

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Marina Carpes de Moraes

**Avaliação do descarte de rolhas de cortiça e alternativa de reutilização como carvão
ativado para remoção de corantes.**

Florianópolis

2022

Marina Carpes de Moraes

**Avaliação do descarte de rolhas de cortiça e alternativa de reutilização como carvão
ativado para remoção de corantes.**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em engenharia sanitária e ambiental.

Orientador: MSc. Dayane Gonzaga Domingos

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Moraes, Marina Carpes de
Avaliação do descarte de rolhas de cortiça e alternativa
de reutilização como carvão ativado para remoção de
corantes. / Marina Carpes de Moraes ; orientadora, Dayane
Gonzaga Domingos, 2022.
60 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental,
Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Carvão ativado
de cortiça. 3. Rolha de cortiça. 4. Adsorção de corantes. 5.
Carvão ativado. I. Gonzaga Domingos, Dayane . II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Marina Carpes de Moraes

Avaliação do descarte de rolhas de cortiça e alternativa de reutilização como carvão ativado para remoção de corantes.

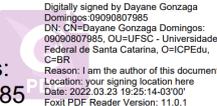
Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental

Florianópolis, 16 de março de 2022.

Prof (a). Maria Elisa Magri, Dr (a).
Coordenadora do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Banca Examinadora:

Dayane
Gonzaga
Domingos:
09090807985



Digitally signed by Dayane Gonzaga Domingos:09090807985
DN: CN=Dayane Gonzaga Domingos:09090807985, OU=UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, O=ICPEdu, C=BR
Reason: I am the author of this document
Location: your signing location here
Date: 2022.03.23 19:25:14-03'00'
Foxit PDF Reader Version: 11.0.1

Prof.(a) Dayane Gonzaga Domingos, MSc (a)
Orientador(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Maria Eliza Nagel Hassemer, Dr.(a)
Avaliador(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Nelson Libardi Junior, Dr.(a)
Avaliador(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico esse trabalho a meu avô Valdir Pereira Carpes (*in memoriam*) que sempre incentivou meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente minha namorada Marina Victória por ser um meu apoio nos momentos que mais precisei. A minha irmã Elize e minha mãe Rosana, mulheres fortes que sempre serviram de exemplo para mim. Aos amigos maravilhosos que fiz nesse processo, em especial a Bibiana e Jéssica que passaram por muitos perrengues comigo. A minha família por sempre ser meu porto seguro. E finalmente a minha orientadora Dayane pela orientação e imensa paciência.

RESUMO

Visando-se dar uma destinação alternativa às rolhas de cortiça descartadas, analisou-se esse material como composto precursor na produção de carvão ativado e sua capacidade de adsorção de dois diferentes corantes, Azul de Metileno (AM) e *reactive red* PF-3B (RED), afim de entender a aplicabilidade deste tipo de carvão na adsorção de corantes em água. Para entender os padrões de consumo de vinho e, portanto, o descarte das rolhas de cortiça no Brasil e mensurar sua destinação final, aplicou-se um questionário online com diversas perguntas que concernem ao tema. Os resultados do questionário demonstraram que a maior parte dos participantes descarta as rolhas em lixo comum, mostrando que uma alternativa a sua destinação final é necessária. O questionário recebeu ao todo 242 respostas, mas foram consideradas apenas as respostas de participantes maiores de 18 anos que consumiam bebidas com rolha, resultando em 209 respostas finais, este valor representou uma amostra com 95% de nível de confiança, e erro amostral de 6,78% para mais ou para menos. Os estudos de caracterização do carvão ativado de cortiça e sua capacidade de remoção demonstraram sua eficiência de remoção para o corante AM foi satisfatória à uma concentração de $0,4 \text{ g L}^{-1}$ de carvão ativado, e para o corante RED de 1 g L^{-1} de CAC. O tempo de contato para alcançar o equilíbrio do processo foi de 4 minutos para o AM e 90 minutos para o RED. A concentração de corante foi estabelecida 100 mg L^{-1} para ambos os corantes. A melhor temperatura de adsorção foi de 55°C para o AM e 25°C para o RED. Por fim a faixa de pH melhor para adsorção de AM foi 11 e para o RAD este valor foi pH 3. A cinética de adsorção que mais se adequou aos resultados experimentais foi a de pseudossegunda ordem e a isoterma escolhida que melhor representou o processo de adsorção foi a de Freundlich. Os parâmetros termodinâmicos de variação da energia de Gibbs (ΔG), a variação da entalpia (ΔH) e variação da entropia (ΔS) apresentaram para o AM respectivamente valores negativos, valor positivo e valor positivo, demonstrando que a reação foi espontânea, endotérmica e há grande afinidade entre o corante e o CAC. Para o corante RED foram encontrados valores positivos de ΔG , valor negativo de ΔH , valor negativo de ΔS mostrando que o processo não é espontâneo, é exotérmico e é favorecido em baixas temperaturas. Concluiu-se, então, que o carvão ativado produzido com rolhas descartadas de cortiça tem mais afinidade com o AM, um corante catiônico, mas consegue remover ambos os corantes da água.

Palavras-chave: Carvão ativado de cortiça. Rolha de cortiça. Adsorção de corantes.

ABSTRACT

In order to give discarded cork stoppers an alternative destination, the material was analyzed as a precursor compound in activated carbon's production as well as its capacity to adsorb these two different dyes, Methylene Blue (AM) and reactive red PF-3B (RED). The aim of the experiment was to understand the applicability of this type of carbon in the adsorption of dyes in water. To comprehend the wine consumption patterns and, therefore, the disposal of cork stoppers in Brazil and measure their final destination, an online questionnaire was applied with several questions that concern the topic. The results showed that most of the participants discard the corks in common waste, showing that an alternative to their final destination is necessary. It was received 242 responses in total, but only responses from participants over 18 years old who consumed beverages with a cork were considered, resulting in 209 final responses. This value represented a sample with a 95% confidence level, and a sample error of 6.78% up or down. The characterization studies of cork activated carbon and its removal capacity showed that its removal efficiency for the AM dye was satisfactory at a concentration of 0.4 g L^{-1} of activated carbon and for the RED dye of 1 g L^{-1} of CAC. The contact time to reach process equilibrium was 4 minutes for AM and 90 minutes for RED. The dye concentration was set at 100 mg L^{-1} for both dyes. The best adsorption temperature was 55°C for AM and 25°C for RED. Finally, the best pH range for AM adsorption was 11 and for RAD this value was pH 3. The adsorption kinetics that best suited the experimental results was the pseudo-second-order and the chosen isotherm that best represented the adsorption process was Freundlich's. The thermodynamic parameters of Gibbs energy variation (ΔG), enthalpy variation (ΔH), and entropy variation (ΔS) presented negative, positive, and positive values for AM respectively, demonstrating that the reaction was spontaneous, endothermic and there is a great affinity between the dye and the CAC. For the RED dye, positive values of ΔG , negative value of ΔH , negative value of ΔS were found, showing that the process is not spontaneous, it is exothermic and is favored at low temperatures. It was concluded, whatsoever, that activated carbon produced with discarded cork stoppers has more affinity with AM, a cationic dye, but manages to remove both dyes from water.

Keywords: Cork activated carbon. Cork stopper. Dye adsorption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma de produção de rolhas de cortiça	16
Figura 2 – Pergunta 10: Como você descarta as rolhas	33
Figura 3 - Micrografias obtidas por MEV da cortiça. (A) amplitude de 330 x; (B) amplitude de 800 x.	34
Figura 4 - Micrografias obtidas por MEV do carvão ativado. (A) amplitude de 500 x; (B) amplitude de 1000 x.	35
Figura 5 - Isoterma de adsorção-dessorção de nitrogênio do carvão ativado.....	35
Figura 6 – Efeito do tempo de contato na remoção de AM.....	36
Figura 7– Efeito do tempo de contato na remoção de RED.	37
Figura 8 - Efeito da concentração de carvão ativado de cortiça na remoção dos corantes.	38
Figura 9 - Efeito da concentração inicial de corantes na adsorção por carvão ativado de cortiça.	39
Figura 10 – Efeito do pH na taxa de adsorção do corante AM.	40
Figura 11 – Efeito do pH na taxa de adsorção do corante RED.....	41
Figura 12 - Efeito da temperatura na taxa de adsorção de AM.	42
Figura 13 - Efeito do tempo na taxa de adsorção de RED	42
Figura 14 - Cinéticas de adsorção em carvão ativado de cortiça para AM em concentração de $0,04 \text{ g L}^{-1}$	44
Figura 15 - Cinéticas de adsorção em carvão ativado de cortiça para RED em concentração de 1 g L^{-1}	44
Figura 16 - Comparação das Isotermas na adsorção de corante AM em carvão ativado de cortiça.	46
Figura 17 - Comparação das Isotermas na adsorção de corante RED em carvão ativado de cortiça.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Trabalhos que abordam reutilização de cortiça	20
Tabela 2 - Fatores e níveis utilizados durante os experimentos.	29
Tabela 3 - Respostas de alternativa ao descarte dadas pelos participantes do questionário.	33
Tabela 4 - Propriedades do CAC da curva de adsorção-dessorção	35
Tabela 5 - Parâmetros de modelos cinéticos para os corantes AM e RED em carvão ativado de cortiça	43
Tabela 6 - Parâmetros isotérmicos para os corantes AM e RED em carvão ativado de cortiça	45
Tabela 7 - Parâmetros termodinâmicos para os corantes AM e RED em carvão ativado de cortiça	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM - Azul de metileno

ACF - Fibra de carbono ativada

GAC - Carvão ativado granular

LCME - Laboratório Central de Microscopia Eletrônica da UFSC

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

PAC - Carvão ativado em pó

PSD - Distribuição de tamanho de poro

RED - *reactive red* PF-3B

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos.....	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	INDUSTRIA CORTICEIRA.....	15
2.2	CONSUMO DE VINHO NO BRASIL	18
2.3	REUTILIZAÇÃO DE CORTIÇA	20
2.4	ADSORÇÃO	23
2.5	CARVÃO ATIVADO	25
3	MATERIAIS E METODOS	26
3.1	APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO	26
3.2	PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO	27
3.2.1	Caracterização	28
3.3	ADSORÇÃO EM BATELADA.....	28
3.4	CINÉTICA DE ADSORÇÃO, ISOTERMNAS E TERMODINÂMICA	30
3.4.1	Cinéticas de adsorção	30
3.4.2	Isotermas de adsorção	30
3.4.3	Termodinâmicas de adsorção	31
4	RESULTADOS	32
4.1	PADRÕES DE CONSUMO E DESCARTE.....	32
4.2	CHARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO	34
4.3	PARAMETROS DE ADSORÇÃO	36
4.3.1	Efeito do tempo de contato.....	36
4.3.2	Efeito da concentração de carvão ativado.....	37
4.3.3	Efeito da concentração inicial de corante.....	38

4.3.4	Efeito do pH	39
4.3.5	Efeito da Temperatura	41
4.4	ESTUDO DE CINÉTICA DE ADSORÇÃO, ISOTERMAS E TERMODÂMICA	43
4.4.1	Cinéticas de adsorção e modelagem de equilíbrio	43
4.4.2	Isotermas de adsorção	44
4.4.3	Parâmetros termodinâmicos de adsorção	47
5	CONCLUSÃO.....	49
6	RECOMENDAÇÕES.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51
	APÊNDICE A – Questionário	58
	APÊNDICE B – Respostas do questionário	58

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a qualidade da água é uma das maiores preocupações da humanidade devido ao aumento da população e à crescente necessidade de água potável. A disponibilidade de água está em condições críticas devido à escassez de recursos hídricos e a presença de poluentes nos efluentes das indústrias. Por isso, a remoção de poluentes das fontes de água é essencial. Dentre os efluentes industriais mais preocupantes para os corpos hídricos estão os corantes sintéticos, que são utilizados mundialmente em diversas indústrias (têxtil, couro, papel e plásticos), pois afetam profundamente o meio ambiente e têm contribuído significativamente para o aumento da poluição (AFSHAR *et al.*, 2022).

O efluente contendo corantes além de ser esteticamente desagradável, afeta a penetração da luz nos corpos receptores, interferindo no ecossistema aquático e levando a efeitos maléficos, pois essas substâncias também são carcinogênicas. A maioria dos corantes comercialmente usados são resistentes aos métodos de tratamento que utilizam biodegradação. Por causa disso, existem inúmeras pesquisas com tratamentos inovadores como oxidação avançada, eletrocoagulação, ozonização, troca iônica, irradiação, adsorção e outros processos. (AFSHAR *et al.*, 2022; PERIRINI *et al.*, 2012).

O método de adsorção com carvão ativado é considerado uma boa estratégia de tratamento devido ao seu alto desempenho de purificação, baixo impacto ao meio ambiente e fácil operação (DOTTO, 2010; FREIRE *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2021). Porém, os altos custos na preparação de carvões ativados comerciais tornam sua aplicação limitada (RAFATULLAH *et al.*, 2010). Em diversas pesquisas foram utilizados diferentes resíduos industriais e agrícolas na preparação de carvões ativados para adsorção de corantes, como palha, serragem, cascas de frutas e outros. Porém, o desempenho de adsorção maioria deles ainda está longe de ser satisfatório. Isso pode ser devido a heterogeneidade dessas biomassas, que afetam o desenvolvimento de microestruturas no processo de ativação. Por tanto, a seleção de fontes de carbono adequadas e métodos apropriados de ativação são fundamentais para a obtenção de carvão ativado com alta eficiência de adsorção (WANG *et al.*, 2021).

A cortiça é um material de origem natural, obtido com a extração da casca do sobreiro, que é utilizado há muitos anos principalmente na fabricação de rolhas para fechamento de vinhos e espumantes. Apesar da indústria vinícola absorver a maior parte do uso de cortiça, existem diversas outras aplicações para esse material, na construção civil, como material de isolamento, na produção de aglomerados, decoração, e outras aplicações (SILVA, 2005; APCOR, 2020). De acordo com Silva (2005) e Wang (2021) a cortiça tem grande capacidade adsorção, por ser um material poroso composto de células prismáticas dispostas em uma

estrutura com formato de favo de mel, e pode ser utilizada como carvão ativado com possibilidade de ser regenerado e reutilizado mais de uma vez, substituindo outros materiais adsorventes que não podem ser regenerados.

Somente Portugal é responsável por produzir aproximadamente 85 mil toneladas de cortiça anualmente que majoritariamente se tornam rolhas, e que uma vez utilizadas no fechamento de garrafas de vinhos e espumantes não podem reutilizadas industrialmente após o consumo dessas bebidas. Além disso, existem resíduos de cortiça na produção de rolhas que não são completamente aproveitados. Juntando isso ao alto consumo de vinhos e espumantes, há uma grande geração de resíduos (DEMERTZI, *et al.*, 2015; APCOR, 2020). O destino mais comum em países que são grandes produtores de cortiça, como Portugal, ainda é a incineração (SILVA, 2005). Ainda, de acordo com a OIV (2021) consumo de vinho tem aumentado nos últimos anos no Brasil, por consequência, o consumo e descarte de rolhas também.

Sendo assim, o descarte de cortiça pode ser considerado abundante e, portanto, a cortiça descartada pode ser utilizada na fabricação de carvão ativado. Diversos estudos mostram o potencial de carvões ativados derivados da cortiça como adsorventes para remover poluentes ambientais, entretanto, poucos examinaram o desempenho de adsorção de corantes orgânicos por carvão ativado derivado de rolhas de cortiça recicladas (WANG *et al.*, 2021). Frente a este contexto, pretende-se abordar a problemática de contaminantes de corante em efluentes, propondo um método de remoção através da produção de carvão ativado utilizando rolhas de cortiça como material precursor. Para isso, serão avaliadas as propriedades e os mecanismos físico-químicos que ocorre entre os corantes e a cortiça, através de estudos de adsorção em batelada.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é utilizar rolhas de cortiça como material precursor na produção de carvão ativado e apresentar uma proposta de reutilização no processo de adsorção de corantes.

1.1.2 Objetivos específicos

- Entender os hábitos e consumo, bem como identificar o destino de rolhas de cortiça através da aplicação de questionários.
- Efetuar a síntese de carvão ativado através de cortiça derivada de rolhas descartadas para validar a possibilidade de uso de rolhas de como carvão ativado.

