

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE QUÍMICA BACHARELADO

BÁRBARA DE SOUZA SILVA

**ESTUDO DO PROCESSO DE ADSORÇÃO DE ANILINA EM MEIO AQUOSO
USANDO TALCO *USP* COMO ADSORVENTE**

São Luís
2023

BÁRBARA DE SOUZA SILVA

**ESTUDO DO PROCESSO DE ADSORÇÃO DE ANILINA EM MEIO AQUOSO
USANDO TALCO *USP* COMO ADSORVENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Química da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) – Campus Bacanga como requisito para obtenção do título de Bacharelado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Adeilton Pereira Maciel.

São Luís
2023

BÁRBARA DE SOUZA SILVA

**ESTUDO DO PROCESSO DE ADSORÇÃO DE ANILINA EM MEIO AQUOSO
USANDO TALCO *USP* COMO ADSORVENTE**

Aprovado em: / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Flávio Santos Damos
Departamento de Química - UFMA

Prof. Dr. Gilvan de Oliveira Costa Dias
Departamento de Química - UFMA

Prof. Dr. Adeilton Pereira Maciel (Orientador)
Departamento de Química - UFMA

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

de Souza Silva, Bárbara.

ESTUDO DO PROCESSO DE ADSORÇÃO DE ANILINA EM MEIO
AQUOSO USANDO TALCO USP COMO ADSORVENTE / Bárbara de Souza
Silva. - 2023.

59 f.

Orientador(a): Adeilton Pereira Maciel.

Curso de Química, Universidade Federal do Maranhão, São
Luís, MA, 2023.

1. Adsorção. 2. Anilina. 3. Carvão. 4. Talco USP.
I. Pereira Maciel, Adeilton. II. Título.

Ao meu filho Gael, minha eterna saudade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pelo dom da vida, pela minha saúde e, principalmente, por alimentar minha fé ao longo desses anos cheios de turbulências, ao que me manteve firme, não permitindo que eu desistisse do processo. Toda honra e toda Glória à Ele.

Agradeço aos meus pais, que sempre me apoiaram e nunca mediram esforços em me ver bem e ir em busca dos meus sonhos. Gratidão à minha mãe Herly, a mulher ao qual me inspiro e agradeço à Deus todos os dias em tê-la na minha vida, acima de tudo a pessoa que posso contar independente da situação. Agradeço imensamente meu pai Edvan, por sempre me proteger e me permitir sonhar o mais alto possível sem cobrar nada em troca. Muito obrigada por serem meus alicerces.

Agradeço ao meu irmão Henrico, por ser minha fuga de alegria e paz em meio à turbulência.

Agradeço ao meu filho Gael (*in memorian*), que em seus 2 meses de vida me ensinou o significado da palavra perseverança.

Agradeço a meu namorado Thiago, por escutar e acompanhar meus perrengues e choros, me dando colo e conforto para enfrentar as adversidades desse período de graduação.

Agradeço a meus avôs Crispim e Domingos, que sempre torceram para que eu chegasse até aqui.

Agradeço à minha avó Raimunda (*in memorian*), por todas orações e torcida que tinha por mim. Sei que me acompanha aí de cima.

Agradeço a minha avó Andreлина, por nunca medir esforços para me ajudar em meio às turbulências, por sempre apoiar meus sonhos e por sempre está presente em minha vida, acima de tudo, minha amiga.

Agradeço a minha tia Antônia (*in memorian*), que era minha segunda mãe, hoje posso dizer a ela que realizei o que lhes foi prometido na última vez que nos vimos. Gratidão por ter feito parte do seu legado aqui na Terra.

Agradeço aos meus amigos de graduação, Antonielson, Jhonathas e Ivo que colaboraram para que esta se tornasse uma trajetória mais leve.

Agradeço a minha primeira amiga conquistada na Universidade Jeovana, que partilhou de momentos de aperto no 311, à longas filas do RU e exercícios intermináveis de cálculo, como também esteve presente em momentos de glória e alegria na minha vida pessoal.

Agradeço a minha amiga Jéssica, que desde que entrou na minha vida têm tornado tudo mais divertido.

Agradeço a Família Keila, que me acolheu e me mostrou o lado festivo da faculdade (conhecido também como Bambu e Keila).

Agradeço ao NCCA (Núcleo de Combustíveis e Catálise Ambiental), em pessoas de Professora Cáritas, Professora Gilza, Professor Adeilton e Professora Rafaelly por todos os ensinamentos e experiências que serão de grande importância na minha formação profissional.

Agradeço aos meus amigos de laboratório Poliana, Florêncio, Deanroger e Carlos, por tornarem as jornadas de investigação científica mais tranquilas e fruitivas.

Agradeço ao LOEPAV (Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais) em nome da pessoa de Gustavo Oliveira, pela primeira oportunidade dentro do âmbito acadêmico em trabalhar no meio científico.

Agradeço a Atlética Alquimia, pelos treinos e competições aos quais serviam de refúgio da tensão universitária.

Agradeço ao meu tio Fernando, por me acolher em São Luís e sempre se disponibilizar. Gratidão por tudo.

Agradeço à Instituição Universidade Federal do Maranhão (UFMA) pelos recursos financeiros que viabilizaram minha iniciação científica, e aos professores que partilharam de seu conhecimento e farão parte da profissional ao qual serei.

Ao meu orientador Professor Dr. Adeilton Pereira Maciel, agradeço por toda paciência e recepção dada à essa discente que nem conhecia. Tens minha admiração pelo profissional que és.

Agradeço, de modo geral, aos meus amigos de Balsas e aos que estão pelo mundo em busca de seus objetivos, que mesmo de longe sempre que puderam estiveram presentes me animando nessa trajetória.

E, não menos importante, agradecer a mim mesma por todo esforço e dedicação, além de toda força em não desistir.

RESUMO

A anilina, fenilamina, é um composto explorado no meio industrial, por sua versatilidade de uso, destacando-se sua presença nos corantes. A anilina traz malefícios à saúde humana, como tontura e dor de cabeça. Dessa forma, o despejo dos efluentes industriais torna-se alvo de estudo por causar danos ao meio ambiente e ao ser humano. Uma técnica utilizada para remoção de substâncias indesejadas de um meio é a adsorção. Ela consiste no uso de um material adsorvente que ao entrar em contato com o meio retira o elemento poluente (adsorvato), através da sua interação com a superfície do adsorvente. Logo, o presente trabalho tem como objetivo o estudo do processo de adsorção de anilina em meio aquoso utilizando como adsorvente Talco *USP*, além de estudo cinético. Também, foi realizado um estudo comparativo com o desempenho do Carvão Ativo em pó P. A., utilizando-o como adsorvente, sob mesmas condições. Inicialmente, realizou-se uma otimização das condições de trabalho, onde se obtivesse melhores resultados, como pH, concentração da solução com adsorvato e massa de adsorvente. Sendo assim, levou-se ao pH 6, às concentrações de 10 e 20 ppm, e massa de 0,5% e 1,0% de adsorvente a serem utilizados nos estudos. Após análise das adequações aos modelos de isoterma de adsorção de Freundlich; Temkin; Redlich-Peterson, além das equações cinéticas concluiu-se que o Talco *USP* funciona como material adsorvente de anilina em meio aquoso, assim como o carvão ativo. Porém, os estudos também afirmaram que o carvão ativo é mais eficiente.

Palavras-chave: Adsorção. Anilina. Talco *USP*. Carvão.

ABSTRACT

Aniline, pHenylamine, is a compound exploited in the industrial environment, due to its versatility of use, highlighting its presence in dyes. Aniline brings harm to human health, such as dizziness and headache. Thus, the disposal of industrial effluents becomes the subject of study because it causes damage to the environment and to human beings. One technique used to remove unwanted substances from a medium is adsorption. It consists of the use of an adsorbent material that, when in contact with the environment, removes the polluting element (adsorbate), through its interaction with the surface of the adsorbent. Therefore, the objective of this work is to study the aniline adsorption process in aqueous medium using Talc *USP* as adsorbent, in addition to a kinetic study. Also, a comparative study was carried out with the performance of commercial powdered active carbon, using it as an adsorbent, under the same conditions. Initially, an optimization of the working conditions was carried out, where better results were obtained, such as pH, concentration of the solution with adsorbate and mass of adsorbent. Thus, it was taken to pH 6, concentrations of 10 and 20 ppm, and mass of 0.5% and 1.0% of adsorbent to be used in the studies. After analyzing the adaptations to the Freundlich adsorption isotherm models; Temkin; Redlich-Peterson, in addition to the kinetic equations, it was concluded that Talc *USP* works as an aniline adsorbent material in an aqueous medium, as well as active carbon. However, studies have also stated that activated charcoal is more efficient.

Keywords: Adsorption. Aniline. Talc *USP*. Coal.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características da Anilina	27
Tabela 2. Características do Talco <i>USP</i>	37
Tabela 3. Principais vibrações do Talco <i>USP</i>	39
Tabela 4. Características do Carvão Ativo em pó, P. A.....	39
Tabela 5. Caracterização do Carvão Ativo em pó P. A.....	40
Tabela 6. Resultados da adsorção realizadas em 100 mL de anilina a 10 ppm em contato com 500 mg de Talco <i>USP</i>	41
Tabela 7. Resultados da adsorção realizadas em 100 mL de anilina a 10 ppm em contato com 500 mg de carvão ativado comercial.....	42
Tabela 8. Parâmetros cinéticos para remoção de anilina segundo modelo de Langergren.....	43
Tabela 9. Parâmetros cinéticos para remoção de anilina segundo modelo de Ho.....	43
Tabela 10. Parâmetros cinéticos para remoção de anilina segundo modelo de Weber e Morris.....	43
Tabela 11. Parâmetros cinéticos para remoção de anilina segundo modelo de Elovich.....	44
Tabela 12. Parâmetros obtidos com o modelo das isotermas de Freundlich, Temkin, Redlich-Peterson e de Henry para solução de anilina, purificada com Talco <i>USP</i>	44

Tabela 13. Parâmetros obtidos com o modelo das isotermas de Freundlich, Temkin, Redlich-Peterson e de Henry para solução de anilina, purificada com Carvão Ativo P.A.....	45
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de isotermas de adsorção.....	21
Figura 2 - Estrutura molecular da Anilina	27
Figura 3 - Ressonância da Anilina.....	28
Figura 4 - Interações do feixe de elétrons com a amostra	29
Figura 5 - Materiais utilizados na obtenção da solução-estoque de anilina 4 g.L ⁻¹	33
Figura 6 - Amostras de solução de anilina com Talco <i>USP</i>	34
Figura 7 - Sistema para estudo cinético de anilina em Talco <i>USP</i>	34
Figura 8 - Micrografia obtidas por MEV do Talco <i>USP</i>	38
Figura 9 - Difratoograma de raios X (DRX) do Talco <i>USP</i>	38
Figura 10 - Percentagem de adsorção da solução de 10 ppm de anilina de 100 mL com 500 mg de Talco <i>USP</i> (azul), e com carvão ativo P.A. (preto).....	41

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	Talco <i>USP</i>	17
2.2	Carvão Ativo.....	17
2.3	Adsorção.....	18
2.3.1	Isotermas de adsorção.....	19
2.3.1.1	Modelo de Freundlich.....	21
2.3.1.2	Modelo de Temkin.....	22
2.3.1.3	Modelo de Redlich-Peterson.....	23
2.3.1.4	Modelo de Henry.....	24
2.3.2	Cinética de adsorção.....	24
2.3.2.1	Modelo de pseudoprimeira-ordem.....	25
2.3.2.2	Modelo de pseudossegunda-ordem.....	26
2.3.2.3	Modelo de difusão intrapartícula.....	26
2.3.2.4	Modelo de Elovich.....	26
2.4	Anilina.....	27
2.5	Caracterização de adsorventes.....	29
2.5.1	Difração de Raios- X (DRX).....	29
2.5.2	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	29
2.5.3	Espectroscopia de Infravermelho (IV).....	30
3.	OBJETIVO GERAL.....	31
3.1	Objetivos específicos.....	31
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1	Equipamentos e materiais de laboratório.....	32
4.2	Soluções e reagentes.....	32
4.3	Obtenção de solução-estoque.....	32

4.4	Processo de adsorção.....	33
4.5	Estudo cinético de adsorção	34
4.6	Estudo de equilíbrio de adsorção	35
4.7	Caracterização dos adsorventes	36
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	Caracterização do Talco <i>USP</i>	38
5.1.1	Isotermas de adsorção de nitrogênio.....	38
5.1.2	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	38
5.1.3	Difração de raios X (DRX).....	40
5.1.4	Infravermelho (IV)	40
5.2	Caracterização do Carvão Ativo P. A.....	41
5.3	Ensaio de Adsorção	42
5.3.1	Equilíbrio de Adsorção.....	42
5.3.2	Cinética de adsorção	44
5.3.3	Isotermas de adsorção.....	46
6.	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	49
	APÊNDICE A – Modelo linear da isoterma de Freundlich para Talco <i>USP</i>	57
	APÊNDICE B – Modelo linear da isoterma de Freundlich para Carvão ativo P.A.....	57
	APÊNDICE C – Modelo linear da isoterma de Temkin para Talco <i>USP</i>	58
	APÊNDICE D – Modelo linear da isoterma de Temkin para Carvão ativo P.A.	58
	APÊNDICE E – Modelo linear da isoterma de Redlich-Peterson para Talco <i>USP</i>	59
	APÊNDICE F – Modelo linear da isoterma de Redlich-Peterson para Carvão ativo P.A.	59
	APÊNDICE G – Modelo linear da isoterma de Henry para Talco <i>USP</i>	60
	APÊNDICE H – Modelo linear da isoterma de Henry para Carvão ativo P.A.....	60

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a ficha de informação de produto químico da companhia ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e estudos de Araújo; Silva; Carvalho e Suzuki (2016) a anilina, também conhecida como fenilamina, de fórmula molecular $C_6H_5NH_2$ é um composto aromático simples. Em seu estado puro apresenta-se como um líquido incolor, porém ao ser manuseado sofre oxidação mudando sua cor para marrom-avermelhada.

