observar que altas tensões foram também responsáveis por degradação de sacarose e aumento de açúcares redutores. A remoção de cor Icumsa teve alta correlação com as concentrações de compostos fenólicos (coeficiente de Pearson acima de 0,8). Por fim, os eletrodos de alumínio apresentaram um residual do metal no caldo clarificado ($57,2 \text{ mg kg}^{-1}$), porém baixa proporção (1,9%) em relação as outras duas fases, o que garante o seu potencial de uso.

A eletrocoagulação com eletrodos de ferro em condições experimentais ótimas (pH 4,9, corrente de 0,773 A por 29 min) apresentaram capacidade de redução de 92% da turbidez, sem alteração significativa de AR. Em condições ótimas, o uso de eletrodos de ferro apresentaram capacidade de descontaminação de bactérias ($2,53 \times 10^4 \text{ UFC mL}^{-1}$ para menos de 10 UFC mL^{-1}) e fungos ($4,33 \times 10^4 \text{ UFC mL}^{-1}$ para $6 \times 10^1 \text{ UFC mL}^{-1}$), além de não influenciar negativamente a fermentação. A associação do processo com a peroxidação aumentou a capacidade de redução de cor (redução entre 87 e 89% da absorbância à 420 nm) porém apresentou forte redução de açúcares de acordo com as concentrações de H_2O_2 (entre 11 e 61% de redução).

REFERÊNCIAS

- ABBAS, S. R. et al. Phenolic profile, antioxidant potential and DNA damage protecting activity of sugarcane (*Saccharum officinarum*). **Food Chemistry**, v. 147, p. 10–16, 15 mar. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814613013782?via%3Dihub>>. Acesso em: 26 jun. 2019.
- AGUIAR, C. L. de et al. Factors Affecting Color Formation During Storage of White Crystal Sugar. **Focusing on Modern Food Industry**, v. 4, n. 0, p. 1, 2015.
- AGUILAR, F. et al. Safety of aluminium from dietary intake - Scientific Opinion of the Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Food Contact Materials (AFC). **EFSA Journal**, v. 6, n. 7, p. 1–34, 2008. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.2903/j.efsa.2008.754>>.
- AL ARNI, S. et al. Study of Aromatic Compounds Derived from Sugarcane Bagasse. Part I: Effect of pH. **Chemical Engineering & Technology**, v. 33, n. 6, p. 895–901, 1 jun. 2010. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/ceat.200900557>>. Acesso em: 2 jul. 2019.
- ANDJELKOVIĆ, M. et al. Iron-chelation properties of phenolic acids bearing catechol and galloyl groups. **Food Chemistry**, v. 98, n. 1, p. 23–31, 1 jan. 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814605004498>>. Acesso em: 2 jul. 2019.
- ANDRADE, L. de A.; MEDEIROS, S. D. S. de; BORGES, M. T. M. R. Avaliação das características físico-químicas do açúcar mascavo adicionado de açúcar bruto de alta polarização. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, n. 0, 2018.
- AOAC. **AOAC: Official methods of analysis**. 15th. ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemist, INC., 1990. v. 1
- ASHA, G.; KUMAR, B. Comparison of Aluminum and Iron Electrodes for COD Reduction from Coffee Processing Wastewater by Electrocoagulation Process. **Journal of Scientific Research and Reports**, v. 9, n. 7, p. 1–10, 2016. Disponível em: <<http://sciencedomain.org/abstract/12628>>.
- ASIKIN, Y. et al. Compositions, taste characteristics, volatile profiles, and antioxidant activities of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) and sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) syrups. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 12, n. 2, p. 884–891, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11694-017-9703-2>>.
- BABUPONNUSAMI, A.; MUTHUKUMAR, K. A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n. 1, p. 557–572, 1 mar. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343713002030>>. Acesso em: 29 jun. 2019.
- BACCAN, N. et al. **Química analítica quantitativa elementar**. [s.l.] Edgard Blucher, 2001.

BARROS, W. R. P. et al. Catalytic activity of $\text{Fe}_{3-x}\text{Cu}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.25$) nanoparticles for the degradation of Amaranth food dye by heterogeneous electro-Fenton process. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 180, p. 434–441, 1 jan. 2016. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337315300059>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

BOCZKAJ, G.; FERNANDES, A. Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes at basic pH conditions: A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 320, p. 608–633, 15 jul. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894717304436>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

BRAZILIAN HEALTH REGULATORY AGENCY (ANVISA). **Resolução-RDC Nº12, de 02 de janeiro de 2001**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_12_2001.pdf/15ffddf6-3767-4527-bfac-740a0400829b>. Acesso em: 19 fev. 2019.

