



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CENTRO CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
QUÍMICA INDUSTRIAL

**ESTUDO DO PODER ADSORTIVO DO RESÍDUO GERADO
NA PRODUÇÃO DE CERVEJA UTILIZANDO SISTEMA EM LEITO DIFERENCIAL**

FERNANDA VIEIRA AMORIM

CAMPINA GRANDE – PB
2016

FERNANDA VIEIRA AMORIM

*Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) apresentado como exigência
para obtenção do Título de
Graduação em Química Industrial
da Universidade Estadual da
Paraíba – UEPB.*

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz

CAMPINA GRANDE – PB
2016

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

A524e Amorim, Fernanda Vieira.

Estudo do poder adsorptivo do resíduo gerado na produção de cerveja utilizando sistema em leito diferencial [manuscrito] /

Fernanda Vieira Amorim. - 2016.

50 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2016.

"Orientação: Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz, Departamento de Química".

1. Resíduos agroindustriais. 2. Cerveja. 3. Leito diferencial.
4. Bioadsorvente. 5. Adsorção. I. Título.

21. ed. CDD 660.284235

FERNANDA VIEIRA AMORIM

**ESTUDO DO PODER ADSORTIVO DO RESÍDUO GERADO
NA PRODUÇÃO DE CERVEJA UTILIZANDO SISTEMA EM LEITO DIFERENCIAL**

*Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) apresentado como exigência
para obtenção do Título de Graduação
em Química Industrial da Universidade
Estadual da Paraíba – UEPB.*

APROVADO EM: 28 / OUTUBRO / 2016

BANCA EXAMINADORA



**Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz
(Orientadora – DESA / UEPB)**



**Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima
(Examinadora – DQ / UEPB)**



**Profa. Dra. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva
(Examinadora – DQ / UEPB)**

Campina Grande – PB

2016

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Raimundo e Maria, por estar ao meu lado em todos os momentos, por toda compreensão, paciência, sabedoria e apoio para que um dia estivesse diante da conclusão de mais uma etapa em minha vida, com toda honra e glória.

Pelo seu amor, respeito, carinho e confiança.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus que sempre esteve presente em minha vida para dar forças e coragem para enfrentar as dificuldades encontradas, sempre me guiando para os caminhos da minha formação acadêmica.

Aos meus pais Raimundo e Maria, agradeço pela força, dedicação, compreensão, orientação e incentivo, que sempre estão presentes nos momentos difíceis e bons, mostrando os caminhos certos tanto na vida pessoal como acadêmica.

A minha querida família por sempre estarem por perto nessa caminhada, me ajudando em todos os momentos.

Agradeço a minha Orientadora, desde meu ingresso no projeto de pesquisa pela Universidade Estadual da Paraíba até a conclusão de curso, Dra. Profa. Márcia Ramos Luiz, pela paciência, inteligência e determinação que soube me ajudar e orientar com maior responsabilidade e carinho.

As minhas amadas amigas Rayssa, Raquel, Sabrina, Ana Paula, Elibe e Katharina obrigada pela compreensão e paciência que durante a graduação do curso estiveram sempre presentes ajudando com as tarefas decorridas, sempre dando apoio.

Agradeço a Ewellyn, Barbará, Bruno e Evelle pelo apoio no laboratório durante as análises, onde me ajudaram e apoiaram durante todo período.

As professoras Vera e Lígia, pela orientação no desenvolvimento deste trabalho.

E a todos envolvidos direta ou indiretamente auxiliaram na conclusão deste trabalho.