Dessa maneira, essa substância possui fraca basicidade e estrutura que permite ressonância de elétrons. Esses fatores favorecem com que ela possa ser facilmente manipulada para formação de compostos químicos. Com isso, tem-se o destaque de sua utilidade na indústria, como na composição da espuma de poliuretano, de produtos químicos agrícolas, pinturas sintéticas, além da indústria de látex e explosivos, e ainda na produção de corantes. (KRAMER *et al.*, 2023)

Desse modo, há uma vertente a ser analisada que é o descarte dessa substância no meio ambiente, principalmente em meios aquáticos, que apesar da baixa afinidade desse composto com a água, ainda sim há a contaminação. Pois, a mesma é vista como principal subproduto da degradação de azocompostos – corantes encontrados em efluentes da indústria têxtil, (BRITO *et al.*, 2021; REBOUÇAS *et al.*, 2022) acarretando danos à saúde humana e ambiental.

Por conseguinte, a anilina e seus derivados trazem problemáticas aos seres humanos, sendo um agente tóxico quando absorvidos de forma oral ou inalatória, por exemplo. Assim, após absorção provoca alterações nas hemoglobinas e em algumas proteínas, e caso haja exposição prolongada promove dor de cabeça, fraqueza e tontura, dentre os sintomas ainda pode-se chegar a alterações nos tecidos acarretando câncer. (KRAMER *et al.*, 2023)

Dessa maneira, a contaminação química das fontes hídricas a partir de poluente, como anilina, trouxe a necessidade da criação de novas técnicas que removessem esses poluentes encontrados em resíduos líquidos e gasosos. (VIDAL *et al.*, 2020) Já que essas substâncias, geralmente, são resistentes a métodos de degradação biológica ou não são retiradas totalmente por tratamentos físico-químicos, a adsorção tornou-se uma técnica popular para essa finalidade. Assim, tem função de separar e purificar a amostra contaminada. (COONEY, 1999.) Neste sentido, um material

adsorvente é colocado em contato com o que se deseja remover, para que este venha aderir à superfície daquele, que por sua vez seja de fácil remoção do meio.

Dessa forma, o presente trabalho analisou o comportamento do Talco *USP* como adsorvente de uma solução aquosa de anilina (adsorvato), e ainda comparou-se com o desempenho que o Carvão Ativo P.A. teve também como superfície de adsorção. Portanto, a busca por um meio de corrigir esse imbróglio, levou-se a formulação deste trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo apresenta-se o referencial teórico assimilando conteúdos e estudos de suma importância que levaram ao avanço deste trabalho.

2.1 Talco *USP*

“A classe mineral dos silicatos é de grande importância, pois cerca de 25% dos minerais conhecidos e quase 40% dos minerais comuns são silicatos. Sabe-se que os minerais dominantes da crosta terrestre são os silicatos e óxidos, cujas propriedades dependem das condições físicas e químicas de sua formação” (FONSECA; AIROLDI, 2003).

Os silicatos são constituídos pelos elementos químicos silício (Si) e oxigênio (O), derivado do ácido silicílico, que pode ser um éster ou um sal. No grupo dos silicatos há destaque àqueles formados pelos elementos da Família IA da Tabela Periódica (Lítio (Li), Sódio (Na), Potássio (K), Rubídio (Rb), Césio (Cs) e Frâncio (Fr)), porque são compostos solúveis em água, o que facilita a aplicação deles no ramo industrial. (DA SILVA, 2023)

Em 2001, Strunz e Nickel editaram as chamadas Tabelas Mineralógicas de Strunz, as quais até hoje servem de embasamento para classificação dos minerais. Isso se deve ao fato de levarem em consideração o arranjo estrutural de cada espécie e a química. As Tabelas estão dispostas em dez classes mineralógicas tradicionais, que ainda se dividem, levando em conta os aspectos químico-estruturais, em classes, divisões, famílias e grupos. (NEVES, 2019; STRUNZ, 2001) Assim, os silicatos podem ser subdivididos de acordo com o número de vértices compartilhadas por tetraedros da estrutura em: Nesossilicatos, Filossilicatos, Sorossilicatos, Inossilicatos, Ciclossilicatos e Tectossilicatos.

Segundo Santos (2010), o adsorvente Talco *USP* é composto, em sua maior parte, pelas fases cristalinas pirofillita $(Al_2(Si_4O_{10})(OH)_2)$, no qual é monoclinico e pela muscovita $(K,Na)(Al,Mg,Fe)_2(Si_{3.1}Al_{0.9})O_{10}(OH)_2$, hexagonal. E também, pela fase quartzo (SiO_2). Sendo assim, o material em questão não trata-se do mineral talco, mas de outro tipo de silicato.

2.2 Carvão Ativo

No mundo todo, o carvão ativo vem sendo reconhecido como um dos mais populares e usado no tratamento de água e esgoto (SHAFEEYAN *et al.*, 2010). Em 1773, por Scheele, as propriedades de adsorção do carvão foram descobertas, sendo

utilizado para o tratamento de gases seguido de descoloração de soluções, e mais à frente (1786), foi relatado sistematicamente pela primeira vez o poderio da adsorção do carvão em fase líquida. (BHATNAGAR *et al.*, 2013)

Segundo Silva *et al* (2019), o carvão ativado pode ser feito através de qualquer material com alto teor de carbono, como lignina, madeira, hulha, carvões minerais (antracito, betuminoso, linhito), cascas de coco, de arroz, de nozes, caroços de frutas, grão de café, entre outros. Esses materiais enriquecem durante o processo térmico, sem provocar fusão ou abrandamento que interfira na formação de microporos. Se a porosidade desses materiais for baixa, há necessidade de ativá-los.

Por conter uma área de superfície muito grande, elevada porosidade, além de uma estrutura interna desenvolvida onde os poros se dividem entre micro, meso e macroporos, o carvão ativado torna-se de grande versatilidade para aplicação em várias áreas, como a industrial e a ambiental (COSTA, 2010)

Desse modo, o seu uso como adsorvente mostra-se eficiente para remoção de grande variedade de compostos poluentes orgânicos e inorgânicos, tanto em meio aquoso, quanto em meio gasoso. O que se deve à estrutura interna da sua superfície, que é bem desenvolvida (COTORUELO *et al.*, 2012).

2.3 Adsorção

Ruthven (1984) afirma que a adsorção é uma operação de transferência de massa, a qual estuda a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos. Uma vez que os componentes adsorvidos concentram-se sobre a superfície externa, quanto maior essa superfície externa por unidade de massa sólida, tanto mais favorável será a adsorção. Por isso, geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas.

Diante disso, o composto ao aderir à superfície do outro é chamado adsorbato ou adsorbato, enquanto o outro é classificado como adsorvente.

A separação de espécies químicas por adsorção baseia-se em três mecanismos: o estérico, cinético e de equilíbrio. No mecanismo estérico, o material adsorvente possui poros com dimensões específicas, responsáveis pela entrada de moléculas características às quais eliminam as outras. No mecanismo de equilíbrio, estuda-se a capacidade de sólidos distintos em afinidade com diferentes adsorvatos. Enquanto o

último, mecanismo cinético, está pautado nas difusividades diferentes dos elementos nos poros onde ocorre a adsorção (DO, 1998).

Ainda, de acordo com a origem das forças presentes no processo de adsorção, pode-se classificá-lo, quanto a sua intensidade, em dois tipos: adsorção física (fisissorção) e adsorção química (quimissorção). Ao tratar-se da fisissorção, o adsorbato prende-se à superfície do adsorvente através de uma ligação fraca ao qual pode ser relacionada às forças de van der Waals, parecidas com as de coesão molecular. Por outro lado, a adsorção química é caracterizada por interações químicas fortes, isso se deve ao fato de serem ligações novas que são resultados, principalmente, da troca ou compartilhamento de elétrons entre as moléculas de adsorbato e o ambiente superficial do elemento adsorvente. (VIDAL *et al.*, 2020)

Dessa maneira, o processo adsorptivo pode sofrer influência de vários fatores, desde operacionais até a natureza das espécies envolvidas. Segundo Cooney (1999), as principais condições de operação são pH, temperatura e natureza do solvente. Ao passo que densidade, área superficial, grupos funcionais presentes na superfície, tamanho do poro e hidrofobicidade são as características que devem ser observadas no adsorvente. E, tamanho da molécula, solubilidade e acidez ou basicidade, definem a origem do adsorbato.

2.3.1 Isotermas de adsorção

Durante o processo de adsorção, sabe-se que um componente sólido entra em contato com o volume de líquido que contém um soluto adsorvente, isso ocorre até que entre em estado de equilíbrio. Isso quer dizer que as moléculas ou íons do adsorbato se deslocam do líquido para superfície da espécie adsorvente, ao ponto de atingir o equilíbrio e a concentração de soluto no meio aquoso (C_e) mantenha-se constante. Logo, nesse ponto o estado de equilíbrio é alcançado e pode-se determinar a capacidade de adsorção do adsorvente (q_e). (COONEY, 1999)

Essa interação pode ser estudada através das isotermas de adsorção, que determinam e analisam as mudanças no líquido, as quais podem ser expressas por modelos matemáticos que se baseiam em alguns aspectos e parâmetros diferentes. Esses modelos tem importância essencial para a previsão e simulação do desempenho dos materiais quando submetidos a um processo específico. (DE OLIVEIRA *et al.*, 2020)

Dessa forma, os valores de q_e e C_e são definidos através de resultados experimentais. Assim, C_e é a concentração residual de adsorvato (valor medido por técnicas analíticas), enquanto a capacidade de adsorção pode ser obtida através da equação 1.

Equação 1: Equação de capacidade de adsorção.

$$q = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

No qual,

q – capacidade de adsorção (mg.g^{-1});

C_0 – concentração inicial do adsorvato (mg.L^{-1});

C_e – concentração do adsorvato no equilíbrio (mg.L^{-1});

V – volume da solução (L);

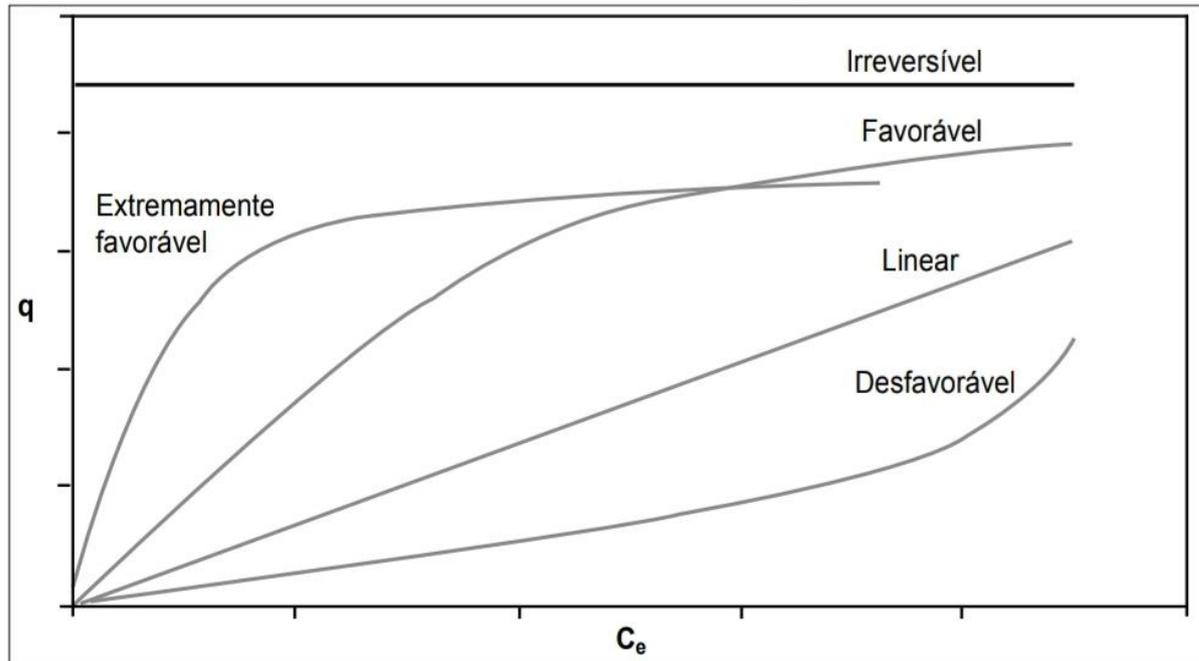
m – massa do adsorvente (g).

Portanto, definidos os valores de q_e e C_e pode-se plotar um gráfico, o qual resultará uma isoterma de adsorção.

As isotermas são diagramas que revelam a variação da concentração de equilíbrio no adsorvente com a pressão parcial ou concentração da fase líquida, em dada temperatura. Desse modo, esses gráficos se apresentam de diversas formas e fornecem informações importantes sobre o mecanismo de adsorção. (VIDAL *et al.*, 2020)

Sendo assim, elas se classificam em linear, favorável e desfavorável. A isoterma linear diz que a massa de adsorvato retida por unidade de massa de adsorvente e a concentração de equilíbrio do adsorbato no meio líquido são proporcionais. Enquanto a isoterma favorável leva a interpretação de que a massa do adsorvato retida por unidade de massa de adsorvente é superior para uma concentração de equilíbrio do adsorvente no meio líquido inferior. E por fim, a isoterma irreversível informa que a massa de adsorvato retida por unidade de massa do adsorvente é independente da concentração de equilíbrio do adsorvato na fase líquida, e a isoterma desfavorável é o contrário da favorável, logo a massa de adsorvato retida por unidade de massa do adsorvente é baixa mesmo para uma alta concentração de equilíbrio do adsorvato na fase líquida. (MOREIRA, 2008; SOUSA NETO, 2012; DOS SANTOS, 2019)

Figura 1 -Tipos de isotermas de adsorção.



