

**BRANQUEAMENTO DE ÓLEO DE ARROZ A PARTIR DE MATERIAIS
ADSORVENTES PRODUZIDOS DO RESÍDUOS DA CASCA DA ACÁCIA NEGRA
(*Acacia mearnsii De Wild*)**

Nicole Dall'Accua Lopes, Natallia Britto Azevedo Souza, Rogério da Silva Camargo, Valéria Terra Crexi e André Ricardo Felkl de Almeida

Universidade Federal do Pampa, Av. Maria Anunciação Gomes Godoy 1650, Bagé, Rio Grande do Sul 96413-172, Brasil.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a produção de adsorventes a partir do resíduo da casca da acácia-negra moída e seca, tratada quimicamente com solução de H_3PO_4 40% m/m e modificada para carvão ativado através da pirólise do material precursor a 500°C em atmosfera inerte de nitrogênio, os quais foram aplicados no processo de branqueamento do óleo de arroz neutralizado. As caracterizações dos adsorventes por TGA e DRX demonstraram que tanto o H_3PO_4 quanto a pirólise causaram a degradação da hemicelulose e celulose da casca de acácia, ocasionando uma estrutura mais amorfa. O tratamento químico também reduziu o diâmetro da partícula em aproximadamente 80 μm . Nos ensaios de branqueamento notou-se que todos os adsorventes produzidos apresentaram índices de redução para o percentual de peróxidos, carotenoides, γ -orizanol e cor. De todos os materiais produzidos, o carvão ativado foi o que apresentou os melhores índices de redução para os carotenoides e γ -orizanol, ultrapassando a faixa de 50%. A exceção foi para o índice de peróxidos, em que a maior redução, com valor de 31,83%, ocorreu com o material impregnado. Todavia, em razão do agente ativante utilizado ser um ácido, o índice de acidez sofreu um aumento de, em média, 5 % para o adsorvente impregnado e 10 % para o carvão ativado produzido. Em termos gerais, os resultados demonstraram-se satisfatórios apresentando um bom potencial adsorvente para os materiais produzidos.

Palavras-chave: Acácia-negra, branqueamento, carvão ativado, resíduo, adsorvente.

INTRODUÇÃO

O estado do Rio Grande do Sul é responsável por cerca de 70% de toda a produção brasileira de arroz, onde no beneficiamento desse grão para a produção do arroz branco é gerado como resíduo o farelo, que é a matéria prima para a extração do óleo comercial de arroz. Contudo, o óleo bruto extraído do farelo de arroz apresenta impurezas em sua composição, as quais são removidas durante o refino. Entre as etapas do refino, tem-se o branqueamento, que tem

por objetivo a retirada de impurezas que afetam a cor e a qualidade do óleo de arroz. (PESTANA, 2007; BRUSCATTO *et al.*, 2012; MANDARINO; ROESSING, 2001; TAVARES, 2019).

A técnica de branqueamento, é um fenômeno de transporte que implica em uma operação unitária onde acontece o contato entre um sólido e um fluido, ocasionando uma transferência de massa de uma fase fluida para a superfície do sólido que é denominado adsorvente (FOUST *et al.*, 1982). Um dos adsorventes mais

utilizados que apresenta grande destaque é o carvão ativado devido ao fato de possuir grande área superficial e elevada porosidade (TONUCCI, 2014). No entanto, apesar dos principais adsorventes comerciais apresentarem altas taxas de eficiência, como o carvão ativado, sílica gel, argilas ativadas e zeólitas sintéticas, seu custo elevado se torna uma desvantagem para aplicação em sistemas de grande escala (SILVA *et al.*, 2019).

Por tanto, o uso de alguns adsorventes não convencionais, que possuem grande capacidade de eficiência e uma área superficial elevada, têm sido alvo de diversos estudos com novos potenciais. Entre eles têm-se o uso do endocarpo do coco babaçu (*Attalea speciosa*) (SOUSA, 2018), da casca de arroz (*Oryza sativa L.*) (SCHNEIDER, 2017), do bagaço de uva (ANTUNES, 2011), entre outros.

Inserido nessa temática, há possibilidade do aproveitamento do resíduo da casca da acácia-negra, material esse que já vem sendo estudado como matéria prima viável para a produção de carvão ativado (LINHARES *et al.*, 2016). A acácia-negra (*Acacia mearnsii De Wild*) é uma espécie arbórea originalmente da Tasmânia e das regiões sul e sudeste da Austrália (SCHNEIDER; TONINI, 2003). Foi introduzida no Brasil e concentra-se mais no estado do Rio Grande do Sul, em que ocupa a terceira maior área entre as espécies florestais cultivadas. A casca do tronco da acácia-negra é utilizada como matéria-prima para a produção de tanino, onde acaba sendo gerado uma enorme quantidade de resíduos em que grande parte deste material é destinados à compostagem ou disposto em aterros (AGEFLOR 2016). Somente em 2018, foram produzidas cerca de 145 mil toneladas de casca de acácia-negra (IBGE 2018).

