

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL - CENTRO
CURSO TÉCNICO EM QUÍMICA

ANA BEATRIZ LIMA BARROS
GABRIELA DIAS
GABRYELLA NOGUEIRA DA SILVA
ISABELI SOPHIE HOLOVATY
SARAH GABRIELLA PEREIRA
VITÓRIA LETÍCIA BLUME EHLERT

Influência da rota de ativação química nas propriedades adsorventes de carvões ativados
aplicados à remoção de atrazina

Jaraguá do Sul
Junho de 2026

ANA BEATRIZ LIMA BARROS
GABRIELA DIAS
GABRYELLA NOGUEIRA DA SILVA
ISABELI SOPHIE HOLOVATY
SARAH GABRIELLA PEREIRA
VITÓRIA LETÍCIA BLUME EHLERT

Influência da rota de ativação química nas propriedades adsorventes de carvões ativados
aplicados à remoção de atrazina

Projeto de pesquisa apresentado como requisito do
programa Conectando Saberes, do curso Técnico em
Química, modalidade integrado, do Instituto Federal de
Santa Catarina, Câmpus de Jaraguá do Sul - Centro.

Orientador: Dr. Fernando Manzotti

Jaraguá do Sul
Junho de 2026

SUMÁRIO

1 TEMA.....	3
2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	3
3 PROBLEMA.....	3
4 HIPÓTESES.....	3
5 OBJETIVOS.....	4
5.1 OBJETIVO GERAL.....	4
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
6 JUSTIFICATIVA.....	4
7 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
7.1 SETOR AGRÍCOLA E AGROPECUÁRIO NO BRASIL.....	6
7.2 RESÍDUOS AGRÍCOLAS.....	8
7.3 HERBICIDAS.....	9
7.3.1 Herbicidas, risco a saúde e águas contaminadas.....	10
7.4 TRATAMENTO DE ÁGUA.....	10
7.5 ADSORVENTE.....	11
7.6 CARVÃO ATIVADO.....	13
8 METODOLOGIA.....	15
9 CRONOGRAMA.....	18
REFERÊNCIAS.....	19

1 TEMA

Produção de carvão ativado a partir de resíduos agrícolas do arroz, mediante diferentes rotas de ativação química, e avaliação de sua eficiência na adsorção do herbicida atrazina em solução aquosa.

2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A pesquisa tem como foco a produção de carvão ativado a partir da casca de arroz, avaliando a sua eficiência na adsorção do herbicida atrazina em meio aquoso. O trabalho abrange a comparação entre duas rotas de ativação química: em meio ácido, utilizando ácido fosfórico (H_3PO_4) e em meio básico, com hidróxido de potássio (KOH). Os ensaios serão conduzidos em escala laboratorial de bancada, em sistema de batelada, abordando a influência do pH, do tempo de contato e da temperatura.

3 PROBLEMA

Qual método de ativação química em meio ácido ou em meio básico proporciona maior desenvolvimento da estrutura porosa e da área específica do carvão ativado obtido de resíduos agrícolas do arroz, resultando em maior capacidade de adsorção da atrazina em solução aquosa?

4 HIPÓTESES

- Será possível obter o carvão ativado a partir do resíduo da indústria cerealista.
- A rota de ativação química da matéria orgânica carbonizada influencia nas propriedades química, estruturais e morfológicas do carvão ativado.
- O material produzido terá potencial de remoção do contaminante atrazina, herbicida frequentemente utilizado em produções agrícolas.
- A via de ativação química influenciará a eficiência da remoção deste adsorvato.

5 OBJETIVOS

Os objetivos deste projeto de pesquisa são descritos na sequência, separados em Objetivos Geral e Objetivos Específicos.

5.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho consiste em avaliar a eficiência de diferentes métodos de ativação do carvão ativado na adsorção do herbicida atrazina.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar a eficiência de remoção da atrazina utilizando carvões ativados quimicamente em meio ácido e em meio básico.
- Determinar a capacidade máxima de adsorção dos carvões ativados e verificar se os valores experimentais convergem com os esperados na literatura.
- Determinar o tempo de agitação necessário para que o carvão ativado atinja o equilíbrio na adsorção da atrazina.
- Verificar a influência do pH e temperatura no processo na capacidade de adsorção do contaminante pelo carvão ativado.

6 JUSTIFICATIVA

A intensificação das atividades agrícolas no Brasil, embora fundamental para a segurança alimentar e para a economia nacional, tem como contrapartida o uso crescente de agroquímicos, entre os quais se destacam os herbicidas. A atrazina, herbicida pertencente à classe das s-triazinas, figura entre os mais utilizados no mundo e é frequentemente detectada em águas superficiais e subterrâneas, em razão de sua elevada persistência ambiental (DORES; DE-LAMONICA-FREIRE, 2001). Sua permanência prolongada no meio ambiente é tamanha que, mesmo em países onde foi proibida há quase duas décadas, como na União Europeia, ainda são encontrados resíduos da substância em corpos hídricos. Tal característica torna a contaminação por atrazina um problema não apenas atual, mas de longa duração, com

potencial de comprometer mananciais destinados ao abastecimento público por muitos anos após a aplicação.

A preocupação com a presença desse herbicida na água é agravada por seus efeitos sobre a saúde humana e os ecossistemas. A atrazina é reconhecida como desregulador endócrino e classificada quanto ao seu potencial carcinogênico, sendo associada a efeitos adversos sobre os sistemas neuroendócrino e reprodutivo dos organismos expostos (COELHO *et al.*, 2013). Mesmo em concentrações da ordem de microgramas ou nanogramas por litro, esses microcontaminantes podem produzir efeitos significativos quando acumulados ao longo da cadeia trófica, representando risco especialmente aos organismos situados em seu topo, incluindo o ser humano (CUNHA *et al.*, 2007). Esse cenário evidencia a necessidade de tecnologias de tratamento capazes de remover tais compostos da água de forma eficiente.

Os processos convencionais de tratamento de água, baseados sobretudo na coagulação química, apresentam reconhecida limitação na remoção de atrazina e de outros microcontaminantes orgânicos (COELHO *et al.*, 2013). Nesse contexto, a adsorção em carvão ativado destaca-se como uma das tecnologias mais promissoras e amplamente estudadas para a remoção de poluentes emergentes, em virtude de sua elevada área superficial, de sua estrutura porosa desenvolvida e de sua eficiência comprovada na retenção de moléculas orgânicas. Entretanto, o carvão ativado comercial é majoritariamente produzido a partir de fontes não renováveis, como o carvão mineral, ou de matérias-primas de custo elevado, o que onera o processo de tratamento e limita sua adoção em larga escala, sobretudo em regiões de menor poder aquisitivo.

Paralelamente ao problema da contaminação hídrica, a agroindústria brasileira gera enormes volumes de resíduos lignocelulósicos cujo descarte inadequado constitui, por si só, um passivo ambiental relevante. A casca de arroz é um exemplo expressivo: estima-se que cada tonelada de arroz colhido produza cerca de 200 kg de casca, material de difícil degradação que, quando depositado no solo, leva anos para se decompor (POUEY, 2006). Quando descartada em aterros ou em fundos de rios, sua decomposição libera gás metano, cujo potencial de aquecimento global é substancialmente superior ao do dióxido de carbono, ao passo que sua queima a céu aberto resulta na emissão de monóxido e dióxido de carbono (DELLA; KÜHN; HOTZA, 2005). Apenas no Rio Grande do Sul, são gerados anualmente milhões de metros cúbicos desse resíduo, parte dos quais permanece sem destinação economicamente útil.

É justamente na convergência desses dois problemas — a contaminação das águas por agroquímicos persistentes e a geração de resíduos agroindustriais subaproveitados — que se

ancora a relevância do presente estudo. A conversão de resíduos agrícolas em carvão ativado representa uma estratégia de valorização de um passivo ambiental, transformando um material descartado em um adsorvente de baixo custo e de fonte renovável. Essa abordagem alinha-se aos princípios da economia circular e do desenvolvimento sustentável, na medida em que um subproduto agrícola, em vez de ser descartado de forma a poluir o solo e a atmosfera, passa a integrar a solução de outro problema ambiental: o tratamento de águas contaminadas (DELLA; KÜHN; HOTZA, 2005).