Fonte: VIDAL *et al.*, 2020.

Várias equações de isotermas foram propostas com o objetivo de esclarecer a interação entre adsorvato e adsorvente adaptadas em ajustes dos dados experimentais nos valores de q versus C_e . Cada uma possuindo parâmetros (dois ou mais), como também pressupostos. Assim, cita-se as isotermas de Langmuir, Freundlich, Redlich-Peterson, Temkin e Dubinin-Radushkevich. Sendo as mais comuns, as duas primeiras citadas, pelo fato de apresentarem dois parâmetros: capacidade máxima de adsorção do material (Langmuir) e capacidade de descrever o comportamento dos dados experimentais. (VIDAL *et al.*, 2020)

Logo, serão apresentadas as isotermas de Freundlich (por ser uma das mais utilizadas), de Temki, de Redlich-Peterson e de Henry (equações adaptadas para o presente trabalho).

2.3.1.1 Modelo de Freundlich

O modelo empírico de isoterma proposto por Freundlich é um dos mais utilizados para estudo de equilíbrio de processos de adsorção. De acordo com Freundlich (1906), este modelo toma o sólido como sendo heterogêneo, sendo assim para que se possa conhecer a energia de adsorção dele, aplica-se uma equação exponencial a cada sítio adsorptivo, calculando suas respectivas energias uma vez que são distintas.

Dessa forma, a equação abaixo foi feita a fim de definir essa isoterma matematicamente:

Equação 2: Equação da isoterma de Freundlich

$$q = K_F C_e^{\frac{1}{n}}$$

A qual pode ser linearizada, tornando-se:

Equação 3: Equação linearizada da isoterma de Freundlich

$$\log q = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$$

Sendo que,

q – quantidade de adsorção no equilíbrio (mg. g⁻¹);

C_e – concentração do adsorvato no equilíbrio (mg.L⁻¹);

$\frac{1}{n}$ – constante relacionada a heterogeneidade da superfície;

K_F – constante de capacidade de adsorção de Freundlich (mg.g⁻¹ (mg.L⁻¹)^{1/n})

Ainda, para que a adsorção seja considerada favorável o valor da constante de Freundlich (n) está entre 1 e 10. Quanto mais forte for a relação entre adsorvato e adsorvente, maior do valor de n , mas em outra vertente, quando o valor de $\frac{1}{n}$ for exatamente 1, a adsorção é classificada como linear, pois suas energias são iguais em todos os sítios adsorptivos. Por outro lado, quando $\frac{1}{n}$ for maior que 1, isso indicará que o adsorvente tem maior afinidade pelo solvente, isso quer dizer que a ligação intermolecular entre os dois é forte. (NASCIMENTO, 2014)

2.3.1.2 Modelo de Temkin

Este modelo assume que a energia de adsorção das moléculas na camada do sólido, decresce linearmente com o aumento da cobertura do adsorvente, ao contrário do que seria indicado como um crescimento logarítmico. (AHARONI; UNGARISH, 1977). A equação propriamente dita, tem embasamento nas interações que ocorrem entre adsorvente e adsorbato, além da distribuição uniforme das energias de ligação. (FOO; HAMED, 2010)

Sendo assim, a equação é dada por:

Equação 4: Equação da isoterma de Temkin

$$q = \frac{RT}{b} \ln(a_T C_e)$$

Ainda, podendo ser apresentada como na equação abaixo assumindo forma linear.

Equação 5: Equação linearizada da isoterma de Temkin

$$q = B \ln A + B \ln C_e$$

Levando em conta que $B = \frac{RT}{b}$.

Dados:

q – quantidade de adsorção no equilíbrio (mg. g⁻¹);

R – constante universal dos gases (J. mol⁻¹.K⁻¹);

T – temperatura (K);

b – constante de Temkin em relação ao calor de sorção;

a_T – constante da isoterma de Temkin (L.mg⁻¹);

C_e – concentração do adsorvato no equilíbrio (mg. L⁻¹)

2.3.1.3 Modelo de Redlich-Peterson

Segundo Vidal (2020), a equação empírica de Redlich-Peterson pode ser utilizada para explicar processos de adsorção que envolvem amplas faixas de concentração de adsorvato. Também, esse modelo é dado por uma função exponencial presente no denominador e linearmente dependente no numerador, dessa forma pode ser utilizada na interpretação de sistemas homogêneos e heterogêneos.

A equação propriamente dita, é baseada em três parâmetros:

Equação 6: Equação de Redlich-Peterson

$$q_e = \frac{K_{RP} C_e}{1 + a_{RP} C_e^\beta}$$

Ao passo que,

C_e – concentração do adsorvato no equilíbrio (mg. L⁻¹);

q_e – capacidade de adsorção no equilíbrio (mg. g⁻¹);

Enquanto que K_{RP} ($L \cdot g^{-1}$), a_{RP} ($mg \cdot L^{-1}$) e β (valor entre 0 e 1), são os parâmetros da isoterma de Redlich-Peterson.

Reunindo características dos modelos de Langmuir e de Freundlich, esse modelo empírico obtendo β aproximando-se de 1, tende a comparar-se com o modelo de Langmuir em baixas concentrações. Quando β aproxima-se de zero, assume a forma de Freundlich em concentrações elevadas. (FOO; HAMEED, 2010; FEBRIANTO et al., 2009)

2.3.1.4 Modelo de Henry

A equação do modelo de Henry baseia-se numa relação linear, que é válida, na maioria das vezes, em baixas concentrações. De acordo com AIVALIOTI *et al* (2012), quando n da equação de Freundlich é igual a zero, o resultado é a função:

Equação 7: Equação de Henry

$$q_e = K_h \cdot C_e$$

Definido a relação de Henry, sendo que K_h é a constante de Henry quando C_e é a concentração no equilíbrio.

2.3.2 Cinética de adsorção

A cinética de adsorção revela a velocidade em que o processo de adsorção acontece, e também fornece o tempo mínimo de contato entre adsorvato e o adsorvente até se atingir o equilíbrio. A investigação cinética é realizada pois os adsorventes, em sua maioria, são constituídos de poros, sendo assim a velocidade global da adsorção se limita à habilidade de entrada das moléculas de adsorbato no interior da partícula. (DO, 1998)

Por meio desse estudo pode-se entender os mecanismos de adsorção, a velocidade em que o processo ocorre, o calor liberado, o tempo ótimo de contato entre adsorvente e adsorvato, além da natureza dos sítios ativos do adsorvente. (SADARE et al, 2022)

Dessa forma, o processo adsorptivo pode ser dividido em três etapas. Assim, a primeira é influenciada pela concentração e agitação da solução, por conta disso, um aumento da concentração do adsorvato pode acelerar a difusão da substância orgânica da solução para o adsorvente. E, a segunda etapa é afetada pela natureza

das moléculas de adsorvato. Enquanto, a terceira, e determinante, depende da temperatura, pH, concentração inicial, agitação, tamanho das partículas, distribuição dos poros e tipo de solução. (SUN E XIANGJING,1997)

Portanto, são usadas distintas fórmulas matemáticas em prol de elucidar os mecanismos, responsáveis por descrever a ordem das reações e são embasadas na concentração da solução subseciva. Logo a seguir, apresenta-se os modelos de pseudoprimeira e pseudossegunda – ordem, de Weber e Morris, e equação de Elovich, já que são os mais utilizados e que melhor se adequaram à este trabalho.

Assim, processos lentos são explicados pelo modelo de pseudoprimeira-ordem, enquanto os mais rápidos se adequam ao modelo de pseudossegunda-ordem. Ao modelo proposto por Weber e Morris, se caracteriza processos os quais na superfície houve resistência de adsorção. E no modelo de Elovich, se adequam processos que envolvem quimissorção. (NASCIMENTO *et al.*, 2014; FANG *et al.*, 2020)

2.3.2.1 Modelo de pseudoprimeira-ordem

Segundo Caroni (2009), um dos primeiros modelos a descrever um sistema de adsorção líquido-sólido fundamentado na capacidade adsortiva foi elaborado por Lagergren (1898). Modelo este que descreve adequadamente, na maior parte dos casos, processos em que a etapa determinante da taxa de adsorção antecede a difusão superficial. Porém, esse modelo não fornece tradução correta dos dados em períodos de tempo de adsorção muito longos. Pode ser representado matematicamente pela Equação 8.

Equação 8: Equação do modelo de Pseudoprimeira-ordem.

$$\frac{dq}{dt} = K_1(q_e - q)$$

Dados:

q_e - quantidade de adsorbato adsorvido no equilíbrio (mmol.g⁻¹);

q - quantidade de adsorvato retido no tempo t (mmol.g⁻¹);

K_1 - constante de velocidade da reação de pseudoprimeira-ordem [min⁻¹].

2.3.2.2 Modelo de pseudossegunda-ordem

Nesse caso, o modelo de pseudossegunda-ordem baseia-se na capacidade de adsorção da fase sólida. Ele prevê o comportamento cinético em toda expansão do sistema de adsorção e é compatível com um método em que a adsorção química é a etapa definitiva do processo. (SOUZA, 2013). Portanto, pode ser analisado de forma matemática através da Equação 9.

Equação 9: Equação do modelo de pseudossegunda-ordem.

$$\frac{dq}{dt} = K_2(q_e - q)^2$$

À medida que K_2 é a constante de velocidade de reação de pseudossegunda-ordem [$\text{g} \cdot (\text{mmol} \cdot \text{min})^{-1}$]

2.3.2.3 Modelo de difusão intrapartícula

Em 1962, Weber e Morris propuseram um modelo matemático simbolizado pela Equação 10.

Equação 10: Equação do modelo de Weber e Morris.

$$q = k_i \cdot T^{0,5}$$

Em que k_i é o coeficiente de transferência de massa [$\text{mmol} \cdot [\text{g} \cdot (\text{min}^{1/2})]^{-1}$]. Ao qual compreende a difusão efetiva, as dimensões e as características físicas da partícula.

“Os mecanismos de difusão são controlados por um conjunto de resistências oferecidas a transferência de massa da partícula adsorvente. Essa série de resistências é caracterizada por dois ou mais estágios que limitam o processo. Esse modelo assume que a adsorção é controlada por três estágios: (I) estágio linear que começa com uma difusão rápida na superfície externa da partícula; (II) estágio linear que começa com uma adsorção gradual, em que a difusão intrapartícula é a etapa determinante; (III) estágio final em que começa o equilíbrio e no qual a difusão intrapartícula diminui devido ao aumento da concentração do soluto na solução.” (SOUZA, 2013 *apud* WU *et al.*, 2001)

2.3.2.4 Modelo de Elovich

Segundo Vieira *et al.* (2014), a equação de Elovich, representada na Equação 11 é utilizada para cinética química, que pode ser aplicada em sistemas em que é heterogênea a área superficial do adsorvente.

Equação 11: Equação do modelo de Elovich

$$q_t = \frac{1}{\beta} \cdot \ln(\alpha \cdot \beta \cdot t)$$

Em que α é a taxa inicial de adsorção ($\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) e β representa o número de sítios adequados para adsorção em cada sistema, e também é indicado como sendo a extensão da cobertura da superfície de energia de ativação para cinética química ($\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$) (HO; MCKAY, 2000).

2.4 Anilina

De acordo com Forezi (2011), a anilina foi obtida pela primeira vez em 1826 através do índico (*Indigofera suffruticosa*), uma espécie pertencente à família vegetal das *Fabaceae*, popularmente chamadas de anileiras. Na Tabela 1, estão informações físicas desse elemento.

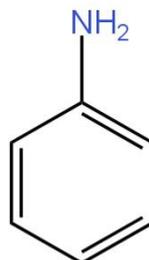
Tabela 1. Características da Anilina.

Anilina	
Ponto de fusão - PF (°C)	-6
Ponto de evaporação - PE (°C)	184
Ponto de inflamabilidade (°C)	76
Cor (temperatura ambiente)	Marrom-avermelhado
Solubilidade em água ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	36
Toxicidade	Sim

Fonte: Adaptação de FOREZI, 2011.

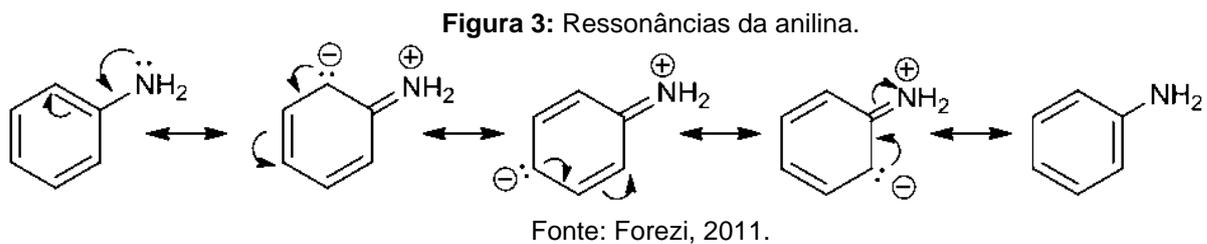
Dessa maneira, a anilina é um composto orgânico, classificada como Amina, que é uma base orgânica e sua característica peculiar é a substituição de hidrogênios da Amônia (NH_3) por cadeias carbônicas. (SOUZA, 2008; O'NEIL, 2006; KAHL, 2007)

Figura 2: Estrutura molecular da Anilina.



Fonte: Autoria própria com KingDraw© v3.5.6-20221130

Consoante a Figura 2, infere-se que ela pertence ao grupo das benzoaminas (aminas aromáticas), formada por um grupo fenil juntamente a um grupo amino. Ainda pode ser chamada por aminobenzeno e fenilamina. (O'NEIL, 2006; COSTA ET AL, 2005; CAREY, 2000). Este fato propicia o uso da anilina na síntese de vários compostos químicos e em aplicações distintas.