- Efetuar ensaios em regime em batelada para determinar as cinéticas e isotermas de adsorção para a remoção do corante azul de metileno (AM) e *reactive red* PF-3B (RED), afim de verificar a eficiência do carvão ativado na remoção de corantes da água.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

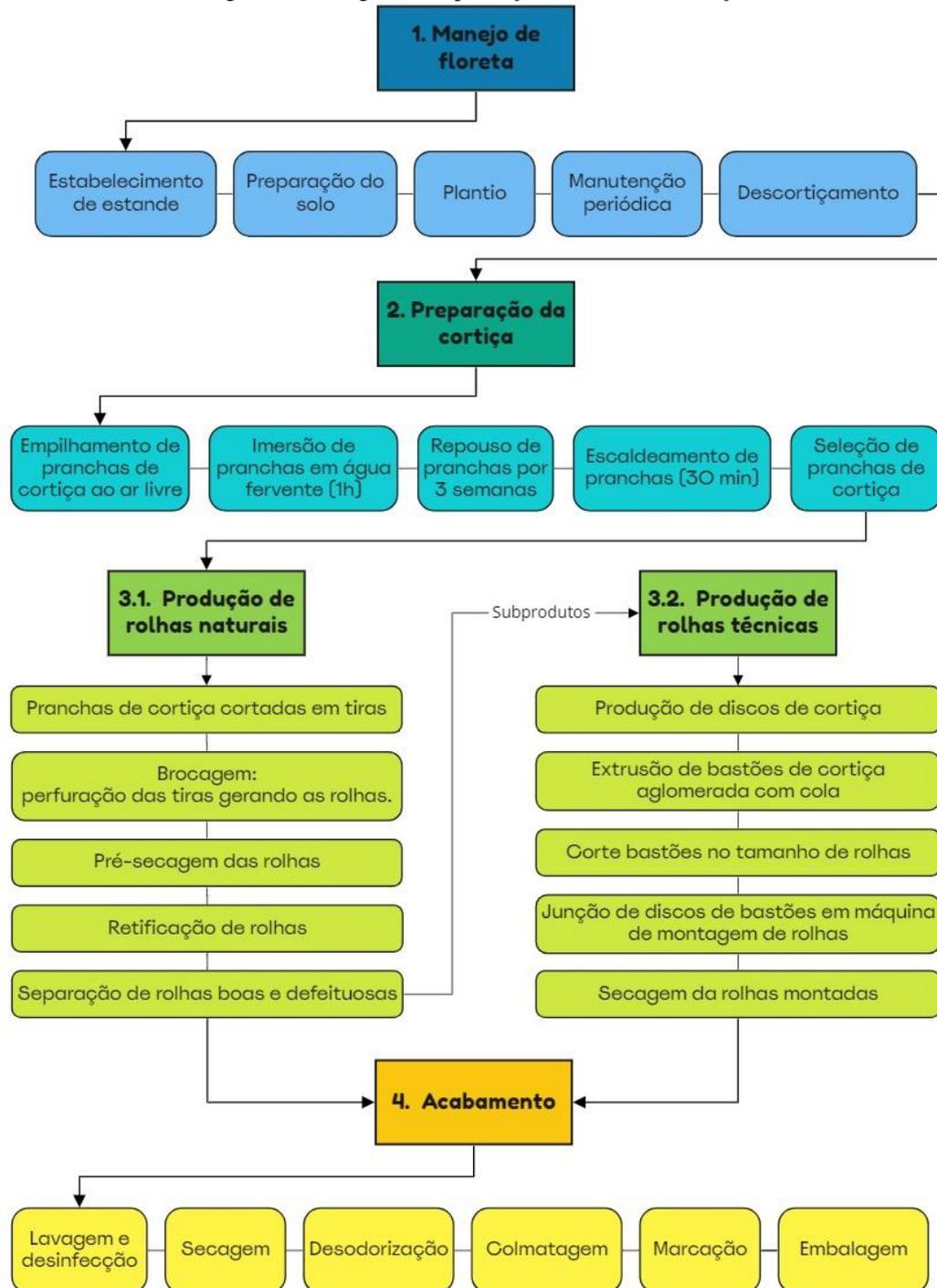
2.1 INDUSTRIA CORTICEIRA

A cortiça é obtida através da extração da casca de sobreiros, *Quercus suber L*, árvores que formam florestas e ocupam aproximadamente 2 milhões de hectares na extensão da região mediterrânea (entre o sul da Europa e o norte da África) localizando-se em países como Itália, França, Argélia, Marrocos, Tunísia, mas especialmente em Portugal e Espanha, países que contêm respectivamente 34% e 27% dessas florestas. Por ano, são produzidas cerca de 200 mil toneladas de cortiça, tendo como destaque sua produção em Portugal, sendo responsável por uma parcela de 85 mil toneladas, 46% de toda a produção mundial, seguido da Espanha, que produz 61 mil toneladas (33%) (DEMERTZI *et al.*, 2016; APCOR, 2020).

O principal setor que utiliza a cortiça é a indústria vinícola, absorvendo cerca de 73,5% de tudo o que é produzido, para utilização como rolhas (sendo 41,1% de rolhas de cortiça natural e 32,4% de outros tipos de rolhas), seguido da construção civil com 24,1% de produtos de cortiça utilizado em pavimentos, isolamentos e revestimentos. Apesar dos efeitos da pandemia sobre o consumo de vinhos, uma queda de 9,7%, a produção mundial dessa bebida aumentou no ano de 2020, chegando a 260 milhões de hectolitros de vinho (APCOR, 2020). Acompanhando o crescimento na produção de vinho, em Portugal chegam a ser produzidas 40 milhões de rolhas de cortiça por dia pelas 640 empresas do setor no país.

A produção de rolhas pode ser separada em quatro etapas: manejo de floresta, preparação da cortiça para produção, produção de rolhas, acabamento e distribuição. Cada uma dessas etapas é composta por diferentes fases e procedimentos (DEMERTZI *et al.*, 2016). O esquema de produção de rolhas de cortiça e suas etapas pode ser observado na Figura 1.

Figura 1- Fluxograma de produção de rolhas de cortiça



Fonte: Elaborado por autora (2022).

A primeira etapa é o manejo de floresta, nesta etapa são feitos desde os processos de plantação até de extração de cortiça. Inicialmente é estabelecido o estande (quantidade de árvores por unidade de área) e durante este processo é feita a roçada, escarificação de solo, sulcamento de solo, plantio, fertilização do solo e substituição de plantas mortas. Para fazer a gestão do estande são realizadas a limpeza de vegetação, poda e desbaste periodicamente.

Finalmente o descortçamento é feito por meio de extração manual da cortiça sem danificar a árvore, permitindo que uma nova casca comece a se formar no tronco recém exposto, este processo geralmente acontece uma vez em cada nove a quatorze anos (GONZALEZ-GARCÍA *et al.*, 2013). Depois é realizado o transporte, limpeza da vegetação e poda. O corte da árvore ocorre no fim de sua vida, de aproximadamente 170 anos, e então começa-se de novo fazendo o recobrimento do campo. (DEMERTZI *et al.*, 2016)

Na segunda etapa é onde ocorre a preparação da cortiça através de cinco processos: empilhamento de pranchas de cortiça na floresta ou em estaleiros; exposição das pilhas de cortiça ao ar livre por cerca de seis meses até atingirem o teor de umidade necessário de 6 e 10% para primeira estabilização; imersão das pranchas de cortiça em água limpa fervente por uma hora, segunda estabilização com repouso das pranchas por cerca de três semanas; escaldamento através novamente da imersão das pranchas de cortiça em água limpa fervente, mas por aproximadamente 30 min. Por fim, ocorre a seleção de pranchas com melhores características para fabricação de rolhas e envio de pranchas rejeitadas para indústria de aglomeração, as pranchas são separadas por classes de qualidade com base na espessura, porosidade e aspeto. (DEMERTZI *et al.*, 2016; APCOR, 2018).

A terceira etapa é a produção de rolhas, porém, a cortiça passa por um conjunto de etapas diferentes dependendo do tipo de rolha que se pretende produzir. As rolhas de cortiça natural são fabricadas a partir de uma peça única de cortiça produzida por meio de brocagem, já as rolhas chamadas rolhas técnicas são feitas de grânulos de cortiça aglomerado e podem conter no topo discos de cortiça natural. (APCOR, 2018).

Para a produção das rolhas naturais as pranchas de cortiça são cortadas em tiras com largura ligeiramente superior ao comprimento de uma rolha, depois é feita brocagem, perfuração das tiras de cortiça com broca, todas sobras de cortiça desse procedimento são aproveitadas para produzir granulado de cortiça que utilizados na produção de rolhas técnica ou em outras indústrias. Após a brocagem é feita a pré-secagem para diminuir a umidade até aproximadamente 11%, em seguida é feita a retificação das rolhas, que é a correção de suas dimensões, e então a aspiração para remoção do pó de cortiça. Finalmente é feita seleção de rolhas automatizada e manual, separando as rolhas de maior qualidade e descartando rolhas com defeitos (APCOR, 2018).

Para a produção de rolhas técnicas ocorre a produção dos discos de cortiça natural que serão utilizados no topo da rolha, a fabricação do corpo de cortiça aglomerada e finalmente a montagem da rolha. Na produção de discos as duas faces das pranchas, a mais rugosa e exterior da árvore (costas) e a mais interna (barriga), são cortadas em lâminas de cortiça com cerca de

6,5 mm de espessura e são perfuradas mecanicamente em formato de disco. Esses discos são selecionados e limpos com água purificada, aquecida a cerca de 70° e sem cloro, e depois são secos e armazenados em silos até a sua utilização. O corpo da rolha técnica é individualmente moldado ou obtido por extrusão, sendo composto dos subprodutos de cortiça e derivados da brocagem de rolhas naturais granulados em máquinas de trituração e aglomerados com uma cola de poliuretano de grau alimentar, dando origem a bastões que são cortados no tamanho das rolhas. Por fim os discos e os corpos aglomerados são introduzidos em máquinas de montagem e são colados com uma cola aprovada pela *Food and Drug Administration*. A rolha montada passa pela secagem, assegurando que a cola está completamente seca, e segue para a fase de retificação. (APCOR, 2018)

A quarta etapa é o acabamento, as rolhas escolhidas vão para a lavagem e desinfecção, normalmente usa-se peróxido de hidrogênio ou ácido paracético para desinfecção, porém podem ser utilizados outros métodos como o micro-ondas ou o ozônio. Então é feita a estabilização da umidade da rolha através secagem em forno com umidade inferior à 6%, desodorização usando vapor d'água e etanol para limpar a superfície da rolha, marcação com tinta alimentar, fogo ou laser, embalagem em sacos impermeáveis contendo anidro sulfuroso (dióxido de enxofre) para inibir crescimento microbiano e transporte (DEMERTZI *et al.*, 2016; APCOR, 2018). Ainda, antes da marcação pode ocorrer o processo de colmatagem, para melhorar o aspeto visual da rolha e a sua performance, que consiste no preenchimento dos poros na superfície das rolhas (lenticelas) com uma mistura de pó de cortiça resultante da retificação das rolhas naturais, uma cola à base de resina natural e uma cola à base de água (APCOR, 2018).

2.2 CONSUMO DE VINHO NO BRASIL

O consumo de vinho no país até o ano de 2016 crescia a uma taxa constante de 5%, porém este crescimento se tornou muito maior nos últimos anos (COUTINHO, 2017). No ano 2020 foram consumidos no Brasil 2,4 litros de vinho por pessoa enquanto em 2019 esse valor era de 2 litros ao ano por pessoa, representando crescimento de aproximadamente 20%. Apesar desses valores o consumo no Brasil ainda está bem abaixo do que países vizinhos como Argentina (27,8 l/hab/ano) e também que o consumo do mercado europeu, por exemplo Portugal que consome 51,9 litros per capita ao ano (ROCA, 2021; ROCA, 2020).

A prática de consumo de vinho no Brasil está aumentando, estimando-se um consumo de cerca de 400 milhões de litros anuais até 2024. Esse aumento já vem acontecendo há algumas décadas, 1995, após o início do Plano Real, o valor gasto na importação de vinho era de

aproximadamente 40 milhões de dólares e, em 2014, chegou a mais de 300 milhões de dólares, representando por volta de 120 milhões de garrafas por ano importadas (ALMEIDA *et al.*, 2015). Estima-se que 1/3 do vinho vendido no Brasil seja originário de importações, enquanto 2/3 são de produção interna do país. A maior parte (42%) dos vinhos importados no Brasil são de origem chilena, e em seguida da Argentina e Portugal, representando 16% das importações. Os principais estados brasileiros responsáveis por essas importações são Santa Catarina e São Paulo (PASQUALI, 2021).

A produção nacional de vinhos se concentra principalmente nos estados do Sul, com destaque para o Rio Grande do Sul, representante de 63% da área vitícola nacional, tendo aumento dessa área em 0,25% no ano de 2020 se comparado ao ano 2018. Apesar disso, houve uma queda na produção de vinhos do estado, sendo a produção de vinhos no ano de 2019 igual a 508,74 milhões de litros, 6,16% inferior à produção em 2018 (MELLO; MACHADO, 2020). De acordo com Almeida *et al.* (2015), na região sul a maioria das vinícolas é composta por empresas familiares, embora exista uma pequena parcela de vinícolas formada por empresas relativamente maiores, como Miolo, Salton, Aurora, Casa Valduga e Peterlongo, e estas são responsáveis pela maior parte do mercado.

Em 2020, o Brasil registrou uma queda de 5% na produção de vinho em relação a 2019, produzindo aproximadamente 1,9 milhões de hectolitros, a menor produção de vinho registrada no Brasil desde início do século, exceto pela produção de 2016, quando o fenômeno do El Niño devastou as safras de uva. Mesmo assim, o consumo de vinho no país, e na América do Sul em geral, sofreu um aumento de 2019 para 2020, sendo que o Brasil teve um crescimento significativo, de 18,4%, no consumo de vinhos no ano de 2020, o maior registro desde o ano 2000 (OIV, 2021).

Ainda, a maior parte dos vinhos comercializados e consumidos no Brasil são os ditos vinhos de mesa, por não apresentarem concorrentes internacionais e serem mais baratos. O que caracteriza este tipo de vinho é que ele é produzido de uvas americanas e híbridas, tendo um sabor característico diferentes dos vinhos de uvas produzidas tradicionalmente em vinícolas. O valor competitivo leva o vinho de mesa a ser escolhido principalmente por consumidores de uma faixa de renda mais baixa. Em contrapartida, outra característica de consumo do brasileiro é que a população com maior renda e grau de instrução consome vinhos finos, produzidos a partir de uvas *Vitis Vinifera*. Os vinhos finos são considerados uma bebida elitizada pois o grau de exigência do consumidor e de conhecimento da qualidade do produto é mais elevado. Este tipo de vinho faz parte de 50% das importações de vinho no país (MELLO, 2003).

2.3 REUTILIZAÇÃO DE CORTIÇA

Além do resíduo de cortiça gerado no processo de produção, rolhas de vinhos/espumantes utilizadas apenas uma vez não podem ser reutilizadas para essa finalidade, e com o alto consumo de vinhos e espumantes, obtém-se uma grande geração de resíduos (DEMERTZI, *et al.*, 2015), sendo estas muitas vezes descartadas de forma inadequada. A Tabela 1 apresenta alguns trabalhos que abordam reutilização de cortiça e a descrição de quais aplicações a cortiça foi utilizada.

Tabela 1 – Trabalhos que abordam reutilização de cortiça

Material	Aplicação	Referência
Rolhas de cortiça descartadas.	Produção de energia e calor através de incineração; recuperação de gás; produção de aglomerado através da reciclagem.	Demertzi <i>et al.</i> (2015)
Pó de cortiça: resíduos do processo de granulação	Purificação de águas residuais; Retirada de corantes orgânicos da água.	Wang <i>et al.</i> (2021)
Resíduos ou subprodutos em pó de cortiça.	Eliminação de óleos e gorduras de águas.	Vilar <i>et al.</i> (2012)
Granulados: resíduos de manufatura de rolhas de cortiça.	Adsorção de pesticidas em água	Domingues (2005)
Granulados: resíduos de manufatura de rolhas de cortiça.	Remoção/recuperação de óleos em derramamentos e redução/remoção de cromo de efluentes da indústria de petróleo e gás	Todescato (2019)
Rolhas de cortiça descartadas.	Determinação de agrotóxicos organoclorados em amostras de água	Hinz (2021)
Rolhas de cortiça descartadas.	Adsorção do corante azul de metileno	Lazarini <i>et al.</i> (2019)

Fonte: Elaborado por autora (2022).

Pode ser observado na lista acima que a maioria dos trabalhos que usam a cortiça descartada como matéria prima para adsorção de poluentes são recentes. E que a maioria deles utiliza os resíduos do processo de fabricação de rolhas de cortiça, mas também, existem pesquisas com os resíduos de rolhas pós consumo de vinhos e espumantes.

É interessante a ser observado que as pesquisas de Domingues (2005), Vilar *et al.* (2012) e Todescato (2019) receberam resíduos diretos da indústria portuguesa Corticeira Amorim (2022) que, em Amorim (2008), fez estudos de avaliação do ciclo de vida (LCA) de todo seus produtos, incluindo de rolhas, e tem interesse em dar uma destinação ou um novo uso para esses resíduos, tornando o processo produtivo menos impactante e reduzindo a produção de rejeitos. Esta indústria produz relatórios anuais de sustentabilidade e busca se enquadrar nas normas ISO 14040 e 14044 (CORTICEIRA AMORIM, 2020). Wang *et al.* (2021) também obteve o material de pesquisa de indústria corticeira, o pó de cortiça foi fornecido pela *Laucork Cork Flooring Company* na província de Shandon, na China, que foi produzido como resíduo do processo de granulação. Na pesquisa de Hinz (2021) foram usadas cortiças obtidas de rolhas de vinho, distribuídas pela Trianon do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Apenas e Lazarini *et al.* (2019) utilizou resíduos de rolhas que não necessariamente foram recebidos por uma indústria de cortiça, coletando o material em diversos pontos da cidade de Jaraguá do Sul. O fornecimento de matérias por parte das indústrias corticeiras para a maioria dos estudos demonstra que há interesse na indústria em buscar alternativas para os resíduos de cortiça.