Diante deste cenário, com o intuito de reutilizar um resíduo que é gerado em

grandes quantidades e minimizar os custos gastos no branqueamento do óleo de arroz, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver materiais adsorventes a partir do resíduo da casca da acácia-negra proveniente da extração de tanino, como adsorvente na forma moída, tratada com H_3PO_4 e também na forma de carvão ativado obtido por pirólise em atmosfera inerte para serem utilizados na etapa do branqueamento do óleo de arroz.

METODOLOGIA

O material utilizado como matéria-prima foi o resíduo da casca da acácia-negra proveniente da extração do tanino da indústria SETA - Sociedade Extrativa Tanino de Acácia Ltda., localizada no município de Estância Velha. O resíduo foi moído em moinho de facas para uniformização e obtenção de granulometria menor que 1 mm, lavado para que ocorresse a remoção de qualquer tipo de coloração e seco na estufa durante 24h à 105°C. O óleo de arroz foi cedido pela Indústria Riograndense de Óleos Vegetais – IRGOVEL, localizada na cidade de Pelotas/RS. Ressalta-se aqui que foi necessário neutralizar esse material para os ensaios de branqueamento.

A impregnação da casca da acácia-negra foi feita utilizando uma solução de ácido fosfórico 40% m/m com razão de H_3PO_4 /precursor 1:1 em massa. A amostra ficou em contato com o agente impregnante sob temperatura ambiente por 24h e, no término desse período, foi submetida a uma secagem em estufa a 105°C durante 24h. Como etapa subsequente, foi neutralizada com água destilada e novamente seca em estufa a 105°C durante 24h. Para a etapa de produção do carvão ativado, a casca moída, impregnada com H_3PO_4 e não neutralizada, foi carbonizada em reator tubular em atmosfera inerte de N_2 . Para a etapa de

finalização, o carvão ativado foi neutralizado com água destilada e novamente secos em estufa nas condições de 105°C por 24h.

Também foi utilizado como material adsorvente de comparação o carvão ativado comercial obtido no mercado local.

A caracterização física e físico-química foi realizada com os seguintes materiais, o material moído, o material tratado com o agente ativante, o carvão ativado produzido e o carvão ativado comercial. A massa específica real foi obtida através da picnometria gasosa e a massa específica aparente por ensaio de proveta. O diâmetro médio de partícula foi obtido tanto por ensaios de peneiramento como por análises em granulômetro CILAS. A porosidade do leito de partículas foi estimada pela relação entre as massas específicas real e aparente. As análises imediatas foram realizadas de acordo com as normas ASTM-D1762 para a umidade, ASTM-E1755 para as cinzas e ASTM-E872 para análise dos voláteis e carbono fixo. A análise termogravimétrica (TGA) foi realizada em uma termobalança (Shimadzu, TGA – 50) em atmosfera de nitrogênio gasoso a 50mL/min e com uma taxa de aquecimento de 10°C/min até 700°C. A análise das fases cristalinas foi feita por difratometria de raios-X (DRX).

As condições de branqueamento do óleo de arroz neutralizado com os adsorventes produzidos foram estabelecidas a partir de ensaios preliminares e considerando a literatura de Patricio, Hotza e Júnior (2014), Figueiredo, Pereira e Silva (2004) e Ludtke (2016). O processo ocorreu

com a adição de 50 gramas de óleo em um reator de clarificação, submetido a vácuo de 500 mmHg, agitação de 200 rpm e aquecido a 90°C, durante 25 minutos. A proporção de adsorvente utilizado foi de 1% em relação à massa de óleo. Ao final do processo de adsorção (branqueamento), o material adsorvente foi removido por filtração à vácuo, utilizando como meio filtrante uma pré-capa com terra diatomácea.

O óleo de arroz neutralizado e o óleo de arroz branqueado com os adsorventes produzidos no presente trabalho e com o adsorvente comercial foram caracterizados quanto a compostos de oxidação (peróxidos), acidez, carotenoides, γ -orizanol e cor. As análises do índice de peróxidos e de acidez foram realizadas conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008). O teor de carotenoides foi determinado por espectrofotômetro na região visível (Quimis, Q108, Brasil), segundo metodologia adotada por Strieder *et al.*, (2015). O teor de γ -orizanol foi realizado de acordo com a metodologia de Bucci *et al.*, (2003), utilizando um espectrofotômetro UV a 327 nm. Já a análise de cor, foi realizada conforme a metodologia de Lovibond (Lovibond® 1080 Colour).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os resultados para a caracterização física dos adsorventes produzidos a partir da casca da acácia nas conformações material moído (MM), impregnado com H_3PO_4 (MI), carvão produzido a partir do material impregnado (CP) e carvão comercial (CC).

Tabela 1 – Caracterização dos materiais adsorventes.