Esse composto é venenoso, caso seja exposto à pele ou ingerida, além de provocar irritabilidade nos olhos. Além disso, em relação à poluição da água, a anilina é um óleo pouco solúvel em água, sem coloração e com cheiro moderado, apesar de promover menor risco de intoxicação em seres humanos, a intoxicação em seres aquáticos pode causar efeitos catastróficos. (FERNANDES *et al*, 2021)

“A toxicidade da anilina é atribuída ao produto de sua N-oxidação. No fígado, a fenilhidroxilamina é produzida em pequenas quantidades por N-hidroxilação da anilina, sendo captada pelos eritrócitos e extensivamente oxidada a nitrobenzeno, com concomitante formação de metemoglobina.” (FOREZI, 2011)

Que ao contrário da hemoglobina sanguínea, não consegue combinar-se com oxigênio molecular de maneira reversível.

Dessa forma, a alta exposição à anilina pode acarretar consequências ao sistema nervoso central devido à baixa quantidade de oxigênio no sangue, ocasionando tontura, vertigem, dificuldade respiratória, entre outros. Deve-se levar em conta a anilina como provável agente responsável por desenvolvimento de câncer em humanos, apesar da inexistência de indícios que comprovem tal fato. (O'NEIL, 2006; KAHL, 2007)

De acordo com o que foi discutido, nota-se a presença desse composto na natureza por despejo, principalmente, dos polos industriais os quais fazem utilização

de anilina no processo industrial. Por consequência, colocando em risco a saúde ambiental, humana e animal do planeta.

2.5 Caracterização de adsorventes

Neves e Shvartzman (2005), afirmam que a aplicação de métodos de caracterização física, química e estrutural nos adsorventes, são aplicados como parâmetro de qualificação de sua geometria e natureza.

Entre essas técnicas está a difração de raios X, a microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a Espectroscopia de Infravermelho (IV).

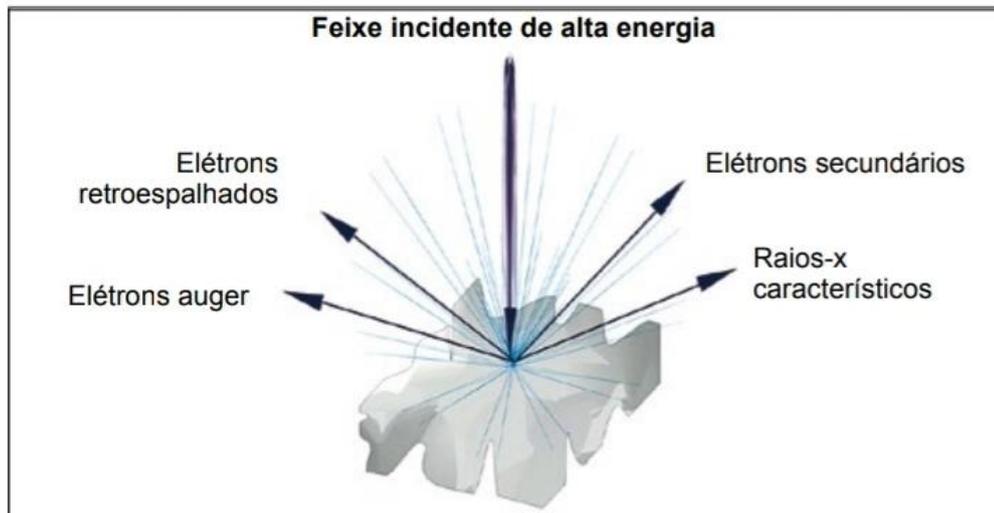
2.5.1 Difração de Raios- X (DRX)

“A difração de raios X corresponde a uma das principais técnicas de caracterização microestrutural de materiais cristalinos, encontrando aplicações em diversos campos de conhecimento. A técnica é usada para se obter características importantes sobre a estrutura de um composto. Estas informações são geradas pelo fenômeno físico da difração e também da interferência, ou seja, quando os raios incidem sobre um cristal, ocorre à penetração do raio na rede cristalina, a partir disso, teremos várias difrações e também interferências construtivas e destrutivas.” (SANTOS, 2013)

2.5.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é um método de caracterização que faz uso de um feixe de elétrons ao invés dos fótons que normalmente se utiliza em um microscópio óptico convencional. Essa técnica pode conceder dados como a composição, características superficiais de uma amostra no estado sólido, textura, topografia, produzindo uma figura tridimensional, que é possível quando a amostra é colocada em contato com o feixe de elétrons. (VIDAL, 2020)

Figura 4: Interações do feixe de elétrons com a amostra.



Fonte: VIDAL, 2020.

2.5.3 Espectroscopia de Infravermelho (IV)

Sabe-se que a Espectroscopia de Infravermelho baseia-se na absorção, que utiliza a região do infravermelho do espectro eletromagnético. Tem como objetivo determinar os grupos funcionais do material em questão, através da absorção de radiação em frequências particulares de cada grupo na região do IV. (SANTOS, 2013). Logo, o resultado é explorado em um gráfico intensidade de radiação versus frequência, o espectrograma, o que possibilita a identificação dos grupos funcionais presentes no material desconhecido (RYCZKOWSKI, 2001)

3. OBJETIVO GERAL

Estudar o processo de adsorção de anilina utilizando Talco *USP* como material adsorvente, e comparar o desempenho deste com resultados obtidos utilizando-se como adsorvente Carvão Ativo em pó P.A.

3.1 Objetivos específicos

- Produzir soluções de adsorvato mais pura possível;
- Dominar o manuseio de equipamentos e máquinas utilizadas no processo;
- Avaliar o processo de adsorção através de Espectroscopia na região do Ultravioleta-Visível (UV-Vis);
- Purificar a solução produzida utilizando como adsorventes Talco *USP* e Carvão Ativo P. A.;
- Construir isotermas para análise;
- Realizar estudo cinético do processo;
- Comparar os resultados obtidos sob mesmas condições, mas com adsorventes diferentes.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta sessão estão relacionados os equipamentos, materiais, reagentes e métodos utilizados na obtenção da solução-estoque e suas diluições, assim como os que foram usados no processo de adsorção.

Os experimentos foram realizados no Laboratório do Núcleo de Combustíveis e Catálise Ambiental (NCCA), do Centro de Ciências Exatas e Tecnologias (CCET), da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), campus Bacanga, localizado na cidade de São Luís, Maranhão, Brasil.

4.1 Equipamentos e materiais de laboratório

No preparo de solução foram utilizados balões volumétricos de vidro e pipetas volumétricas.

Para pesagem de massa de adsorventes foram utilizados vidros de relógios, espátulas e balança analítica (UNIBLOC).

No processo de adsorção foram usados béqueres, seringa de plástico (10 ml), filtro de membrana de nylon (0,45 μm) (ANALITICA), agitador magnético (FISATOM), papel de filtro, pipetas de vidro, erlenmeyers e frascos de *headspace*.

A técnica foi avaliada em espectrofotômetro UV-Vis 1800 (SHIMADZU), onde utilizou-se pipetas pasteur de vidro para manuseio da amostra.

4.2 Soluções e reagentes

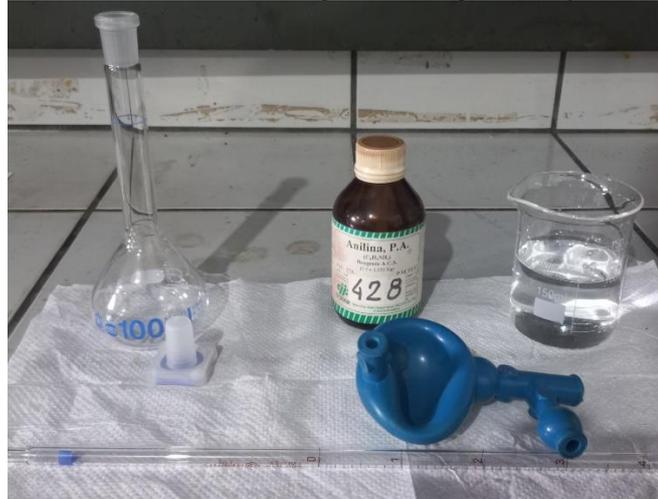
Anilina P.A (ISOFAR), Talco USP (CROMOLINE QUÍMICA FINA), Carvão Ativo em Pó P. A. (ISOFAR), Solução de NaOH (1,0 M).

4.3 Obtenção de solução-estoque

Para estudo da adsorção de anilina, elaborou-se uma solução-estoque na qual a partir dela fez-se diluições para que se pudesse trabalhar com o composto.

Dessa maneira, foi gerada uma solução de anilina 4 g.L⁻¹ através da substância pura. A partir desta, elaborou-se diluições de 10 e 20 ppm, respectivamente para que se pudesse utilizar no procedimento.

Figura 5: Materiais utilizados na obtenção da solução-estoque de anilina 4 g.L⁻¹.



Fonte: Autoria Própria.

Para confirmação da veracidade dos produtos foi construída uma curva analítica com pH 6, temperatura ambiente e concentrações da solução de anilina de 1, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 ppm.

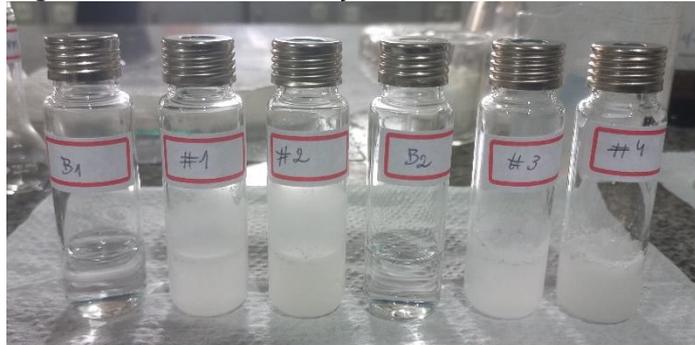
4.4 Processo de adsorção

O estudo da adsorção de anilina em solução aquosa pelo Talco *USP* e pelo Carvão Ativo P.A. foi realizado por meio de experimentos em batelada, com contato individual de Talco *USP* e Carvão, respectivamente, em soluções aquosas de 10 e 20 ppm de anilina. Os padrões de pH e temperatura foram controlados de acordo com a necessidade individual, descritos em cada caso. Além disso, para se manter o pH estável foi produzido uma solução de NaOH 1,0 M, o qual também utilizou-se para manter o sistema com pH desejável 6. A execução dos ensaios e a compreensão dos resultados logrados foram dirigidos por meio do estudo cinético e de equilíbrio do processo.

Dessa maneira, a determinação da concentração de anilina foi realizada através da Espectroscopia de UV-Vis. Assim, para laboração das análises das soluções feitas dos experimentos foi construída uma curva analítica de calibração, na faixa adequada para o limite de detecção do elemento componente, na faixa de comprimento de onda de 211 – 256 nm para anilina. As concentrações utilizadas resultaram da média de três medidas efetuadas para cada amostra.

Durante o experimento de adsorção adicionou-se Talco *USP* à solução problema em diferentes concentrações (0,5% e 1,0%) por 10 g da solução de anilina (10 ppm e 20 ppm) para remoção do composto, em temperatura ambiente, sob agitação por um período de 30 minutos. Logo após esse período a amostra foi filtrada em filtro de membrana de nylon (0,45 μm) e analisada por Espectroscopia de UV-Vis.

Figura 6: Amostras de solução de anilina com Talco *USP*.



Fonte: Autoria Própria.

Ao realizar-se o processo com Carvão Ativado comercial como adsorvente, houve uma única mudança na técnica antes dita, que foi a filtração por papel de filtro.

Os métodos utilizados foram comparados com resultados da solução-estoque pura e também, entre si, considerando as diferenças naturais dos materiais adsorventes.

A Figura 6 mostra algumas amostras utilizadas no processo de adsorção. Sendo que nos frascos de *headspace*, ao qual estão representados por B₁ e B₂, estão as soluções de 10 e 20 ppm de anilina sem material adsorvente, respectivamente. Os recipientes representados por #1, #2, #3, e #4 são amostras das diferentes concentrações e com quantidade de adsorvente diferente - #1 e #2 têm concentração de 10 ppm de anilina, com quantidades de 1,0% e 0,5% de Talco *USP*, respectivamente. Enquanto #3 e #4 contém 20 ppm de anilina em solução, com 1,0% e 0,5% de adsorvente, respectivamente.

4.5 Estudo cinético de adsorção

A avaliação cinética foi norteadada por meio da observação experimental da variação da concentração da solução aquosa de anilina adsorvida à superfície do Talco *USP* e/ou carvão com o tempo. Para isso, foram feitas experimentações em batelada às quais alíquotas das soluções submetidas ao contato com o adsorvente Talco *USP*,

foram coletadas em intervalos de tempo estabelecidos e analisadas com relação à concentração de anilina em investigação. O mesmo procedimento se repetiu ao utilizar o carvão ativo como material adsorvente.

Figura 7: Sistema para estudo cinético de anilina em Talco *USP*.



Fonte: Autoria Própria.

Utilizou-se a massa dos adsorventes Talco *USP* e carvão ativo de 0,5 g (0,5%), em 100 ml de solução aquosa de anilina de concentração inicial de 10 ppm, a variação do tempo de 1, 5, 10, 15, e 30 minutos, sob agitação constante em agitador magnético. Após retirada de cada alíquota (8 ml), realizou-se a filtração e caracterizou-se o filtrado por Espectroscopia de UV-VIS, através do fornecimento das áreas dos picos, possibilitando a análise cinética da amostra obtendo-se gráficos de pseudoprimeira-ordem, de pseudossegunda-ordem, de Weber e Morris e de Elovich.

4.6 Estudo de equilíbrio de adsorção

Os estudos de equilíbrio foram dirigidos por interpretação analítica das isotermas de adsorção da anilina. O processo de experimentos utilizado para elaboração delas foi semelhante ao utilizado na análise cinética, onde observou-se a concentração de anilina em solução aquosa entrando em contato com Talco *USP* (e também, carvão) por determinado período de tempo até atingir-se o equilíbrio.