Em Demetrizi (2015) foi avaliado o ciclo de vida das rolhas de cortiça através da construção de diversos cenários com as diferentes estratégias de gestão de resíduos de rolhas naturais: incineração, deposição em aterro sanitário e reciclagem. Neste estudo foi destacado que não existem muitas pesquisas que analisem detalhadamente o fim de vida das rolhas de cortiça, bem como de outros produtos à base de cortiça. Os resultados mostraram que as diferentes destinações podem ser tidas como mais ou menos eficientes de acordo com o tipo de impacto considerado. A incineração apresentou os melhores resultados ambientais nas categorias de impacto de mudanças climáticas, diminuição de ozônio e acidificação. A reciclagem de rolhas teve melhor resultado considerando a formação de ozônio e redução de uso de recursos minerais e fósseis. A alternativa de aterro não apresentou o melhor desempenho ambiental em nenhuma das categorias de impacto. Desta forma as alternativas de incineração, com recuperação de energia, e reciclagem de rolhas naturais apresentaram os resultados mais eficientes do ponto de vista ambiental e, portanto, devem ser consideradas em futuras tomadas de decisão de gestão de resíduos de cortiça.

Tanto em Vilar *et al.* (2012) quanto em Todescato (2019) a cortiça é utilizada como um biossorvente para remoção de óleos, sem passar pelo processo de carbonização ou ativação. Para ambos, o uso da cortiça foi aplicado com sucesso como material alternativo na recuperação de óleos, e foi entendido que existe a possibilidade de utilizar esse resíduo industrial de baixo valor como um produto de elevado valor agregado na eliminação de poluentes de água. Ainda,

de acordo com Todescato é possível fazer reutilização do sorvente de cortiça, pois sua capacidade de sorção preservada após 30 ciclos. Além disso, os óleos sorvidos podem ser removidos da superfície da cortiça, por compressão dos grânulos, e reutilizando. E a cortiça natural foi considerada eficaz para a redução de cromo em efluentes.

Nos trabalhos de Domingues (2005) e Hinz (2021) a cortiça também foi utilizada diretamente como material adsorvente, no primeiro em forma de grânulos e no segundo como barra construída de cortiça. Porém, desta vez, o enfoque foi na remoção de pesticidas e agrotóxicos. Os respectivos resultados mostraram valores após a adsorção de limites de detecção em água, dos agrotóxicos e pesticidas estudados, menores que os valores máximos estabelecidos pela EPA (*environmental protection agency*) e pelo Ministério da Saúde. Desta forma, Domingues (2005) e Hinz (2021) concluíram que os resultados encontrados servem de para um futuro desenvolvimento de processos de descontaminação em larga escala utilizando a cortiça como adsorvente, com vantagens de alta eficácia, fácil execução, baixo custo e possibilidade de reutilização. Além da valorização de um resíduo que é um material natural e biodegradável tornando-se uma alternativa sustentável para a determinação de agrotóxicos e remoção de pesticidas em água

Larinzini *et al.* (2019) utilizou a cortiça in natura e funcionalizada, com lavagem em ácido e aquecimento para potencializar a adsorção, no tratamento de efluente com corantes e obteve resultado de eficiência de adsorção acima de 95% para cortiça funcionalizada e de 78% e 94% para a cortiça não funcionalizada. Desta forma, o uso do resíduo de rolhas de cortiça como material adsorvente para retirada corantes da água se mostrou promissor, sendo a funcionalização e o processo contínuo com boas possibilidade para uso em filtros de escala industrial.

Wang *et al.* (2021) também analisou a remoção de corantes em água por adsorção, porém utilizando a cortiça como material precursor na produção de carvão ativado. Concluiu em seus resultados que capacidade de adsorção do carvão ativado de cortiça e cinética de adsorção são melhores do que a maioria dos outros adsorventes, indicando que o carvão ativado a base de cortiça é adsorvente promissor. Além disso, que os carvões ativados de cortiça têm um desempenho significativo de purificação de águas residuais e reutilização. Por fim, que além de ser uma matéria-prima rica em recursos e barata, com rápida e alta capacidade de adsorção, o carvão ativado de cortiça é um material eficiente para o tratamento de corantes orgânicos e o uso de resíduo de cortiça para preparar carvão ativado pode não apenas reduzir os custos de produção de carvão pode ajudar a ampliar as aplicações da tecnologia de adsorção.

2.4 ADSORÇÃO

A adsorção nada mais é do que um processo de transferência de massa, em que sólidos conseguem concentrar em sua superfície substâncias contidas em fluidos, líquidos ou gasosos, separando esses componentes dos fluidos (RUTHVEN, 1984). O material que se separa dos fluidos e adere a superfície destes sólidos é normalmente denominado de adsorbato, e a superfície sólida na qual o adsorbato se acumula chama-se adsorvente (RUTHVEN, 1984). Quando o adsorbato passa da solução para a superfície do adsorvente diz-se que ele foi adsorvido, quando passa da superfície para a solução diz-se que o adsorbato foi dessorvido (SINCERO; SINCERO, 2003). O fenômeno de adsorção pode ser físico, conhecido como adsorção física ou de Van der Waals, ou químico, adsorção química ou quimissorção. Na adsorção física a atração na superfície é fraca e é causada por forças fracas de van der Waals. Já na quimissorção a atração é mais forte e é resultante de ligações químicas (SINCERO; SINCERO, 2003).

O processo de adsorção é considerado um importante mecanismo de separação e purificação, e nas últimas décadas tornou-se um método popular para tratar contaminação química na água causada por poluentes encontrados em quantidades muito pequenas, inferiores a $100\mu\text{g.g}^{-1}$, e que oferecem resistência a métodos de degradação biológica ou não são removidos efetivamente por métodos de tratamento físico-químicos (NASCIMENTO *et al.*, 2020). Ainda, a adsorção é considerada um dos processos mais eficientes de tratamento de água e tratamento de águas residuárias, e é largamente utilizada nas indústrias para redução de compostos tóxicos ao meio ambiente contidos em seus efluentes (SANTANA *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2020; MOREIRA *et al.*, 2016, apud NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Em relação a remoção de corantes em efluentes da indústria, o processo de adsorção é método de tratamento de grande relevância por ser considerado simples de aplicar, ter fácil operação, boa eficiência, com alta capacidade de remoção de solutos, e ser economicamente viável, principalmente quando são utilizados adsorventes de baixo custo. (DOTTO, 2010; FREIRE *et al.*, 2017). Inclusive, por não ser um método destrutivo, como o um tratamento biológico por exemplo, a adsorção em certas situações possibilita a recuperação do corante sem perda da sua identidade química (DALLAGO; SMANIOTTO; OLIVEIRA, 2005).

Como os componentes adsorvidos concentram-se sobre a superfície externa do adsorvente, fica nítido que quanto maior essa superfície externa do sólido adsorvente por unidade de massa sólida mais favorável será a adsorção. Por isso, geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas. Portanto, a área superficial do adsorvente é um importante

fator que influencia na adsorção (RUTHVEN, 1984; NASCIMENTO *et al.*, 2020; SINCERO; SINCERO, 2003).

Existem três tipos de mecanismos que ocorrem na separação por adsorção, o mecanismo estérico, os mecanismos de equilíbrio e os mecanismos cinéticos. No mecanismo estérico, os poros do material adsorvente possuem dimensões características que permitem selecionar moléculas específicas a serem adsorvidas, excluindo as que sejam diferentes. Já os mecanismos de equilíbrio estão relacionados a capacidade de diferentes adsorventes em acomodar diferentes espécies de adsorvatos chegando ao momento em que o soluto contido no fluido não seja mais adsorvido e sua concentração e permaneça constante. O mecanismo cinético está relacionado a taxa de remoção do adsorvato na fase fluida em relação ao tempo (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Entender o equilíbrio de processo de adsorção é importante para o estudo de materiais adsorventes e suas capacidades de adsorção. Para o cálculo da capacidade máxima de adsorção de um adsorvente são aplicadas modelagens com equações de isothermas, utilizando a relação entre capacidade de adsorção (q_e) e concentração final de soluto (C_e), adsorvato, na fase líquida em que ele está contido. Para obter-se a isoterma de adsorção se faz a adição de uma massa conhecida de adsorvente em determinado volume (V) de uma série de soluções com conhecidas concentrações iniciais (C_o) diferentes entre si. Quando ocorre o equilíbrio de adsorção, é encontrada a concentração final do soluto na solução em equilíbrio (C_e) e a capacidade de adsorção do adsorvente (q_e). Desta forma, é obtido um gráfico de q_e por C_e (NASCIMENTO *et al.*, 2020). Quando a taxa de adsorção e taxa de dessorção se tornam iguais significa que o equilíbrio foi alcançado, e a capacidade de adsorção do carvão foi esgotada (METCALF & EDDY, 2003).

Existem diversas equações de isothermas propostas com objetivo de facilitar o entendimento da relação entre adsorvato e adsorvente utilizando como base o ajuste dos dados experimentais sobre os valores de q_e e C_e . Dentre tantas, as mais comuns a serem utilizadas são as isothermas de Langmuir e Freundlich, por apresentarem somente dois parâmetros e serem mais fáceis de utilizar, além de preverem a capacidade adsorção máxima do adsorvente e capacidade de descrever bem o comportamento dos dados experimentais (NASCIMENTO *et al.*, 2020). A isoterma de Freundlich é uma equação empírica, já a isoterma de Langmuir tem uma base racional e ambas são as isotérmicas mais utilizadas para a aplicação de carvão ativado no tratamento de água (SINCERO; SINCERO, 2003).

2.5 CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado é considerado um adsorvente vantajoso devido a sua elevada área superficial, estruturas porosas variadas, grande porosidade, rápida cinética de adsorção, além de ser possível fazer sua regeneração, reativando seu poder de adsorção (NUNES, 2001; ZHOU *et al.*, 2017). Ele tem a capacidade de remover gosto e odor da água, característica desejada principalmente no tratamento de água potável. Além disso pode remover cor, devido à existência de matéria dissolvida, fenóis, nutrientes, como fosfatos e nitratos, sólidos em suspensão, matéria orgânica não biodegradável e outros (NUNES, 2001).

Desta forma, seu emprego leva à uma remoção efetiva de poluentes, proporcionando um alto grau de purificação de fluidos contaminados (METCALF & EDDY, 2003). Por isso, o carvão ativado pode ser empregado em uma grande gama de aplicações, no setor ambiental, de saúde, de segurança e industrial (ZHOU *et al.*, 2017). Ademais, a adsorção de carvão ativado pode aplicada como tratamento complementar ao tratamento físico-químico por coagulação-floculação, quando a eficiência de remoção do substrato não atinge valores satisfatórios como nos sistemas biológicos. Da mesma maneira pode ser utilizada para obter um clarificado de qualidade superior em efluente tratados de sistemas biológicos (NUNES, 2001).

Carvões ativados podem ser preparados a partir de quase todos os materiais de alto teor de carbono (CARDOSO *et al.*, 2008). Isso é feito através da ativação da superfície, a ativação é o processo de melhorar uma característica particular, portanto o carbono cuja característica de adsorção é melhorada por ativação é chamado de carvão ativado (SINCERO; SINCERO, 2003). Porém, para garantir a qualidade de adsorção do carvão ativado é necessário escolher uma fonte precursora de carvão e métodos de ativação apropriados, já que as técnicas de ativação utilizadas na fabricação de carvões ativados dependem diretamente da natureza e do tipo de matéria-prima selecionada (WANG *et al.*, 2021; SINCERO; SINCERO, 2003).

Um grama de carvão ativado pode ter aproximadamente 1000 m² de área de adsorção. Após a ativação, o carvão pode ser processado em três formas diferentes, carvão ativado em pó (PAC), carvão ativado granular (GAC), normalmente com mais de 0,1 mm de diâmetro, e a fibra de carbono ativada (ACF) (SINCERO; SINCERO, 2003).

De acordo com Claudino (2003) a produção de carvões ativados se dá através de duas etapas, carbonização do precursor por pirólise e ativação do carvão. Na produção comercial de carvões ativados as técnicas de ativação que são usadas, principalmente, a ativação química e a ativação física por vapor (SINCERO; SINCERO, 2003). O tratamento térmico, carbonização por pirólise do precursor, ocorre em atmosfera inerte a temperatura superior a 200°C. Esta etapa é a preparação do material antes da ativação, é nela que são removidos os componentes voláteis

e gases leves: CO, H₂, CO₂ e CH₄. Seu produto final é uma massa de carbono com estrutura porosa primária, que propicia a ativação subsequente. (CLAUDINO, 2003) A qualidade do produto carbonizado gerado por essa etapa depende da taxa de aquecimento, a temperatura final, o fluxo de gás de arraste e, como citado anteriormente, do tipo da matéria prima.

A ativação química de carvão é feita através de reação com produtos químicos e geralmente é usada para a ativação de matérias-primas à base de turfa e madeira. A matéria-prima é impregnada com um agente desidratante como ácido fosfórico (H₃PO₄), pentóxido de fósforo (P₂O₅), hidróxido de potássio (KOH) e cloreto de zinco (ZnCl₂), usualmente antes carbonização do agente precursor, e então sofre o aquecimento em temperaturas de 500-800°C para ativar o carbono, posteriormente o reagente químico é removido, deixando a estrutura porosa do carvão ativado exposta. Este carvão ativado obtido então é lavado, seco e moído até o tamanho desejado. Geralmente é característica dos carvões ativados produzidos por ativação química uma estrutura de poros muito abertos que é ideal para a adsorção de moléculas grandes (SINCERO; SINCERO, 2003; NARSRIN; CAMPBELL; SANDI; GOLAZ, 2000)

No processo de ativação física o carvão preparado é submetido a um vapor oxidante composto geralmente de H₂O e CO₂ ou ambos, em altas temperaturas, resultando na reação entre água e gás: $C + H_2O \rightarrow H_2 + CO$. A ativação física por vapor é realizada a temperaturas de 800–1100°C e consiste na reação do carvão com vapor superaquecido (SINCERO; SINCERO, 2003; CLAUDINO, 2003). Para que a ativação seja eficiente as partículas de carvão devem permanecer em contato constante com os gases oxidantes, em virtude da natureza endotérmica dessas reações de ativação. (SOARES, 2001). Os gases liberados provocam no carvão uma estrutura muito porosa e essa alta porosidade resultante da ativação aumenta a área de adsorção. Por fim o carvão produzido é peneirado e desempoeirado. Normalmente os carvões ativados produzidos por ativação física a vapor tem poros finos e são ideais para a adsorção de líquidos e gases. (SINCERO; SINCERO, 2003).

3 MATERIAIS E METODOS

3.1 APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Para o alcance do objetivo geral desta pesquisa, utilizou-se uma investigação de nível exploratório e descritivo, procurando criar maior familiaridade com o problema e entender as características da população relacionada, e foi realizada através de um levantamento de dados com o uso de um questionário eletrônico da plataforma de questionários *online Google Forms*, divulgado pela autora exclusivamente em meio digital em diversas redes sociais, a fim de investigar o consumo de vinho e o descarte atual das rolhas no Brasil. Desta forma, o formulário foi elaborado em português brasileiro e ficou armazenado, junto as suas respostas, apenas em

meio eletrônico através do serviço de armazenamento em nuvem *Google Drive*. A pesquisa exploratória constitui-se em novidade para a investigadora e descritiva, pois, tem por objetivo a caracterização ou descrição de fenômenos envolvendo determinada população (GIL, 2002). Quanto a forma de abordagem a pesquisa se classifica como quantitativa, considerando que tudo pode ser quantificável, ou seja, traduz opiniões em números, podendo classificá-los e analisá-los (GIL, 2002).

Para a determinação da amostra foi feita de forma não-probabilística já que por causa do uso de questionário online, todos os indivíduos do universo considerado, Brasil, não puderam ter igual chance de responder a pesquisa, portanto foi feita amostragem não-probabilística por conveniência selecionando o grupo de interesse, consumidores de bebidas com rolhas (VIEIRA, 2009).

Foi aplicado um questionário estruturado fechado com questões de múltipla escolha. A pesquisa foi realizada com foco em pessoas acima de 18 anos, idade legal para consumo de bebidas alcoólicas no Brasil, que têm hábitos de consumir vinho. Desta forma a primeira questão descartava pessoas menores de 18, e na segunda questão foram removidas aquelas pessoas que não consomem bebidas que contenham rolha, afim de direcionar as questões apenas para o consumo e descarte de rolhas.