RESUMO

O Brasil é um dos grandes produtores de cerveja do mundo gerando grande quantidade de resíduos agroindustriais. Esse trabalho visa buscar formas alternativas para o aproveitamento do resíduo gerado na produção de cerveja, utilizando-os como biomassa seca para servir como bioadsorvente de compostos orgânicos. A adsorção é um processo de separação e purificação, sendo um método eficaz no tratamento de efluentes com poluentes orgânicos. Foram realizadas avaliações de isoterma de equilíbrio e cinética. Para a primeira etapa, cinética de adsorção, foram realizadas 3 experimentos, cada uma com 12 amostras de soluções com 8,6mL; 12,0mL e 15,6mL de gasolina com 40mL de água. Colocou-se sob agitação por 5 minutos até a máxima mistura das duas substâncias, em seguida, adicionou-se a biomassa seca e a cada 5 minutos uma amostra foi retirada. Na segunda etapa do processo, isoterma de equilíbrio, foram realizadas 10 concentrações diferentes de água com agente contaminante gasolina com variação de 5 a 50% do agente contaminante e colocado sob agitação por 5 a 60 minutos para mistura das substâncias. Na adsorção em leito diferencial, foram realizados 3 amostras de concentrações diferentes de água/gasolina com variação de 5,0, 7,5 e 10,0% do agente contaminante, em seguida, adicionou-se a biomassa seca durante um tempo de até 120 minutos. Para a cinética de adsorção descreveu que o bagaço adsorveu de forma satisfatória quase 50% do total do seu contaminante. Já na isoterma de equilíbrio obteve-se um resultado satisfatório com capacidade máxima de adsorção de 10,1mL/g, e no sistema de leito diferencial os resultados para as concentrações estudadas, o bagaço adsorveu quase todo o contaminante, apresentando como um bom adsorvente de composto orgânico, sugerindo estudos futuros, mais aprofundados com o bagaço de cerveja, como aplicação de outras variações de concentrações para melhor análise da máxima adsorção.

PALAVRAS-CHAVES: Resíduo. Cerveja. Leito diferencial. Bioadsorvente. Adsorção.

ABSTRACT

Brazil is one of the world's largest beer producers generating large amounts of agro-industrial waste. This work aims to find alternative ways to use the residue generated in the beer production, using them as dry biomass to serve as a bioadsorbent of organic compounds. Adsorption is a process of separation and purification, being an effective method in the treatment of effluents with organic pollutants. Equilibrium and kinetic isotherm evaluations were performed. For the first step, adsorption kinetics, three experiments were performed, each with 12 samples of solutions with 8.6mL; 12.0mL and 15.6mL of gasoline with 40,0mL of water. Stirring was carried out for 5 minutes until the maximum mixture of the two substances was added, then the dried biomass was added and every 5 minutes a sample was withdrawn. In the second stage of the equilibrium isotherm process, 10 different concentrations of water with contaminating gasoline agent were performed with a variation of 5 to 50% of the contaminating agent and placed under agitation for 5 to 60 minutes to mix the substances. In the differential bed adsorption, 3 samples of different concentrations of water/gasoline with variation of 5.0, 7.5 and 10.0% of the contaminant were performed, then the dry biomass was added for a time up to 120 minutes. For adsorption kinetics, it was described that the bagasse satisfactorily adsorbed almost 50% of the total contaminant. In the equilibrium isotherm, a satisfactory result was obtained with a maximum adsorption capacity of 10.1mL/g, and in the differential bed system the results for the studied concentrations, the bagasse adsorbed almost all the contaminant, presenting as a good adsorbent of Suggesting future studies, more in-depth with the beer bagasse, as well as the application of other variations of concentrations for better analysis of the maximum adsorption.