A pertinência regional reforça a justificativa do trabalho. Santa Catarina e a região Sul do Brasil concentram expressiva produção orizícola, o que assegura ampla disponibilidade de casca de arroz como matéria-prima local, reduzindo custos de transporte e favorecendo a aplicação dos resultados na própria região onde a pesquisa é desenvolvida. Soma-se a isso o fato de a casca de arroz possuir elevado teor de carbono fixo e características físico-químicas favoráveis à produção de carvão ativado, conforme demonstrado em estudos prévios que obtiveram adsorventes eficientes a partir desse precursor (CUNHA *et al.*, 2007).

Diante do exposto, justifica-se a realização desta pesquisa pela possibilidade de oferecer uma alternativa tecnológica sustentável, de baixo custo e de aplicabilidade regional para a remoção de contaminantes emergentes de origem agroquímica em meio aquoso. Ao investigar a produção de carvão ativado a partir da casca de arroz e avaliar sua eficiência na adsorção da atrazina, o estudo contribui simultaneamente para a destinação adequada de um resíduo agroindustrial e para o aprimoramento de processos de tratamento de água, gerando benefícios ambientais, econômicos e sociais.

7 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir é apresentada a fundamentação teórica do projeto, que aborda aspectos imprescindíveis para o entendimento do projeto.

7.1 SETOR AGRÍCOLA E AGROPECUÁRIO NO BRASIL

O Brasil consolida-se como um dos maiores produtores agropecuários do mundo. O agronegócio desempenha um papel fundamental na economia nacional, tendo representado, por exemplo, cerca de um terço do Produto Interno Bruto (PIB) no primeiro trimestre de 2025 calculado pelo Cepea (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada), da Esalq/USP, em parceria com a CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil). A produtividade

agrícola brasileira apresenta padrões de localização definidos por efeitos de dependência espacial, formando clusters de alta produtividade, especialmente em regiões de agricultura intensiva como o estado de São Paulo e o Centro-Oeste (PEROBELLI *et al.* 2007).

Devido à sua posição de destaque na produção agropecuária, o Brasil tornou-se um dos maiores consumidores mundiais de agrotóxicos. Vipievski Júnior *et al.* (2022) destaca que nos últimos anos, observou-se um aumento exponencial no número de registros desses produtos no país. Este crescimento é impulsionado por mudanças normativas e políticas que flexibilizaram os registros, muitas vezes desconsiderando questões de saúde pública e preservação ambiental.

A utilização intensiva dessas substâncias gera riscos significativos de contaminação para recursos hídricos, solo e ar. A geração de resíduos é uma consequência direta da atividade agrícola em larga escala. Como alternativa para minimizar a dependência de insumos químicos e reduzir o passivo ambiental, têm-se buscado tecnologias mais sustentáveis. De acordo com Campanhola *et al.* (2003), entre as práticas alternativas destacam-se o controle biológico (uso de agentes naturais para o controle de pragas, como o *Baculovirus anticarsia* na soja) e o aproveitamento de resíduos (uso de biofertilizantes produzidos a partir de matéria orgânica disponível na própria propriedade, o que auxilia no controle de doenças e na nutrição das plantas).

Em níveis regionais, o estado de Santa Catarina possui uma agricultura predominantemente familiar. No ano de 2025 o estado atingiu um valor de 4,73% das exportações agropecuárias do Brasil ocupando o oitavo lugar na lista dos estados brasileiros, em destaque produtos como a carne de frango, carne suína, madeira e a soja em grãos (EPAGRI, 2026). Segundo a Embrapa

“Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006, conhecida como a Lei da Agricultura Familiar, define como agricultor familiar e empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural, atendendo, simultaneamente, aos seguintes requisitos: i) não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 (quatro) módulos fiscais; ii) utilize predominantemente mão-de-obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento; iii) tenha renda familiar predominantemente originada de atividades econômicas vinculadas ao próprio estabelecimento ou empreendimento; iv) dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família.”

Entretanto, apesar de a agricultura familiar não ser um setor que abrange muitos hectares de terra, o uso de agrotóxicos ainda pode acabar sendo prejudicial ao ecossistema da região. Segundo um estudo realizado o estado catarinense possui o maior nível de contaminação, e cerca de 56% dos municípios já relataram casos de contaminação do solo por agrotóxicos, como por exemplo a bacia do Itajaí que se localiza no Alto Vale. Os agroquímicos podem se dissipar de diferentes formas no ambiente, como pelo processo de lixiviação que é o movimento das moléculas não-voláteis e que não se dissolvem em água no solo vertical, no caso das moléculas orgânicas a lixiviação pode levá las até a parte mais superficial do solo, no entanto em alguns casos podem atingir o lençol freático, a lixiviação é o processo mais adequado a ser utilizado durante a pesquisa do presente trabalho (Rosa *et al*, p. 3, 2000).

De acordo com esses dados pode-se observar que no setor agrícola de Santa Catarina utiliza-se um elevado número de agroquímicos, possuindo um potencial para lixiviação, o que acarreta em riscos ao solo e à bacia hidrográfica da região.

7.2 RESÍDUOS AGRÍCOLAS

Os resíduos agrícolas são materiais resultantes das atividades agropecuárias e agroindustriais, englobando restos de lavouras, subprodutos e rejeitos de processamento. Conforme Rossol *et al.* (2012), a reutilização de resíduos na agricultura está associada a processos de classificação, controle, armazenamento, transporte, tratamento e destinação final, sempre considerando princípios de saúde pública, conservação de recursos e sustentabilidade ambiental.

A crescente produção agrícola no Brasil tem intensificado a geração desses resíduos, tornando urgente a busca por alternativas sustentáveis que permitam sua valorização. Ramos (2000) destaca que a biomassa lignocelulósica, presente em diversos resíduos agrícolas, pode ser convertida em combustíveis, insumos químicos e materiais de alto valor agregado, desde que submetida a processos de pré-tratamento adequados.

O arroz gera resíduos significativos durante seu beneficiamento. Sousa (2019) descreve que os principais subprodutos são a casca, o farelo e a quirera. A casca, que representa cerca de 22% do grão, é tradicionalmente utilizada como combustível em fornalhas, mas também pode ser convertida em cinzas ricas em sílica, com aplicações industriais. O farelo possui alto valor nutritivo e pode ser destinado à alimentação animal ou à

extração de óleo.

Evidencia-se que resíduos agrícolas como o do arroz possuem características químicas e estruturais que os tornam aptos para processos de conversão em carvão ativado. Esse material é amplamente utilizado como adsorvente de contaminantes em sistemas de tratamento de água e efluentes, sendo uma alternativa sustentável frente ao manejo inadequado dos resíduos. Assim, o aproveitamento de resíduos agrícolas para produção de carvão ativado representa uma estratégia que alia sustentabilidade ambiental, inovação tecnológica e geração de valor econômico, destacando a importância do desenvolvimento de pesquisas que busquem otimizar os processos de obtenção e caracterização do carvão ativado, a fim de ampliar sua eficiência e viabilidade de aplicação em larga escala.

7.3 HERBICIDAS

Herbicidas são um tipo de agrotóxico usado na produção agrícola, para certificar de que a plantação principal não precise disputar por água e nutrientes do solo, ele foi desenvolvido para controlar ou matar plantas indesejadas, como a erva daninha.

Esses agroquímicos podem ser classificados de diversas formas, conforme sua seletividade, época de aplicação e modo de ação. Em relação a seletividade, eles se dividem em seletivos que inibem apenas as plantas daninhas e os não seletivos que inibem qualquer vegetação em volta. Quanto à época de aplicação, existem os pré plantio que se incorporam ao solo antes do cultivo e os pós plantio que são aplicados antes da semeadura. Por fim, quanto ao modo de ação, temos os herbicidas de contato que atuam apenas onde são aplicados e os sistêmicos que são absorvidos e conduzidos pelos tecidos vasculares do vegetal (Mendes; Silva; Mielke, 2022).