A forma de aplicação de questionário foi auto aplicação, em que os próprios usuários da internet preencheram as respostas do formulário. Esse método foi escolhido pois apresenta vantagens de os questionários serem facilmente distribuídos, facilita a coleta e o processamento dos dados, tornando-os mais rápidos. No entanto, como a pesquisa fica restrita aos usuários da Internet que tiverem acesso ao formulário, os resultados não representam a população brasileira em geral (VIEIRA, 2009). Foram feitas duas questões fechadas binárias para selecionar amostra, oito questões fechadas de múltipla escolha mutualmente exclusivas, duas questões de múltipla escolha não exclusivas, e uma última questão aberta opcional e contingente, isto é, devendo ser respondidas apenas pelos respondentes de determinada opção anterior, com o intuito de receber informações não pensadas. O questionário pode ser visto no APÊNDICE A – Questionário

3.2 PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO

Para a produção do carvão ativado foram utilizadas rolhas de cortiça derivadas de garrafas de champanhe e vinho. Inicialmente foi realizada uma limpeza das rolhas, lavando-as com água corrente, para remover sujeiras aderidas na superfície, e posteriormente secas em estufa a 105 °C por 24 horas. Após o material foi carbonizado a 500 °C em um forno tubular

(Jung 1091) (Laboratório de Materiais do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC) a uma taxa de aquecimento de $10\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ por 2 horas, sob atmosfera de N_2 (150 mL min^{-1}). Após a carbonização o material foi ativado usando pastilhas de KOH usando uma razão de 4:1, seguindo de aquecimento por 2 horas usando a mesma taxa de aquecimento e N_2 e condições de fluxo usado na primeira etapa. O carvão ativado obtido foi lavado com HCL 0,5 M e água morna ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$) até pH constante (neutro) e depois seco a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. Após o material foi macerado e passado em peneira granulométrica de $45\text{ }\mu\text{m}$.

3.2.1 Caracterização

As análises morfológicas foram realizadas por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (JSM-6390LV JEOL), realizadas no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica da UFSC (LCME). A amostra foi depositada sobre uma fita de carbono e fixada em um suporte de alumínio, em seguida a superfície foi recoberta com uma camada de ouro. Para a determinação da porosidade e da área superficial, foram realizados ensaios de fisiossorção pelo método de BJH e BET respectivamente, utilizando o equipamento *Autosorb 1C*, Quantachrome. A amostra foi previamente seca em temperaturas na faixa de $100\text{-}300^{\circ}\text{C}$ sob vácuo (10^{-7} torr) e então a adsorção de nitrogênio gasoso foi medida a 77K , em valores de pressão relativa na faixa de 0 a 1.0. O modelo de superfície heterogênea 2D-NLDFT foi empregado para calcular a distribuição de tamanho de poro (PSD), o volume total de poros (V_{total}) e a área superficial específica (SSA_{DFT}), usando o software *SAIEUS*. O volume total dos poros foi determinado a partir da distribuição cumulativa do tamanho dos poros, enquanto o volume dos mesoporos (V_{mes}) foi calculado como a diferença entre V_{total} e o volume dos microporos (V_{mic}) (BARCELOS, OLIVEIRA, RUOTOLO, 2020).

3.3 ADSORÇÃO EM BATELADA

Para avaliar a adsorção do carvão ativado, experimentos de adsorção foram realizados com azul de metileno e *Reactive Red* PF-3B (RED). Os efeitos de tempo de contato, concentração de carvão ativado, concentração de corante, variação de temperatura e pH foram avaliados. Para os ensaios de adsorção foram dispostos 100 mL de solução em erlenmeyers e colocados em um banho termostático com agitação recíproca (Marq Labor, BM / DR, BR). O sobrenadante foi filtrado e centrifugado a 10.000 rpm por 2 min e a absorbância foi medida em espectrofotômetro UV-Vis em comprimento de ondas de 665 e 538 para azul de metileno e *Reactive Red*, respectivamente. Todos os ensaios foram realizados em duplicatas. Os parâmetros utilizados durante os ensaios estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Fatores e níveis utilizados durante os experimentos.

Fator	Níveis
Agitação	160 rpm
Concentração de corante	50 – 250 mg L ⁻¹
Concentração de Carvão ativado	0,2 – 1 g L ⁻¹
pH	3 – 11
Temperatura	25 – 55 °C

Fonte: Elaborado por autora (2022).

A absorção dos corantes e taxa de remoção por massa de carvão ativado foi calculada através das Equações (1) e (2) respectivamente.

$$q_t = \frac{C_0 - C_t}{m} \times V \quad \text{Eq. (1)}$$

$$E (\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde: C_0 (mg L⁻¹) e C_t (mg L⁻¹) são a concentração de corante no tempo inicial e t (min), respectivamente; m (g) é a massa do carvão ativado; e V (L) é o volume da solução utilizada.

3.4 CINÉTICA DE ADSORÇÃO, ISOTERMNAS E TERMODINÂMICA

3.4.1 Cinéticas de adsorção

A fim de descrever o mecanismo do processo de adsorção três modelos cinéticos foram utilizados, sendo eles pseudoprimeira ordem, pseudossegunda ordem (HU *et al.*, 2015) e Elovich (TRAN *et al.*, 2017) foram usados para correlacionar os dados experimentais e suas formas não lineares utilizando as seguintes Equações. (3), (4) e (5), respectivamente.

$$q_t = q_e [1 - \exp(-k_1 t)] \quad \text{Eq. (3)}$$

$$q_t = \frac{q_e^2 k_2 t}{1 + q_e k_2 t} \quad \text{Eq. (4)}$$

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(1 + \alpha \beta t) \quad \text{Eq. (5)}$$

Em que q_e (mg.g^{-1}) é a quantidade adsorvida na fase sólida no equilíbrio, q_t (mg.g^{-1}) quantidade de material adsorvido no tempo t , t (min) é tempo, k_1 (min^{-1}) constante de velocidade de pseudoprimeira ordem, k_2 (g.mg.min^{-1}) é a constante de velocidade de modelo de pseudossegunda ordem, α ($\text{mg.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$) é a taxa de adsorção inicial e β (mg.g^{-1}) representa a constante de desorção de Elovich.

3.4.2 Isotermas de adsorção

Para entender a interação adsorbato-adsorvente, foram utilizadas as isotermas de adsorção de Langmuir (KAUSAR *et al.*, 2019) conforme Eq. (7) e a de Freundlich (FOO, HAMEED, 2012) para sistemas de energia de superfície heterogêneos, dada pela Eq. (8).

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde C_e (mg L^{-1}) e q_e (mg g^{-1}) são a concentração e a quantidade adsorvida de corante no equilíbrio, q_m é a quantidade máxima adsorvida, K_L (L mg^{-1}) é a constante de adsorção de Langmuir.

$$\ln q_e = \ln k_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde K_F e n são constantes de Freundlich, e são determinados a partir do gráfico de $\ln q_e$ versus $\ln C_e$. Os parâmetros K_F e $1/n$ estão relacionados à capacidade de sorção e à intensidade de sorção do sistema. A magnitude do termo $(1/n)$ dá uma indicação da disponibilidade dos sistemas adsorvente/adsorvente.

3.4.3 Termodinâmicas de adsorção

Os parâmetros termodinâmicos dos corantes no carvão ativado, tais como a mudança de energia livre de Gibbs (ΔG), entalpia (ΔH) e entropia (ΔS) foram calculadas em diferentes temperaturas (25, 35, 45 e 55 °C). As Equações (9), (10) e (11) foram utilizadas para determinar ΔG (kJ mol^{-1}), ΔH (kJ mol^{-1}) e ΔS ($\text{kJ mol}^{-1} \text{K}^{-1}$), respectivamente.

$$\ln K_c = \frac{-\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad \text{Eq. (9)}$$

$$\Delta G = -RT \ln K_c \quad \text{Eq. (10)}$$

$$K_c = \frac{q_e}{C_e} \quad \text{Eq. (11)}$$

Onde, R ($8,314 \text{ J Kmol}^{-1}$) é a constante do gás; K_c é a constante de equilíbrio termodinâmico e T (K) é a temperatura absoluta.

4 RESULTADOS

4.1 PADRÕES DE CONSUMO E DESCARTE

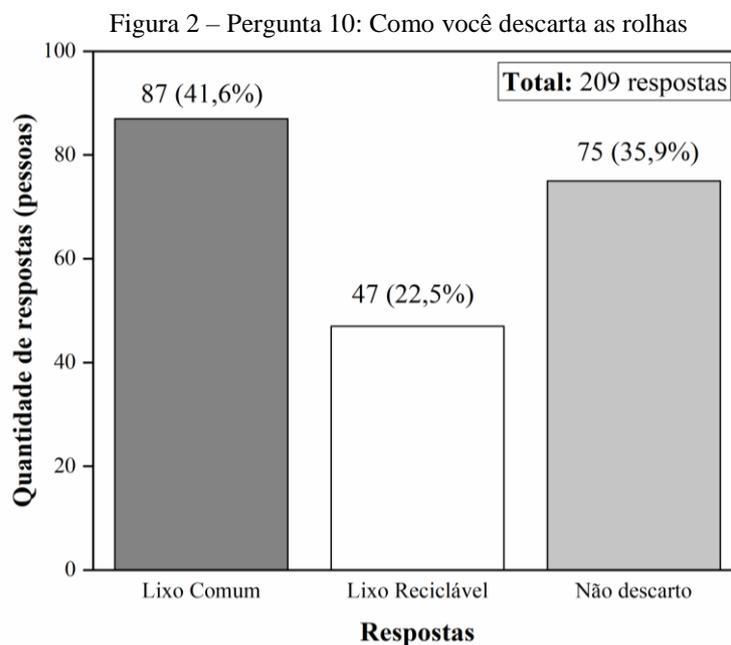
O formulário online foi aplicado do dia 28 de outubro 2021 até o dia 24 de fevereiro de 2022, totalizando 242 pessoas participantes. Destas, apenas uma pessoa era menor de 18 anos de idade e não pode seguir para as respostas seguintes. Assim, das 241 (99,6%) pessoas que sobraram, 32 (13,3%) pessoas não consumiam bebidas que tivesse rolha, portanto não seguiram para as perguntas seguintes, sobrando 209 (86,7%) pessoas aptas que tiveram suas respostas computadas. Segundo Gil (2002), para uma população com amplitude acima de 100.000, considerada infinita, caso da população do Brasil que foi estimada em aproximadamente 213 milhões de pessoas no ano de 2021 (IBGE, 2010), o tamanho da amostra deveria ser igual a 400 para um nível de confiança de 95,5%.

Alimentando a calculadora amostral online (COMMENTO, 2018), com os dados de tamanho do universo da população brasileira estimada de 2021, 50% de heterogeneidade, 95% de nível de confiança, e 209 respostas de pessoas maiores de 18 que consomem vinhos e espumantes, chegou-se ao erro amostral de 6,78%. Mostrando que os resultados das respostas obtidas podem variar em percentagem em 6,78 para mais ou para menos. Por fim, de acordo com Gil (2002) “Há que se considerar, entretanto, que, em virtude de suas características, o formulário tem alcance limitado, não possibilitando a obtenção de dados com maior profundidade”.

Foi possível observar algumas características das pessoas que responderam ao formulário: quase metade, 96 (45,9%) dos participantes, têm entre 26 e 40 anos de idade, 132 participantes (63,2%) se identificam com o gênero feminino, 133 (63,6 %) dos participantes moram ou pertencem a região Sul do país, seguidos por 46 (22%) no Sudeste; 99 participantes (47,4%) consome menos de uma garrafa de vinho por mês.

Em relação aos vinhos e espumantes consumidos pelos participantes, a maior importância na hora da compra foi a qualidade, seguida do preço da bebida, sendo a praticidade ao abrir o fator menos importante. O consumo maior foi de vinhos nacionais, depois ambos nacionais e importados em mesma quantidade e por fim somente de importados, corroborando com que disse Mello (2003) sobre os padrões de consumo de vinho no Brasil, que o consumo de vinhos por brasileiros em maior parte é de vinhos nacionais. Nas respostas recebidas a maioria dos vinhos e espumantes consumidos são fechados com rolha de cortiça natural, evidenciando a problemática do grande descarte de rolhas de cortiça. O gráfico apresentado na Figura 2, mostra o destino pós-consumo dado às rolhas pelos participantes, sendo mais

frequente o descarte em lixo comum (41,6%), depois o armazenamento (35,9%), e por último o descarte em lixo reciclável (22,5%).



Fonte: Elaborado por autora (2022).

Para caso o participante não fizesse o descarte, e somente neste caso, foi feita uma última questão aberta para a discriminação do que era feito com as rolhas não descartadas, essa questão recebeu 77 respostas, sendo 3 delas equivocadas, dizendo que não guardavam. Logo, sobraram 74 respostas que por serem muito parecidas foram separadas em quatro categorias de uso: decoração, coleção, reuso e armazenagem. O resultado pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Respostas de alternativa ao descarte dadas pelos participantes do questionário.

Alternativa ao descarte	Número de Respostas
Decoração	51
Reuso	12
Armazenamento	3
Coleção	8
Erro de preenchimento	3
SOMA	77

Fonte: Elaborado por autora (2022).

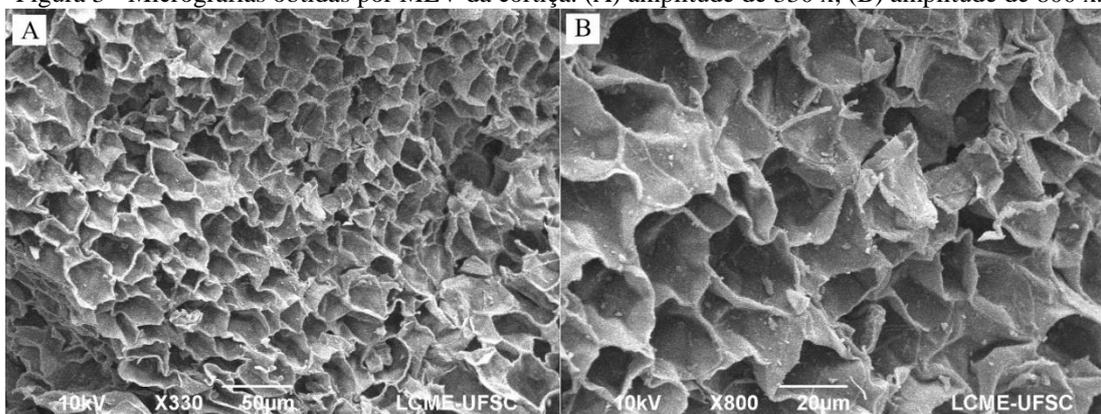
Os resultados obtidos de descarte em lixo comum (41,6%) se foram aplicados ao consumo em litros por ano de vinho em 2020 no Brasil, 430 milhões de litros (ROCA, 2021), considerando que todo esse vinho é consumido em garrafas de 750 ml fechadas com rolhas de

cortiça, isso levaria à um descarte de 238,5 milhões de rolhas. Já foi evidenciado que o processo de produção das rolhas não é capaz por si só de eliminar todos os contaminantes presentes no material, permanecendo uma grande quantidade de compostos fenólicos nas rolhas (HILSENDEGER, 2020). Com os resultados obtidos com o questionário, podemos deduzir que com o descarte inadequado das rolhas, pode estar ocasionando a contaminação de solo e sistemas aquáticos através da lixiviação destes contaminantes. De acordo com a nossa Lei Nº 12.305 (2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, podemos considerar as rolhas de cortiça como sendo resíduos sólidos urbanos não perigosos. Desta forma países como Portugal, França, Espanha, Reino Unido, Itália, e outros já vem aplicando pontos de coletas para o recolhimento destas rolhas, visando a sua aplicação futura para aplicações na qual o resíduo do processo de produção de cortiça já é utilizado, como painéis de cortiça, bases para copos, pavimentos, revestimentos, componentes para a indústria automóvel, materiais de isolamento (APCOR, 2021).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO

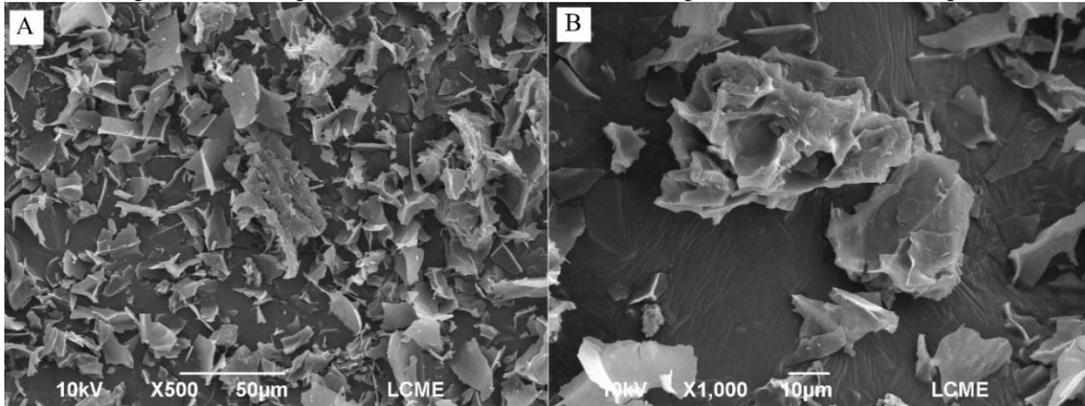
Na Figura 3 e Figura 4 visualizam-se as micrografias obtidas por MEV da cortiça e CA, respectivamente. Conforme mostrado na Figura 3(A), a cortiça apresenta paredes finas, revelando uma estrutura alveolar, se assemelhando a um favo de mel, orientado aleatoriamente. Observa-se que a estrutura possui diversos canais ocultos com camadas laterais finas. Na Figura 4 podemos observar o carvão ativado na sua forma em pó. Após o processo de ativação, a característica de favo de mel foi encontrada em poucos pontos do carvão ativado, demonstrando paredes mais finas e quebradiças. De acordo com Wang *et al.* (2021), este fenômeno é resultado da quebra da parede celular devido a volatilização de compostos voláteis e gasosos.