BRILLAS, E.; CASADO, J. Aniline degradation by Electro-Fenton® and peroxi-coagulation processes using a flow reactor for wastewater treatment. **Chemosphere**, v. 47, n. 3, p. 241–248, 1 abr. 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653501002211>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

CERQUEIRA, A. A.; MARQUES, M. R. da C.; RUSSO, C. Avaliação do processo eletrolítico em corrente alternada no tratamento de água de produção. **Química Nova**, v. 34, n. 1, p. 59–63, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422011000100012&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 27 jun. 2019.

CHAI, B. et al. Removal of Color Compounds from Sugarcane Juice by Modified Sugarcane Bagasse: Equilibrium and Kinetic Study. **Sugar Tech**, v. 18, n. 3, p. 317–324, 24 jun. 2016. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s12355-015-0415-9>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

CHEN, G. Electrochemical technologies in wastewater treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 38, n. 1, p. 11–41, 15 jul. 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586603002636>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

CHERUBIN, R. A. **Efeitos da viabilidade da levedura e da contaminação bacteriana na fermentação alcoólica**. 2003. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, 2003.

CHOU, C. C. et al. SAT process as a replacement for sulfitation in mill white sugar production. **International Sugar Journal**, v. 108, p. 247+, 2006. Disponível em: <https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=5AiEYRR5kBMjQndRCxM&page=1&doc=1>. Acesso em: 26 jun. 2019.

CLARKE, M. A.; GODSHALL, M. A. Chemistry and processing of sugarbeet and sugarcane. v. V, p. 406, 1988.

CODEX ALIMENTARIUS. **Codex Standard for Sugars**. [s.l: s.n.].

COLOMBO, R.; LANÇAS, F. M.; YARIWAKE, J. H. Determination of flavonoids in cultivated sugarcane leaves, bagasse, juice and in transgenic sugarcane by liquid chromatography-UV detection. **Journal of Chromatography A**, v. 1103, n. 1, p. 118–124, 20 jan. 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967305021175?via%3Dihub>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira - cana-de-açúcar - V.6 - safra 2019/2020 n.1 - Primeiro Levantamento**. [s.l: s.n.].

CONSECANA. **Instruction Manual of Consecana**. 6th. ed. [s.l: s.n.].

CORRÊA, N. T. et al. **Sistemas oxidativos Fe³⁺/H₂O₂ como processo sustentável de clarificação do caldo de cana-de-açúcar em processo sulfur-free**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/1576-18596-177668.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

COYAGO-CRUZ, E. et al. Antioxidants (carotenoids and phenolics) profile of cherry tomatoes as influenced by deficit irrigation, ripening and cluster. **Food Chemistry**, v. 240, p. 870–884, 1 fev. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617313468>>. Acesso em: 27 jun. 2019.

CROGUENNEC, T. Non-Enzymatic Browning. In: **Handbook of Food Science and Technology** 1. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2016. p. 133–157.

D'AMICO, M.; DI VITA, G.; MONACO, L. Exploring environmental consciousness and consumer preferences for organic wines without sulfites. **Journal of Cleaner Production**, v. 120, p. 64–71, 1 maio 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616001591>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

DANCIS, A. et al. Ferric reductase of *Saccharomyces cerevisiae*: Molecular characterization, role in iron uptake, and transcriptional control by iron. **Biochemistry**, v. 89, p. 3869–3873, 1992. Disponível em: <<https://www.pnas.org/content/pnas/89/9/3869.full.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

DANESHVAR, N.; ASHASSI-SORKHABI, H.; TIZPAR, A. Decolorization of orange II by electrocoagulation method. **Separation and Purification Technology**, v. 31, n. 2, p. 153–162, 1 maio 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586602001788>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

DAVID, C.; ARIVAZHAGAN, M.; TUVAKARA, F. Decolorization of distillery spent wash effluent by electro oxidation (EC and EF) and Fenton processes: A comparative study. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 121, p. 142–148, 1 nov. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651315001955>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

DAVILA, J. A.; MACHUCA, F.; MARRIANGA, N. Treatment of vinasses by electrocoagulation–electroflotation using the Taguchi method. **Electrochimica Acta**, v. 56, n. 22, p. 7433–7436, 1 set. 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468611010267>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

DAVIS, S. B. 2001_davis_THE CHEMISTRY OF COLOUR REMOVAL.pdf. **Proceeding South African Sugar Technology**, n. 75, p. 328–336, 2001.