Amostra	ρ_r (g/cm ³)	ρ_b (g/cm ³)	ε	d_p (μm)
MM	1,4705 ± 0,001	0,2138 ± 0,008	0,14	121,7
MI	1,6103 ± 0,005	0,2787 ± 0,003	0,17	41,9
CP	1,7412 ± 0,003	0,2218 ± 0,006	0,13	-
CC	1,7105 ± 0,000	0,5871 ± 0,004	0,34	159,4

Fonte: Autores (2021).

Observa-se na Tabela 1 que o diâmetro da partícula do MM apresentou uma redução de 65,57% quando comparado ao MI. Essa redução é possivelmente uma consequência do fato de alguns compostos da casca da acácia terem sido consumidos pelo agente impregnante resultando na modificação da sua estrutura.

Ao comparar a massa específica real encontrada por Signorelli *et al.* (2017), que foi de 1,42 g/cm³ para a casca do coco catolé, com o valor obtido para o MM nota-se que o material moído apresentou valores aproximados com a literatura. Já para os materiais MI e CP, os valores de massa específica real foram maiores, o que pode indicar a formação de poros decorrente da impregnação e da pirólise do material. Esses valores são satisfatórios, visto que são resultados aproximados aos encontrados na literatura como Signorelli *et al.* (2017), que obteve 1,81 g/cm³ e 1,76 g/cm³ para o material impregnado e para o carvão

produzido, respectivamente, utilizando a casca de palmeira.

A porosidade do leito fixo teve valores relativamente baixos para todos os adsorventes, quando comparado aos valores encontrados na literatura para outros resíduos agrícolas, pois Silva *et al.* (2020) obteve valores aproximados a 0,90 para os materiais produzidos a partir da palha de Azevém e palha de trigo. Segundo Maia *et al.*, (2014) quando se usa matérias primas orgânicas a massa aparente será baixa devido as características mais fibrosas, o que poderia explicar a baixa porosidade, já que este valor é encontrado pela relação entre a massa específica real e aparente.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos das análises imediatas do material adsorvente da casca de acácia nas conformações moído (MM), impregnado com H₃PO₄ (MI), carvão produzido a partir do material impregnado com H₃PO₄ (CP) e do carvão comercial (CC).

Tabela 2 – Resultados das análises imediatas dos quatro materiais adsorventes.

Amostra	U_{bu} (%)	C_Z (%)	M_V (%)	C_F (%)
MM	3,05 ± 0,52	6,30 ± 0,19	82,76 ± 0,46	9,89 ± 0,16
MI	5,69 ± 0,63	47,87 ± 0,71	33,48 ± 0,25	13,90 ± 0,42
CP	2,10 ± 0,48	56,20 ± 0,45	29,30 ± 0,21	12,94 ± 0,76
CC	15,88 ± 0,37	5,32 ± 0,80	32,11 ± 0,66	49,79 ± 0,13

Fonte: Autores (2021).

Pode-se observar na Tabela 2 que os valores de umidade do MM para o MI teve um pequeno aumento, porém são valores abaixo dos resultados encontrados na literatura para outras biomassas moídas e impregnadas. Segundo Carrier *et al.* (2013),

o teor de umidade encontrado para a casca de Eucalipto moído foi de 6,2%. Já Almeida (2016), obteve um teor de umidade para a casca de cacau de 6,3%. A diferença de umidade dos materiais adsorventes produzidos em comparação com esses

materiais de outros autores deve-se, provavelmente, pelo fato das distintas condições de produção de cada adsorvente, uma vez que os mesmos passaram por secagem em estufa, bem como das condições de armazenamento. O baixo teor de umidade indica um efeito positivo, já que quanto menos úmido o material está, mais poros disponíveis existem para que aconteça o fenômeno da adsorção, já que poucos poros estariam preenchidos com moléculas de água (SILVA, 2009). Além do mais, o alto teor de umidade ocasiona um consumo ainda maior de energia no processo de pirólise para a produção do carvão ativado (GOMEZ, 2002).

Para o CP foi encontrado um valor bem baixo, inferior a 3%, de teor de umidade, porém aproximado da literatura para carvões produzidos a partir de resíduos agroindustriais. Segundo Loffredo *et al.* (2010), o valor de umidade encontrado para o carvão produzido a partir do *Eucalyptus dunni* foi de 3,08%. Já Silva (2009), obteve um valor de 3,62% de umidade para o carvão produzido a partir da casca de arroz. Como para a produção do carvão ativado o material passa por um processo de pirólise, além do uso da secagem em estufa, os resultados encontram-se coerentes ao processo tecnológico empregado. Ademais, este valor de 2,10% está dentro das especificações técnicas para carvões comerciais, no qual deve-se ter uma umidade de no máximo 10%, diferente do carvão comercial utilizado para comparação. (MARTON *et al.*, 2003)

O valor de teor de cinzas encontrado para o MM, de 6,3%, é maior do que os valores reportados por Linhares *et al.* (2016) para a casca de acácia-negra, em que o autor encontrou um valor de 3,8%. Além também de ser maior que os valores encontrados por Menezes (2013) e Silva (2018) que obtiveram 4,42 e 3,42% para serragem de pinus e angelim,

respectivamente. A diferença nos valores pode ter sido em razão das impurezas associadas ao armazenamento deste resíduo, uma vez que ele é proveniente da extração de taninos e fica disposto no pátio da indústria a céu aberto.