Figura 3 - Micrografias obtidas por MEV da cortiça. (A) amplitude de 330 x; (B) amplitude de 800 x.



Fonte: Domingos *et al.* (2021).

Figura 4 - Micrografias obtidas por MEV do carvão ativado. (A) amplitude de 500 x; (B) amplitude de 1000 x.



Fonte: Domingos *et al.* (2021).

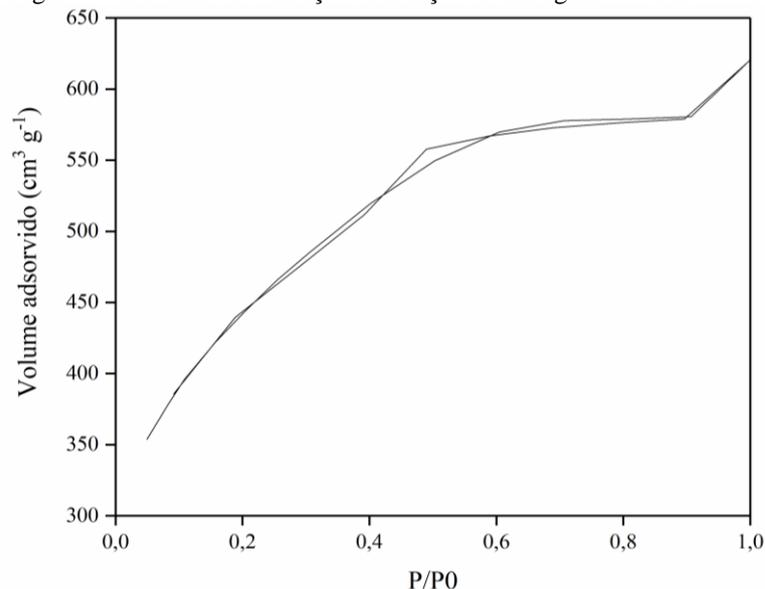
A isoterma de adsorção-dessorção de nitrogênio do carvão ativado está apresentada na Figura 5. O carvão apresentou uma isoterma de adsorção do tipo I, de acordo com a classificação IUPAC, indicando a predominância de microporos. A histerese do tipo H4 pode ser observada em todos os eletrodos, indicando a presença de mesoporos. A Tabela 4 resume as propriedades do carvão ativado obtidas através da curva de adsorção-dessorção.

Tabela 4 - Propriedades do CAC da curva de adsorção-dessorção

SSA_{BET} ($m^2 g^{-1}$)	SSA_{DFT} ($m^2 g^{-1}$)	V_{total} ($cm^3 g^{-1}$)	V_{mic} ($cm^3 g^{-1}$)	V_{mes} ($cm^3 g^{-1}$)
1526	1269,35	0,88	0,51	0,37

Fonte: Domingos *et al.* (2021).

Figura 5 - Isoterma de adsorção-dessorção de nitrogênio do carvão ativado.

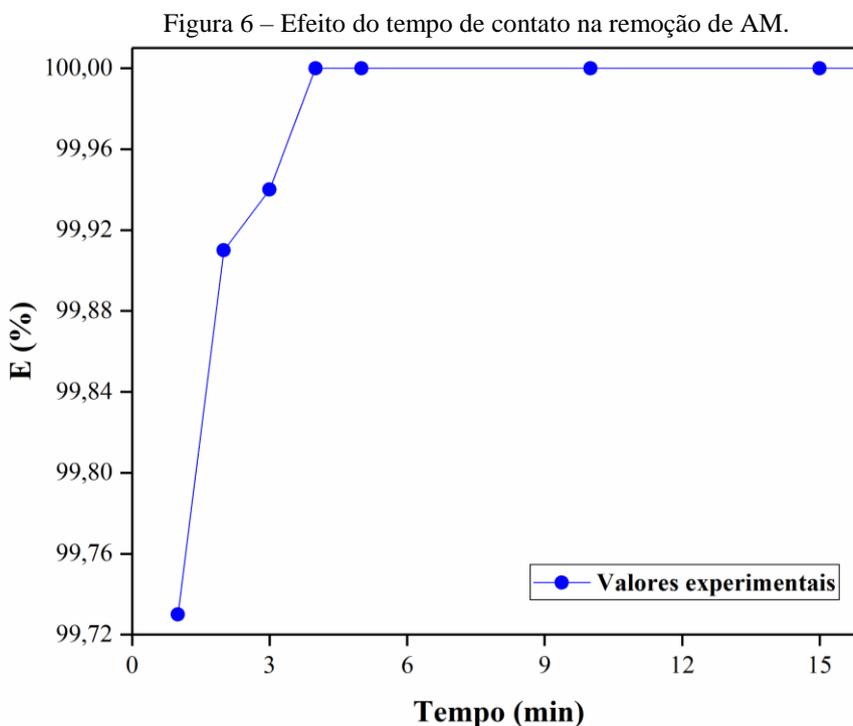


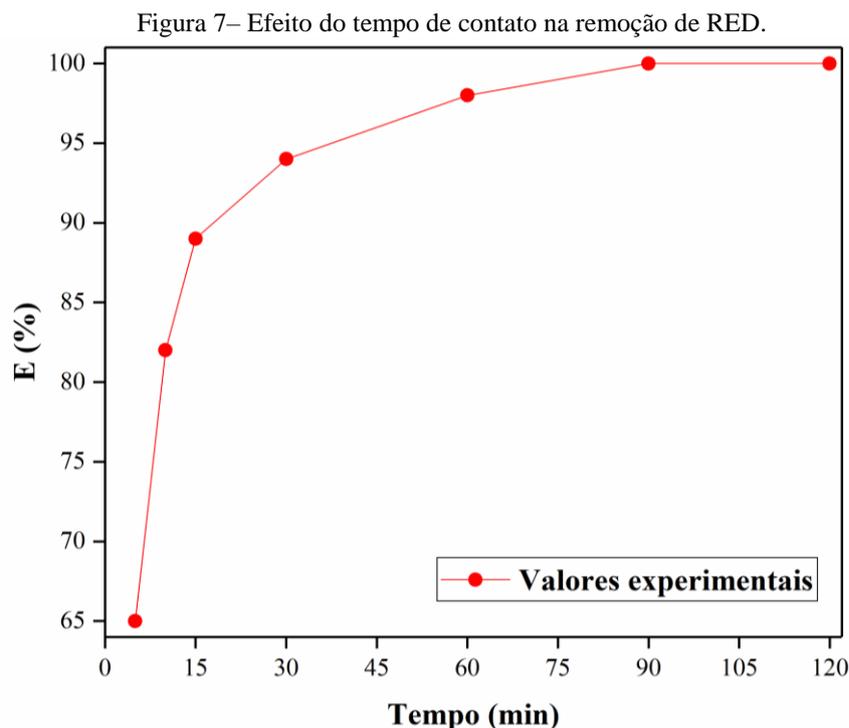
Fonte: Domingos *et al.* (2021).

4.3 PARAMETROS DE ADSORÇÃO

4.3.1 Efeito do tempo de contato

O tempo de contato é parâmetro importante no processo de adsorção de corantes orgânicos, indicando o comportamento cinético da adsorção. (GOTH *et al.*, 2022; NASCIEMNTTO *et al.*, 2020). Assim, o efeito do tempo de contato da adsorção dos corantes AM e RED em carvão ativado de cortiça foi testado a 25 °C, com concentração de 0,4 g L⁻¹ de carvão para o AM e de 1 g L⁻¹ para o RED, concentrações iniciais de 100 mg L⁻¹ de ambos os corantes e pH neutro. A adsorção foi continuada por 90 minutos para o AM e 120 minutos para o RED afim de entender a influência do tempo de contato. Os resultados observados na Figura 6 demonstraram que mesmo em baixos tempos de contato o corante AM é adsorvido quase que completamente até os primeiros 5 minutos, chegando no equilíbrio. Já para o corante RED a taxa de adsorção aumenta rapidamente nos primeiros 10 minutos, depois gradativamente até atingir o equilíbrio em 90 minutos, como pode ser observado na Figura 7. Portanto, o equilíbrio é alcançado mais rapidamente na interação entre AM e o carvão ativado de cortiça do que na interação de RED e este adsorvente, isso poderá ser melhor entendido a partir da análise dos tópicos seguintes.

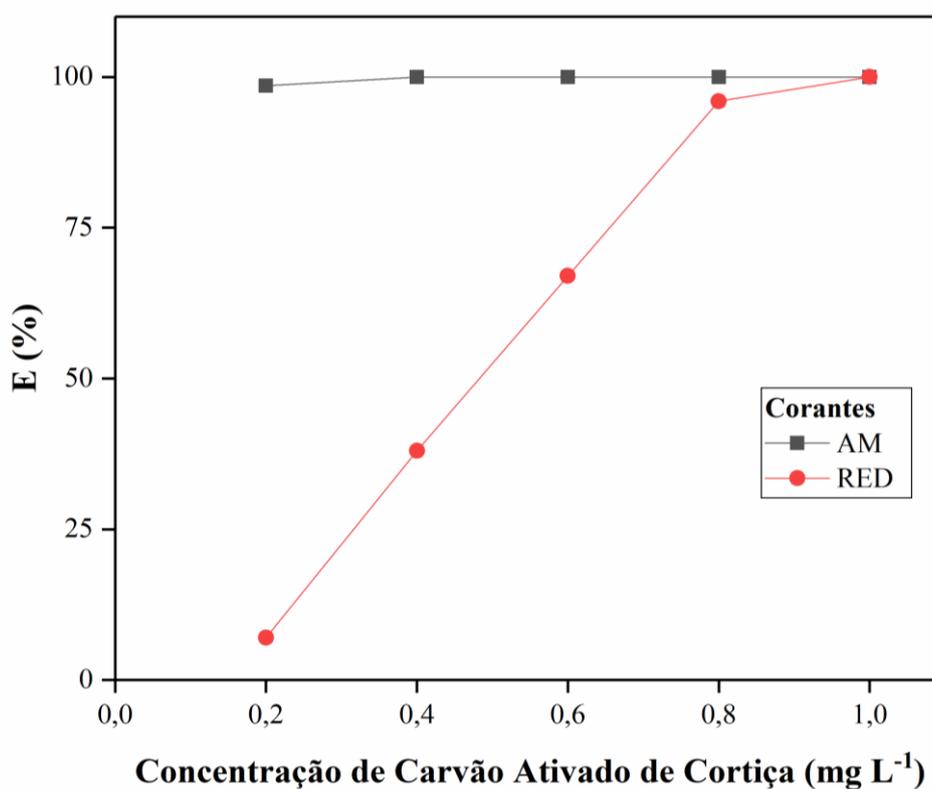




4.3.2 Efeito da concentração de carvão ativado

A dose adsorvente é um fator significativo para os processos de adsorção. Para estudar o efeito da dosagem de adsorvente na porcentagem de remoção dos corantes AM e RED foi variada quantidade inicial de carvão ativado de cortiça nos seguintes valores: 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1 g L⁻¹. Para ser possível avaliar somente esse efeito os outros parâmetros de adsorção foram constantes; temperatura, pH neutro, 100 mgL⁻¹ de AM e RED, e tempo de 90 min para os dois corantes. Para ambos a adsorção de corantes aumentou à medida que as concentrações de carvão ativado ficaram maiores. Os resultados da Figura 8 mostraram que a porcentagem de remoção de AM aumentou de 98,56% na concentração de carvão ativado 0,2 g L⁻¹ para 100% na concentração de 0,4 g L⁻¹. A eficiência de remoção do corante RED aumentou de 11% na dosagem de 0,2 g para 100% na dosagem de 1 g L⁻¹. Isso ocorre porque, uma vez que se aumenta a quantidade de carvão ativado há mais área de superfície adsorvente e, desta forma, mais sítios ativos disponíveis para adsorção de compostos do AM e RED. (GOHR *et al.*, 2022; NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Figura 8 - Efeito da concentração de carvão ativado de cortiça na remoção dos corantes.



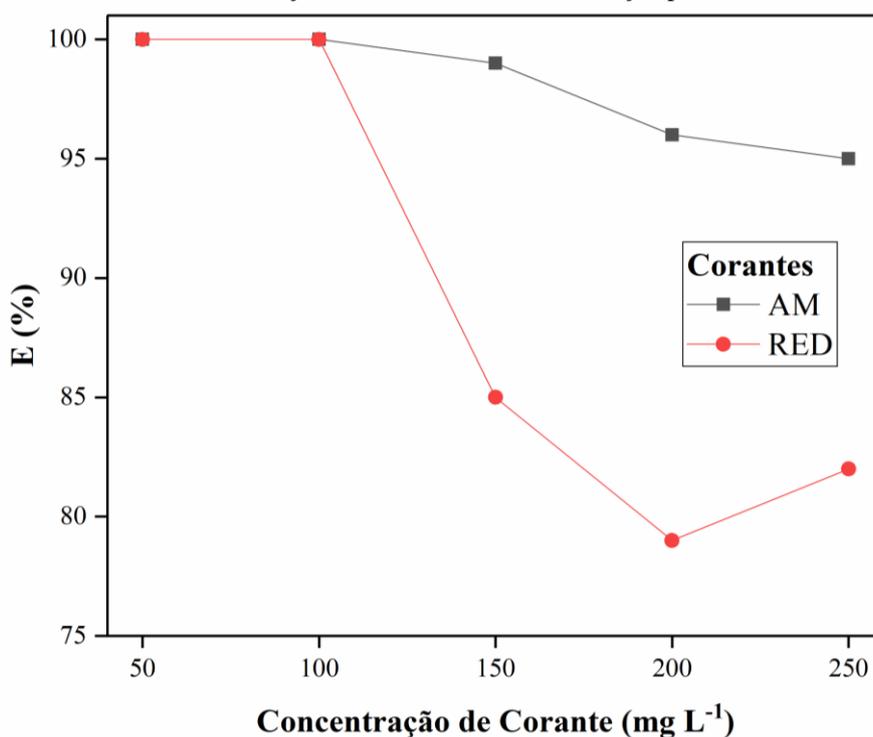
Fonte: Elaborado por autora (2022).

4.3.3 Efeito da concentração inicial de corante

Foram selecionadas cinco concentrações iniciais diferentes (50, 100, 150, 200 e 250 mg L⁻¹) de AM e RED afim de entender como esta concentração de corante afeta a capacidade de adsorção do carvão ativado de cortiça. Todos os outros parâmetros experimentais de adsorção permaneceram constantes, pH neutro, temperatura de 25 °C, diferindo apenas a concentração de 0,4 g L⁻¹ de carvão ativado para os experimentos com AM e concentração de 1 g L⁻¹ de carvão ativado para experimentos com RED.

A Figura 9 demonstra a porcentagem de remoção de corante pela a concentração inicial de corante (C_0). Em 90 minutos, à medida que a concentração inicial dos corantes aumentou de 50 para 250 mg L⁻¹, a porcentagem de remoção do corante AM diminuiu de 100 para 95%, e de corante RED, de 100% para 82%. Analogamente ao que ocorre na variação de quantidade de adsorvente há maior quantidade de sítios ativos na superfície de carvão ativado em concentrações mais baixas de corante, portanto, maior porcentagem de adsorção, pois há interação entre todas as moléculas de corante e o carvão ativado. De maneira inversa, há menos sítios ativos na superfície no carvão em maiores teores de corante, levando a menor porcentagem de adsorção (GOHR *et al.*, 2022; NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Figura 9 - Efeito da concentração inicial de corantes na adsorção por carvão ativado de cortiça

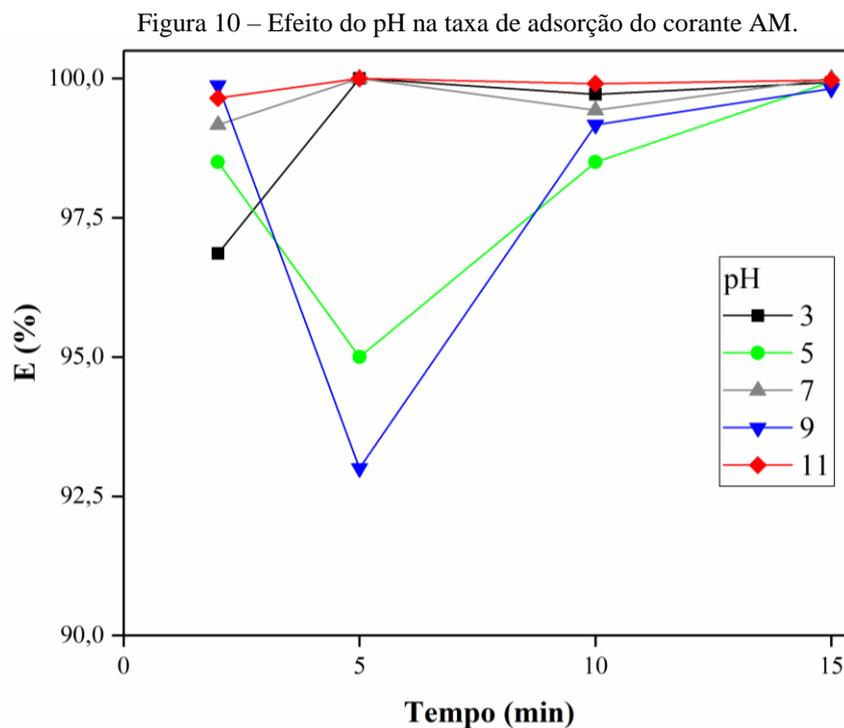


Fonte: Elaborado por autora (2022).