KEY WORDS: Residue. Beer. Differential bed. Bioadsorbent. Adsorption.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 01. Cevada	17
Figura 02. Bagaço da Cerveja	19
Figura 03. Nomenclatura do fenômeno de adsorção	21
Figura 04. Etapas de Cinética de Adsorção	23
Figura 05. Classificação de Isotermas de Adsorção	26
Figura 06. Representação do leito diferencial	29
Figura 07. Sistema de Peneiras	30
Figura 08. Mesa Agitadora	30
Figura 09. Balança Master	31
Figura 10. Reservatório de Vidro	31
Figura 11. Tela de Alumínio	31
Figura 12. Peneiramento da Biomassa	32
Figura 13. Amostras na mesa de agitação	33
Figura 14. Tela com camada de biomassa	35
Figura 15. Mistura de água/contaminante	35
Figura 16. Contato da biomassa com água/contaminante	35
Figura 17. Amostras de cinética de adsorção	36
Figura 18. Cinética de adsorção para 8,6mL de gasolina e 40,0mL de água	36
Figura 19. Cinética de adsorção para 12,0mL de gasolina e 40,0mL de água	37
Figura 20. Cinética de adsorção para 15,6mL de gasolina e 40,0mL de água	37
Figura 21. Amostras isotermas de equilíbrio	38
Figura 22. Isoterma de Equilíbrio para adsorção do bagaço de cerveja, comparada com o modelo de Langmuir	38
Figura 23. Percentual da adsorção da gasolina, para concentração de 5,0%	40
Figura 24. Percentual da adsorção da gasolina, para concentração de 7,5%	41
Figura 25. Percentual da adsorção da gasolina, para concentração de 10,0%	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Variação de concentração água/gasolina	34
Tabela 02. Variação de concentração do leite diferencial	34
Tabela 03. Parâmetros de Langmuir para bagaço de cerveja	39
Tabela 04. Composição química do bagaço de cerveja	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos	12
1.1.1	Objetivo Geral	12
1.1.2	Objetivos Específicos	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Impactos Ambientais Decorridos por Poluentes Orgânicos	13
2.2	Aproveitamento de Resíduos Industriais	15
2.3	Cevada	17
2.4	Cerveja	18
2.5	Gasolina	20
2.6	Adsorção	20
2.6.1	Cinética de Adsorção	22
2.6.1.1	<i>Modelos Matemáticos</i>	23
2.6.2	Isoterma de Equilíbrio	24
2.6.2.1	<i>Modelos Matemáticos</i>	27
2.6.3	Adsorção em Leito Diferencial	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1	Local de Estudo	29
3.2	Equipamentos	29
3.2.1	Sistema de Peneiras	30
3.2.2	Mesa Agitadora	30
3.2.3	Balança Analítica	30
3.2.4	Sistema de Leito Diferencial	31
3.3	Matéria-Prima	32
3.4	Preparação da Matéria-Prima para o Processamento	32
3.5	Cinética de Adsorção	32
3.6	Isoterma de Adsorção	33
3.7	Adsorção em Leito Diferencial	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1	Cinética de Adsorção	36
4.2	Isotermas de Equilíbrio	37
4.3	Adsorção em Leito Diferencial	39

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Entre os países em desenvolvimento, o Brasil destaca-se como um grande produtor de cerveja (GUIMARÃES, 2007). No entanto, esta alta produtividade pode gerar um expressivo aumento no volume dos resíduos agroindustriais decorrentes de inadequadas condutas na cadeia produtiva, transporte, comercialização e conservação (PORTELA, 2009).

Os resíduos orgânicos apresentam em sua constituição química um percentual de nutrientes considerável. O bagaço de malte, também conhecido como polpa de cervejaria, borra de cervejaria ou bagaço de cerveja é um subproduto da indústria resultante do processo de fermentação ao qual são submetidos os grãos utilizados no processo de cerveja. De acordo com Costa *et al.* (2006), este representa 85% do total de subprodutos gerados pela indústria cervejeira, sendo considerado dessa forma o mais importante subproduto proveniente desse processo.

Neste sentido, o aproveitamento integral dos alimentos tem sido adotado como medida de fácil entendimento, pois é uma prática sustentável ecologicamente correta, com maior utilização de recursos naturais permitindo redução de gastos com alimentação da família, estimula a diversificação dos hábitos alimentares sem esquecer, no entanto a questão nutricional (SANTANA, 2005), bem como dá um destino adequado a um resíduo que seria descartado no meio ambiente.

Uma forma de atuação, no que diz respeito ao aproveitamento de resíduos, é a de buscar utilizações viáveis e econômicas para os inevitáveis resíduos agroindustriais gerados. Sempre que possível, o resíduo final deverá constituir matéria prima para um novo processo, constituindo uma segunda transformação.

Ressalta-se a importância dos talos, bagaço, folhas, cascas e entrecasas. O uso desses resíduos contribui para a preservação ambiental.

A adsorção é um processo de separação e purificação de grande aplicação na indústria química, petroquímica e bioquímica. A descoberta e comercialização de novos materiais adsorventes conduziram ao desenvolvimento da adsorção como processo de separação (RUTHVEN, 1984). Uma opção válida para a remoção de poluentes diluídos em efluentes líquidos, bem como para a recuperação de componentes de alto valor agregado diluídos em correntes industriais (SCHEER *et al.*, 2002).