7.3.1 Herbicidas, risco a saúde e águas contaminadas

No Brasil há diversos herbicidas que são utilizados na produção agrícola, no entanto muitos deles são considerados prejudiciais à saúde. Temos como um bom exemplo o glifosato, que é o agrotóxico mais vendido no Brasil, porém de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) o glifosato é considerado possivelmente cancerígeno para as pessoas (Ecodebate, 2023).

De acordo com Dellamatrice e Monteiro (2014), o uso severo de agrotóxicos no país é um dos principais fatores para a poluição do meio ambiente. O Brasil é um grande produtor e

consumidor desse tipo de substância e esse fato influencia diretamente na perda da biodiversidade e da qualidade dos recursos hídricos. Segundo um estudo realizado no estado de Rio Grande do Sul em rios próximos a plantações de arroz pode-se confirmar que o uso de herbicidas como clomazone e propanil possuem um alto potencial de poluição, o quinclorac um potencial médio e os bentazone e o 2,4-D um baixo potencial de poluição nas águas dos rios. Sistemas de cultivo que liberam água ao meio ambiente, devem ser supervisionados de forma rigorosa, já que grande parte da contaminação do meio ambiente por herbicidas vem desse tipo de prática, que é prejudicial para os animais que têm acesso a essa contaminação.

“Herbicidas usados na cultura do arroz irrigado têm um efeito prejudicial potencial para a vida aquática, pois a drenagem da água da lavoura de arroz irrigado coincide com a época de reprodução dos peixes. Então, todo sistema de cultivo de arroz que libera água para o meio ambiente precisa ser monitorado com relação à concentração de herbicidas, e planos de gerenciamento, de manejo da cultura e de desempenho para proteger a vida aquática precisam ser implementados.” (Primel; Zanella; Kurz; Gonçalves; Machado; Marchezan, 2005).

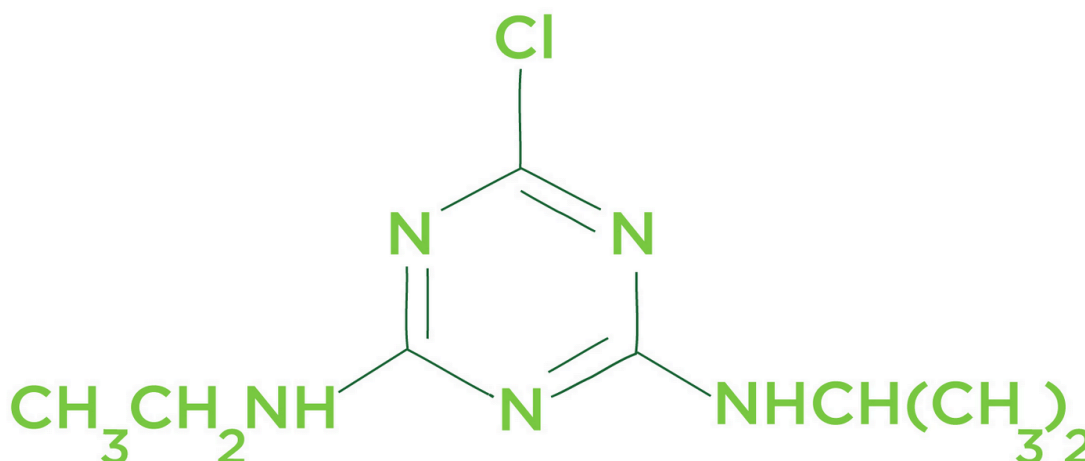
7.4 ATRAZINA

O composto químico ([2-cloro-4-(etilamino)-6-(isopropilamino)-1, 3,5-triazina]), conhecido popularmente como atrazina, sendo um dos herbicidas mais utilizados na agricultura mundial, sendo aplicada principalmente em culturas de grande importância econômica, como o milho, o sorgo e a cana-de-açúcar. Sua principal função na agricultura é controlar plantas daninhas que competem por nutrientes com as lavouras. Mas apesar da sua eficiência no combate às ervas daninhas ela possui uma alta persistência no ambiente pois quando aplicada na lavoura, a molécula não se decompõe imediatamente e pode permanecer no solo por longos períodos. Isso garante mais tempo de proteção para a lavoura, mas também faz com que o agrotóxico continue presente na terra por muito tempo, causando assim o risco de ser transportado pelas chuvas para lagos e rios ou prejudicar a saúde do solo.(Coelho; Vazzoler; Leal, 2012).

Segundo o IBAMA (2019), a atrazina apresenta número CAS 1912-24-9, fórmula molecular $C_8H_{14}ClN_5$ e massa molar de $215,685 \text{ g mol}^{-1}$. O composto é encontrado como um sólido branco ou branco a bege, geralmente na forma de pó fino, apresentando pouco ou nenhum odor.

Do ponto de vista da Química Orgânica, ela pertence à classe das *s-triazinas* e é classificada como um composto nitrogenado de caráter básico com polaridade baixa, a atrazina apresenta como estrutura principal um anel heterocíclico de 1,3,5-triazina. Ligados ao anel encontram-se um átomo de cloro e dois grupos amino, sendo um grupo etilamino ($-NH-CH_2CH_3$) e um grupo isopropilamino ($-NH-CH(CH_3)_2$). Dessa forma, a molécula apresenta grupos funcionais relacionados às aminas, além de um haleto orgânico (Figura 1). (Ávila; Leite; Dick, 2009).

Figura 1: Molécula de atrazina



Fonte: UpHerb (2014)

A estrutura molecular da atrazina também pode ser identificada por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Segundo Ávila et al. (2009), a molécula apresenta uma banda próxima a 3262 cm^{-1} , associada às deformações axiais simétrica e assimétrica das ligações N-H, enquanto as bandas próximas de 2960 e 2850 cm^{-1} estão relacionadas ao estiramento das ligações C-H de grupos alifáticos. Também foram observadas bandas em aproximadamente 1628 e 1550 cm^{-1} , atribuídas às ligações C=C e C=N presentes

na estrutura. Essas características espectroscópicas evidenciam a presença dos grupos estruturais da molécula e podem ser utilizadas como referência para sua identificação química (ÁVILA et al., 2009).

Quanto ao comportamento em meio aquoso, a atrazina apresenta solubilidade em água de aproximadamente 30 mg L^{-1} , embora os valores determinados experimentalmente variem conforme as condições de temperatura e pH. O perfil ambiental do IBAMA apresenta valores de $29,50 \text{ mg L}^{-1}$ a 20°C e de aproximadamente $32,3$ a $32,5 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$ a 30°C , em diferentes condições de pH. Essa característica determina a possibilidade de preparo das soluções do contaminante e influencia sua disponibilidade na fase líquida (IBAMA, 2019).

Em relação ao comportamento ácido-base, a atrazina apresenta dois sítios com capacidade de ionização, associados aos grupos derivados da etilamina e da isopropilamina. Os valores de pKa apresentados pelo IBAMA encontram-se aproximadamente entre 1,4 e 1,9, dependendo do sítio de ionização e das condições experimentais. A interação entre o contaminante e a superfície do adsorvente pode ser influenciada pelas condições de pH do meio. Assim, os diferentes valores de pH permitem investigar a influência das condições ácido-base sobre a afinidade entre o adsorvente e o contaminante (IBAMA, 2019).

A determinação da concentração de atrazina por espectrofotometria UV-Visível também está relacionada às características espectroscópicas da molécula. Ávila et al. (2009) determinaram a absorbância da atrazina por espectrofotometria UV-Vis e, a partir do espectro de uma solução de 15 mg L^{-1} , identificaram a absorbância máxima em 222 nm. Os autores também utilizaram soluções padrão para a construção de uma curva analítica e observaram que a linearidade da Lei de Beer-Lambert era respeitada até a concentração de 15 mg L^{-1} nas condições avaliadas. Dessa forma, o comprimento de onda de aproximadamente 222 nm pode ser empregado para a quantificação espectrofotométrica da atrazina em solução, mediante a construção prévia de uma curva de calibração (ÁVILA et al., 2009).