DE SOUZA OLIVEIRA, R. P. et al. Use of sugar cane vinasse to mitigate aluminum toxicity to *saccharomyces cerevisiae*. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 57, n. 3, p. 488–494, 2009.

DE SOUZA SARTORI, J. A. et al. Criegee mechanism as a safe pathway of color reduction in sugarcane juice by ozonation. **Food Chemistry**, v. 225, p. 181–187, 15 jun. 2017. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28193413>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

DELAIRE, C. et al. Escherichia coli Attenuation by Fe Electrocoagulation in Synthetic Bengal Groundwater: Effect of pH and Natural Organic Matter. **Environmental Science & Technology**, v. 49, n. 16, p. 9945–9953, 18 ago. 2015. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5b01696>>. Acesso em: 1 jul. 2019.

DELAIRE, C. et al. Bacteria attenuation by iron electrocoagulation governed by interactions between bacterial phosphate groups and Fe(III) precipitates. **Water Research**, v. 103, p. 74–82, 15 out. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135416305243>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

DELCY MAC CRUZ. **Setor sucroenergético representa 2% do PIB brasileiro, afirma diretor do ITC**. Disponível em: <<https://jornalcana.com.br/setor-sucroenergetico-representa-2-do-pib-brasileiro-afirma-diretor-do-itc/>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

DIAS, M. O. de S. et al. Sugarcane processing for ethanol and sugar in Brazil. **Environmental Development**, v. 15, p. 35–51, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2015.03.004>>.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2010.

DUARTE-ALMEIDA, J. M. et al. Phenolic composition and antioxidant activity of culms and sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) products. **Food Chemistry**, v. 125, n. 2, p. 660–664, 15 mar. 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814610011568>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

DUARTE, A. et al. Proposal of operating best practices that contribute to the technical efficiency in Brazilian sugar and ethanol mills. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 173–184, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.204>>.

EGGLESTON, G. et al. Improved Control of Sucrose Losses and Clarified Juice Turbidity with Lime Saccharate in Hot Lime Clarification of Sugarcane Juice and other Comparisons with Milk of Lime. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, n. 1, p. 311–325, 1 fev. 2014. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1745-4549.2012.00779.x>>. Acesso em: 27 jun. 2019.

EGGLESTON, G.; VERCELLOTTI, J. R. Degradation of sucrose, glucose and fructose in concentrated aqueous solutions under constant pH conditions at elevated temperature. **Journal of Carbohydrate Chemistry**, v. 19, n. 9, p. 1305–1318, 2000.

EMAMJOMEH, M. M.; SIVAKUMAR, M. Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 5, p. 1663–1679, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.011>>.

FAJARDO, A. S.; MARTINS, R. C.; QUINTA-FERREIRA, R. M. Treatment of a Synthetic Phenolic Mixture by Electrocoagulation Using Al, Cu, Fe, Pb, and Zn as Anode Materials. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 53, n. 47, p. 18339–18345, 26 nov. 2014. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie502575d>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

FLORES, N. et al. Treatment of olive oil mill wastewater by single electrocoagulation with different electrodes and sequential electrocoagulation/electrochemical Fenton-based processes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 347, p. 58–66, 5 abr. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389417309597>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

GAENSLY, F. et al. Iron enriched *Saccharomyces cerevisiae* maintains its fermenting power and bakery properties. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 4, p. 980–983, dez. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612011000400025&lng=en&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 1 jul. 2019.

GARCIA-SEGURA, S. et al. Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 801, n. July, p. 267–299, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.07.047>>.

GIL-IZQUIERDO, A. et al. In vitro availability of flavonoids and other phenolics in orange juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 2, p. 1035–1041, 2001.

GORDILLO, B. et al. Comprehensive colorimetric study of anthocyanic copigmentation in model solutions. Effects of pH and molar ratio. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 11, p. 2896–2905, 2012.

GORDILLO, B. et al. Application of Differential Colorimetry To Evaluate Anthocyanin–Flavonol–Flavanol Ternary Copigmentation Interactions in Model Solutions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 35, p. 7645–7653, 9 set. 2015. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.5b00181>>. Acesso em: 27 jun. 2019.