O experimento de equilíbrio de adsorção de anilina foi realizado com Talco *USP* em contato com solução aquosa de 10 ppm de concentração do elemento, assim como foi utilizado com carvão. Foi utilizado um erlenmeyer de capacidade de 125 ml, com tampa, contendo 100 ml de solução-estoque, em pH 6, com 0,5 g de adsorvente (ora Talco *USP*, ora Carvão Ativo P. A.), em temperatura ambiente, sob agitação magnética por 30 minutos, assegurando-se a condição de equilíbrio. Após o tempo de agitação realizou-se o procedimento de filtração da solução e análise dela em relação à concentração da substância em destaque.

A análise de concentração foi feita no espectrofotômetro de UV-Vis, que forneceu dados de área dos picos por meio do seu software, assim a partir delas obtiveram-se as isotermas de acordo com o modelo que melhor se adequa. Sendo assim, obteve-se gráficos dos modelos de isoterma de Freundlich, Temkin, Redlich-Peterson e Henry, de acordo com o comportamento de adsorção da anilina em cada adsorvente estudado.

4.7 Caracterização dos adsorventes

A caracterização do adsorvente Talco *USP* foi realizada por Santos (2010), no qual utilizou a técnica de difração de raios X para analisar a estrutura do adsorvente usando-se o equipamento da RIGAKU, modelo Dmax/2500PC (Japão), com radiação do $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$) na geometria θ - 2θ , num intervalo de 2θ entre 15° a 75° com um passo de $0.0005^\circ/\text{s}$.

A amostra teve sua morfologia verificada por microscopia eletrônica de varredura em equipamento CARL ZEISS modelo FEG-SEM Supra 35-VP. (SANTOS, 2010)

As análises de textura foram feitas por adsorção de nitrogênio a 77 K, em equipamento MICROMERITICS modelo ASAP 2000. Para isso, as amostras foram tratadas a 100° C e submetidas a vácuo de $6 \mu\text{mHg}$. (SANTOS, 2010)

Os estudos na região do infravermelho foram ministradas com um equipamento da SHIMADZU modelo IR PRESTIGE/21 Fourier Transform Infrared Spectrophotometer entre 400 e 4000 cm^{-1} . (SANTOS, 2010)

A caracterização do adsorvente Carvão Ativo em pó P. A. foi obtida através das especificações fornecidas na embalagem do produto pela empresa fabricante ISOFAR. Dessa maneira, foi possível acessar os seguintes dados: Peso Molecular, componentes e limite máximo de impurezas.

Também, a caracterização do Carvão Ativo em pó P. A. da marca ISOFAR foi realizada por Accioly (2017), na qual avaliou a superfície dele por MEV, que utilizou o equipamento Shimadzu Superscan SS-550 que pertence à Central Analítica do Departamento de Química Fundamental da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

A área superficial específica, o volume de poros, a área superficial de microporos e o volume de microporos foram determinados através da isoterma de adsorção e dessorção de nitrogênio, a 77K. Utilizou-se o equipamento Sistema Acelerado de Área

Superficia e Porosmetria, ASAP 2420, da MICROMERITICS® que pertence ao Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE). (ACCIOLY, 2017)

A variação de massa da amostra (m_{ad}) em atmosfera inerte foi monitorada em função de temperatura (T) em prol de se obter análise termogravimétrica. Foi realizada em analisador térmico DTG-60 da Shimadzu, propriedade do POLICOM/UFPE. (ACCIOLY, 2017)

Segundo a norma NBR 7217, Agregados – Determinação da Composição Granulométrica (Brasil, 1987), foi determinada a distribuição da granulometria do carvão ativado. (ACCIOLY, 2017)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do Talco *USP*

A caracterização do Talco *USP* foi realizada por Santos (2010).

5.1.1 Isotermas de adsorção de nitrogênio

Através das informações obtidas a partir das isotermas de adsorção-dessorção na temperatura de N₂ líquido é avaliada a área específica dos aluminossilicatos. Assim, torna-se possível observar as mudanças na textura do sólido ocorridas durante o processo através da equação adequada. (Gregg & Sing, 1982)

Na Tabela 2 estão as características da amostra de Talco *USP*. Observa-se que os valores de área superficial e volume dos poros classifica o material em estudo como microporo ($\Phi < 20 \text{ \AA}$). (Santos, 2010)

Tabela 2. Características do Talco *USP*.

Características	Talco <i>USP</i>
Área superficial (m². g⁻¹)	8,610 ± 0,02
Volume dos poros (cc. g⁻¹)	0,029
Diâmetro de poros médio (nm)	13,487

Fonte: Adaptado de Sinara.

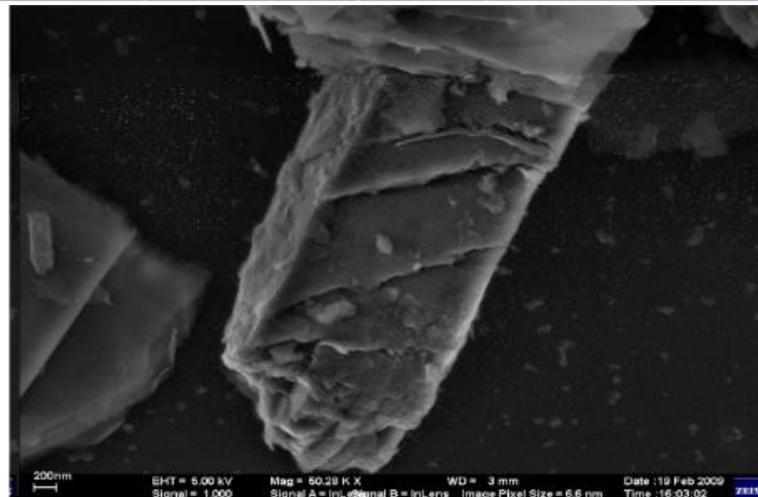
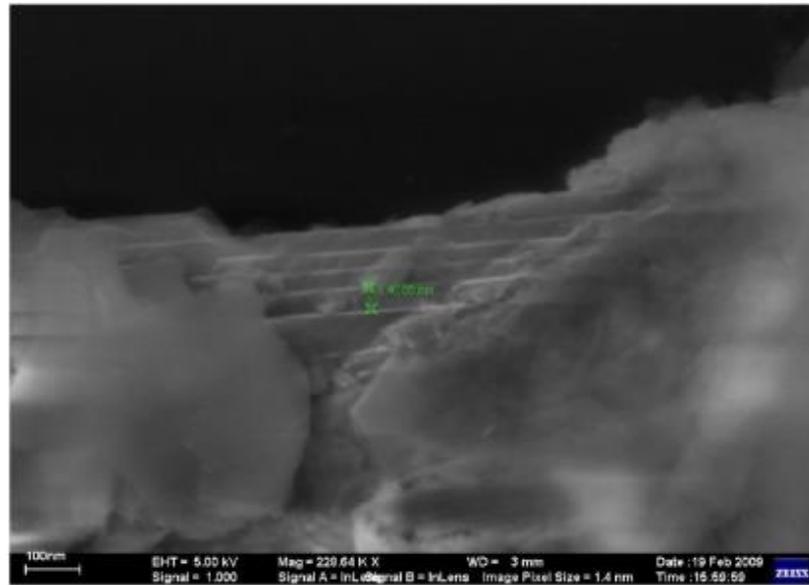
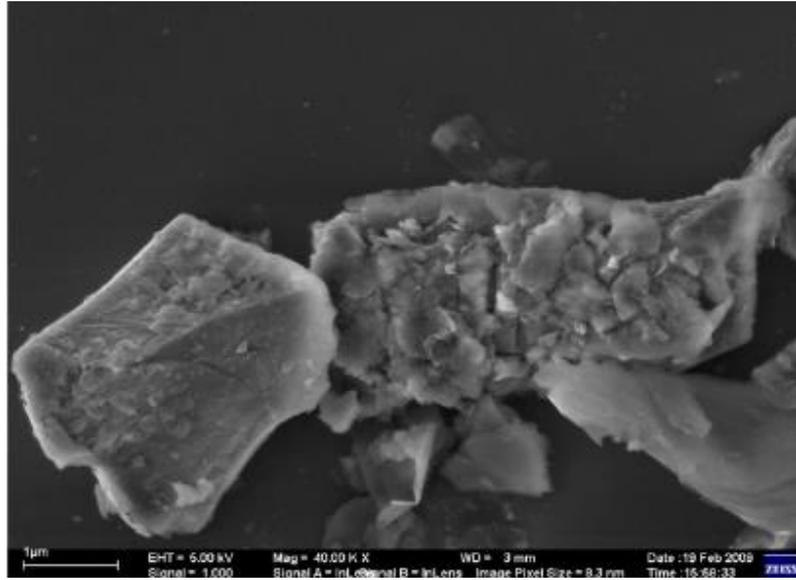
A baixa área superficial do Talco *USP* se deve ao fato da presença de minerais lamelares mais marcantes como pirofillita e muscovita que devido suas composições mineralógicas provocam essa diminuição. (SECOO, 2009)

5.1.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Em busca da análise de característica de superfície, forma e tamanho das partículas, o Talco *USP* foi analisado pela técnica MEV.

Desse modo, interpretou-se que a estrutura dele é formada por um aglomerados de grãos de poros com cerca de 1 μm , tem estrutura classificada como lamelar, possui grau de cristalinidade alto, macroporosidade elevada entre os cristalitos, característica importantíssima por permite uma rápida adsorção, e possui característica amorfa.

Figura 8: Micrografias obtidas por MEV do Talco *USP*.



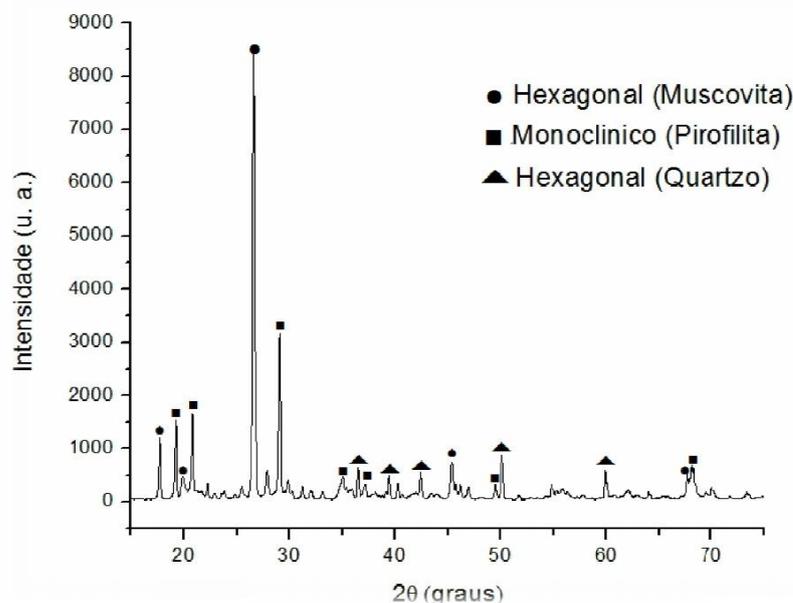
Fonte: SANTOS, 2010.

5.1.3 Difração de raios X (DRX)

A difração de raios X é realizada em prol da caracterização das fases cristalinas dos adsorventes. Nesse caso, o Talco *USP* foi caracterizado por DRX, com auxílio de arquivo de difração (PDF) e o banco de dados (JCPDS – Centro Internacional para dados de Difração).

Assim, obteve-se que o material adquirido como Talco *USP* é, na verdade, composto pelas fases cristalinas da pirofilita [$\text{Al}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$], monoclinico (ficha padrão JCPDS 46-1308) e muscovita [$(\text{K},\text{Na})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si}_{3.1}\text{Al}_{0.9})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$], hexagonal (ficha padrão JCPDS 46-1045). Desse modo, segundo Campos (2001), o mineral talco por definição é a esteatita (filossilicato), com composição química dita por $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, dessa forma o alumínio não deve estar presente nos cristais do mineral. Logo, Talco *USP* não se trata do mineral conhecido como talco.

Figura 9: Difratoograma de raios X (DRX) do Talco *USP*.



5.1.4 Infravermelho (IV)

Os espectros de infravermelho do Talco *USP* mostram regiões de absorção apresentando bandas características de deformação axial de O-H na região entre $3700\text{-}3100\text{ cm}^{-1}$. Também, a região entre $1060\text{ - }1030\text{ cm}^{-1}$ está apresentada no espectro, o qual representa a deformação axial Si-O- Si. Além do mais, as bandas presentes na região entre $700\text{-}680\text{ cm}^{-1}$ referem-se à deformação axial Mg-O. E Por

fim, a representação da deformação axial O-Si-O está representada na região entre 540-480 cm^{-1} . (SILVERSTEIN, WEBSTER, KIEMLE, 2007; TOLSTOY, CHERNYSHOVA & SKRYSHEVSKY, 2003; DAVYDOV, 2003).

Tabela 3. Principais vibrações do Talco USP.

TALCO USP	
Banda (cm^{-1})	Atribuição
3674,39	Deformação axial O-H (H_2O)
1055,20	Deformação axial (Si-O-Si)
694,37	Deformação axial de Mg-O
540,07	Deformação axial (O-Si-O)
480,20	

Fonte: Adaptado de SANTOS, 2010.

5.2 Caracterização do Carvão Ativo P. A.

As características do Carvão Ativo em pó, P. A. foram obtidas através do fabricante ISO FAR, e também por Accioly, 2017. As Tabelas 4 e 5 apresentam as informações tidas.

Tabela 4. Características do Carvão Ativo em pó, P. A.
Carvão Ativo em pó, P. A.

Limite máximo de impurezas	(%)
Perda na secagem a 120 °C	10,0
Cloreto (Cl)	0,02
Sulfato (SO_4)	0,02
Ferro (Fe)	0,05
Metais pesados – como chumbo (Pb)	0,005
Solúveis em água	1,0

Fonte: Adaptado de ISO FAR.