O processo de adsorção usando biomassa como adsorvente vem sendo uma alternativa potencialmente atrativa e econômica para o tratamento de diversos tipos de efluentes. O efeito de diversas biomassas vem sendo estudado para a remoção de metais pesados de efluentes industriais e também no tratamento de efluentes contendo compostos orgânicos, como é o caso dos efluentes de petróleo (CARVALHO, 2014).

Nos últimos anos tem ocorrido um grande número de incidentes que contaminam o meio ambiente tendo como causa a exploração do petróleo, o seu refinamento, transporte e operações de armazenamento de seus derivados. Para se ter uma ideia da magnitude do problema, a Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (EPA) estimou na década de 1990 que existiam aproximadamente 2 milhões de tanques subterrâneos de armazenamento de gasolina nos Estados Unidos, destes, 600.000 mil ou 30%, vazaram ou apresentavam vazamentos (CARVALHO, 2014).

A adsorção é o fenômeno no qual uma espécie no estado líquido ou gasoso é aderida, seja por ligações intramoleculares (sorção química) ou intermoleculares (sorção física) na superfície de um composto sólido. A primeira espécie é denominada de adsorvato, enquanto a segunda, de adsorvente (SEGUNDO, 2011).

O processo de adsorção tem demonstrado ser um método eficaz e econômico no tratamento de efluentes com poluentes orgânicos, sendo necessária a pesquisa de materiais de baixo custo para ser utilizado industrialmente (MOREIRA *et al.*, 2000). O sucesso da adsorção como processo de separação depende da escolha do material adsorvente e da otimização das variáveis do processo (RUTHVEN, 1996).

Como forma alternativa do aproveitamento do resíduo da cerveja, como proposto deste trabalho é a utilização para elaboração de novos produtos ou sua utilização como biomassa utilizada como bioadsorvente de compostos orgânicos como também a descontaminação de corpos d'água.

A forma mais frequente de se investigar o tipo de interação existente entre soluto e adsorvente é a através da realização de isotermas de adsorção que correspondem a representações gráficas que relacionam a concentração do soluto adsorvido por unidade de superfície com a concentração de soluto em solução

quando a adsorção atinge o equilíbrio, a temperatura constante (VIDE, 2011 *apud* SILVA, 2014).

O estudo da cinética de adsorção, descreve a velocidade em que o adsorbato é adsorvido pelo adsorvente, ou seja, corresponde ao transporte do adsorbato pela camada limitante até a entrada dos poros do adsorvente.

O leito diferencial em estudo corresponde a uma representação derivativa piloto de um corpo aquático real que mostra como o adsorvente se comporta em contato com a água e o contaminante.

Assim, este trabalho proposto, tem um caráter válido e de suma importância, visto que possibilitará uma visão mais abrangente do efeito da bioadsorção, utilizados como alternativa tecnológica ao resíduo da cerveja, proporcionando redução dos índices de impactos ambientais e ainda podem ser reutilizados pela empresa gerada.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o poder adsorptivo do resíduo gerado no processo de produção da cerveja como biomassa adsorvente em corpos aquáticos contaminados com composto orgânico.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Obter as curvas de equilíbrio, para formatação das isotermas de adsorção.
- Estudar a cinética no processo de adsorção do sistema bagaço/efluente.
- Avaliar o modelo matemático para análise da influência das variáveis do processo.
- Estudar o sistema leito diferencial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Impactos Ambientais Decorridos por Poluentes Orgânicos

Com o grande aumento da industrialização e o desenvolvimento econômico no Brasil com aumento da demanda de recursos de tecnologia e produção, vem fazendo com que o meio ambiente seja muito prejudicado. A preocupação com o meio ambiente tem aumentado significativamente, o que gera diversos estudos de controle de impactos ambientais, recuperação de áreas degradada e contaminadas.

Os prejuízos que as águas residuárias causam ao meio ambiente dependem muito da sua composição química, da quantidade e da velocidade com que estas são lançadas ao meio e da capacidade deste em neutralizar os efeitos adversos causados pelos poluentes através das próprias características ambientais específicas (CARVALHO, 2014).