4.3.4 Efeito do pH

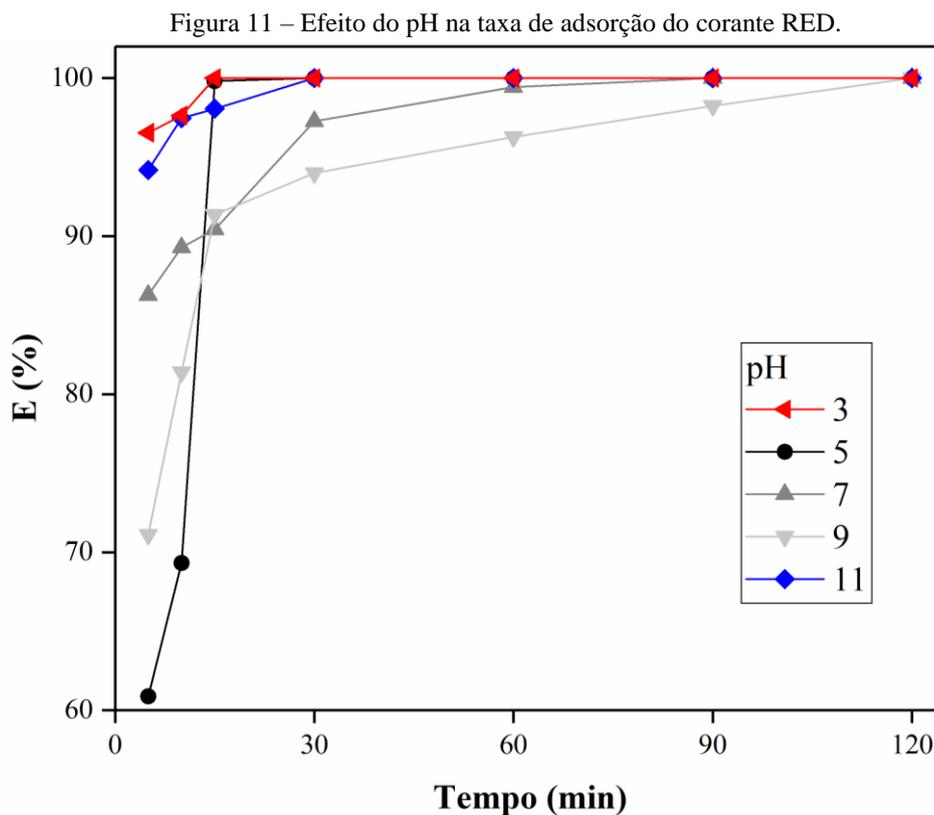
Tanto para as soluções contendo corante AM quanto para as com RED foi realizada a avaliação da adsorção variando-se o pH inicial das soluções. Isso foi feito para entender qual o efeito deste parâmetro na adsorção dos corantes pelo carvão ativado de cortiça. De acordo com Nascimento *et al.* (2020), o adsorvente em solução aquosa pode adsorver íons OH⁻ ou H⁺ dependendo da composição e das características superficiais do adsorvente, e a carga superficial dos adsorventes depende do pH da solução. Ou seja, o pH do meio afeta a adsorção, determinando quais substâncias químicas estarão mais propensas a serem adsorvidas, pois influencia no grau de ionização dos solutos.

Para ambos os corantes a avaliação do efeito do pH foi feita para concentração de 100 mg L⁻¹, nos valores seguintes de pH, 3, 5, 7, 9 e 11. Para a solução de AM usou-se 0,4 g L⁻¹ de carvão ativado de cortiça, e para a de RED 1 g L⁻¹. Os resultados obtidos indicaram que no pH 11 ocorreu maior adsorção para o corante AM, como pode ser observado na Figura 10. Isso ocorre devido ao fato deste corante ser catiônico (ALFREDO *et al.*, 2015) e em baixo pH o excesso íons H⁺ competem com ele pelos sítios de adsorção (RAFUTALLAH, 2010; GOHR *et al.*, 2022). Além disso, quando o pH aumenta, os grupos ativos de superfície do adsorvente tornam-se mais ionizados, ficando mais favoráveis à interação com o corante catiônico (GOHR *et al.*, 2022).



Fonte: Elaborado por autora (2022).

Já para o corante RED o valor de pH 3 mostrou melhor taxa de remoção depois o pH igual à 11. Estudos anteriores com diversos adsorventes mostram que este tipo de corante reativo sofre uma melhor adsorção em pH ácido por ser aniônico (AMORIM *et al.*, 2009; CHIOU; LI, 2003; ALDEGS *et al.*, 2008; REIS e *et al.*, 2017). De acordo com Nascimento *et al.* (2020) a distribuição das espécies químicas depende do pH e a variação do pH pode favorecer a formação de uma espécie em relação a outras. Para o RED a capacidade adsortiva com a variação de pH pode ser observada na Figura 11.

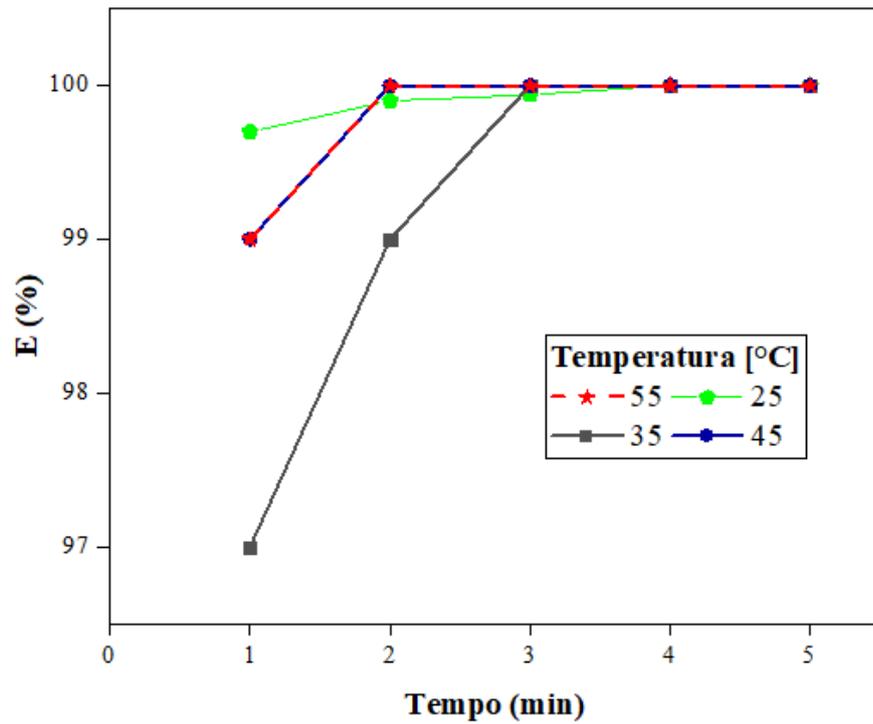


Fonte: Elaborado por autora (2022).

4.3.5 Efeito da Temperatura

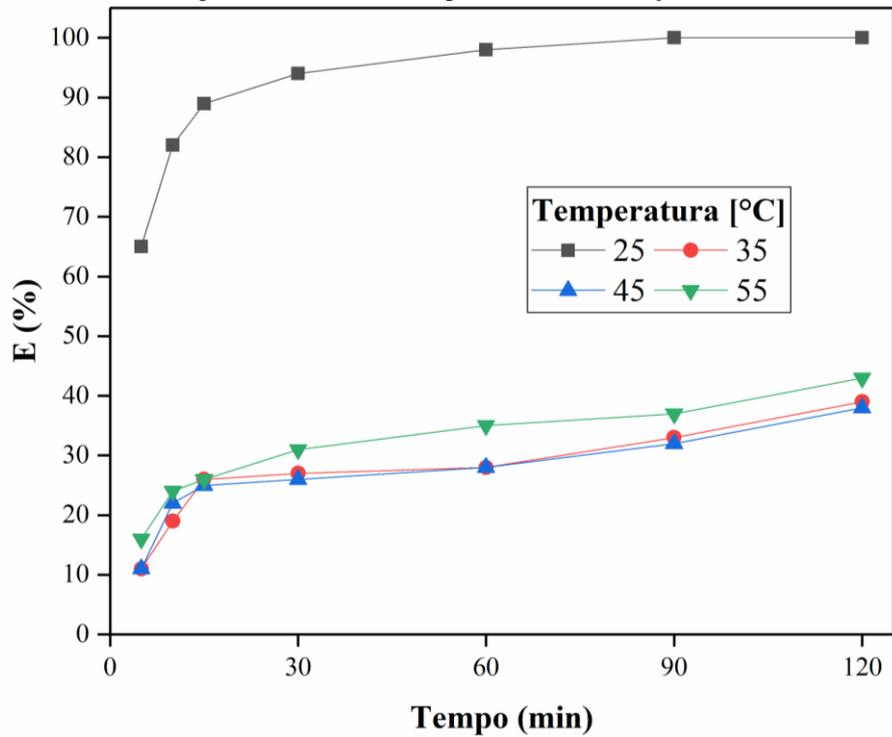
O efeito da temperatura na remoção dos corantes é representada na Figura 12 e Figura 13, para o AM e o RED, respectivamente. Para o corante AM, com concentração de 100 mg L^{-1} e $0,4 \text{ g/L}^{-1}$ de carvão, a porcentagem de adsorção foi maior nas temperaturas de 45°C e 55°C e menor à 35°C . Isso demonstra que adsorção de AM por carvão ativado de cortiça é uma reação endotérmica. (GEÇGEL *et al.*, 2016). No caso do corante RED, com uma concentração de 100 mg L^{-1} e de 1 g/L^{-1} de carvão ativado, observou-se que com a elevação da temperatura de 25°C para 35°C , 45°C e 55°C a porcentagem de remoção em 90 minutos caiu de 99,5% para 33%, depois 32% e por fim aumentou para 37%. O mesmo tipo de comportamento aconteceu em todos os intervalos de tempo, com maior adsorção de RED à 25°C , isso demonstra que é uma reação exotérmica (NACÈRA *et al.*, 2006).

Figura 12 - Efeito da temperatura na taxa de adsorção de AM.



Fonte: Elaborado por autora (2022).

Figura 13 - Efeito do tempo na taxa de adsorção de RED



Fonte: Elaborado por autora (2022).

4.4 ESTUDO DE CINÉTICA DE ADSORÇÃO, ISOTERMAS E TERMODÂMICA

4.4.1 Cinéticas de adsorção e modelagem de equilíbrio

A cinética de adsorção mostra a relação entre a capacidade de adsorção e o tempo de contato. Essa relação depende da velocidade de adsorção, do equilíbrio dinâmico, de transferência de massa e das taxas de difusão. Por isso, a análise desses parâmetros contribui para o entendimento do processo de adsorção e seu mecanismo (GOHR *et al.*, 2022). Os resultados experimentais de adsorção foram ajustados usando os modelos de reação de pseudoprimeira, pseudossegunda ordem e o modelo de Elovich, para descrever as taxas de adsorção. Os gráficos dos três modelos são mostrados na Figura 14 para o AM e na Figura 15 para o RED. Os parâmetros cinéticos calculados a partir dos três modelos juntamente com os valores do coeficiente de correlação (R^2) são apresentados na Tabela 5. O coeficiente de correlação para o corante AM foi igual para os modelos de pseudoprimeira e pseudossegunda ordem e menor para o modelo de Elovich. Para o corante RED o R^2 do modelo de pseudossegunda ordem foi superior aos coeficientes de correlação observados nos outros modelos, apesar da pseudoprimeira ordem também apresentar um alto coeficiente de correlação. Para ambos os corantes as capacidades máximas de adsorção calculadas a partir de pseudoprimeira ordem foram mais próximas das capacidades máximas de adsorção obtidas no experimento. Esses resultados demonstram que o processo de adsorção de AM e RED no carvão ativado de cortiça pode ser descrito adequadamente tanto no modelo de pseudoprimeira quanto pseudossegunda ordem.

Tabela 5 - Parâmetros de modelos cinéticos para os corantes AM e RED em carvão ativado de cortiça

Corante	q_{exp}	Pseudoprimeira Ordem			Pseudossegunda Ordem			Elovich		
		k_1	q_e	R^2	k_2	q_e	R^2	α	β	R^2
	mg.g ⁻¹	min ⁻¹	mg g ⁻¹		g.mg.min ⁻¹	mg.g ⁻¹		mg.g ⁻¹ .min ⁻¹	mg.g ⁻¹	
AM	250	5,984	249,97	1	1,549	250,05	1	3,2E+43	0,407	0,998
RED	100	0,204	97,18	0,994	0,004	102,87	0,999	3,1E+03	0,101	0,984

Fonte: Elaborado por autora (2022).

Figura 14 - Cinéticas de adsorção em carvão ativado de cortiça para AM em concentração de $0,04 \text{ g L}^{-1}$

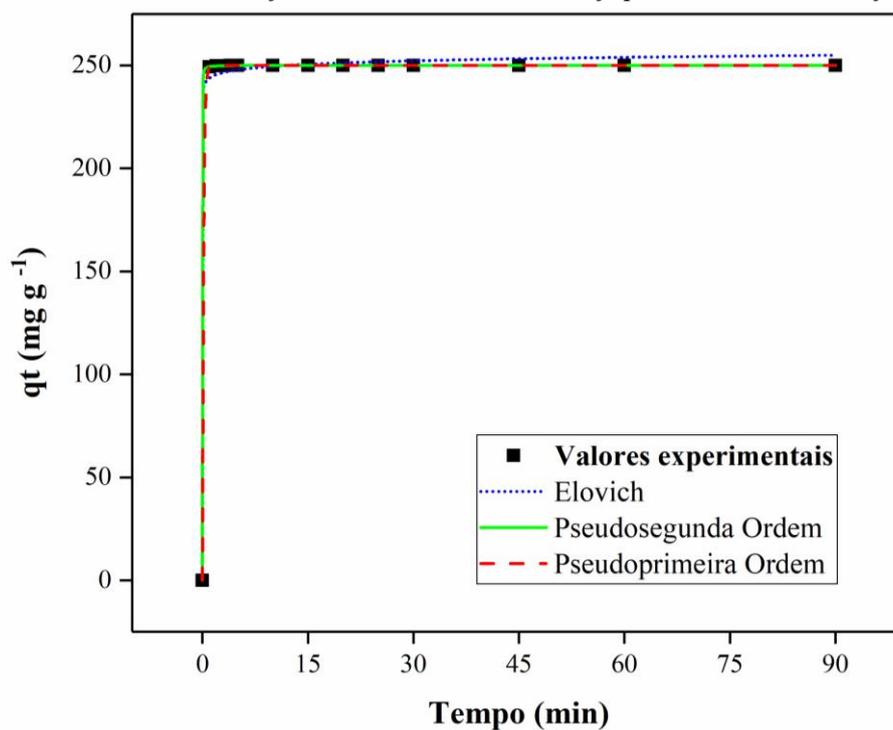
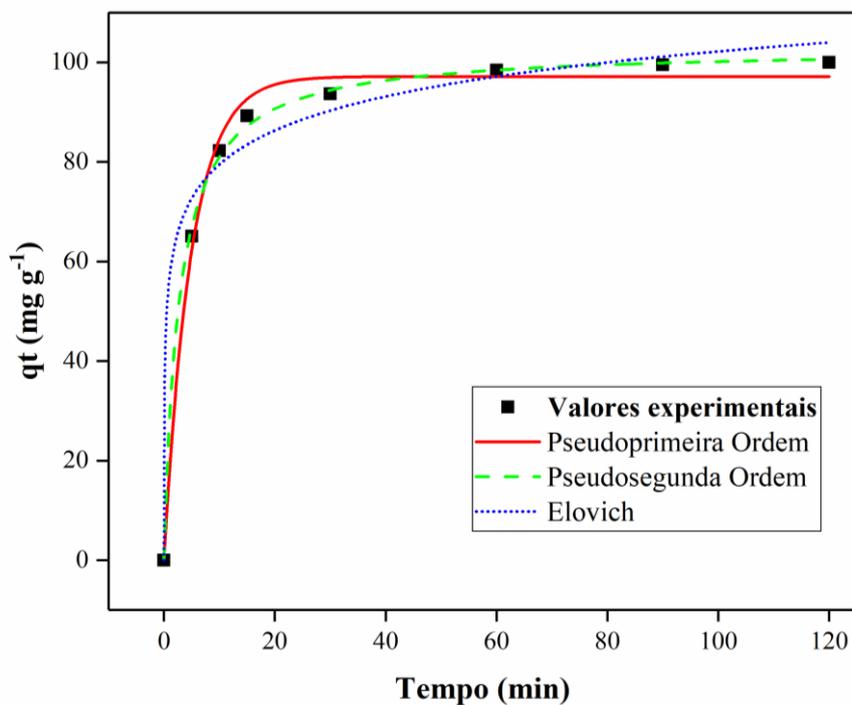


Figura 15 - Cinéticas de adsorção em carvão ativado de cortiça para RED em concentração de 1 g L^{-1}



4.4.2 Isotermas de adsorção

Os modelos de isotermas de adsorção são necessários para descrever a interação adsorvato-adsorvente (GOHR *et al.*, 2022). Portanto, avaliou-se a adsorção do carvão ativado

para diferentes isotermas, afim de entender qual modelo descreve melhor esse processo. O modelo isotérmico de Langmuir assume que as moléculas adsorvidas não interagem entre si, são adsorvidas de maneira uniforme e que a adsorção acontece em uma única camada, havendo um número finito de sítios idênticos e igualmente energéticos (LANGMUIR, 1918). Já a isoterma de Freundlich é aplicada para sistemas com superfície de adsorção e energia heterogêneos, o modelo considera que a adsorção ocorre com formação de multicamadas e energias de adsorção distintas e que há entre moléculas adsorvidas (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

O coeficiente de correlação (R^2) mostrou-se maior para a isoterma de Freundlich para ambos os corantes, enquanto o modelo de Langmuir apresentou um valor menor. Desta forma entende-se que o modelo de Freundlich é mais adequado em descrever o processo de adsorção do carvão ativado de rolhas de cortiça, isto é, a adsorção acontece em múltiplas camadas e a superfície é heterogênea. Os resultados dos parâmetros obtidos de cada modelo podem ser observados na Tabela 6. Os valores de quantidade máxima adsorvida encontrado por Langmuir ser aproximam dos valores experimentais, além disso, com constante de Langmuir (K_L), que está relacionada à afinidade entre a superfície do adsorvente e o soluto, é possível calcular o fator de separação (R_L) através da equação 12.