HAKIZIMANA, J. N. et al. Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. **Desalination**, v. 404, p. 1–21, 2017.

HAMERSKI, F. et al. Clarificação do caldo de cana-de-açúcar por carbonatação - ensaios preliminares. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 3, p. 337–341, 25 jul. 2011. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/7914>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

HE, H.; ZHOU, Z. Electro-Fenton process for water and wastewater treatment. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 47, n. 21, p. 2100–2131, 2 nov. 2017. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10643389.2017.1405673>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

HITHAMANI, G. et al. Effect of adsorbent and acidulants on enzymatic browning of sugarcane juice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 10, p. 4356–4362, 2018.

HOARAU, J. et al. Sugarcane vinasse processing: Toward a status shift from waste to valuable resource. A review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 24, p. 11–25, 1 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714418300163#bib0295>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

HODGE, J. E. Dehydrated Foods, Chemistry of Browning Reactions in Model Systems. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 1, n. 15, p. 928–943, out. 1953. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf60015a004>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

HOLT, P. K. et al. A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 211, n. 2–3, p. 233–248, 3 dez. 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927775702002856>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

ICUMSA. **Icumsa: GS1/3-7 (2011)**. [s.l: s.n.]

ICUMSA. **Icumsa: Methods Book**. Berlin: Verlag Dr. Albert Bartens, 2017.

ILHAN, F. et al. Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 154, n. 1–3, p. 381–389, 15 jun. 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389407014756>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

JIANG, J. Q. et al. Laboratory study of electro-coagulation-flotation for water treatment. **Water Research**, v. 36, n. 16, p. 4064–4078, 2002.

KABDAŞLI, I. et al. Electrocoagulation applications for industrial wastewaters: a critical review. **Environmental Technology Reviews**, v. 1, n. 1, p. 2–45, nov. 2012. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/21622515.2012.715390>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

KATAL, R.; PAHLAVANZADEH, H. Influence of different combinations of aluminum and iron electrode on electrocoagulation efficiency: Application to the treatment of paper mill wastewater. **Desalination**, v. 265, n. 1–3, p. 199–205, 15 jan. 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916410005503>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

KOBYA, M.; CAN, O. T.; BAYRAMOGLU, M. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 100, n. 1–3, p. 163–178, 27 jun. 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438940300102X>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

KOEHLER, N. et al. **2019 Ethanol Industry Outlook**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.eenergyadams.com>.

KOREA, K. T. et al. Investigation into the filterability of raw sugars from different geographical regions of the world. **Gezira Journal of Engineering and Applied Science**, v. 7, n. 2, p. 21, 2012.

LAKSHMANAN, D.; CLIFFORD, D. A.; SAMANTA, G. Ferrous and Ferric Ion Generation During Iron Electrocoagulation. **Environmental Science & Technology**, v. 43, n. 10, p. 3853–3859, 15 maio 2009. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es8036669>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

LAVINAS, F. C. et al. **Estudo da Estabilidade química e microbiológica do suco de caju in natura armazenado em diferentes condições de estocagem** *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v26n4/25.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

LEE, J. S. et al. Comparative study of the physicochemical, nutritional, and antioxidant properties of some commercial refined and non-centrifugal sugars. **Food Research International**, v. 109, p. 614–625, 1 jul. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996918303260>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

LIMA, R. B. et al. Sucrose and color profiles in sugarcane (*Saccharum* sp.) juice analyzed by UFLC-ELSD and Synapt High-Definition Mass Spectrometry during radiation treatment. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 121, p. 99–105, 2016.

M. SHAHBANDEH. **Leading sugar producers worldwide 2018/2019**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/495973/sugar-production-worldwide/>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

MACHADO, R. M. D.; TOLEDO, M. C. F. Sulfitos em Alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 4, p. 265–275, 2006.

MACHADO, R. M. D.; TOLEDO, M. C. F.; VICENTE, E. Sulfite content in some Brazilian wines: Analytical determination and estimate of dietary exposure. **European Food Research and Technology**, v. 229, n. 3, p. 383–389, 2009.

MANDRO, J. L. et al. Redução de cor ICUMSA em soluções concentradas de açúcar bruto por processo oxidativo com peróxido de hidrogênio. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, n. 0, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-67232017000100424&lng=pt&tlng=pt>.