Assim, as características estruturais e físico-químicas da atrazina estão diretamente relacionadas ao seu comportamento durante os ensaios de adsorção. Dessa forma, o conhecimento dessas propriedades é fundamental para compreender a influência do pH, a afinidade entre adsorvente e contaminante e a determinação da concentração residual de atrazina durante os estudos de cinética e equilíbrio de adsorção.

7.5 TRATAMENTO DE ÁGUA

De acordo com Palma e Lourencetti (2011), o Brasil é o país em desenvolvimento que mais utiliza agrotóxicos focando no setor agropecuário, porém esse uso intensivo pode contaminar a população brasileira gerando sérios danos. A contaminação da água que fornece o abastecimento às cidades têm um risco maior ainda, já que é algo que consumimos todos os dias.

Para que não haja contaminação é necessário tratar corretamente os recursos hídricos. “A remoção eficiente de pesticidas em águas de abastecimento só é possível por meio de tecnologias especiais, visto que as etapas tradicionais das estações de tratamento não foram projetadas para esse fim (GUENZI, 1974 *apud* AGUIAR, 2000)”.

Como as etapas convencionais são ineficazes é preciso usar tratamentos avançados como processos oxidativos avançados (POAs), ultrafiltração e adsorção. De acordo com Antonopoulou e Konstantinou (2014) os POAs é um método físico químico que degrada compostos orgânicos em recursos hídricos e formando radicais hidroxila, esses radicais quebram as cadeias dos herbicidas e oxidam os compostos orgânicos depois eles viram minérios e por último são transformados em CO_2 , H_2O ou em sais inorgânicos, desse modo não causando danos ao meio ambiente. O processos oxidativos avançados podem ser classificados em homogêneos caso o catalisador e o reagente estejam na mesma fase e heterogêneo se o catalisador e o reagente estiverem em fases diferentes (LOURES *et al.*, 2013; RIBEIRO *et al.*, 2015 *apud* SANTOS JÚNIOR, 2025).

A ultrafiltração é um processo de separação, que remove a matéria orgânica e os microrganismos, esse processo ocorre por utilização de membranas. As membranas atuam como barreiras seletivas que se dividem em duas fases, controlando a movimentação de uma ou mais substâncias de uma fase para a outra. Utilizando a pressão para retirar essas substâncias indesejadas, melhorando a qualidade da água (Ghiggi, 2011).

A adsorção é um processo de separação, onde as impurezas são adsorvidas na superfície de um sólido poroso, chamado de adsorvente, esse procedimento serve para a remoção de cor, odor e sabor, assim purificando a água, a adsorção pode ser física ou química (Schmitt, 2011).

7.6 ADSORVENTE

A crescente preocupação com a poluição hídrica tem impulsionado o estudo de tecnologias capazes de remover contaminantes que resistem aos tratamentos convencionais. Um desses contaminantes são toxinas presentes nas células das cianobactérias que, quando

dissolvidas em água, necessitam passar pelo processo de adsorção para serem eliminadas (MÜLLER *et al.*, p. 2). Nesse contexto, a adsorção destaca-se como uma operação de transferência de massa de alta eficiência, fundamentada na capacidade de determinados sólidos, conhecidos como adsorventes, de reter em sua superfície moléculas ou íons de um fluido, denominados adsorvatos (NASCIMENTO *et al.*, 2020). Diferente dos processos de absorção, a adsorção é um fenômeno essencialmente superficial, de modo que a eficiência da remoção é diretamente proporcional à área superficial disponível no sólido; quanto maior a porosidade e a área interna do material, maior será sua capacidade de carga (VASQUES, 2008; NASCIMENTO *et al.*, 2020).

As interações entre o adsorvato e o adsorvente podem ser classificadas em dois tipos principais: a adsorção física (fisissorção), que envolve forças intermoleculares fracas do tipo Van der Waals e é geralmente um processo reversível, e a adsorção química (quimissorção), caracterizada por forças fortes e formação de ligações químicas na superfície do sólido, sendo frequentemente irreversível (NASCIMENTO *et al.*, 2020). A adsorção pode ocorrer de forma monomolecular, em apenas uma camada de moléculas, ou em várias camadas, nesse caso adsorção multimolecular (FURLAN, 2008). Diversos fatores influenciam esse equilíbrio, como o pH da solução, a temperatura, o tempo de contato entre as fases, a dosagem do adsorvente e a concentração inicial do contaminante (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Dentre os materiais utilizados para essa finalidade, o carvão ativado é o adsorvente mais empregado mundialmente devido à sua excepcional porosidade e versatilidade na remoção de corantes, metais pesados e compostos orgânicos (VASQUES, 2008). A estrutura do carvão ativado é constituída por grafite, onde as bordas e vértices são capazes de acomodar uma quantidade relativamente alta de elementos (GUILLARDCI, *et al.*, 2006).

No entanto, o elevado custo de produção do carvão ativado comercial e a necessidade de processos de regeneração dispendiosos têm levado pesquisadores a buscar matérias-primas alternativas (VASQUES, 2008; WERLANG *et al.*, 2013). Os resíduos agrícolas e vegetais surgem como precursores promissores, pois são materiais lignocelulósicos abundantemente disponíveis, renováveis e de baixo custo (WERLANG *et al.*, 2013). Exemplos de materiais estudados incluem cascas de arroz, bagaço de coco, sementes de frutas e resíduos de colheitas, que podem ser transformados em carvão ativado por meio de ativação química ou física para otimizar sua estrutura de poros (VASQUES, 2008; WERLANG *et al.*, 2013). Em estudos relacionados ao carvão ativado produzido com resíduos agrícolas, o adsorvente já se mostra eficiente se comparado ao carvão vegetal comercial, como é mostrado no estudo de Ries e Silveira (2019, p. 6490) “O carvão vegetal produzido a partir da pirólise (a 600 °C) da casca

de arroz apresentou resultados promissores, alcançando eficiência elevada e similar à exibida pelos carvões ativados comerciais”.

Portanto, a produção de carvão ativado a partir de resíduos da colheita agrícola configura-se como uma estratégia duplamente vantajosa. Do ponto de vista econômico, reduz os custos de fabricação de adsorventes de alta performance, e, do ponto de vista ambiental, oferece uma destinação nobre e sustentável para subprodutos que, de outra forma, seriam descartados no meio ambiente (WERLANG *et al.*, 2013).

7.7 CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado é um material carbonáceo obtido a partir da decomposição térmica de matérias-primas ricas em carbono, apresentando elevada porosidade e área superficial desenvolvida. Diversos precursores podem ser utilizados em sua produção, destacando-se resíduos agrícolas e agroindustriais, devido ao seu baixo custo e abundância (SCHILLER, 2019).

A produção do carvão ativado ocorre em duas etapas principais, a carbonização e a ativação. A carbonização, também conhecida como pirólise, é uma etapa fundamental na produção do carvão ativado, sendo caracterizada pela decomposição térmica do material precursor em ambiente com ausência ou baixa concentração de oxigênio. Durante esse processo, ocorre a liberação de compostos voláteis, resultando em um material sólido rico em carbono, que servirá de base para as etapas posteriores de ativação. Nesse contexto, a escolha da matéria-prima exerce papel essencial, uma vez que influencia diretamente as características do carvão obtido. Dessa forma, a utilização desses resíduos na etapa de pirólise destaca-se como uma alternativa sustentável e eficiente, permitindo a valorização de subprodutos e a obtenção de materiais com propriedades adequadas para diversas aplicações.

A ativação do carvão pode ocorrer por meio químico ou físico, ambos com o objetivo de aumentar significativamente a área superficial e modificar a estrutura porosa do material. Na ativação química, o precursor é impregnado com agentes ativantes, como bases, ácidos, óxidos ou sais, antes ou após a etapa de pirólise, sendo que a escolha do reagente influencia diretamente as propriedades finais do carvão ativado, juntamente com a natureza da matéria-prima utilizada (ZHOU *et al.*, 2018 *apud* SCHILLER, 2019). Esse método é amplamente empregado por permitir maior controle sobre a formação de microporos e por demandar, em geral, temperaturas mais baixas. Por outro lado, a ativação física ocorre pela ação de agentes oxidantes, como vapor de água e dióxido de carbono, geralmente durante ou

após a pirólise, promovendo a abertura e o desenvolvimento dos poros por meio da remoção de carbono da estrutura (TADDA *et al.*, 2016; CASTRO *et al.*, 2018 *apud* SCHILLER, 2019). A pirólise, nesse contexto, é uma etapa fundamental, pois é responsável pela formação da matriz carbonosa que posteriormente será ativada. Dessa forma, tanto a ativação química quanto a física desempenham papéis essenciais na definição das características estruturais e do desempenho do carvão ativado.