Nota-se também, uma grande elevação nos valores de teor de cinzas para o material impregnado e para o carvão produzido. Anisuzzman *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2020) também observaram esse comportamento na produção do carvão ativado, utilizando H_3PO_4 e NaOH, a partir das folhas de *Typha orientalis* e da palha de Azevém. Esse aumento dos valores pode apontar que as substâncias inorgânicas não foram eliminadas durante a etapa de preparação da amostra, no processo de lavagem, acarretando assim no aumento de percentual em comparação aos outros constituintes do material nas etapas subsequente. Materiais que apresentam altos teores de cinzas causam uma diminuição na área de superfície do carvão ativado, podendo resultar em uma queda na capacidade de adsorção, uma vez que as substâncias inorgânicas são capazes de afetar a estrutura porosa do material (YACOB; SWAIDAN, 2012).

Já os valores de teores de voláteis apresentaram uma redução quando realizada a impregnação do material e a produção do carvão. Segundo Maulina e Iriansyah (2018) ao realizar as etapas de impregnação e tratamento térmico para a produção do carvão ativado, a estrutura e as propriedades do material são modificadas, dado que parte das substâncias voláteis são eliminadas durante esses processos. Os resultados encontrados são aproximados com a literatura, visto que, Linhares *et al.* (2016) encontrou um valor de 76,2% para a casca de acácia-negra e Carrier *et al.* (2013) encontrou 80,9% para serragem de eucalipto. O percentual alto de teor de voláteis para a MM pode ser considerado

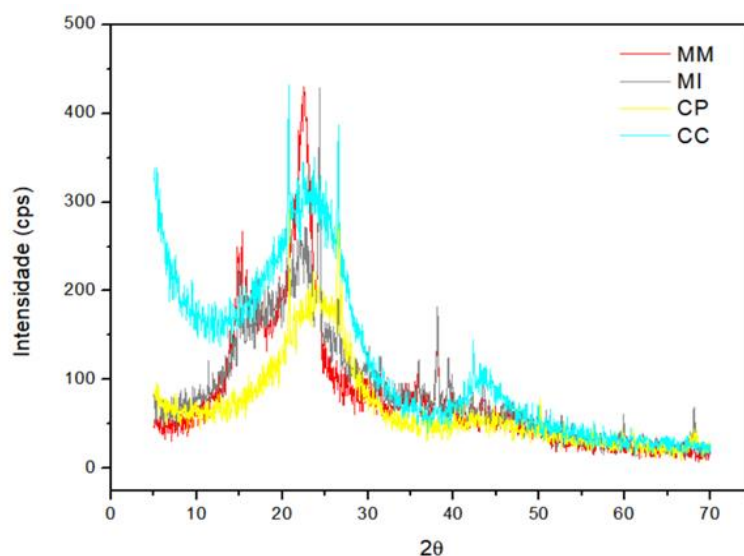
um ponto positivo, sugerindo assim que sua estrutura de material vegetal possui altos níveis de porosidade (DUKU, 2014; REIS *et al.*, 2012).

O teor de carbono fixo obtido para o MM, de 9,89%, é inferior aos valores encontrados por Linhares *et al.* (2016), que foi de 20,1% para a casca da acácia-negra, e Teixeira *et al.* (2016), que reporta um valor de 19,3% para *Eucalyptus sp.* Após a impregnação do material e a produção do carvão ativado verifica-se uma elevação nos percentuais de carbono fixo, visto que este corresponde a quantidade de biomassa depois da remoção da umidade, das cinzas

e do material volátil. A temperatura aplicada durante a pirólise para a produção do carvão ativado, reduz os teores de matéria volátil e aumenta os teores de cinzas e de carbono fixo em razão de temperaturas elevadas provocam uma maior expansão dos gases ocasionando sua expulsão do interior do carvão (CLAUDINO, 2003).

A Figura 1 apresenta as difratometria de raios-X (DRX) para o material adsorvente moído (MM), impregnado (MI), para o carvão produzido (CP) e para o carvão comercial (CC).

Figura 1 – DRX dos materiais adsorventes.