O material em questão tem número de referência (Ref.) 712 e lote 141365 é composto por carbono (C) e tem Peso Molecular (P.M.) de 12,01. (ISO FAR)

Tabela 5. Caracterização do Carvão Ativo em pó P. A.

Adsorvente	Área superficial (m ² .g ⁻¹)	Área de microporos (m ² .g ⁻¹)	Volume		
			Macroporos (cm ³ . g ⁻¹)	Mesoporos (cm ³ . g ⁻¹)	Microporos (cm ³ . g ⁻¹)
Carvão Ativo em pó P. A.	2248,18	870,54	1,06	0,46	0,39

Fonte: Adaptado de Accioly, 2017.

5.3 Ensaios de Adsorção

5.3.1 Equilíbrio de Adsorção

A Figura 10 apresenta os resultados obtidos de **% Adsorção** (percentual de adsorção), em função do tempo de contato do adsorvente com a solução, calculada pela Equação 12. Estabelecendo-se o tempo de equilíbrio em 30 minutos para ambos materiais adsorventes, ao passo que o percentual de adsorção não varia significativamente.

Equação 12: Cálculo de percentual de adsorção.

$$\% \text{ Adsorção} = \frac{(C_e - C_i) * 100}{C_i}$$

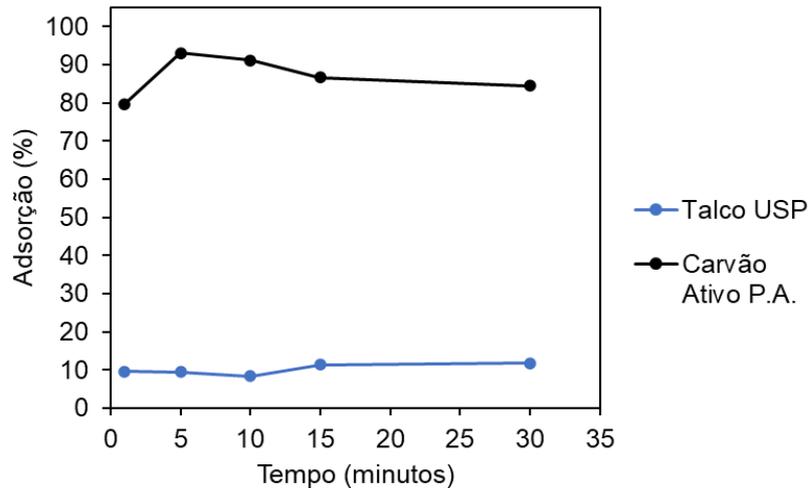
Onde C_e é a concentração no equilíbrio e C_i é a concentração inicial.

Na Tabela 6 e Tabela 7 estão expressas as percentagens de adsorção da anilina em Talco *USP* e em Carvão Ativo P.A., obtidas através de análise em triplicata. Dessa forma, os resultados demonstram satisfatoriamente a atividade positiva da adsorção por esses dois elementos, em uma visão geral destaca-se o melhor desempenho do Carvão Ativo. Isso se deve em parte ao tamanho dos poros de cada adsorvente, o Talco *USP* classificado como microporo dificulta mais a entrada de adsorvato, enquanto esse problema no carvão é menos acentuado por ser composto por mesoporos que facilitam esse acesso.

Além disso, a interação química com a superfície do carvão teve aumento por conta da estrutura da molécula utilizada. Pois uma menor quantidade de grupos polares na superfície do material reduz a afinidade com as moléculas de água, aumentando a

capacidade de adsorção do carvão. (Wang *et al*, 2007) O que pode ser notado no estudo realizado.

Figura 10: Percentagem de adsorção da solução de 10 ppm de anilina de 100 mL com 500 mg de Talco *USP* (azul), e com carvão ativo P.A. (preto).



Fonte: Autoria própria.

Tabela 6. Resultados da adsorção realizada em 100 mL de anilina a 10 ppm em contato com 500 mg de Talco *USP*.

Talco <i>USP</i>				
Tempo (minutos)	C_e (mg. L⁻¹)	Q_e (mg. g⁻¹)	Adsorção (%)	Desvio Padrão
1	9,04	0,192	9,6	0,296
5	9,06	0,188	9,4	0,141
10	9,17	0,166	8,3	0,216
15	8,87	0,226	11,3	0,269
30	8,82	0,236	11,8	0,213

Fonte: Autora.

Ainda, apesar de se obter menor percentual de adsorção com o Talco *USP*, observa-se o maior resultado obtido de 11,8 % em 30 minutos. O carvão teve seu maior percentual em 5 minutos com 93,1% da anilina que estava presente na solução adsorvida por sua superfície.

Tabela 7. Resultados da adsorção realizada em 100 mL de anilina a 10 ppm em contato com 500 mg de carvão ativado comercial.

Carvão Ativo P. A.

Tempo (minutos)	C_e (mg. L ⁻¹)	Q_e (mg. g ⁻¹)	Adsorção (%)	Desvio Padrão
1	2,03	1,594	79,7	0,163
5	0,69	1,862	93,1	0,468
10	0,88	1,824	91,2	0,627
15	1,34	1,732	86,6	0,899
30	1,55	1,690	84,5	0,623

Fonte: Autora.

5.3.2 Cinética de adsorção

Para conhecer algumas características sobre a cinética de adsorção da anilina em Talco *USP* e carvão ativado, foram testados quatro modelos cinéticos: pseudoprimeira-ordem – Equação 8, pseudossegunda-ordem – Equação 9, de Weber e Morris – Equação 10 e de Elovich – Equação 11. Os coeficientes de correlação obtidos pela cinética de adsorção dos quatro modelos, são comparados para a finalidade de validação quantitativa. Essa validação pode ser conferida pelos gráficos lineares de cada equação referente ao modelo cinético ao qual pertence.

Levando em consideração a concentração da anilina em contato com os respectivos adsorventes, os parâmetros das regressões lineares empregando os modelos mencionados e as curvas lineares obtidas estão representados nas Tabelas 8, 9, 10 e 11 onde K_1 é a constante cinética de pseudoprimeira-ordem, K_2 é a constante cinética de pseudossegunda-ordem, q_e é a quantidade de massa máxima adsorvida e R^2 é o coeficiente de correlação.

Observando os coeficientes de correlação, o melhor modelo que oferece melhores condições de ajuste aos dados experimentais para adsorção de anilina quanto em Talco *USP*, quanto em Carvão Ativo P. A., é o modelo de pseudossegunda-ordem. Seguido do modelo de Weber e Morris para o Talco *USP*, e o modelo de Elovich para o carvão.

Tabela 8. Parâmetros cinéticos para remoção de anilina segundo modelo de Langergren

Pseudoprimeira-ordem			
Adsorvente	K_1 (min ⁻¹)	q_e (mg. g ⁻¹)	R^2
Talco <i>USP</i>	0,0983	0,0206	0,4373
Carvão Comercial	0,0355	1,6273	0,0346

Fonte: Autora.

Analisando os valores de R^2 da Tabela 8, nota-se que o modelo proposto por Langergren não se adequou aos dados experimentais de ambos os elementos utilizados como adsorvente.

Tabela 9. Parâmetros cinéticos para remoção de anilina segundo modelo de Ho
Pseudosegunda-ordem

Adsorvente	K_2 (min^{-1})	q_e (mg. g^{-1})	R^2
Talco USP	2,2617	0,245	0,9771
Carvão	-1,5773	1,679	0,9992

Fonte: Autora.

Os dados resultantes da equação linearizada de Ho, mostraram os melhores valores de coeficientes de correlação tanto para o Talco *USP* quanto para o Carvão, o que mostra que a etapa determinante nos dois processos é a quimissorção. (FANG *et al*, 2020)

Tabela 10. Parâmetros cinéticos para remoção de anilina segundo modelo de Weber e Morris
Weber e Morris

Adsorvente	K_d ($\text{mg.g}^{-1}.\text{min}^{-0,5}$)	C	R^2
Talco USP	0,0114	0,1656	0,4488
Carvão	0,0071	1,7179	0,0127

Fonte: Autoria própria.

Enquanto na Tabela 10 estão os resultados conseguidos pela adaptação do modelo de difusão intrapartícula, comprova-se que o Talco *USP* se sobressai admitindo um R^2 de 0,4488. Porém, esse modelo não se adequou tão bem quanto o de Pseudosegunda-ordem.

Tabela 11. Parâmetros cinéticos para remoção de anilina segundo modelo de Elovich

Elovich			
Adsorvente	α ($\text{mg.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	β (mg.g^{-1})	R^2
Talco USP	$4,1634 \times 10^4$	84,74	0,2822
Carvão	$5,5357 \times 10^{23}$	34,60	0,1224

Fonte: Autora.

A Tabela 11 traz o valor de coeficiente de correlação melhor para o Talco *USP*, enquanto mais baixo para o Carvão. Dessa forma, conclui-se que os poros do Talco *USP* mostraram-se mais adequados à molécula de anilina, levando à um espalhamento mais equilibrado na superfície dele, comprovando a teoria do modelo de Elovich. (NASCIMENTO *et al*, 2014)

5.3.3 Isotermas de adsorção

Para representar as isotermas são dadas equações simples ao quais relacionam a capacidade de adsorção e a concentração final do adsorvato na solução, de forma direta, dessa forma permite prever a quantia de adsorvente que é necessária para que se retire totalmente ou parcialmente, o adsorbato da solução ou meio em questão. (NUNES, 2009)

Dessa maneira, torna-se possível a observação de que se é possível a obtenção efetiva da purificação do meio ao qual se analisa. Desse modo, a Tabela 12 e a Tabela 13 indicam os parâmetros obtidos com as adaptações a cada amostra de anilina, ora tratada com Talco *USP*, ora tratada com Carvão Ativo P. A.

Tabela 12. Parâmetros obtidos com o modelo das isotermas de Freundlich, Temkin, Redlich-Peterson e de Henry para solução de anilina, purificada com Talco *USP*.

Parâmetros	Freundlich	Temkin	Redlich-Peterson	Henry
R ²	0,6128	0,9332	0,6359	0,7143
K	69,52	-	1444,49	0,0052
N	-0,4744	-	-	-
A	-	0,1980	403,39	-
B	-	44608,66	-	-

Fonte: Autora.

Ao analisar a Tabela 12, observa-se que as isotermas de Temkin e de Henry foram as mais adequadas a purificação da anilina com o Talco *USP*, levando em consideração o valor de R², ainda pode-se afirmar que o modelo de Temkin foi o melhor por conter valor desse parâmetro maior (0,9332). Levando em consideração que esse modelo define que a adsorção acontece uniformemente nos sítios adsortivos

por energia de ligação, afirma-se que a interação adsorvato-adsorvente aconteceu de forma eficaz. (MILHOMEM, 2021)

Tabela 13. Parâmetros obtidos com o modelo das isotermas de Freundlich, Temkin, Redlich-Peterson e de Henry para solução de anilina, purificada com Carvão Ativo P.A.

Parâmetros	Freundlich	Temkin	Redlich-Peterson	Henry
R ²	0,1045	0,4405	0,1031	0,4039
K	0,3026	-	30,55	1,7969
N	0,7037	-	-	-
A	-	0,3729	12,8816	-
B	-	383,43	-	-

Fonte: Autora.

Como se analisa na Tabela 13, o modelo de Temkin também foi o que melhor de adequou ao processo adsorvativo de anilina com o carvão. Confirmando a interação adsorvente-adsorbato de forma eficiente. Ainda, dos dados coletados, pode-se afirmar, levando em consideração a isoterma de Henry (segundo maior R² das adaptações para o carvão) a baixa quantidade de adsorvato disponível para adsorção visto que este é um modelo linear válido para baixas concentrações de adsorbato. E por fim, outro ponto a se observar é o modelo de Freundlich que esteve entre os menores R² para o carvão, tendo valor de n igual a 0,7037. Isso indica uma adsorção não favorável. (MILHOMEM, 2021; OLIVEIRA *et al*, 2018; AL-GHOUTI; DA'ANA, 2020)

6. CONCLUSÃO

As soluções de anilina foram purificadas com Talco *USP*, e também com Carvão Ativo em pó P. A., as quais foram posteriormente analisadas por Espectroscopia na região do Ultravioleta-Visível, notou-se a remoção considerável proporcionalmente ao período de contato entre o adsorbato e os adsorventes Talco *USP* e carvão, respectivamente.

Pelos resultados obtidos sob mesmas condições, pode-se afirmar que o trabalho adsorptivo do carvão ativo é mais eficiente, pois adsorveu mais de 90% do adsorbato presente na solução de início. Enquanto a superfície do Talco *USP*, apesar de purificar, adsorveu apenas uma pequena quantidade de adsorbato, pouco mais que 11% da concentração inicial.

Essas afirmativas podem ser comprovadas através da observação dos gráficos e tabelas de Cinética e Isotermas de adsorção, os quais obedeceram determinados modelos para explicação do processo adsorptivo, que levam em consideração a quantidade de sítios ativos disponíveis e a interação físico-química entre adsorbato e adsorvente.