Para a definição do agente ativante mais apropriado ao presente estudo, realiza-se levantamento comparativo de seis trabalhos, sendo três conduzidos com ativantes ácidos e três com ativantes básicos. Entre os estudos com ativação ácida, Reis e Silva (2015) produziram carvão ativado a partir de casca de arroz ativada com ácido fosfórico concentrado (85%), após carbonização em mufla a 600 °C por 40 minutos. Os autores relataram que o material final apresentou um ponto de carga zero de 6,4, indicando uma superfície levemente ácida. Nos ensaios de adsorção por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), o carvão ativado demonstrou uma eficiência de remoção de 83,78% para o pesticida paration metílico e de 21,61% para o pesticida 2,4-D. Nascimento *et al.* (2017), por sua vez, empregaram H_3PO_4 nas concentrações de 1,0 e 1,5 mol L^{-1} sobre palha de milho pirolisada, obtendo carvão com área superficial de 747 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ e capacidade de adsorção de 57,57 mg g^{-1} para atrazina. Em um terceiro estudo, Dutra (2021) utilizaram cloreto de zinco (ZnCl_2) na razão de impregnação 1:3 a casca do eucalipto branco a 300 °C, alcançando rendimento próximo a 35%, embora com etapas críticas de lavagem para remoção do residual do ativante.

Entre os estudos com ativação básica, Cunha (2007) preparou carvão ativado a partir de casca de arroz com hidróxido de sódio (NaOH) e relatou que a presença natural de sílica amorfa no precursor reage fortemente com a base, gerando estruturas com elevados valores de área superficial específica e de volume de microporos. Lutch (2019) otimizou a produção de carvão ativado de casca de arroz com hidróxido de potássio (KOH) por meio de planejamento fatorial, identificando como condições ótimas a temperatura de 500 °C por 60 minutos, com remoção de 89% de azul de metileno. Caldas (2009) avaliou a ativação de casca de arroz com carbonato de potássio (K_2CO_3) e KOH em unidade pirolítica a vácuo, observando que a ativação alcalina resulta em superfícies menos ácidas e em adsorventes predominantemente mesoporosos, característica favorável à adsorção de íons de elevado peso molecular.

Além disso, a escolha da matéria-prima exerce papel essencial na produção do carvão ativado. Segundo Rovani (2015), os resíduos agrícolas são compostos por uma grande quantidade de celulose, hemicelulose e lignina. Eles apresentam grande potencial, pois além

de serem renováveis e de baixo custo, contribuem para a redução de impactos ambientais associados ao descarte inadequado desses materiais (SILVA, 2009).

7.8 REGENERAÇÃO DO CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado é um dos adsorventes mais utilizados industrialmente para a remoção de contaminantes em efluentes e filtragens de ar devido à sua alta porosidade e área superficial. No entanto, durante o seu uso contínuo, a estrutura porosa do material é gradativamente preenchida pelos poluentes até atingir um estado de saturação (SILVA, 2018). Quando o insumo perde sua capacidade adsortiva, a destinação comum costuma ser o descarte como resíduo industrial, o que representa elevado custo financeiro e impacto ambiental. Nesse cenário, o processo de regeneração surge como uma alternativa sustentável para restaurar as propriedades do material e estender seu ciclo de vida útil.

Entre os principais benefícios da regeneração, destaca-se a acentuada redução de custos operacionais com a aquisição contínua de carvão virgem. O reaproveitamento do material restaurado permite alcançar eficiências adsorptivas muito próximas às de um insumo novo, viabilizando economicamente o arranjo produtivo (VIEIRA, 2019). Além disso, a aplicação de processos *in situ* — como a eletro oxidação ou a reação Fenton — reduz os gastos com transporte e manuseio do adsorptivo saturado, simplificando a logística industrial (CAVALCANTI; BARBOSA; SOBRAL, 2002; SILVA, 2018).

Sob a perspectiva ambiental, a reutilização minimiza drasticamente o volume de resíduos perigosos que seriam destinados a aterros industriais ou incinerados. Uma vez que o filtro químico ou leito saturado deixa de ser descartado prematuramente, mitiga-se a geração de efluentes e o consumo de matéria-prima para a produção de novos adsorventes (SILVA, 2018; VIEIRA, 2019). Dessa forma, a regeneração se consolida como uma estratégia de economia circular, aliando responsabilidade ecológica com ganho de eficiência operacional nas indústrias. O mecanismo de regeneração baseia-se no desprendimento ou na degradação das moléculas de contaminantes que estão fixadas nos poros do carvão. Existem diferentes rotas para promover essa restauração, como a regeneração térmica, biológica e química (SANTOS, 2021).

7.8.1 Regeneração Térmica

A regeneração térmica é a técnica mais amplamente empregada para restaurar a capacidade adsorviva do carvão ativado (CA). Esse método baseia-se na exposição do adsorvente saturado a elevadas temperaturas, normalmente em atmosfera inerte, promovendo a dessorção ou a decomposição térmica (pirólise) dos contaminantes adsorvidos, com o objetivo de preservar, tanto quanto possível, a estrutura do material. Estudos demonstram que a eficiência desse processo depende de diversos fatores, incluindo a natureza dos contaminantes, as possíveis reações entre eles durante o aquecimento, bem como as características relacionadas à produção e à origem do carvão ativado, o que explica a ampla variação das condições operacionais descritas na literatura (MARQUES et al., 2017; RADIC et al., 2017 *apud* SANTOS, 2021). Apesar de sua ampla aplicação, a regeneração térmica apresenta limitações importantes, como o elevado consumo energético, a possibilidade de formação de subprodutos potencialmente perigosos, perdas de material durante o processo, recuperação incompleta da capacidade de adsorção em condições não oxidantes e alterações na estrutura micro porosa do carvão quando empregadas condições oxidantes.

7.8.2 Regeneração Biológica

De acordo com Santos (2021), a regeneração biológica do carvão ativado (CA) baseia-se na ação de microrganismos capazes de degradar os contaminantes adsorvidos na superfície e nos poros do material, restabelecendo parte de sua capacidade adsorviva ao liberar novamente os sítios ativos para novos ciclos de adsorção. Esse processo pode ocorrer por dois mecanismos principais: no primeiro, os contaminantes são inicialmente dessorvidos para a fase aquosa e, em seguida, biodegradados pelos microrganismos, favorecidos pelo gradiente de concentração entre o adsorbato e o meio líquido; no segundo, a degradação acontece diretamente no interior dos poros do carvão ativado, por meio da ação de exoenzimas produzidas pelos microrganismos sobre os compostos orgânicos adsorvidos (LIM et al., 2018). Apesar de representar uma alternativa com potencial de menor custo e menor impacto ambiental em comparação a outros métodos de regeneração, a técnica apresenta limitações importantes, como a baixa velocidade do processo e a dependência de que os contaminantes adsorvidos sejam biodegradáveis, condição que restringe sua aplicação a determinados tipos de poluentes (MUKIRANA et al., 2010 *apud* SANTOS, 2021).