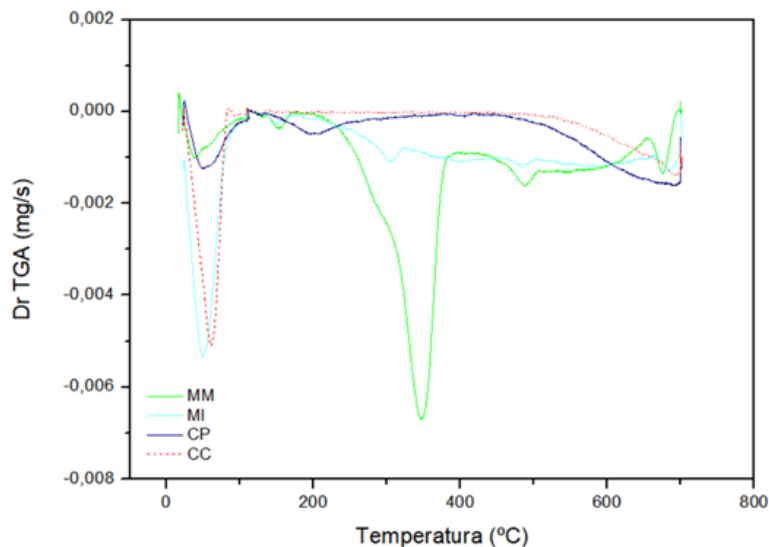
Fonte: Autores (2021).

É possível notar na Figura 1, que a intensidade dos picos dos adsorventes decresce quando o material passa pela ativação química e tratamento térmico, o que reflete a redução da cristalinidade, propondo assim uma degradação da celulose. A celulose é um polímero complexo que possui regiões cristalinas e amorfas, onde a cristalinidade refere-se a porcentagem de regiões cristalinas em

relação ao material total (RAHNAMA *et al.*, 2013; BANSAL *et al.*, 2010).

A análise termogravimétrica (TGA) é apresentada na Figura 2 para os materiais produzidos a partir da acácia e para o carvão comercial. Essa figura mostra as curvas de perda de massa do material moído (MM), impregnado (MI), carvão produzido (CP) e carvão comercial (CC) em função da temperatura.

Figura 2 – Análise termogravimétrica dos materiais adsorventes.



Fonte: Autores (2021).

Verifica-se na Figura 2 que o material moído possui no mínimo dois pontos bem definidos, um em temperaturas menores que 100°C devido a perda de água do material, e outro onde ocorreu o maior pico em aproximadamente 350°C, que se deve pelo fato da degradação dos grupos com oxigênio na superfície do material como a celulose e hemicelulose. Já os picos em temperaturas mais elevadas, passando dos 400°C, são referentes aos grupos carboxílicos mais estáveis como as moléculas de lignina e necessitam de um intervalo de temperatura mais alto para a degradação (BREBU; VASILE, 2009).

Para o material impregnado e carvão ativado produzido pode-se observar uma perda de massa mais discreta abaixo dos 300°C, que implica na decomposição das hemiceluloses. O CP mostrou-se um pouco mais estável termicamente em relação ao MM devido ao efeito do tratamento empregado, assim como resíduos de voláteis (GASSAN; BLEDZKI, 1999). De acordo com Yang *et al.* (2007), a

decomposição térmica de materiais lignocelulósicos apresenta picos de perda de massa para a hemicelulose (220 a 315°C), para a celulose (315 a 400°C) e para a lignina (100 e 900°C). Estas faixas de temperatura estão de acordo com os picos observados para as amostras moída, impregnada e carvão produzido. Além do mais, no material impregnado e no carvão comercial, também se percebe picos bem definidos abaixo dos 100°C, atribuído a perda de água dos materiais.

Após a produção dos materiais adsorventes a partir da casca da acácia, realizou-se os ensaios de branqueamento do óleo de arroz aplicando o material adsorvente na forma moída (MM), impregnada com H_3PO_4 (MI), carvão produzido (CP) e carvão comercial (CC). A Tabela 3 mostra o percentual de variação de redução dos compostos no óleo de arroz branqueado, em relação ao seu percentual de redução de peróxido, acidez, carotenoides e γ -orizanol quando comparados com o óleo neutralizado.

Tabela 3 – Percentual de variação de redução dos compostos no óleo de arroz branqueado.

Amostra	(%) de variação do índice de Peróxido	(%) de variação de Acidez	(%) de variação de carotenoides	(%) de variação de y-orizanol.
MM	-14,61 ± 0,19	-11,13 ± 0,013	-31,65 ± 1,037	-35,00 ± 0,007
MI	-31,83 ± 0,11	5,16 ± 0,011	-46,54 ± 0,261	- 45 ± 0,007
CP	-21,97 ± 0,032	10,36 ± 0,005	-68,81 ± 0,756	-52,50 ± 0,009
CC	-30,27 ± 0,29	-8,35 ± 0,010	-43,64 ± 0,854	-3,29 ± 0,006

Fonte: Autores (2021).