MANE, J. et al. Mill scale evaluation of hydrogen peroxide as a processing aid: quality improvement in plantation white sugar. **International Sugar Journal**, v. 102, n. 1222, p. 530–533, 2000. Disponível em: <https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=4&SID=5F6dRWkoYyH1hx3HsQg&page=1&doc=1>. Acesso em: 26 jun. 2019.

MANE, J.; PACHPUTE, S.; PHADNIS, S. Effects of hydrogen peroxide treatment on cane syrup. **International Sugar Journal**, v. 100, n. 1193, p. 210–212, 1998. Disponível em: <https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=5F6dRWkoYyH1hx3HsQg&page=1&doc=2&cacheurlFromRightClick=no>. Acesso em: 26 jun. 2019.

MARQUES, M. et al. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 2001.

MARTINS, S. I. F. S.; JOGEN, W. M. F. ; VAN BOEKEL, M. A. J. S. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. **Trends in Food Science Technology**, v. 11, p. 364–373, 2001. Disponível em: <http://lacaserne.net/index2.php/opera/the_damnation_of_faust/>.

MATILAINEN, A.; LINDQVIST, N.; TUHKANEN, T. Comparison of the Efficiency of Aluminium and Ferric Sulphate in the Removal of Natural Organic Matter During Drinking Water Treatment Process. **Environmental Technology**, v. 26, n. 8, p. 867–876, ago. 2005. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593332608618502>>. Acesso em: 27 jun. 2019.

MAURÍCIO DUARTE-ALMEIDA, J. et al. Antioxidant Activity of Phenolics Compounds From Sugar Cane (*Saccharum officinarum* L.) Juice. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 61, n. 4, p. 187–192, 30 nov. 2006. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11130-006-0032-6>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

MBANJWA, C. F.; DEPPA, N.; PILLAY, K. Evaluation of hydrogen peroxide at hulett's refinery: Preliminary results. **Proceedings of the South African Sugar Technology Association**, v. 83, p. 488–494, 2010. Disponível em: <<http://www.sasta.co.za/wp-content/uploads/Proceedings/2010s/2010-Mbanjwa-et-al.pdf>>.

METROHM. **Determination of aluminum by adsorptive stripping voltammetry**. [s.l.: s.n.].

MILLER, G. L. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426–428, 1959.

MILLOUR, S. et al. Simultaneous analysis of 21 elements in foodstuffs by ICP-MS after closed-vessel microwave digestion: Method validation. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, n. 1, p. 111–120, 1 fev. 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157510001730>>. Acesso em: 27 jun. 2019.

MOLLAH, M. Y. A. et al. Electrocoagulation (EC)- Science and applications. **Journal of Hazardous Materials**, v. 84, n. 1, p. 29–41, 2001.

MORALES, M. V. et al. Advanced oxidation process for coke removal: A systematic study of hydrogen peroxide and OH-derived-Fenton radicals of a fouled zeolite. **Applied Catalysis A: General**, v. 562, n. March, p. 215–222, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apcata.2018.06.008>>.

MORILLA, C. H. G.; ALVES, L. R. A.; AGUIAR, C. L. Processo De Clarificação De Caldo De Cana-De-Açúcar Por Sulfitação : **A Economia em Revista**, v. 24, n. 1, p. 1–10, 2015.

MOUSSA, D. T. et al. A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges. **Journal of Environmental Management**, v. 186, p. 24–41, 15 jan. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716308106>>. Acesso em: 30 jun. 2019.

NARIYAN, E.; SILLANPÄÄ, M.; WOLKERSDORFER, C. Electrocoagulation treatment of mine water from the deepest working European metal mine – Performance, isotherm and kinetic studies. **Separation and Purification Technology**, v. 177, p. 363–373, 28 abr. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586616306165>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

NASSEF, E. R. M. Journal of Petroleum and Gas Engineering Removal of polyaromatic hydrocarbons from waste water by electrocoagulation. v. 5, n. 3, p. 32–42, 2014. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/JPGGE>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

NEYENS, E.; BAEYENS, J. A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. **Journal of Hazardous Materials**, v. 98, n. 1–3, p. 33–50, 17 mar. 2003. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389402002820#BIB2>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

NGUYEN, D. M. T.; DOHERTY, WILLIAM, O. S. Phenolics in sugar cane juice: potential degradation by hydrogen peroxide and Fenton's reagent. 2011.