Em suma, o Talco *USP* funciona como adsorvente de anilina em meio aquoso, mas adsorveu uma baixa quantidade de poluente. Dessa forma, uma nova avaliação pode ser feita por um sistema em leito fixo, com maior tempo de contato entre adsorvente e adsorbato, a fim de alcançar a melhoria de resultados.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, Paula Lobo. **Uso de carvões ativados modificados por soluções alcalinas na separação de CH₄/CO₂ para enriquecimento do biogás**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- AHARONI, C.; UNGARISH, M. **Kinetics of activated chemisorption**. Part 2. Theoretical models. *Journal of the Chemical Society*, v. 73, p. 456-464, 1977.
- AIVALIOTI, M.; POTHOUlaki, D.; PAPOULIAS, P.; GIDARAKOS, E. **Removal of BTEX, MTBE and TAME from aqueous solutions by adsorption onto raw and thermally treated lignite**. *Journal of hazardous materials*, v. 207-208, p. 136–46, 2012.
- AL-GHOUTI, Mohammad A.; DA'ANA, Dana A. **Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review**. [S. l.]: Elsevier B.V., 2020.
- BHATNAGAR, A.; HOGLAND, W.; MARQUES, M.; SILLANPÄÄ, M. **An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications**. *Chemical Engineering Journal*, v. 219, p. 499–511, 2013.
- BRITO, Matheus Italo de Oliveira. **Polímeros de anidrido maleico (ma)/derivados e suas aplicações—ênfase em química analítica**. 2021. Disponível em: <https://app.homologacao.uff.br/riuff/handle/1/23108>. Acesso em 29 de Junho de 2023.
- Carey, F. A.; Sundberg, R. J.; **Advanced Organic Chemistry**, Part A: Structure and Mechanism, 4a. Ed., Springer Science + Business Media, LLC: New York, 2000.
- CARONI, A.L.P.F. **Estudos de adsorção de tetraciclina em partículas de quitosana**. Natal: Programa de Pós Graduação em Química. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2009. Tese (Doutorado).

CETESB - **Emergências Química - Produtos**. Disponível em: https://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=ANILINA. Acesso em 02 de Julho de 2023.

COONEY, D. O. **Adsorption Design for Wastewater Treatment**. Florida: CRC Press, 1999.

Costa, P. R. R.; Ferreira, V. F.; Esteves, P. M.; Vasconcellos, M. L. A. A.; **Ácidos e Bases em Química Orgânica**, Editora Bookman: Porto Alegre, 2005.
COSTA, Rógenes Parga. **PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO EM BAIXAS TEMPERATURAS A PARTIR DO ENDOCARPO DO COCO BABAÇU COMO ADSORVENTE DE HIDROCARBONETOS**, 2015. Dissertação (Mestrado em QUIMICA) - Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2010.

COTORUELO, L. M.; MARQUÉS, M. D.; DÍAZ, F. J.; et al. **Adsorbent ability of lignin based activated carbons for the removal of p-nitrophenol from aqueous solutions**. Chemical Engineering Journal, v. 184, p. 176–183, 2012.

DA SILVA, André Luis Silva. **Silicatos**. Química. Infoescola: navegando e aprendendo. Disponível em: <https://www.infoescola.com/quimica/silicatos/>. Acesso em 06 de Julho de 2023.

DAVYD, Anatoli. **Molecular Spectroscopy of oxide catalyst surfaces**. Syntroleum Corporation, Tulsa, Oklahoma, USA, 2003.

DE OLIVEIRA, Gabriel Henrique Horta et al. Water adsorption isotherms of coffee blends/Isotermas de adsorção de água em blends de café. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 20988-20997, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n4-319

DO, D. D. **Adsorption analysis: equilibria and Kinetics**. London: Imperial College Press, 1998.

DOS SANTOS, B. A. **Compósito de zeólita A magnética sintetizada a partir das cinzas volantes do carvão para adsorção de poluentes metálicos**. 2019. 100 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

FANG D, ZHUANG X, HUANG L, ZHANG Q, SHEN Q, JIANG L, ET AL. **Developing the new kinetics model based on the adsorption process: From fitting to comparison and prediction**. Sci. Total Environ. 2020;725(138490):1-11. DOI: [org/10.1016/j.scitotenv.2020.138490](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138490)

FEBRIANTO, J. et al. **Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies**. Journal of Hazardous Materials, v. 162, n. 2-3, p. 616-645, abr./maio 2009.

FERNANDES, Florêncio ReKayg; CRESPIM, Elvira Nivagtanh; TIEMI, Júlia. A toxicidade da anilina e o tingimento natural na cestaria Kaingang. **Revista Farol**, v. 17, n. 25, 2021. DOI: <https://doi.org/10.47456/rf.v1i25.37158>

FREUNDLICH, H. M. **Over the adsorption in solution**. The Journal of Physical Chemistry, v. 57, p. 385-470, 1906.

FONSECA, M.G.;AIROLDI, C.**Híbridos inorgânico-orgânicos derivados da reação de filossilicatos com organossilanos**. Química Nova, vol.26,No. 5, 699-707, 2003.

FOO, K.; HAMEED, B. **Insights into the modeling of adsorption iso-therm systems**. Chemical Engineering Journal, v. 156, n. 1, p. 2-10, mar./set. 2010.

FOREZI, Luana da Silva Magalhães. **Métodos de preparação industrial de solventes e reagentes químicos. Anilina**. Revista Virtual de Química ISSN 1984-6835. Vol.3.Nº 6.2011

GREGG, S. J.; SING, K. S. W.; **Adsorption, Surface Area and Porosity**, Academic Press: London, 1982.

HO, Y. .; MCKAY, G. **Pseudo-second order model for sorption processes.** **Process Biochemistry**, v. 34, n. 5, p. 451–465, 1999.

JÚNIOR, Francisco Agostinho do Nascimento; ARAÚJO, Gabriel Guimarães de; SILVA, Jordana Tavares; CARVALHO, Kaccnny de Matos; SUZUKI, Lorryne Lins. **Planta de Produção de Anilina.**2016. 185f. Graduação (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química). Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/17256/1/2016_Francisco_Gabriel_Jordana_Kaccnny_Lorryne_tcc.pdf. Acesso em 05 de Julho de 2023.

Kahl, T.; Schröder, K.; **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**, John Wiley & Sons: New York, 2007. 4 Costa, P. R. R.; Ferreira, V. F.; Esteves, P. M.; Vasconcellos, M. L. A. A.; **Ácidos e Bases em Química Orgânica**, Editora Bookman: Porto Alegre, 2005.

KRAMER, Dany Geraldo et al. Anilina: síntese, aplicação e aspectos toxicológicos e ambientais: uma revisão. **Saúde e meio ambiente: revista interdisciplinar**, v. 12, p. 19-30, 2023. DOI: <https://doi.org/10.24302/sma.v12.4570>

LIMA, A. B. T.; **Aplicação de cargas minerais em polímeros.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. São Paulo, 2007.

MILHOMEM, Mateus Pereira de Sousa. **Estudos de isotermas no processo de adsorção–revisão.** 2021. Disponível em : <http://hdl.handle.net/11612/3124>. Acesso em 02 de Julho de 2023.

MOREIRA, S. A. **Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo.** 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

NASCIMENTO, R.F., LIMA, A.C.A, VIDAL, C.B., et al., **Adsorção: Aspectos Teóricos e Aplicações Ambientais**, Fortaleza, Imprensa Universitária, 2014. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53271>. Acesso em 01 de Julho de 2023.

NEVES, C. F. C.; SCHVARTZMAN, M. M. **Separação de CO₂ pela tecnologia PSA**. Química Nova, v. 28, n. 4, p. 622-628, 2005.

DAS NEVES, Paulo César Pereira; ATENCIO, Daniel. **ENCICLOPÉDIA DOS MINERAIS DO BRASIL FILOSSILICATOS**. p. 15, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/DanielAtencio/publication/345947974_Enciclopedia_dos_minerais_do_Brasil_Filossilicatos/links/62536d98ef0134206669306a/Enciclopedia-dos-minerais-do-Brasil-Filossilicatos.pdf. Acesso em 06 de julho de 2023.

NUNES, D. L. **PREPARAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE PREPARAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DE TORTA Prensada de RapHanus sativus L . E UTILIZAÇÃO PARA CLARIFICAÇÃO DE SOLUÇÕES**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência de Alimentos, 2009.

O'Neil, M. J.; **Merck Index**, 14a. ed., Merck: Whitehouse Station, 2006; Sítio da Enciclopedia.com. Disponível em: <http://www.encyclopedia.com/topic/aniline.aspx>. Acesso em 02 julho 2011.

OLIVEIRA, F. M.; COELHO, L. M.; MELO, E. I. Avaliação de processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante azul de metileno. Revista Matéria, v. 23, n. 4, e12223, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762018000400414&lng=en&nrm=iso. Acesso em 28 de Junho de 2023. Acesso em 03 de Julho de 2023.

REBOUÇAS, Larissa Dias et al. **Reutilização de fios de poliamida na obtenção de membranas para o tratamento de efluentes contendo corantes têxteis**. 2022. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/4411>. Acesso em 29 de Junho de 2023.

RUTHVEN, D. M. **Principles of adsorption and adsorption processes**. New York: Wiley – Interscience Publication, 1984.

RYCZKOWSKI, J. IR **Spectroscopy in catalysis**. Catal. Today, v. 68, p. 263-381, 2001.

SADARE OO, AYENI AO, DARAMOLA MO. **Evaluation of adsorption and kinetics of neem leaf powder (Azadirachta indica) as a biosorbent for desulfurization of dibenzothiophene (DBT) from synthetic diesel**. J. Saudi Chem. Soc. 2022;26(101433):1–13. doi.org/10.1016/j.jscs.2022.101433

SANTOS, Sinara de Fátima Freire dos. **PURIFICATION PROCESS OPTIMIZATION OF BIODIESEL DRY CLEANING "DRY WASHING"**. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado em QUIMICA) - Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2010.

SECCO, P. R.; **Caracterização dos tipos de agalmatolito da serra dos ferreiras, Onça de Pitangui-MG**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geologia. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG, 2009.

SHAFEEYAN, M. S.; DAUD, W. M. A. W.; HOUSHMAND, A.; SHAMIRI, A. **A review on surface modification of activated carbon for carbon dioxide adsorption**. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 89, n. 2, p. 143–151, 2010.

SILVA, G. S. P.; LIMA, L. S. D.; Quináia, S. P. **Remoção dos Compostos MIB e Geosmina de Água de Abastecimento Usando Carvão Ativado de Caroço de Pêssego**. Rev. Virtual Quim.Vol 11.No. 3. 2019.Disponível em :

<http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/GraziellaNoPrelo.pdf>. Acesso em 03 de julho de 2023.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

SOUSA NETO, V. O. **Modificação química da casca do coco bruto (Cocus nucifera) para a Remoção de Cu (II) e Efluente Sintético e Industrial: estudo de isoterma de adsorção, cinética e coluna de leito fixo**. 2012. Tese (Doutorado em Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Ceará. 2012.

SOUZA, Renata dos Santos. **Avaliação da Lama Vermelha na Remoção de Derivados de Petróleo – Benzeno, Tolueno e Xileno (BTX)**. Campinas: Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas. 2013. Tese (Doutorado).

Souza, V. C.; **Botânica Sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil**, Harri Lorenzi, 2a. ed., Nova Odessa: São Paulo, 2008.

STRUNZ, H.; NICKEL, E. H. **Strunz mineralogical tables – chemical structural mineral classification system**. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u.Obermiller), 870 p., 2001.

SUN G., XIANGJING X. **Sunflower Stalks as Adsorbents for Colour Removal from Textile Wastewater**. Industrial & Engineering Research, v. 36, p. 808-812, 1997.

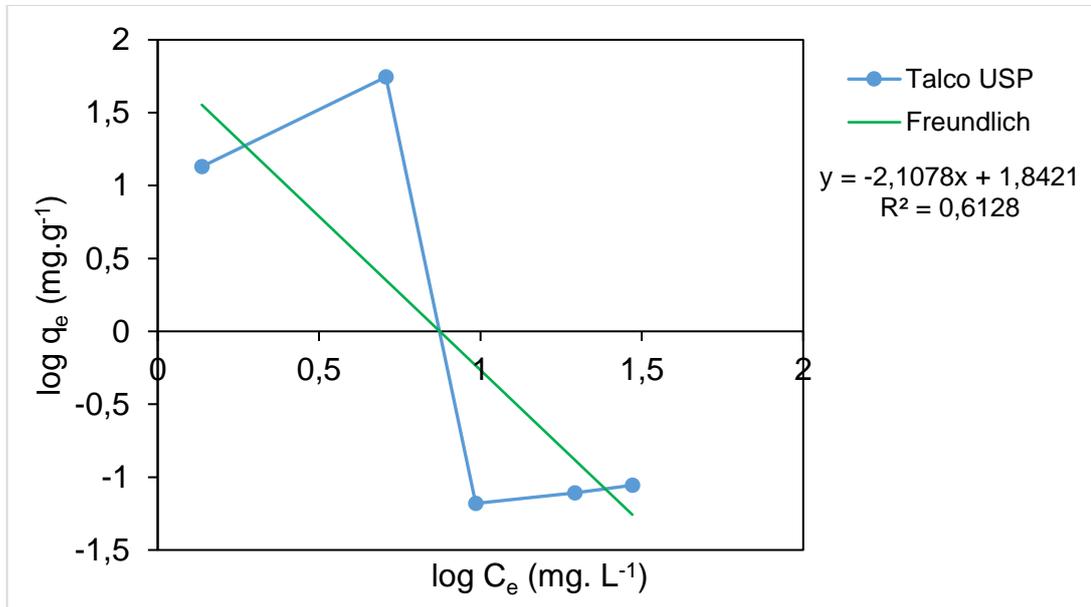
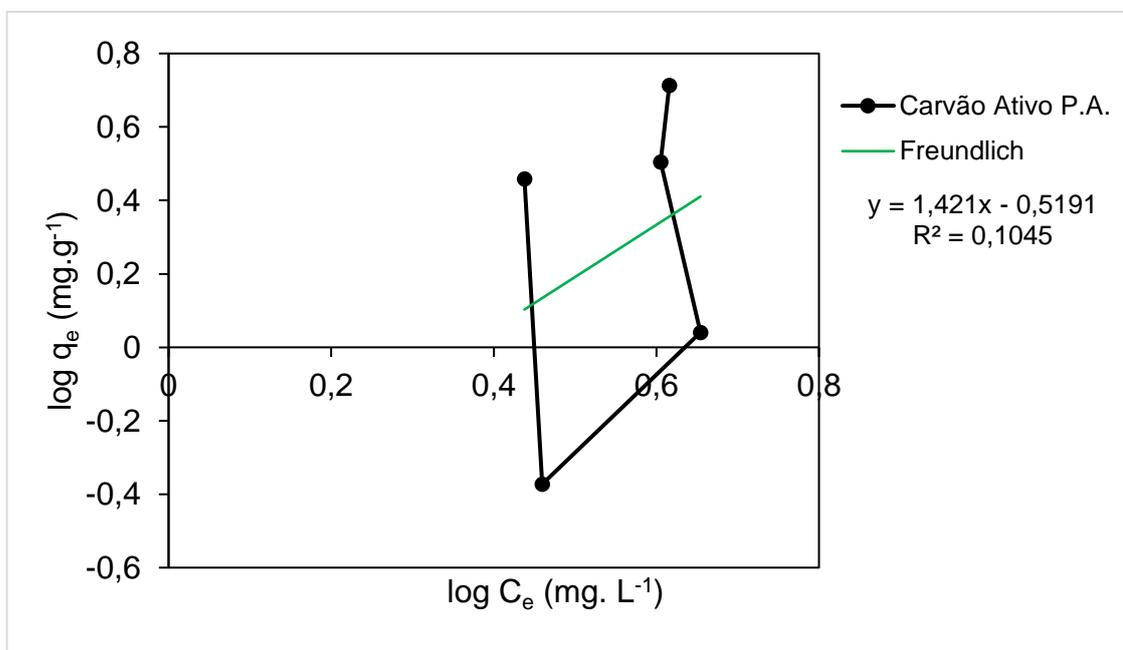
TOLSTOY, V. P.; CHERNYSHOVA, I. V.; SKRYSHEVSKY, V. A.; **Handbook of infrared spectroscopy of ultrathin films**. Wiley-Interscience. A John Wiley & Sons, INC., Publication, 2003.