Verifica-se na Tabela 3, que todos os adsorventes produzidos apresentaram uma redução no percentual de peróxido, carotenoides e y-orizanol, ou seja, foram capazes de adsorver esses compostos presentes no óleo de arroz neutralizado. No entanto, devido ao agente impregnante utilizado ser um ácido, o índice de acidez aumentou em torno de 5% e 10%, para o MI e CP, respectivamente. Esse aumento de percentual de acidez indica um resultado insatisfatório, pois, devido a presença de ácidos graxos livres em concentrações mais elevadas acabam por facilitar a formação de sabores e odores desagradáveis (ENGELMANN *et al.*, 2016).

É possível notar que o material impregnado foi responsável pelo maior índice de redução de peróxido, com um valor de 31,83%. Ao comparar esse resultado com a literatura, ele apresenta um caráter satisfatório, dado que alguns autores, como Strieder (2015), que atingiu um percentual de redução de 36% utilizando blendas de nylon-6 e quitosana, se aproximando do valor encontrado.

Percebe-se também na Tabela 3 que o material que obteve o maior percentual de redução para os carotenoides, foi o carvão ativado produzido, que causou uma redução de 68,81% desses compostos presentes no óleo neutralizado. Junto com a clorofila, os carotenoides são os pigmentos mais

importantes responsáveis pela cor do óleo de arroz, sua remoção proporciona uma produção mais clara e estável de óleo, implicando em uma maior aceitação da parte do consumidor (FOLETTTO *et al.*, 2013).

Analisando o percentual de y-orizanol de todos os adsorventes, o carvão ativado comercial apresentou o menor valor (3,29%), o que é visto positivamente visto que o óleo de arroz se torna mais estável na presença desse composto, que é um antioxidante presente somente nesse óleo, ao qual também se atribui efeito hipocolesterolêmico (SCAVARIELLO, 1997; SEETHARAMAIAH; CHANDRASEKHARA, 1993).

A Tabela 4 apresenta as medidas de cor Lovibond no óleo de arroz branqueado com os adsorventes utilizados. Segundo Menacho *et al.*, (2007), quanto mais alto os valores para os parâmetros de leitura vermelho e amarelo, mais alta são as concentrações de carotenoides. Vale ressaltar que todos os materiais adsorventes aplicados no branqueamento do óleo de arroz apresentaram uma redução na cor do óleo em relação ao neutralizado, em virtude de não ter sido possível fazer a leitura deste, já que o óleo neutralizado possuía uma coloração muito escura, o que inviabilizou sua leitura pelo equipamento utilizado.

Tabela 4 – Medidas de cor Lovibond no óleo de arroz branqueado pelos adsorventes.

Amostra	Vermelho	Amarelo	Azul	Neutro
MM	86	70	0	0
MI	82	70	0	0
CP	80	70	0	0
CC	73	70	0	0

Fonte: Autores (2021).

Verifica-se através da Tabela 4, que o maior valor obtido de leitura do parâmetro vermelho foi do material moído, o que condiz com o resultado apresentado na Tabela 3, em que o material moído foi responsável pelo menor percentual de redução de carotenoides. Esse comportamento também pode ser observado para os demais materiais adsorventes produzidos. A redução dos compostos responsáveis pela cor dos óleos vegetais procura mais seguir um desejo do consumidor com requisito de qualidade, visto que os corantes naturais não considerados prejudiciais e sua remoção pode até mesmo causar uma redução nas propriedades alimentícias e nutricionais (MENACHO *et al.*, 2007).

CONCLUSÃO

Os resultados para as caracterizações físicas dos adsorventes produzidos apresentaram-se satisfatórios, em concordância com a literatura. O diâmetro de partículas teve uma redução de 65,57% depois do material ter sido submetido ao tratamento químico. A partir das análises de DRX foi possível constatar que ocorreu uma diminuição da intensidade de cristalinidade ao longo dos processos para a produção dos materiais adsorventes, o que ocasionaram a hidrólise e a degradação da celulose. O TGA demonstrou que no MM aconteceu a degradação da celulose e hemicelulose. Já o

MI e CP tiveram uma decomposição da hemicelulose, onde, o CP mostrou-se um pouco mais estável termicamente em relação ao MM devido ao efeito do tratamento empregado.

A partir dos estudos feitos nas análises de branqueamento do óleo de arroz, notou-se que todos os adsorventes apresentaram uma redução para o percentual de peróxidos, carotenoides, γ -orizanol e cor. Porém, obteve-se um aumento de acidez devido ao agente utilizado no tratamento químico ser um ácido. De todos os adsorventes empregados no branqueamento, o que causou a maior redução de peróxido foi o material impregnado, com 31,83%, superando o carvão comercial que ocasionou uma redução de 30,27%. O material moído também superou o carvão comercial em 2,78% na redução de acidez. Ao comparar os adsorventes produzidos, o carvão ativado produzido nesse trabalho foi o que apresentou o maior índice de redução de carotenóides, com 68,81%. Esse resultado está condizente com a análise das cores, visto que foi o adsorvente produzido que teve maior redução nas medidas de cor Lovibond na faixa do vermelho. Quanto ao índice de γ -orizanol o carvão comercial teve o menor índice de redução, tornando esse adsorvente mais satisfatório nesse parâmetro, já que isso significa uma maior estabilidade devido à presença desse composto.