7.8.3 Regeneração Química

A regeneração química do carvão ativado (CA) consiste na aplicação de reagentes capazes de promover a dessorção ou a degradação dos contaminantes retidos em sua superfície, restabelecendo parcialmente sua capacidade de adsorção. Esse método é amplamente empregado devido à sua simplicidade operacional, uma vez que pode ser realizado *in situ*, e por apresentar resultados satisfatórios na recuperação do desempenho do adsorvente. Os agentes regenerantes mais utilizados incluem solventes orgânicos e compostos químicos inorgânicos, cuja eficiência está diretamente relacionada à solubilidade e à reatividade entre os reagentes e os contaminantes adsorvidos, bem como às características do próprio material adsorvente (GAO et al., 2015; JUDD et al., 2018 *apud* SANTOS, 2021). Entretanto, a regeneração química apresenta limitações importantes, pois a recuperação da capacidade adsorptiva do carvão ativado nem sempre é completa, em razão da permanência de resíduos de solventes no material. Além disso, o processo não promove a eliminação definitiva dos poluentes, ocorrendo apenas sua transferência para outra fase, o que resulta na geração de resíduos secundários que requerem tratamento adicional (SANTOS, 2021).

8 METODOLOGIA

O procedimento metodológico para a produção do carvão ativado inicia-se com a coleta e o preparo da casca de arroz, resíduo agroindustrial escolhido em razão de sua elevada disponibilidade no Sul do Brasil, do alto teor de carbono fixo e do caráter não-graftizados, características que conferem adequação à manufatura de carvão ativado. Após a coleta junto a beneficiadoras da região, o material será submetido à higienização por meio de lavagem sucessiva em água corrente, procedimento adotado para a remoção de poeira, palha residual e sílica solúvel aderida à superfície. Em seguida, a casca lavada é disposta em bandejas e levada à estufa com circulação de ar à temperatura de 105 °C por 1 hora, ou até atingir massa constante. (CUNHA et al., 2007). A trituração do material seco será realizada em moinho de facas, sendo o produto classificado por peneiras granulométricas da série Tyler, de modo a obter fração com tamanho de partícula entre 20 e 60 mesh (0,25 a 0,84 mm), faixa amplamente adotada em estudos de preparo de carvões ativados a partir de resíduos lignocelulósicos (NASCIMENTO et al., 2017).

Após a etapa de preparo, o material segue para a carbonização, também denominada pirólise, processo que consiste na decomposição térmica do precursor em ambiente com ausência ou baixa concentração de oxigênio. Esta fase é fundamental para a formação da matriz carbonosa, durante a qual ocorre a liberação de compostos voláteis e a obtenção de um

material sólido rico em carbono, base para a etapa subsequente de ativação. A ativação, necessária para desenvolver a porosidade e aumentar a área superficial, pode ser realizada por métodos físicos, mediante o emprego de agentes oxidantes como vapor de água ou dióxido de carbono em altas temperaturas, ou por métodos químicos, nos quais o precursor é impregnado com agentes ativantes ácidos ou básicos. A ativação química tem sido preferida em diversos estudos por permitir o uso de temperaturas de pirólise mais baixas, maior rendimento e obtenção de material com maior área superficial específica (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Considerando que os ativantes ácidos, especialmente o H_3PO_4 , apresentam menor agressividade operacional, ampla literatura aplicada a resíduos lignocelulósicos e capacidade adsortiva comprovada para a atrazina — contaminante-modelo do presente estudo —, adota-se neste trabalho a ativação química com ácido fosfórico como rota ácida, comparada à ativação básica com KOH, em conformidade com o problema de pesquisa proposto. As cascas previamente preparadas serão impregnadas com solução do agente ativante na razão mássica de 1:1 (massa de casca:massa de ativante) sob agitação por duas horas, permanecendo em repouso por 24 horas para garantir penetração uniforme do ativante. Em seguida, o material impregnado é levado à mufla, onde se procede à carbonização e ativação simultâneas à temperatura de 600 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C min⁻¹ e patamar de 40 minutos, parâmetros adotados com base nos resultados experimentais de Reis (2015) para casca de arroz. Após o resfriamento natural até a temperatura ambiente, o carvão é lavado com água destilada aquecida (aproximadamente 80 °C) até que o filtrado atinja pH próximo à neutralidade, sendo posteriormente seco em estufa a 105 °C por 12 horas, armazenado em recipiente hermético e ao abrigo da luz.

O material produzido será caracterizado quanto à textura e à morfologia, contemplando a determinação do ponto de carga zero (pH_{PCZ}), espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) para identificação dos grupos funcionais superficiais e microscopia eletrônica de varredura (MEV) para avaliação morfológica e da porosidade aparente. Para avaliar a eficiência do material na adsorção de contaminantes, são realizados ensaios em batelada, conduzidos em frascos âmbar de 250 mL para evitar a fotodegradação da atrazina, sob agitação orbital constante de 150 rpm. Em todos os ensaios, mantém-se a proporção de 0,1 g de carvão ativado para 25 mL de solução, configurando dosagem de 5 g L⁻¹, valor consistente com a faixa de dosagem (5–20 g L⁻¹) adotada em estudos prévios de adsorção de micropoluentes em carvão ativado (KAMINSKI, 2018). Os experimentos serão realizados à temperatura de 25 ± 2 °C, considerada padrão para ensaios laboratoriais com adsorventes carbonosos.

O teste de afinidade entre o adsorvente e o contaminante é realizado previamente aos demais ensaios. Nele, o carvão produzido é posto em contato com soluções de atrazina em concentração inicial de 10 mg L^{-1} , por um período fixo de 120 minutos, em valores de pH ajustados a 3, 5, 7, 9 e 11 com soluções de HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ou NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. A faixa de pH adotada cobre desde condições fortemente ácidas até alcalinas, permitindo identificar a faixa ótima de operação a partir da relação entre o pH da solução e o pH_{PCZ} do adsorvente (SANTOS *et al.*, 2022). O pH selecionado neste ensaio é então fixado para os ensaios subsequentes de cinética e isoterma.

A cinética de adsorção é avaliada mantendo-se constantes a massa de adsorvente, o volume e a concentração inicial de atrazina (10 mg L^{-1}), variando-se apenas o tempo de contato. Aliquotas são coletadas em intervalos crescentes de 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240 e 300 minutos, filtradas em membrana de $0,45 \mu\text{m}$ e quantificadas por espectrofotometria UV-Visível no comprimento de onda de máxima absorção da atrazina, em torno de 222 nm, com curva de calibração previamente construída. Os dados experimentais são ajustados aos modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e difusão intrapartícula, conforme procedimento amplamente consolidado na literatura para adsorção em carvões ativados (NASCIMENTO *et al.*, 2017; SANTOS *et al.*, 2022).

A isoterma de adsorção é construída a partir de ensaios com concentrações iniciais de atrazina variando entre 1, 5, 10, 20, 40, 60 e 80 mg L^{-1} , mantendo-se constantes a massa de adsorvente, o volume de solução, o pH previamente determinado, a temperatura e o tempo de contato igual ao tempo de equilíbrio identificado no estudo cinético. Aos dados experimentais ajustam-se os modelos de Langmuir e de Freundlich, modelos consagrados na descrição do equilíbrio de adsorção em carvões ativados (NASCIMENTO *et al.*, 2017). A capacidade máxima de adsorção é expressa em miligramas de atrazina por grama de adsorvente (mg g^{-1}), e a qualidade do ajuste é avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2) e pela análise dos resíduos.

Os parâmetros dos modelos cinéticos e isotérmicos são obtidos por regressão não-linear, com auxílio de planilha eletrônica equipada com ferramenta de otimização (Solver) ou de software livre como o R. Todos os ensaios são realizados em triplicata, sendo os resultados apresentados como média acompanhada do desvio padrão, garantindo a confiabilidade estatística das medidas (SCHRANK *et al.*, 2021).

9 CRONOGRAMA

A seguir é apresentado o cronograma (Quadro 1) para a prática da metodologia proposta no projeto presente e as respectivas datas.

Período	2026.2					2027.1				
Meses	ago	set	out	nov	dez	fev	mar	abr	mai	jun
Revisão do projeto a partir das considerações da banca	X	X								
Coleta e preparo das cascas de arroz		X	X							
Preparo dos materiais adsorventes	X	X	X							
Caracterizações físico e químicas do material produzido		X	X	X	X	X	X			
Ensaio de adsorção em batelada com atrazina			X	X	X	X	X	X		
Tratamento dos dados experimentais				X	X	X	X	X	X	X
Escrita do relatório parcial		X	X	X	X					
Escrita do relatório final						X	X	X	X	
Apresentação para banca					X					X

Quadro 1: Cronograma para realização das práticas que constam na metodologia. Fonte: Autoria Própria.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Máriam Trierveiler Pereira. **Verificação da eficiência de um tratamento convencional de água para remoção de atrazina e glifosato**. 2000. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/8858>. Acesso em: 11 maio 2026.