VIDAL, Carla Bastos Antonia. FRANÇA, Mayza de Moraes. LIMA, Ari Clecius Alves de. RAULINO, Giselle Cabral. MELO, Diego de Quadros. NASCIMENTO, Ronaldo

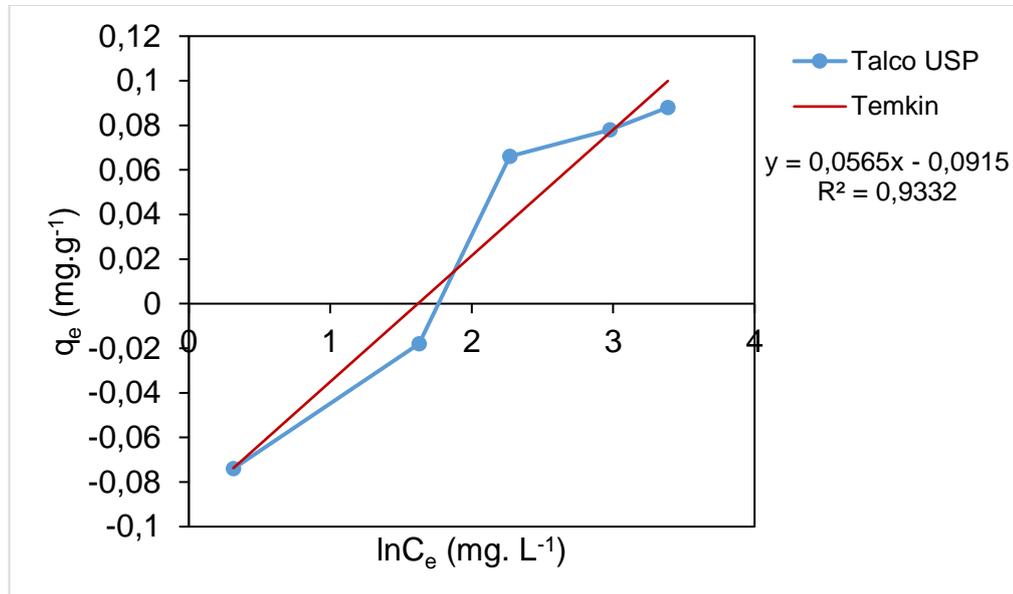
Ferreira. **ADSORÇÃO: ASPECTOS TEÓRICOS E APLICAÇÕES AMBIENTAIS** - 2. ed. - Cap. 1, pg. 14. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020.4749; PDF (Estudos da Pós-Graduação), 2020.

VIEIRA, A.; SANTANA, S.; BEZERRA, C. W. B.; et al. **High performance maleated lignocellulose epicarp fibers for copper ion removal**. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 31, n. 01, p. 183–193, 2014.

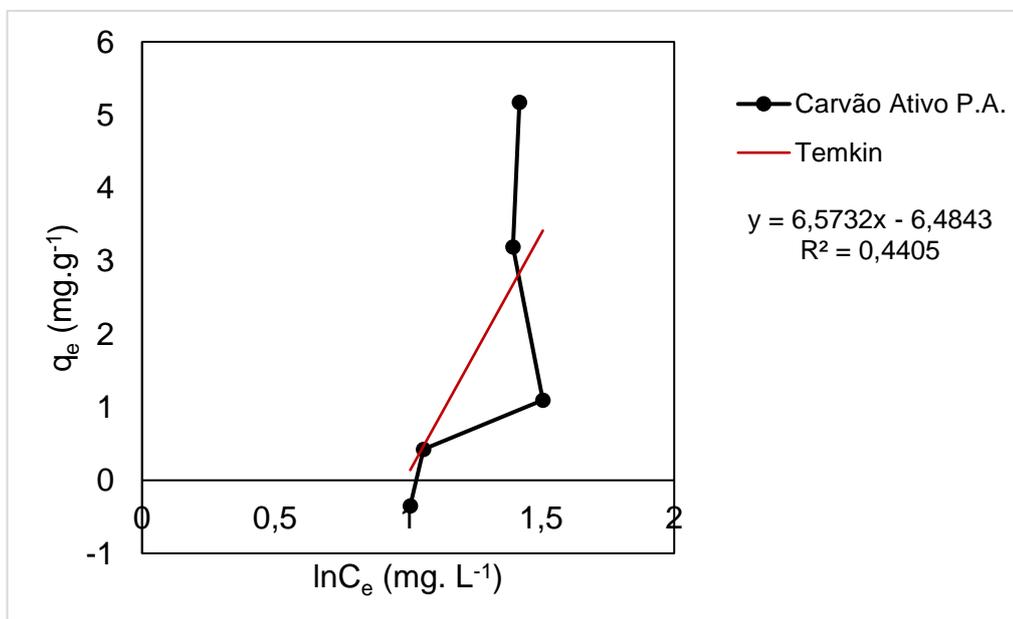
WU, F. C; TSENG, R. L.; JUANG, R. S. **Kinetic modeling of liquid-phase adsorption of reactive dyes and metal ions on chitosan**. Water Research. v. 35, n. 3, p. 613-618, 2001.

APÊNDICE A – Modelo linear da isoterma de Freundlich para Talco USP**APÊNDICE B – Modelo linear da isoterma de Freundlich para Carvão ativo P.A.**

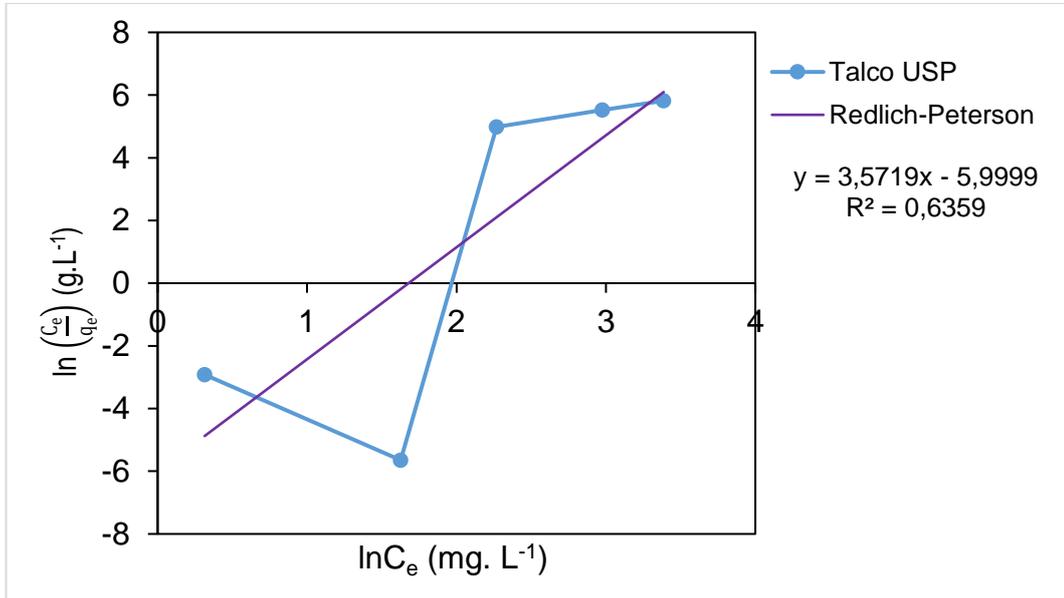
APÊNDICE C – Modelo linear da isoterma de Temkin para Talco *USP*



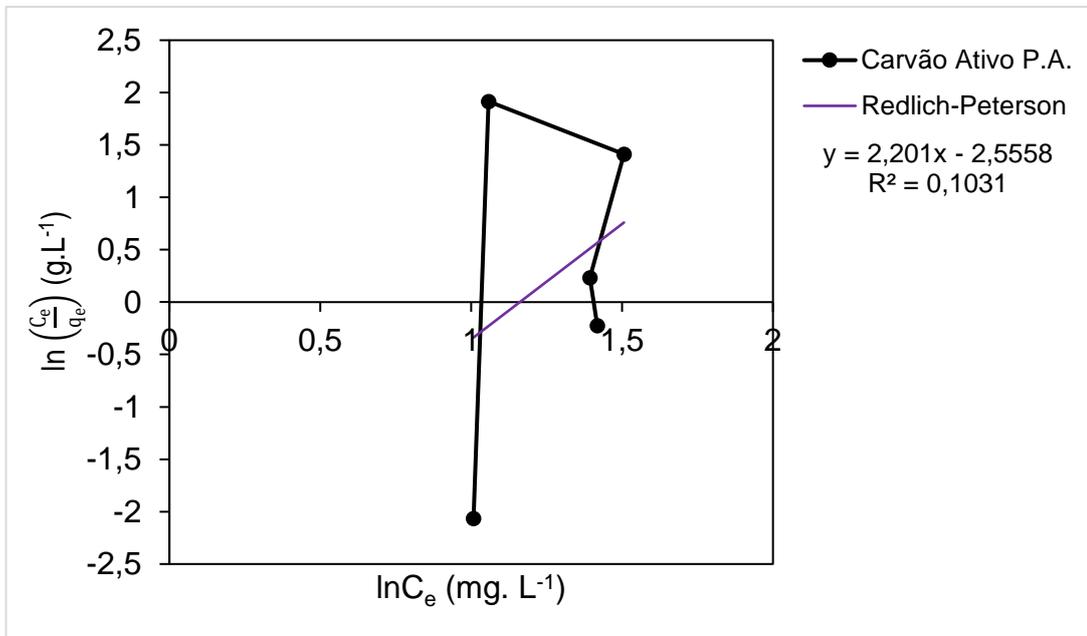
APÊNDICE D – Modelo linear da isoterma de Temkin para Carvão ativo P.A.

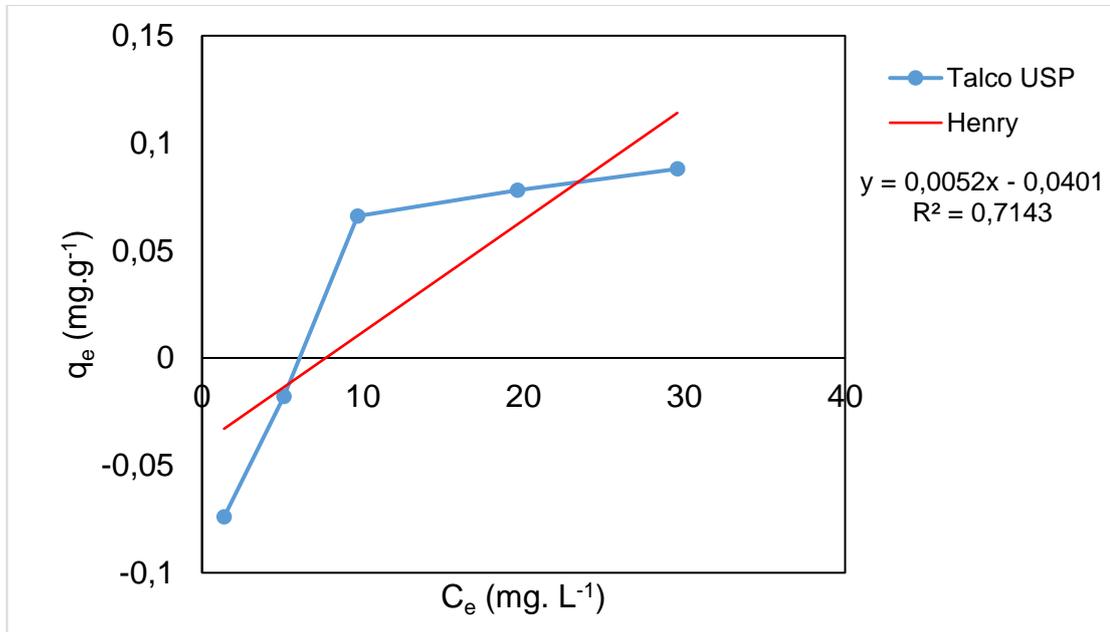


APÊNDICE E – Modelo linear da isoterma de Redlich-Peterson para Talco USP



APÊNDICE F – Modelo linear da isoterma de Redlich-Peterson para Carvão ativo P.A.



APÊNDICE G – Modelo linear da isoterma de Henry para Talco USP**APÊNDICE H – Modelo linear da isoterma de Henry para Carvão ativo P.A.**