REFERÊNCIAS

AGEFLOR – Associação Gaúcha de Empresas Florestais. **Mapas - A indústria de base florestal no Rio Grande do Sul: Anos base 2016**. Porto Alegre. 2017.

ALMEIDA, P. S. **Análise da fluidodinâmica da casca de cacau em leite de jorro estudo experimental e simulação via cfd**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. 2016.

ANISUZZAMAN, S. M.; JOSEPH, C. G.; TAUFIQ-YAP, Y. H.; KRISHNAIAH, D.; TAY, V. V. Modification of commercial activated carbon for the removal of 2,4-dichlorophenol from simulated wastewater, **Journal of King Saud University – Science**, n. 27, p. 318–330. 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksus.2015.01.002>

ANTUNES, M. **Utilização do bagaço da uva isabel para a remoção de diclofenaco de sódio em meio aquoso**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade de Caxias do Sul, RS. 2011.

BANSAL, P.; HALL, M.; REALFF, M.; LEE, J. H.; BOMMARIUS, A. S. Multivariate statistical analysis of X-ray data from cellulose: a new method to determine degree of crystallinity and predict hydrolysis rates. **Bioresource Technology**. 2010.

BOLAND, D.J. et al. **Forest trees of Australia**. Melbourne: Nelson-CSIRO, 1984.

BUCCI, R. *et al.* Comparison of three spectrophotometric methods for the

determination of γ -oryzanol in rice bran oil. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v.375, n.8, p. 1254-1259, 2003.

BREBU, M.; VASILE, C. Thermal degradation of lignin – a review. **Cellulose chemistry and technology**. 2009.

BRUSCATTO, M. H.; BAUER, V. R. P.; RUTZ, J. K.; ZAMBIASI, R. C. Caracterización del aceite de salvado de arroz. **Revista Ciência e Tecnologia**. n. 18, p. 28-32, 2012.

CARRIER, M. et al. Impact of the lignocellulosic material on fast pyrolysis yields and product quality. **Bioresource technology**, v. 150, p. 129-138, 2013.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, SC. 2003.

DUKU, M. H. **Bio-oil production from Lignocellulosic biomass using fast pyrolysis in a fluidized-bed reactor**. 2014. Tese de Doutorado. NKRUMAH UNIVERSITY.

ENGELMANN, J. I.; RAMOS, L. P.; CREXI, V. T.; MORAIS, M. M. Degumming and neutralization of rice bran oil. **Journal of Food Process Engineering**. 2016.

FOLETTTO, E. L.; PAZ, D. S.; GÜNDEL, A. Acid-activation assisted by microwave of a Brazilian bentonite and its activity in the bleaching of soybean oil. **Applied Clay Science**. 2013.

FOUST, A. S. et al. **Princípios de Operações Unitárias**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1982.

GASSAN J.; BLEDZKI A. K. Composites reinforced with cellulose based fibres. **Progress in Polymer Science**. p. 221-274. 1999.

GÓMEZ, E. O. **Estudo da Pirólise Rápida de Capim Elefante em Leito Fluidizado Borbulhante Mediante Caracterização dos Finos de Carvão** Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas-unicamp, Campinas, 2002.

PAUCAR-MENACHO, L. M.; SILVA, L. H.; SANTANNA, A. S.; GONÇALVES, L. A. G. Refining of rice bran oil (*Oryza sativa* L.) to preserve γ -orizanol. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 27. p. 45-53. 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2018**.

IRGOVEL- **Indústria Riograndense de Óleos Vegetais**. 2020.

LINHARES, F. A.; MARCÍLIO, N. R.; MELO, P. J.; Estudo da produção de carvão ativado a partir do resíduo de casca da acácia negra com e sem ativação química. **Scientia cum Industria**. V.4, N. 2. p.74-79. 2016.

MAIA, B. G. O.; SOUZA O.; MARANGONI C. Production and Characterization of Fuel Briquettes from Banana Leaves Waste. **Chemical Engineering Transactions**. 2014.

MANDARINO, J. M. G.; ROESSING, A. C. **Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos**. Londrina: **Embrapa Soja**, 2001.

MARTON, J. M.; FELIPE, M. G. A.; SILVA, J. B. A.; JÚNIOR, A. P. Avaliação de carvões ativos e das condições de adsorção no tratamento do hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana empregando planejamento de experimentos. **Revista Analytica**. 2003.

MAULINA, S.; IRIANSYAH. M. Characteristics of activated carbon resulted from pyrolysis of the oil palm fronds powder. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering** 2018.