ANTONOPOULOU, M.; KONSTANTINOU, I. **Tratamento fotocatalítico do herbicida metribuzin sobre suspensões aquosas de TiO₂: Eficiência de remoção, identificação de produtos de transformação, rotas de reação e avaliação de ecotoxicidade**. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 294, pp. 110–120, 2014.

ÁVILA, Letícia Gomes de; LEITE, Simone Benvenuti; DICK, Deborah Pinheiro; POHLMANN, Adriana Raffin. **Formulações de atrazina em xerogéis: síntese e caracterização**. Química Nova, São Paulo, v. 32, n. 7, p. 1727-1733, 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/9m6n5mbLrsnxqXpgxvdnsCz/?format=pdf&lang=pt&ilang=pt_BR. Acesso em: 18 ago. 2026

CALDAS, A. **Estudo da eficiência e aplicabilidade de carvão ativado resultante de pirólise de casca de arroz em barreiras reativas na remoção de contaminantes em solos**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/18292>. Acesso em: 11 de maio de 2026.

CAMPANHOLA, Clayton; BETTIOL, Wagner (Ed. Técnicos). **Métodos alternativos de controle fitossanitário**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003, p.279. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/defesa/livros/METODOS%20ALTERNATIVOS%20DE%20CONTROLE%20FITOSSANITARIO.pdf#page=15>. Acesso em: 05 maio 2026.

CAVALCANTI, Cristina S.; BARBOSA, Luis Alberto Dantas; SOBRAL, Luis Gonzaga Santos. **Reciclagem eletrolítica de carvão ativado vegetal**. *Mineralis*, Rio de Janeiro, p. 20-28, 2002. Disponível em: <https://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/845/1/Cristina.pdf>. Acesso em: 07 de agosto de 2026.

COELHO, Edumar Ramos Cabral et al. Emprego do carvão ativado para remoção de atrazina em água de abastecimento público. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 4, p. 421-428, out./dez. 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/j/esa/a/gcTbHXQS3YTctdgZrXvxDMN/?format=pdf&lang=pt&ilang=pt_BR . Acesso em: 25 maio 2026.

CUNHA G. Alfredo. *et al.* Preparação e caracterização do acionamento quimicamente a partir da casca do arroz. **Química Nova** , São Paulo, v. 7, pág. 1664-1668, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/hddGk5jYgS9XfskvNxWzrbs/> . Acesso em: 11 de maio de 2026.

DELLA, Viviana Possamai; KÜHN, Ingeborg; HOTZA, Dachamir. Reciclagem de resíduos agroindustriais: cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. **Cerâmica Industrial** , São Paulo, v. 2, pág. 22-25, 2005. Disponível em: <https://www.ceramicaindustrial.org.br/journal/ci/article/587657227f8c9d6e028b46cb> . Acesso em: 29 de maio de 2026.

DELLAMATRICE, Priscila; MONTEIRO, Regina. Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Vol. 18, nov 2014, p. 1296-1301. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/KTDWxjKS9f6gwG8tYPNMzss/?format=html&lang=pt>

DORES, EFGC; DE-LAMONICA-FREIRE, EM Contaminação do ambiente aquático por pesticidas: vias de contaminação e dinâmica dos pesticidas no ambiente aquático. **Agrotóxicos: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente** , Curitiba, v. 27-52, 2001. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/pesticidas> . Acesso em: 29 de maio de 2026.

DUTRA, Danrley Kristyam Rosa. Obtenção de carvão ativado a partir do resíduo de casca do eucalipto branco . **Revista Eletrônica Univates**, Lajeado, 2011. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/51097ddf-9044-4b68-b82e-19d050eac0b5/content>. Acesso em: 11 maio 2026.

EMBRAPA. Agricultura familiar. **Portal Embrapa**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-agricultura-familiar/sobre-o-tema>. Acesso em: 07 de junho de 2026.

EPAGRI. Boletim agropecuário nº 156. p.1-82, Mai 2026. Disponível em: https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/ba/article/view/2531/2269?utm_campaign=BA_maio_2026. Acesso em: 29 de maio de 2026.

EPAGRI. Desempenho da agropecuária e do agronegócio de Santa Catarina: 2025. nº 230, p. 1-127, abril 2026. Disponível em: https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Desempenho_do_Agronegocio_2025.pdf. Acesso em: 29 de maio de 2026.

FURLAN, Franciele Regina. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO E ADSORÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS. 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/91020/252704.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GHIGGI, Fernanda Famoso. **Tratamento de Águas para Consumo Doméstico com Membranas de Ultrafiltração**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/38383>

GUILARDUCI, Viviane Vasques da Silva, *et al.* ADSORÇÃO DE FENOL SOBRE CARVÃO ATIVADO EM MEIO ALCALINO. v. 29, n. 6, 2006, p. 1226-1232. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000600015>

KAMINSKI, K. **Adsorção de fármacos em carvão ativado**: processo em batelada, leito fixo e modelagem das curvas de ruptura. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/182226>. Acesso em: 11 maio 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Perfil ambiental: Atrazina: CAS 1912-24-9**. Brasília, DF: IBAMA, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/phocadownload/agrotoxicos/perfis-ambientais/2019/Perfil%20Ambiental%20-%20Atrazina%20-%202002_10_2019.pdf. Acesso em: 18 ago. 2026

LUCHT, Emili Emilha. **Produção e otimização de compósito adsorvente para remoção de corante com alginato de sódio e carvão ativado de casca de arroz**. 2019. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/66064>. Acesso em: 29 de maio de 2026.

MENDES, Kassio; SILVA, Antônio; MIELKE, Kamila. Classificação, seletividade e mecanismo de ação de herbicidas. **Plantas Daninhas: Herbicidas**, São Paulo, Vol. 2, ago 2022, p.7-56. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/362582532_Classificacao_seletividade_e_mecanismos_de_acao_de_herbicidas

MÜLLER, Carla Cristine; RODRIGUEZ, Maria Teresa Raya; CYBIS, Luiz Fernando. ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO EM PÓ PARA REMOÇÃO DE MICROCISTINA DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO. **Ang Sanit Ambient**, v. 14, n. 1, 2009, p. 29-38. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/dwQDLDSgDDwdgVcZFFFHmw/?format=html&lang=pt>

NASCIMENTO, Cleuciane Tillvitz Do. et al. Síntese e caracterização de carvão ativado da palha de milho a partir da ativação química com h3po4 para a adsorção de atrazina e carbendazim. in: anais do xxxviii congresso brasileiro de sistemas particulados, 2017, Maringá. **Anais eletrônicos...**, Galoá, 2017. Disponível em: <https://proceedings.science/enemp/enemp-2017/trabalhos/sintese-e-caracterizacao-de-carvao-ativado-da-palha-de-milho-a-partir-da-ativacao?lang=pt-br>. Acesso em: 11 maio 2026.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do et al. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. E-book. 2. ed. **Fortaleza: Imprensa Universitária**. 2020. (Estudos da

pós-graduação). Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53271>. Acesso em: 14 de abril de 2026

OLIVEIRA, Luiz C. A. *et al.* Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de FeCl₃ como agente ativante. **Química Nova**, São Paulo, v. 6, pág. 1296-1300, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/nhj9jF6LfxxkHSvZTGJ7XvQ/>. Acesso em: 11 maio 2026.