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad \text{Eq. (12)}$$

Tabela 6 - Parâmetros isotérmicos para os corantes AM e RED em carvão ativado de cortiça

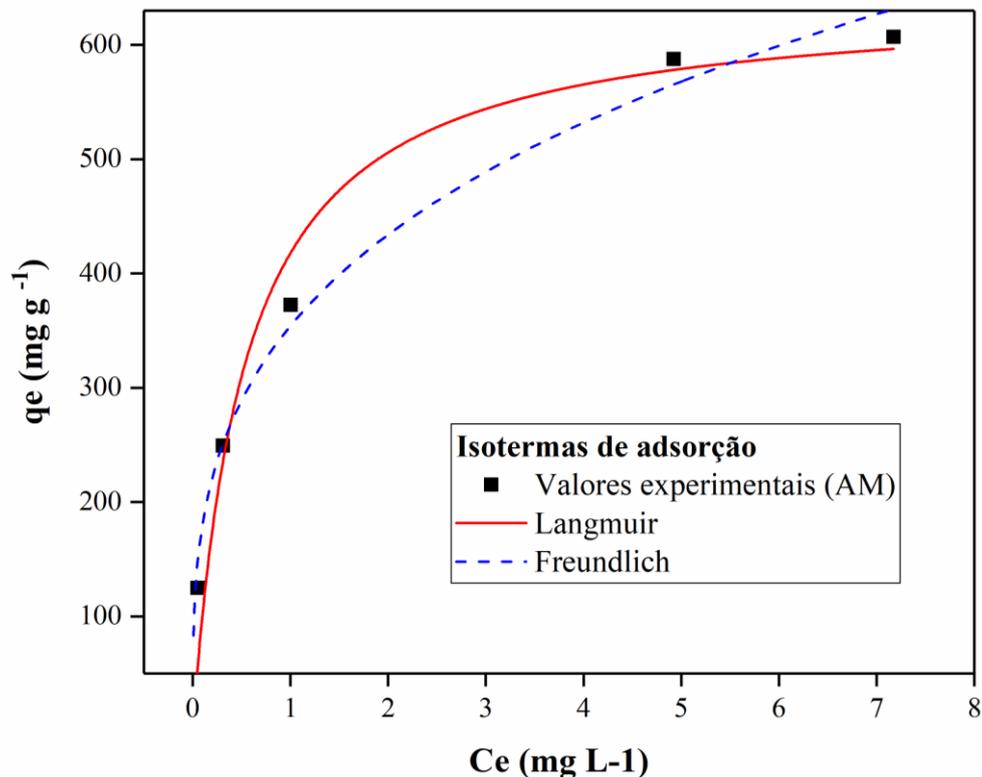
Corante	$q_{\text{máx}}$	Langmuir			Freundlich		
		q_m	K_L	R^2	K_F	n	R^2
	$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	$\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$		$\text{mg}^{1-1/n} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{L}^{1/n}$		
AM	607,06	640,84	1,87	0,9755	354,074	3,41	0,9937
RED	212,58	246,46	0,086	0,9758	45,396	2,56	0,9940

Fonte: Elaborado por autora (2022).

Considerando concentração de corante no tempo inicial igual à 100 mg L^{-1} chegou-se a valores de R_L de $5,13 \cdot 10^{-3}$ para o corante AM e de $1,05 \cdot 10^{-1}$ para o corante RED. O valor do fator de separação pode ser usado para entender a forma que a isoterma se comporta e ele é avaliado da seguinte forma: $R_L = 0$, a adsorção é irreversível; $R_L = 1$, a isoterma é linear, $0 < R_L < 1$ indica adsorção favorável; $R_L > 1$ indica adsorção desfavorável (WANG *et al.*, 2021; NASCIMENTO *et al.*, 2014; NACÈRA *et al.*, 2006). Desta forma, a adsorção de ambos os corantes no carvão ativado de cortiça pode ser considerada favorável. Os parâmetros de

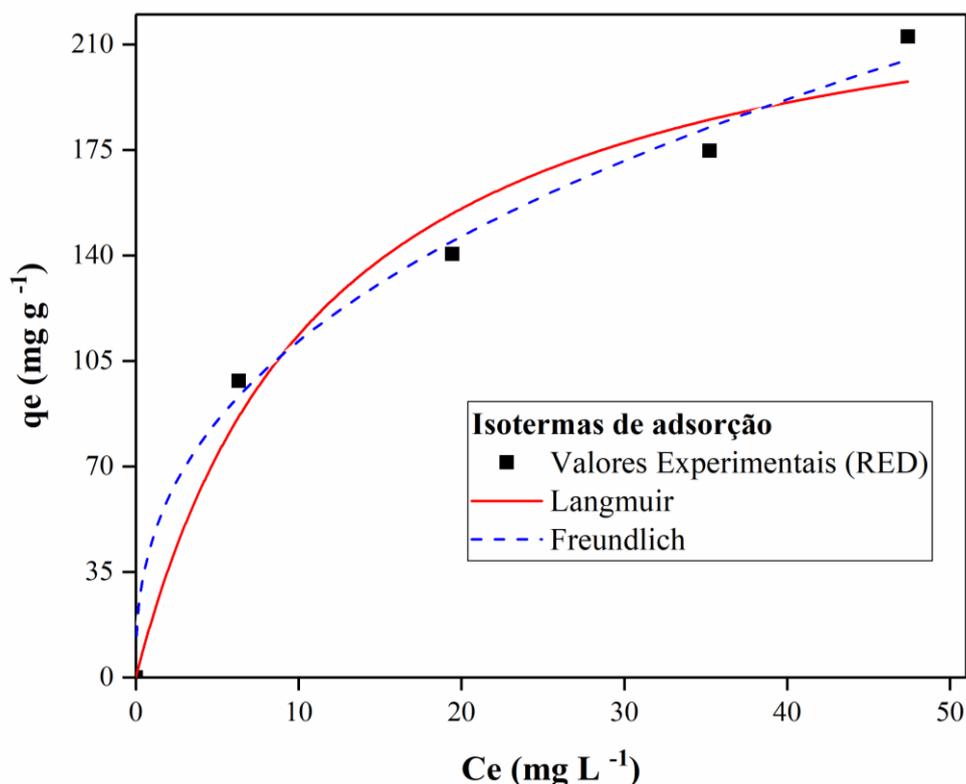
Freundlich confirmaram esta análise pois, de acordo com Nascimento (2014), uma adsorção favorável tende a ter um valor da constante de heterogeneidade de Freundlich (n) entre 1 e 10 e quanto maior o valor mais forte a interação entre o adsorvato e o adsorvente. Os gráficos com a comparação entre as isotermas podem ser vistos na Figura 16 para adsorção do corante AM e na Figura 17 para o adsorção do corante RED.

Figura 16 - Comparação das Isotermas na adsorção de corante AM em carvão ativado de cortiça.



Fonte: Elaborado por autora (2022).

Figura 17 - Comparação das Isotermas na adsorção de corante RED em carvão ativado de cortiça.



Fonte: Elaborado por autora (2022).

4.4.3 Parâmetros termodinâmicos de adsorção

As variações energéticas associadas às transformações físicas e químicas do processo de adsorção podem ser entendidas através de parâmetros termodinâmicos, que permitem determinar se o processo é espontâneo, se é majoritariamente entálpico ou entrópico, estimar a capacidade de adsorção máxima do adsorvente, avaliar a heterogeneidade da superfície, indicar se processo ocorre por fisissorção ou quimissorção, e principalmente favorecem o entendimento do mecanismo de adsorção (NASCIMENTO *et al.*, 2020). Os parâmetros termodinâmicos mais comuns avaliados para obter essas informações são a constante de equilíbrio (K_c), a variação da energia de Gibbs (ΔG), a variação da entalpia (ΔH) e variação da entropia (ΔS) (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Os valores obtidos destes parâmetros para adsorção de corante AM e RED em carvão ativado de cortiça de rolhas podem ser observados na Tabela 7. Para o AM é possível observar que a variação de energia livre de Gibbs (ΔG) apresentou valores negativos, indicando um processo de adsorção é espontâneo (NASCIMENTO *et al.*, 2014; GOHR *et al.*, 2022; WANG *et al.*, 2021). Já a variação de entalpia (ΔH) apresentou um valor positivo, o que indica que o processo é endotérmico (WANG *et al.*, 2021; GOHR *et al.*, 2022), corroborando com os resultados encontrados nos estudos de efeito da temperatura no item 4.3.5. Por fim, o valor de

variação de entropia (ΔS) foi positivo, indicando que o processo de adsorção apresenta maior desordem na interface sólido-solução (WANG *et al.*, 2021), mas que há afinidade do corante AM com o carvão ativado de cortiça, pois de acordo com Nascimento (2020), valores negativos para ΔG relacionados há valores positivos de ΔS sugerem que além do processo ser espontâneo, o adsorvato tem afinidade com o adsorvente. Além disso valores positivos para ΔS podem sugerir mudanças estruturais no adsorvato e no adsorvente.

Para o corante RED foram encontrados valores positivos de ΔG , mostrando que o processo não é espontâneo. O valor negativo de ΔH indica que o processo é exotérmico (NASCIEMNTO *et al.*, 2020), e o valor negativo de ΔS pode significar que há atração entre o adsorvente e os compostos orgânicos do corante durante a adsorção (GOHR *et al.*, 2022), mas que a desordem na interface sólido-líquido diminuiu durante o processo (DOTTO *et al.*, 2011). A relação entre ΔH negativo e ΔS indica que o processo de adsorção é favorecido em baixas temperaturas (PETRUCCI *et al.*, 2002), concordando com o que havia sido percebido na avaliação do efeito de temperatura.

Tabela 7 - Parâmetros termodinâmicos para os corantes AM e RED em carvão ativado de cortiça

Temperatura (K)	Kc		ΔG (kJ.mol ⁻¹)		ΔH (kJ.mol ⁻¹)		ΔS (J.mol ⁻¹ .K ⁻¹)	
	AM	RED	AM	RED	AM	RED	AM	RED
298	8,251E+02	14,681	-1,25E+04	9,067E+05	75,456	-1,96E+04	56,092	-45,601
308	8,272E+02	6,079	-1,31E+04	9,071E+05				
318	8,276E+02	5,971	-1,36E+04	9,076E+05				
328	8,275E+02	6,760	-1,42E+04	9,081E+05				

Fonte: Elaborado por autora (2022).

5 CONCLUSÃO

Referente ao objetivo de entender os hábitos de consumo de vinho e espumantes no Brasil e também o principal destino dados as rolhas, o questionário aplicado conseguiu reunir uma quantidade interessante de informações, mostrando que apesar do baixo consumo mensal do brasileiro, ainda principalmente se destina esse material para o lixo comum, levando ao aterro sanitário.

Já para análise sobre a possibilidade de uso de rolhas descartadas de cortiça na produção de carvão ativado, os resultados mostraram que este material precursor produz um carvão ativado que consegue remover corantes de maneira eficiente. Que sua superfície de adsorção não é homogênea e a adsorção acontece em mais de uma camada.

Em questão de capacidade de remoção dos corantes AM e RED da água, os resultados foram positivos para ambos. Porém o carvão ativado de cortiça demonstrou maior afinidade com o corante Azul de Metileno, que é um corante catiônico, tendo uma reação espontânea endotérmica e rápida. Conciliado a melhor eficiência de remoção em pH básicos conclui-se que os grupos ativos da superfície do carvão de se tornam mais ionizados em pH mais altos por tanto tem mais afinidades com compostos catiônicos.

Por fim, entende-se que a proposta de dar destinação de rolhas descartadas para a produção de carvão ativado, utilizando na remoção de corantes poluentes em água é possível, respondendo ao questionamento principal desta pesquisa.

6 RECOMENDAÇÕES

Para as pesquisas futuras é interessante avaliar:

- O potencial de carga zero (PZC) do carvão ativado de cortiça afim de entender melhor suas características e o processo de remoção;
- Teste de adsorção outros corantes ou poluentes em carvão ativado de cortiça;
- Avaliar existência e funcionamento de logística reversa para as rolhas de cortiça no Brasil;
- Fazer a comparação entre carvões ativados de outros materiais precursores e o carvão ativado de cortiça;

REFERÊNCIAS

AFSHAR, Elham Ashrafzadeh *et al.* New fabrication of CuFe₂O₄/PAMAM nanocomposites by an efficient removal performance for organic dyes: kinetic study. **Environmental Research**, [S.L.], v. 204, p. 112048, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2021.112048>.

ALMEIDA, Alexandre Nunes *et al.* A Demanda por Vinho no Brasil: elasticidades no consumo das famílias e determinantes da importação. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S.L.], v. 53, n. 3, p. 433-454, set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005303004>.

ALDEGS, Y *et al.* Effect of solution pH, ionic strength, and temperature on adsorption behavior of reactive dyes on activated carbon. **Dyes And Pigments**, [S.L.], v. 77, n. 1, p. 16-23, 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2007.03.001>.

ALFREDO, Ana Priscila C. *et al.* Adsorption of Methylene Blue in Potato Peel Using Batch and Fixed-bed Column Systems. **Revista Virtual de Química**, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 1909-1920, 2015. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150112>. Disponível em: <<https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/606/647>>. Acesso em: 26 fev. 2021.

AMORIM (Portugal). **Evaluation of the environmental impacts of Cork Stoppers versus Aluminium and Plastic Closures**: analysis of the life cycle of cork, aluminium and plastic wine closures. [S.I]: Pricewaterhousecoopers/Ecobilan, 2008. 126 p. Disponível em: <https://www.amorim.com/xms/files/v1/Sustentabilidade/Casos_de_Estudo/2008_-_LCA_Final.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2022.

AMORIM, Camila Costa de *et al.* Comparação entre diferentes processos oxidativos avançados para degradação de corante azo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Belo Horizonte, v. 14, n. 4, p. 543-550, out. 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/YTSrMMkh4hzBD6tcnb7sV5k/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 28 fev. 2022.

APCOR - ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE CORTIÇA (Portugal). **CORTIÇA | CORK 2020**. Santa Maria da Feira: APCOR, 2020. 108 p. Disponível em: <<https://www.apcor.pt/media-center/noticia/apcor-lanca-boletim-estatistico/>>. Acesso em: 21 set. 2021.

APCOR - ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DA CORTIÇA (Portugal). **Rolhas de Cortiça: Processos de Transformação**. 2018. Disponível em: <<https://www.apcor.pt/cortica/processo-de-transformacao/>>. Acesso em: 02 dez. 2021.

BARCELOS, Kamilla M.; OLIVEIRA, Kaique SGC; RUOTOLO, Luis AM. Insights on the role of interparticle porosity and electrode thickness on capacitive deionization performance for desalination. **Desalination**, v. 492, p. 114594, 2020.

BRASIL. **Lei 12.305**, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago.

CARDOSO, Beatriz *et al.* Activated Carbon Derived from Cork Powder Waste by KOH Activation: preparation, characterization, and vocs adsorption. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, [S.L.], v. 47, n. 16, p. 5841-5846, 22 jul. 2008. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ie800338s>. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie800338s>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

CHIOU, M.S; LI, H.Y. Adsorption behavior of reactive dye in aqueous solution on chemical cross-linked chitosan beads. **Chemosphere**, [S.L.], v. 50, n. 8, p. 1095-1105, mar. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0045-6535\(02\)00636-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0045-6535(02)00636-7).