MENEZES, M. J. S. **Poder Calorífico e Análise Imediata da Maravalha de Pinus (Pinus Sp) e Araucária (Araucaria Angustifolia) de Reflorestamento Como Resíduos de Madeireira**. Dissertação de Mestrado. (Mestrado em Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Unioeste. Cascavel. 2013.

REIS, A. A.; MELO, I. C. N. A.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. C. O. Efeito de Local e Espaçamento na Qualidade do Carvão Vegetal de um Clone de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Floresta e Ambiente**, Lavras/MG, v. 5, n. 19, p.497-505. 2012.

PESTANA, V.R. **Avaliação da qualidade do óleo de arroz e do conteúdo de ocoferóis e orizanois durante o processo de refino**. Dissertação (Mestrado em tecnologia agroindustrial). Universidade Federal de Pelotas, 2007.

RAHNAMA, N.; MAMAT, S.; SHAH, U. K.; LING, F. H.; RAHMAN, N. A. A.; ARIFF, A. B. Effect of Alkali Pretreatment of Rice Straw on Cellulase and Xylanase Production by Local *Trichoderma harzianum* SNRS3 under Solid State Fermentation. **BioResources**. 2013.

SCAVARIELLO, E. M. S. **Recuperação de y - orizanol da borra de neutralização de óleo de farelo de arroz**. dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1997.

SCHNEIDER, L. T. **Casca de arroz como agente adsorvente no tratamento de óleo residual**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, PR. 2017.

SCHNEIDER, P.R.; TONINI, H. Utilização de variáveis dummy em equações de volume para *Acacia mearnsii* de Wild. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 121-129, 2003.

SIGNORELLI, S. C. M.; SILVA, T. L.; SANTOS, K. J. L.; SOLETTI, J. I.; VIEIRA M. G. A. Determinação da massa específica de biomassa de plantas do nordeste do Brasil e seus biocarvões e avaliação da afinidade metálica para os íons Cu^{+2} , Ni^{+2} e Cr^{+3} . **XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. São Paulo. 2017.

SILVA, B; MARTINS, M.; ROSCAC, M.; ROCHAA, V; LAGOA, A.; NEVES, I. C.; TAVARES, T. Waste-based biosorbents as cost-effective alternatives to commercial adsorbents for the retention of fluoxetine from water. **Separation and Purification Technology**. 2019.

SILVA, E. M. **Obtenção, caracterização e utilização do carvão de serragem como adsorvente para purificação de água**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Tocantins. Palmas. 2018.

SILVA, E. O.; SANTOS, V. D.; ARAUJO, E. B.; GUTERRES, F. P.; ZOTTIS, R.; FLORES, W. H.; ALMEIDA, A. R. F. Removal of methylene blue from aqueous solution by ryegrass straw. **International Journal of Environmental Science and Technology**. 2020.

SILVA, J. **Estudo da eficiência e da aplicabilidade de carvão ativado resultante de pirólise de casaca de arroz em barreiras reativas na remoção de contaminantes em solo**. Tese de Doutorado (doutorado em engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009.

STRIEDER, M. M.; BORBA, V. S.; PINHEIRO, C. P.; POHNDORF R. S.; PINTO, L. A. A. Otimização de branqueamento de óleo de farelo de arroz com blendas de adsorventes. **XI Congresso brasileiro de engenharia química em iniciação científica**. 2015.

SOUSA, M. C. S. **Adsorção de azul de metileno utilizando carvão ativado produzido a partir do endocarpo do coco babaçu (*Attalea speciosa*)**. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Pampa. Bagé. 2018.

SPGG – Secretaria de Planejamento Governança e Gestão. Atlas Socioeconômico do RS: **O Rio Grande do Sul é atualmente o maior produtor de arroz em casca do Brasil**. 3. ed. Porto Alegre, 2018.

TAVARES, M. A. M. A expressiva quebra nas safras nacional e regional de arroz exige reflexões, decisões e mudanças. **Planeta arroz**. 2019.

TEIXEIRA, C. M.; MARTINS, M. P.; YAMAMOTO, H.; CHRISOSTOMO, W; YAMAJI, F. M. Caracterização química de resíduos de eucalyptus sp. de floresta de curta rotação para a produção de bioenergia. **Rev. Virtual Quim.** 2016.

TONUCCI, M. C. **Adsorção de diclofenaco, estradiol e sulfametoxazol em carvões ativados e nanotubos de carbono: estudos cinéticos e termodinâmicos.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade de Ouro Preto, MG. 2014.

YACOB, A. R.; SWAIDAN, H. A. Phosphoric Acid Effect on Prepared Activated Carbon from Saudi Arabia's Date Frond Waste. **Applied Mechanics and Materials**. 2012.

YANG H, YAN R, CHEN H, LEE D H, ZHENG C. Characteristics of Hemicellulose, Cellulose and Lignin Pyrolysis. **Fuel**. p. 1781-1788. 2007.