NGUYEN, D. M. T.; ZHANG, Z.; DOHERTY, W. O. S. Degradation of hydroxycinnamic acid mixtures in aqueous sucrose solutions by the fenton process. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 5, p. 1582–1592, 2015.

NIDHEESH, P. V.; GANDHIMATHI, R. Trends in electro-Fenton process for water

and wastewater treatment: An overview. **Desalination**, v. 299, p. 1–15, 1 ago. 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916412002603#bb0130>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

NOBRE, T. D. P. **Viabilidade celular de *Saccharomyces cerevisiae* cultivada em associação com bactérias contaminantes da fermentação alcoólica**. 2005. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, 2005.

NOGUEIRA, A. M. P.; VENTURINI FILHO, W. G. Clarificação de caldo de cana por micro e ultrafiltração: comprovação de viabilidade técnica em experimentos preliminares. **J. Food Technol**, v. 10, n. 1, p. 57–62, 2007. Disponível em: <<http://www.ital.sp.gov.br/bj/artigos/bjft/2007/p06273.pdf>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

NORDIN, N. et al. Elucidating the effects of different photoanode materials on electricity generation and dye degradation in a sustainable hybrid system of photocatalytic fuel cell and peroxi-coagulation process. **Chemosphere**, v. 214, p. 614–622, 1 jan. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565351831806X>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

OGANDO, F. I. B. **Estudo da Degradação térmica de Sacarose e da Contaminação Microbiológica no processo de Fabricação de Açúcar**. 2015. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, 2015.

OGANDO, F. I. B. et al. Removal of phenolic, turbidity and color in sugarcane juice by electrocoagulation as a sulfur-free process. **Food Research International**, n. January, p. 1–10, 2019a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.039>>.

OGANDO, F. I. B. et al. Removal of phenolic, turbidity and color in sugarcane juice by electrocoagulation as a sulfur-free process. **Food Research International**, jan. 2019b. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996919300390>>.

OLIVEIRA, D. T.; ESQUIAVETO, M. M. M.; SILVA JÚNIOR, J. F. Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 99–102, 2008.

PACHECO, M. D.; CHRISTIAN, J. I.; FENG, B. Study of Maillard Reaction Inhibitors for the Sugar Cane Processing. **American Journal of Food Technology**, v. 7, n. 8, p. 470–478, 1 ago. 2012. Disponível em: <<http://www.scialert.net/abstract/?doi=ajft.2012.470.478>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

PAYET, B.; SING, A. S. C.; SMADJA, J. Assessment of antioxidant activity of cane brown sugars by abts and dpnh radical scavenging assays: determination of their polyphenolic and volatile constituents. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 26, p. 10074–10079, 2005. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf0517703>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

POEL, P. W. van der (Pieter W.; SCHIWECK, H. (Hubert); SCHWARTZ, T. K. **Sugar technology: beet and cane sugar manufacture**. [s.l.] Verlag Dr Albert Bartens KG, 1998.

POZA-NOGUEIRAS, V. et al. Current advances and trends in electro-Fenton process using heterogeneous catalysts – A review. **Chemosphere**, v. 201, p. 399–416, 2018.

PRAJAPATI, A. K. et al. Electrocoagulation treatment of rice grain based distillery effluent using copper electrode. **Journal of Water Process Engineering**, v. 11, p. 1–7, 1 jun. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714416301064>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

RADJENOVIC, J.; SEDLAK, D. L. Challenges and Opportunities for Electrochemical Processes as Next-Generation Technologies for the Treatment of Contaminated Water. **Environmental Science & Technology**, v. 49, n. 19, p. 11292–11302, 6 out. 2015. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5b02414>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

RAGUZZI, F.; LESUISSE, E.; CRICHTON, R. R. Iron storage in *Saccharomyces cerevisiae*. **FEBS Letters**, v. 231, n. 1, p. 253–258, 11 abr. 1988. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0014579388807427>>. Acesso em: 1 jul. 2019.

RAJAEIFAR, M. A. et al. A review on beet sugar industry with a focus on implementation of waste-to-energy strategy for power supply. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 103, n. May 2018, p. 423–442, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.056>>.

REIN, P. **Cane sugar engineering**. [s.l.] Bartens, 2007.

REIS, R. M. et al. Use of gas diffusion electrode for the in situ generation of hydrogen peroxide in an electrochemical flow-by reactor. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 51, n. 2, p. 649–654, 2012.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**. Campinas: Casa do Pão Editora, 2005.