PALMA, Danielly Cristina de Andrade; LOURENCETTI, Carolina. Agrotóxicos em água e alimentos: risco à saúde humana. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, Araraquara, v. 18, n. 1, p. 1-10, 2011. Disponível em: <https://www.revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/108>

PEROBELLI, Fernando Salgueiro *et al.* Produtividade do setor agrícola brasileiro (1991-2003): uma análise espacial. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 17, n. 1, p. 65-91, jan./abr. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/neco/a/LTZ9L95WgKKKLcZk4rfqkvh/?lang=pt>

PRESTES, dos Santos Bruna. Subsídios à agricultura familiar: contribuições do Pronaf no alto vale do itajaí (2003/04 e 2012). **Revista NECAT**, n.9, p. 111-131, 2016. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/revistanecat/article/view/4443/3392>
Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/7733>. Acesso em: 29 maio 2026.

PRIMEL, Edinel; ZANELLA, Renato; KURZ, Mércia; GONÇALVES, Fábio; MACHADO, Sérgio; MARCHEZAN, Enio. Poluição das águas por herbicidas utilizados no cultivo do arroz irrigado na região central do estado do rio grande do sul, brasil: predição teórica e monitoramento. **Química nova**, Vol. 28, ago 2005, p 605-609. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/qv3TwKfGC5t5bTv4mPDpHpb/?format=html&lang=pt>

POUEY, Maria Tereza Fernandes. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006. 320 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7733/000554896.pdf?sequence=1&isAllowed=>. Acesso em: 11 de maio 2026

RAMOS, Luiz Pereira. APROVEITAMENTO INTEGRAL DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E AGRO-INDUSTRIAS. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/268286269_APROVEITAMENTO_INTEGRAL_DE_RESIDUOS_AGRICOLAS_E_AGRO-_INDUSTRIAS

REIS, Amanda da Silva. *et al.* Produção de carvão ativado a partir de casca de arroz. **Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, V. 2, N°Especial, p. 89-103, 2015. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/1551/8345>. Acesso em: 07 de maio 2026.

ROSA, de Carvalho Fabiana *et al.* Avaliação do potencial de lixiviação de agroquímicos na bacia do Itajaí. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, p. 1-18, 2000. Disponível em:

https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/151/f7f8c4bc6c27e1b7c5a2aed3cf114fcd_2054c5205dd0131c2bbc34975eb1f5f5.pdf.

ROSSOL, Charles Douglas *et al.* CARACTERIZAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS DA AGRICULTURA. *Scientia Agraria Paranaensis*, [S. l.], v. 11, n. 4, p. 33–43, 2013. DOI: 10.18188/sap.v11i4.5858. Disponível em: <https://saber.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/5858>. Acesso em: 3 mai. 2026.

ROVANI, Suzimara. Preparo e caracterização de carvão e carvão ativado a partir de resíduos agroindustriais e aplicação na remoção de estrogênios. *Lume*, Porto Alegre, ago. 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/131683/000981338.pdf?sequence=1>

SANTOS, Danilo Henrique da Silva. **Avaliação da eficiência dos processos oxidativos avançados na regeneração de carvão ativado saturado com poluente orgânico**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018. Disponível em : <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/123456789/8096/3/Avalia%C3%A7%C3%A3o%20da%20efici%C3%Aancia%20dos%20processos%20oxidativos%20avan%C3%A7ados%20na%20regenera%C3%A7%C3%A3o%20de%20carv%C3%A3o%20ativado%20saturado%20com%20poluente%20org%C3%A2nico.pdf>. Acesso em: 07 de agosto de 2026

SANTOS, Lucas Oliveira; OLIVEIRA, Deusimar Lopes; NASCIMENTO, Evair Dias; DE ALENCAR, Wagner Soares; SIQUEIRA, Joana Luiza Pires; VIEIRA, Débora Albuquerque; SOUZA, Adriane Damasceno Vieira de; DE OLIVEIRA CARVALHO, Francisco Adriano. Carvão ativado de baixo custo da casca da castanha do Pará para remoção de corante em solução aquosa: estudo cinético e do mecanismo termodinâmico. *Scientia Plena*, [S. l.], v. 18, n. 9, 2022. DOI: 10.14808/sci.plena.2022.094201. Disponível em: <https://scientiaplena.emnuvens.com.br/sp/article/view/6605>. Acesso em: 05 de maio, 2026.

SANTOS JÚNIOR, Carlos Alberto dos. **Estudo da eficiência da aplicação da fotólise e dos processos oxidativos avançados para a degradação dos compostos recalcitrantes: Metribuzin, Carbofurano E 2,4 D**. 2025. 35 f. TCC (Graduação em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/34622>. Acesso em: 10 mai. 2026. Acesso em: 10 de maio, 2026.

SCHRANK, S. G. *et al.* Biocarvão ativado produzido a partir de lodo anaeróbico de estação de tratamento de efluentes para remoção do corante tartrazina. *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/7kvkcLkSJ9TRk4N44btWwDg/>. Acesso em: 11 maio 2026.

SCHILLER, Andréia. Produção de carvão ativado de resíduos de grãos de canola visando remediação de recursos hídricos contaminados por metais tóxicos. *Tede*, Paraná, jul. 2019. Disponível em: https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/4595/5/Andreia%20_Schiller_2019.pdf

SCHMITT, Dalila. **Tratamento de Águas Residuárias da Indústria de Laticínios Pelos Processos Combinados Coagulação/ Floculação/ Adsorção/ Ultrafiltração Utilizando Semente de Moringa Oleífera Como Coagulante**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2011. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/1902>

SILVA, Janice. Estudo da eficiência e aplicabilidade de carvão ativado resultante de pirólise de casca de arroz em barreiras reativas na remoção de contaminantes em solos. **Lume**, Porto Alegre, ago. 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18292/000728117.pdf?sequence=1>. Acesso em: 16 de maio, 2026

SILVA, Rita. Brasil é um dos principais receptores de agrotóxicos proibidos na União Europeia. **EcoDebate**, out 2023. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2023/10/10/brasil-e-um-dos-principais-receptores-de-agrotoxicos-proibidos-na-uniao-europeia/>

SILVA, Fabrício Machado *et al.* Rotas tecnológicas empregadas no aproveitamento de resíduos da indústria da soja. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.8, n.1, p.326-363, 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/sarah/Downloads/hamom,+20-ROTAS+TECNOL%C3%93GICAS+EMPREGADAS+NO+APROVEITAMENTO+DE+RES%C3%84DUOS+DA+IND%C3%93ASTRIA+DA+SOJA.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2026.

SOUSA, Jade Vieira. **industrialização e gestão de resíduos de arroz no brasil**. 2019. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/28480/3/Industrializa%C3%A7%C3%A3oGest%C3%A3oRes%C3%ADDUOS.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2026.

UP HERB. **Atrazina**. Passo Fundo: Up Herb - Academia das Plantas Daninhas, 2014. Disponível em: <https://upherb.com.br/int/atrazina>. Acesso em: 18 ago. 2026

VASQUES, Andressa Regina. Caracterização e aplicação de adsorvente para a remoção de corantes de efluentes têxteis em batelada e colunas de leito fixo. 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/90859/251395.pdf>

VIEIRA, Cleber Corrêa. **Estudo da regeneração de carvão ativado saturado de filtro químico usado em respirador semifacial**. 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Desenvolvimento da Educação Profissional) – Centro Paula Souza, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://bkpsitecpsnew.blob.core.windows.net/uploadsitecps/sites/279/2026/03/Cleber-Correa-Vieira.pdf>. Acesso em: 07 de agosto de 2026.

VIPIEVSKI JÚNIOR, José Mário; VARGAS, Letícia Paludo; BET, Viviane Teresinha. Flexibilização dos agrotóxicos no Brasil: a expansão dos registros e do consumo. **Iniciação Científica CESUMAR**, v. 24, n. 1, e10671, 2022. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/iccesumar/article/view/10671/7081>

WERLANG, Eliana Betina; DE SOUZA SCHNEIDER, Rosana de Cássia; LAWISCH RODRIGUEZ, Adriane; NIEDERSBERG, Carolina. PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE RESÍDUOS VEGETAIS. **Revista Jovens Pesquisadores**, [S. l.], v. 3, n. 1, 2013. DOI: 10.17058/rjp.v3i1.3600. Disponível em: <https://seer.unisc.br/index.php/jovenspesquisadores/article/view/3600>. Acesso em: 14 abr. 2026.