CLAUDINO, Andréia. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. 2003. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação de Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86346/192226.pdf?sequence>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

COUTINHO, Adrianna Rabelo. **Análise do comportamento do consumidor de vinhos através do índice de prontidão para tecnologia na utilização de aplicativos de celulares**. 2017. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração., Centro de Pesquisa e Pós-Graduação em Administração – Cppa, Faculdade Boa Viagem, Recife, 2017. Disponível em: <https://d3pwz8qrais8b7.cloudfront.net/portal-wyden/public/custom-uploads/unifbv/adrianna_rabelo_coutinho.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2022.

COMENTTO. **Calculadora Amostral**. 2018. © 2018 Comentto. Disponível em: <<https://comentto.com/calculadora-amostal/>>.

CORTICEIRA AMORIM. (Portugal). Corticeira Amorim. **AMORIM**. 2022. Copyright 2021 - 2022 © Corticeira Amorim. Todos os direitos reservados. Created by SOFTWAY. Disponível em: <https://www.amorim.com/pt/>. Acesso em: 12 fev. 2022.

CORTICEIRA AMORIM (Portugal). **Relatório de Sustentabilidade 2020**. [S.I]: Corticeira Amorim, 2020. 72 p. (Sustentabilidade). Disponível em: <https://www.amorim.com/xms/files/Sustentabilidade/Relatorio_de_Sustentabilidade_-_PT.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2022.

DALLAGO, Rogério Marcos; SMANIOTTO, Alessandra; OLIVEIRA, Luiz Carlos Alves de. Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso. **Química Nova**, [S.I.], v. 28, n. 3, p. 433-437, 04 fev. 2005. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=3099>. Acesso em: 04 fev. 2022.

DEMERTZI, Martha *et al.* **Cork stoppers supply chain**: potential scenarios for environmental impact reduction. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 112, p. 1985-1994, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.072>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615001973>>. Acesso em: 21 set. 2021.

DEMERTZI, Martha *et al.* **Evaluation of different end-of-life management alternatives for used natural cork stoppers through life cycle assessment.** *Waste Management*, v. 46, p. 668-680, dez. 2015. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.026>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15301355>>. Acesso em: 12 dez. 2021.

DOMINGOS, Dayane Gonzaga *et al.* Influência da temperatura de carbonização nas propriedades do carvão ativado de cortiça e sua aplicação em eletrodos para dessalinização eletroquímica. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 31., 2021, Rio de Janeiro. **Anais eletrônico**. ABES, 2021. Disponível em: <<https://icongresso.abes-dn.itarget.com.br/anais/index/resultado/index/index/cc/9>>. Acesso em: 22 fev. 2022.

DOMINGUES, Valentina Maria Fernandes. **Utilização de um produto natural (cortiça) como adsorvente de pesticidas piretróides na água.** 2005. 224 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Faculdade de Farmácia, Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Porto, 2005. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12811/2/Texto%20integral.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

DOTTO, Guilherme Luiz. **Adsorção de corantes alimentícios pelo biopolímero quitosana.** 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência de Alimentos., Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/2925/guilherme.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 02 fev. 2022.

DOTTO, Guilherme Luiz *et al.* Remoção dos corantes azul brilhante, amarelo crepúsculo e amarelo tartrazina de soluções aquosas utilizando carvão ativado, terra ativada, terra diatomácea, quitina e quitosana: estudos de equilíbrio e termodinâmica. **Química Nova**, [S.L.], v. 34, n. 7, p. 1193-1199, maio 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/PH7w7vFjc7K4nsjhntzfxzq/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 01 mar. 2022.

FREIRE, Iara A. *et al.* Estudo de Adsorção para Remoção do Corante Remazol Preto B em Solução Aquosa Utilizando Carvão Ativado. **Revista Processos Químicos**, Pernambuco, v. 11, n. 22, p. 71-76, 3 jul. 2017. *Revistas Processos Químicos*. <http://dx.doi.org/10.19142/rpq.v11i22.409> .

FOO, K. Y.; HAMEED, B. H. Preparation, characterization and evaluation of adsorptive properties of orange peel based activated carbon via microwave induced K₂CO₃ activation. **Bioresource technology**, v. 104, p. 679-686, 2012.

GEÇGEL, Ünal *et al.* Adsorption of cationic dyes on activated carbon obtained from waste Elaeagnus stone. **Adsorption Science & Technology**, [S.L.], v. 34, n. 9-10, p. 512-525, 22 set. 2016. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1177/0263617416669727>.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4.e. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2002

GOHR, Mariam Sh. *et al.* Adsorption of cationic dyes onto chemically modified activated carbon: kinetics and thermodynamic study. **Journal Of Molecular Liquids**, [S.L.], v. 346, p. 118227, jan. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2021.118227>.

GONZÁLEZ-GARCÍA, Sara; DIAS, Ana Cláudia; ARROJA, Luis. **Life-cycle assessment of typical Portuguese cork oak woodlands**. *Science of the total environment*, v. 452, p. 355-364, 2013. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.053>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713002362>>. Acesso em: 11 de nov. 2021.

HILSENDEGER, Lucas Rollin. **Utilização de resíduo líquido de galvanoplastia no tratamento de efluentes através de processo FENTON**. 2020. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2021/04/TCC-Lucas-Hilsendeger.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2022.

HINZ, Júlia Silva. **Explorando o uso de barras de cortiça em BAμE: determinação de agrotóxicos organoclorados em amostras de água por GC/ECD**. 2021. 77 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/227102/PQMC0999-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2010**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>>. Acesso em: 12 de fev. 2022.

KAUSAR, Abida *et al.* Preparation and characterization of chitosan/clay composite for direct Rose FRN dye removal from aqueous media: comparison of linear and non-linear regression methods. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 8, n. 1, p. 1161-1174, 2019.

LANGMUIR, Irving. THE ADSORPTION OF GASES ON PLANE SURFACES OF GLASS, MICA AND PLATINUM. *Journal Of The American Chemical Society*, [S.L.], v. 40, n. 9, p. 1361-1403, set. 1918. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/ja02242a004>.

LAZARINI, Janaina Patel *et al.* Estudo sobre o potencial da cortiça reutilizada na adsorção do corante azul de metileno. **RCT - Revista Técnico-Científica do IFSC**, Jaraguá do Sul, v. 1, n. 8, p. 1-14, 12 nov. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rct/article/view/2564>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

MELLO, Loiva Maria Ribeiro de; MACHADO, Carlos Alberto Ely. **Vitivinicultura brasileira: Panorama 2019**. Bento Gonçalves: EMBRAPA, 2020. 21 p. Comunicado Técnico 214. ISSN 1808-6802. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215377/1/COMUNICADO-TECNICO-214-Publica-602-versao-2020-08-14.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2021.

MELLO, Loiva Maria Ribeiro de. **Tendência de consumo e perspectivas do mercado de vinhos no Brasil**. In: Simpósio Nacional de Fermentações, 14., 2003, Florianópolis. Parte de livro. Florianópolis: Embrapa Uva e Vinho., 2003. p. 1-7. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/535736>>. Acesso em: 08 fev. 2022.

METCALF, L; EDDY, H. **Wastewater engineering: treatment disposal reuse**. Revisão de George Tchobanoglous e Franklin Burton. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

NACÈRA, Yeddou *et al.* Equilibrium and kinetic modelling of methylene blue biosorption by pretreated dead streptomyces rimosus: effect of temperature. **Chemical Engineering Journal**, [S.L.], v. 119, n. 2-3, p. 121-125, jun. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2006.01.018>.

NARSRIN, R. K.; CAMPBELL, M.; SANDI, G.; GOLAZ, J.; **Production of Micro and Mesoporous Activated Carbon from Paper Mill Sludge Carbon** 38, p. 1905-1915, Chicago, 2000.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do *et al.* **Adsorção**: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256 p. ISBN: 978-85-7485-186-0. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10267/1/2014_liv_rfdnascimento.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2022.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do *et al.* **Adsorção**: aspectos teóricos e aplicações ambientais. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará (UFC), 2020. 309 p. ISBN: 978-65-990722-7-7. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53271>>. Acesso em: 02 fev. 2022.

NUNES, José Alves. Processos Químicos Específicos e Tratamentos Terciários. In: NUNES, José Alves. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 3. ed. Aracaju: Gráfica e Editora Triunfo Ltda., 2001. Cap, 5, 298 p.

OIV - INTERNATIONAL ORGANISATION OF VINE AND WINE (S.I). **State of the world vitivinicultural sector in 2020**. [S.I]: Oiv - International Organisation Of Vine And Wine, 2021. 19 p. (Relatório de mercado). Disponível em: <<https://www.oiv.int/public/medias/7909/oiv-state-of-the-world-vitivinicultural-sector-in-2020.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2021.

PASQUALI, Marina. Wine industry in Brazil – statistics & facts. **STATISTA - The Statistics Portal for Market Data, Market Research and Market Studies**. 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/topics/5228/wine-industry-in-brazil/#dossierKeyfigures>. Acesso em: 3 dez. 2021.

PETRUCCI, Ralph H. *et al.* **General chemistry**: Principles and modern applications. 8. ed. New Jersey: Prentice Hall – Rio de Janeiro, 2002. 659 p. ISBN 0130176842.

RAFATULLAH, Mohd *et al.* Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review. **Journal Of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 177, n. 1-3, p. 70-80, maio 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.047>.

REIS, Hélen Cristina Oliveira dos *et al.* Biossorção do corante têxtil reactive red 239 utilizando o bagaço da espiga de milho como biossorvente. In: CONGRESSO ABES FENASAN, 2017, São Paulo. **Anais eletrônico**. [S.I]: Abes, 2017. p. 1-12. Disponível em: <<https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2018/06/II-329.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2022.

REZAEI KALANTARY, Roshanak *et al.* Nitrate adsorption by synthetic activated carbon magnetic nanoparticles: kinetics, isotherms and thermodynamic studies. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 35, p. 16445-16455, 2016.

RIBAS, Marielen Cozer. **Remoção de corantes têxteis pelo processo de adsorção utilizando carvão ativado produzido a partir de subprodutos agroindustriais - estudos em batelada e coluna de leito fixo.** 2016. 159 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/147505>>. Acesso em: 04 fev. 2022.

ROCA, Pau. OIV - International Organisation Of Vine And Wine (org.). **State of the vitivincultural world in 2020.** [S.I]: OIV - International Organisation Of Vine And Wine, 2021. 29 slides, color. OIV Press Conference. Disponível em: <<https://www.oiv.int/public/medias/7880/oiv-state-of-the-vitivincultural-world-2020-ppt.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2021.

ROCA, Pau. OIV - International Organisation Of Vine And Wine (org.). **State of the vitivincultural sector in 2019.** [S.I]: Oiv - International Organisation Of Vine And Wine, 2020. 35 slides, color. OIV Press Conference. Disponível em: <<https://www.oiv.int/public/medias/7284/presentation-oiv-press-conference-april-2020.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2021.

RUTHVEN, D. M. Principles of Adsorption & Adsorption Process. New York: John Wiley & Sons, 1984.

SILVA, S. P. *et al.* Cork: properties, capabilities and applications. **International Materials Reviews**, [S.I], v. 50, n. 6, p. 345-365, dez. 2005. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4005/1/0105.pdf>> Acesso em: 12 jan. 2022.

SINCERO, Arcadio Pacquiao; SINCERO, Gregoria Alivio. Advanced Filtration and Carbon Adsorption. In: SINCERO, Arcadio Pacquiao; SINCERO, Gregoria Alivio. **Physical-chemical treatment of water and wastewater.** Londres: Iwa Pub. ; Boca Raton, Fla. : Crc Press, 2003. Cap. 8, p. 832. ISBN: 1587161249.

SOARES, Álvaro Guedes. **Adsorção de gases em carvão ativado de celulignina.** 2001. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Física, Instituto de Física “Gleb Wataghin”, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

TRAN, Hai Nguyen *et al.* Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: a critical review. **Water research**, v. 120, p. 88-116, 2017.

TODESCATO, Diego. **Utilização de biossorbentes na remoção/recuperação de óleos em derramamentos e redução/remoção de cromo de efluentes da indústria de petróleo e gás.** 2019. 129 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/211422/PENQ0852-T.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

VIEIRA, Sonia. **Como elaborar questionários**. São Paulo: Atlas S.A., 2009. 175 p. ISBN 978-85-224-5573-7.

VILAR, Vitor *et al.* Utilização de resíduos ou subprodutos de cortiça para a eliminação de óleos e gorduras de águas. In: Encontro Brasileiro Sobre Adsorção (Eba9) E Congresso Ibero-Americano Sobre Adsorção (Iba1)., 2012, Recife. **Artigos em Proceedings**. Recife: Instituto Politécnico de Bragança, 2012. v. 1, p. 1-6. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/10969/1/Ficheiro%20III.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

WANG, Qihang *et al.* Honeycomb-like activated carbon with microporous nanosheets structure prepared from waste biomass cork for highly efficient dye wastewater treatment. **Journal Of Hazardous Materials**, Pequim, v. 416, n. 1, p. 1-11, 15 ago. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125896>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389421008608?via%3Dihub#bib11>>. Acesso em: 17 dez. 2021.

ZHOU, Li *et al.* Adsorption properties of activated carbon from reed with a high adsorption capacity. **Ecological Engineering**, [S.L.], v. 102, p. 443-450, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.02.036>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857417301039>>. Acesso em: 12 fev. 2022.

APÊNDICE A – Questionário

Título: Descarte de rolhas de cortiça

O seguinte questionário será utilizado para coleta de dados sobre rolhas de cortiça no Trabalho de Conclusão de Curso da estudante Marina Carpes de Moraes para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O TCC tratará sobre o uso de cortiça na dessalinização de água como alternativa ao seu descarte. Serão feitos questionamentos acerca do consumo de vinhos e espumantes e o que os consumidores fazem com as rolhas. As informações pessoais não serão divulgadas nem usadas. Este questionário se destina à maiores de 18 anos.

Perguntas:

1. Você é maior de 18 anos? Sim; Não
2. Você consome vinhos, espumantes ou outras bebidas que sejam fechadas com rolha?
 Sim; Não
3. Sua idade: 18 - 25 anos; 26 - 40 anos; 41 - 60 anos; mais de 60 anos
4. Qual seu gênero? Feminino Masculino Outro
5. Em que região do Brasil você mora? Norte Sul Centro-oeste Sudeste Nordeste
6. Com que frequência você consome vinho ou espumantes? Menos de uma garrafa por mês; De 1 à 2 duas garrafas por mês; De 3 à 5 garrafas por mês; Mais de 5 garrafas por mês.
7. Selecione fatores que influenciam na sua escolha do vinho/espumante (Pode selecionar mais de um): () Qualidade; () Preço; () Praticidade em abrir; () Origem (país); () Aparência da garrafa.
8. Qual a origem dos vinhos/espumantes mais consumidos por você? Importados; Nacionais; Ambos na mesma quantidade
9. Os vinhos/espumantes que você consome costumam ser fechados com: Rolha de cortiça natural; Rolha sintética (plástico); Rosca.
10. Como você descarta as rolhas? Lixo comum; Lixo Reciclável; Não descarto, eu guardo
11. Caso você guarde as rolhas, o que você faz com elas? [ABERTA]

APÊNDICE B – Respostas do questionário

Pergunta	Respostas	Nº de respostas	Porcentagem
1 - Você é maior de 18 anos?	Sim	241	99,6 %
	Não	1	0,4 %
2 - Consome bebidas que tenham rolhas?	Sim	209	86,7 %
	Não	32	13,3%
3 - Faixa de Idade	18 - 25	63	30,1%
	26 - 40	96	45,9%
	41 - 60	37	17,7%
	mais de 60	63	30,1%
4 - Gênero	Feminino	132	63,2%
	Masculino	71	34%
5 - Região do Brasil	Outro	6	2,9%
	Centro-oeste	8	3,8%
	Nordeste	13	6,2%
	Norte	9	4,3%
	Sudeste	46	22%
	Sul	133	63,6%
6 - Consumo de garrafas de vinho/espumante por mês	Menos de uma	99	47,4%
	De 1 à 2	65	31,1%
	De 3 à 5	28	13,4%
	Mais de 5	17	8,1%
7 - Selecione fatores que influenciam na sua escolha do vinho/espumante	Qualidade	166	79,4%
	Preço	158	75,6%
	Praticidade em abrir	23	11%
	Origem	39	18,7%
	Aparência	33	15,8%
8 - Qual a origem dos vinhos/espumantes mais consumidos por você?	Importados	78	37,3%
	Nacionais	63	30,1%
	Ambos	68	32,5%
9 - Os vinhos/espumantes que você consome costumam ser fechados com:	Rolhas naturais	180	86,1%
	Rolhas sintética	54	25,8%
	Rosca	58	27,8%
10 - Como você descarta as rolhas?	Lixo comum	87	41,6%
	Lixo reciclável	47	22,5%
	Guardo	75	35,9%

Fonte: Elaborado por autora (2022).