RODRIGUES, R.; SPERANDIO, L. C. C.; ANDRADE, C. M. G. Investigation of color and turbidity in the clarification of sugarcane juice by ozone. **Journal of Food Process Engineering**, v. 41, n. 3, p. e12661, 1 maio 2018. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/jfpe.12661>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

RODRÍGUEZ-DELGADO, M. A. et al. Separation of phenolic compounds by high-performance liquid chromatography with absorbance and fluorimetric detection. **Journal of Chromatography A**, v. 912, n. 2, p. 249–257, 6 abr. 2001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967301005982>>. Acesso em: 2 jul. 2019.

RODRÍGUEZ-PULIDO, F. J. et al. Analysis of food appearance properties by computer vision applying ellipsoids to colour data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 99, p. 108–115, 1 nov. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169913002056>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

SÄRKKÄ, H.; BHATNAGAR, A.; SILLANPÄÄ, M. Recent developments of electro-oxidation in water treatment — A review. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 754, p. 46–56, 1 out. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1572665715002945>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

SARTORI, J. A. de S. et al. Elucidation of Color Reduction Involving Precipitation of Non-Sugars in Sugarcane (*Saccharum* sp.) Juice by Fourier-Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, p. 1826–1831, 2015.

SARTORI, J. A. de S. et al. Sugarcane Juice Clarification by Hydrogen Peroxide: Predictions with Artificial Neural Networks. **International Journal of Food Engineering**, v. 13, n. 2, 1 jan. 2017. Disponível em: <<http://www.degruyter.com/view/j/ijfe.2017.13.issue-2/ijfe-2016-0199/ijfe-2016-0199.xml>>. Acesso em: 27 jun. 2019.

SARTORI, J. A. de S.; MAGRI, N. T. C.; AGUIAR, C. L. de. Clarificação de caldo de cana-de-açúcar por peróxido de hidrogênio: efeito da presença de dextrana. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 299–306, dez. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-67232015000400299&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 29 jun. 2019.

SASKA, M.; ZOSSI, S.; LIU, H. Colour behaviour in cane juice clarification by defecation, sulfitation and carbonation. **Proceeding International Society of Sugar Cane Technology**, v. 1112, n. 137, p. 26–33, 2010. Disponível em: <<https://es.scribd.com/document/170702282/2010-Saska-Colour-Behaviour-in-Cane-Juice-Clarification-by-Defecation-Sulfitation-and-Carbonati>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

SCHILKE, B. et al. Evidence for a conserved system for iron metabolism in the mitochondria of *Saccharomyces cerevisiae*. **Cell Biology**, v. 96, p. 10206–10211, 1999. Disponível em: <www.pnas.org>. Acesso em: 30 jun. 2019.

SILVA, W. S.; SARTORI, J. A. S.; AGUIAR, C. L. Combination effect of ozone and heat treatment for the color reduction in sugarcane juice. **Chemical and Process Engineering Research**, v. 35, p. 75–83, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/280733916_Combination_Effect_of_Ozone_and_Heat_Treatment_for_the_Color_Reduction_in_Sugarcane_Juice>. Acesso em: 28 jun. 2019.

SOLIANI, R. D.; GUEDES, P. P. de S. Logistics Aspects Of Transport Modalities On The Exports Of Raw Sugar. **European Scientific Journal, ESJ**, v. 12, n. 16, p. 345, 2016.

SOLOMON, S. et al. Post-harvest deterioration of sugarcane and chemical methods to minimize sucrose losses. **Sugar Tech**, v. 8, n. 1, p. 74–78, 14 mar. 2006. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/BF02943746>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

SONG, P. et al. Electrocoagulation treatment of arsenic in wastewaters: A comprehensive review. **Chemical Engineering Journal**, v. 317, p. 707–725, 1 jun. 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894717302516>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

SOUZA, F. L. et al. Removal of algae from biological cultures: a challenge for electrocoagulation? **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 91, n. 1, p. 82–87, 1 jan. 2016. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/jctb.4580>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

STAHL, T.; TASCHAN, H.; BRUNN, H. Aluminium content of selected foods and food products. **Environmental Sciences Europe**, v. 23, n. 1, p. 1–11, 2011.

STEHLIK-TOMAS, V. et al. Uptake of iron by yeast cells and its impact on biomass production. **Acta Alimentaria**, v. 32, n. 3, p. 279–287, 2003. Disponível em: <<https://akademai.com/doi/pdf/10.1556/AAlim.32.2003.3.7>>. Acesso em: 1 jul. 2019.

TAK, B. yul et al. Optimization of color and COD removal from livestock wastewater by electrocoagulation process: Application of Box-Behnken design (BBD). **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 28, p. 307–315, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2015.03.008>>.

TAKAHASHI, M. et al. Composition, Taste, Aroma, and Antioxidant Activity of Solidified Noncentrifugal Brown Sugars Prepared from Whole Stalk and Separated Pith of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Journal of Food Science**, v. 81, n. 11, p. C2647–C2655, 2016.

TFOUNI, S. A. V.; VITORINO, S. H. P.; TOLEDO, M. C. de F. Efeito do processamento na contaminação de cana-de-açúcar e derivados por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 76–82, 2007.

THAI, C. C. D.; MOGHADDAM, L.; DOHERTY, W. O. S. The influence of impurities on calcium phosphate floc structure and size in sugar solutions. **Journal of Food Engineering**, v. 181, p. 20–27, 1 jul. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877416300516>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

UNICA. **Fotografia do setor sucroenergético no Brasil e os benefícios econômicos, ambientais e sociais gerados** *Fotografia do Setor Sucroenergético no Brasil e os Benefícios Econômicos, Ambientais e Sociais Gerados*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=35831777>.

USINA ALTO ALEGRE. **Características Gerais do Açúcar Cristal Branco e VHP**. Disponível em: <http://www.altoalegre.com.br/produtos/acucar_cristal.aspx>. Acesso em: 22 maio. 2019.

VALENTE, G. de F. S. et al. The efficiency of electrocoagulation using aluminum electrodes treating wastewater from a dairy industry. **Ciência Rural**, v. 45, n. 9, p. 1713–1719, 17 jul. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782015000901713&lng=en&tlng=en>. Acesso em: 27 jun. 2019.

WOJTCZAK, M.; ANTCZAK, A.; LISIK, K. Starch Content in Various Types of Cane Sugars as a Criterion of Quality and Authenticity. **International Journal of Food Properties**, v. 17, n. 3, p. 610–616, 16 mar. 2014. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10942912.2012.654565>>. Acesso em: 28 jun. 2019.

WOJTCZAK, M.; BIERNASIAK, J.; PAPIEWSKA, A. Evaluation of microbiological purity of raw and refined white cane sugar. **Food Control**, v. 25, n. 1, p. 136–139, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.10.031>>.

WOLF, V.; HASS, M. World Markets for Sugar and Starch: Status and Prospects. In: **Energy from Organic Materials (Biomass)**. New York, NY: Springer New York, 2019. p. 225–260.

WONG, W. W. K. et al. Dietary exposure to aluminium of the Hong Kong population. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v. 27, n. 4, p. 457–463, abr. 2010. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19440040903490112>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

WOO, K. S. et al. Characteristics of the Thermal Degradation of Glucose and Maltose Solutions. **Preventive nutrition and food science**, v. 20, n. 2, p. 102–9, jun. 2015. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26175997>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

WYZGA, R. E.; ROHR, A. C. Long-term particulate matter exposure: Attributing health effects to individual PM components. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 65, n. 5, p. 523–543, 4 maio 2015. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2015.1020396>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

YADAV, A. K. et al. Removal of various pollutants from wastewater by electrocoagulation using iron and aluminium electrode. **Desalination and Water Treatment**, v. 46, n. 1–3, p. 352–358, ago. 2012. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19443994.2012.677560>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

YAVUZ, Y.; ÖGÜTVEREN, B. Treatment of industrial estate wastewater by the application of electrocoagulation process using iron electrodes. **Journal of Environmental Management**, v. 207, p. 151–158, 2018.

ZAIED, M.; BELLAKHAL, N. Electrocoagulation treatment of black liquor from paper industry. **Journal of Hazardous Materials**, v. 163, n. 2–3, p. 995–1000, 30 abr. 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030438940801087X>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

ZHAO, Z. et al. Simultaneous determination of ten major phenolics acids in sugarcane by a reversed phase HPLC method. **Zuckerindustrie**, v. 133, n. 8, p. 503–507, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/235433356_Simultaneous_determination_of_ten_major_phenolic_acids_in_sugarcane_by_a_reversed_phase_HPLC_method>. Acesso em: 28 jun. 2019.