Combustíveis fósseis, como gasolina e óleo diesel, sempre formaram a principal matriz energética para a movimentação de veículos. Entretanto, apesar da aceitação do uso destes tipos de combustíveis e da existência dos postos de abastecimento em áreas urbanas, não elimina o fato de que estes produtos são constituídos por algumas substâncias altamente poluentes e perigosas (FINOTTI, 2003).

Aproximadamente 90% da composição do petróleo é uma mistura complexa de hidrocarbonetos, o restante é constituído por compostos orgânicos sulfurados, nitrogenados, oxigenados e organometálicos. A gasolina é constituída de uma mistura de hidrocarbonetos voláteis, cujos componentes majoritários são cadeias ramificadas de parafinas, cicloparafinas e compostos aromáticos, incluindo benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX) (FINOTTI, 2009).

Em um derramamento de gasolina as atenções para a contaminação do lençol freático estão voltadas para a presença dos hidrocarbonetos monoaromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX) na água utilizada para o abastecimento da população (CORSEUIL e ALVAREZ, 1996).

Derramamentos de petróleo ou seus derivados têm ocorrido com muita frequência tanto em solos, como em sistemas aquáticos em diversos países (THIEM et al., 1994). Em um derramamento de gasolina, uma das principais preocupações é

a contaminação de aquíferos que sejam usados como fonte de abastecimento de água para consumo humano. Dentre os BTEX, o benzeno é considerado o mais tóxico com padrão de potabilidade de 10 mg/l, segundo as Normas do Ministério da Saúde. Nos Estados Unidos, país que já investiu bilhões de dólares na recuperação de solos e águas subterrâneas, está se chegando à conclusão de que a grande maioria dos locais contaminados não foi remediada aos níveis de potabilidade e os benefícios esperados não estão correspondendo às expectativas da população (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1993).

A ocorrência ou não de vazamentos de Tanque de Armazenamento Subterrâneo só é identificada, na maioria dos casos, quando uma fonte de captação de água é contaminada. Estudos desenvolvidos envolvendo vazamento de gasolina têm a grande preocupação de descrever a área contaminada e avaliar a possibilidade de degradação natural dos contaminantes. Poucos estudos envolvem a avaliação das consequências do acidente na vida dos habitantes dos locais afetados pelos vazamentos (SILVA, 2002).

Geralmente, uma sequência previsível de eventos ocorre após o despejo ou derramamento. O filme de óleo após o contato com a água é disperso pelos ventos e correntes e os componentes com pontos de ebulição abaixo de 200°C se evaporam (CARVALHO, 2014).

Alguns dos componentes remanescentes são oxidados pela luz solar ou degradados por microrganismos. Os que são muito estáveis a estes fatores podem permanecer no ambiente aquático por muitos anos. Cerca de 24 horas após o evento, a água e o óleo formam uma emulsão (MARIANO, 2001 *apud* BONI, 2012).

Os impactos ambientais causados por essa contaminação são inúmeros com consequências até irreversíveis, afetando não só ecologicamente, mas também socialmente e economicamente, como consequências prejuízos à saúde humana.

Os principais efeitos que acontecem quando ocorre um derramamento com a gasolina comercializada no Brasil estão associados a interação do etanol com os hidrocarbonetos presente na gasolina. Esta interação pode causar um aumento na concentração dos hidrocarbonetos na água (MORENO, 2001).

2.2 Aproveitamento de Resíduos Industriais

A disposição final dos resíduos nas atividades agroindustriais é geralmente um problema ambiental (AMAYA *et al.*, 2007 apud GONÇALVES, 2014). Estes resíduos possuem baixo ou nenhum valor econômico e geralmente apresentam problemas de descarte. A conversão desses resíduos para produtos mais nobres agregaria valor econômico, ajudaria a reduzir o custo de descarte dos resíduos (GONÇALVES, 2014).

Da mesma forma que aconteceu com a indústria, a evolução do agronegócio e o desenvolvimento dos processos de transformação de alimentos levaram a geração de muitos resíduos, sendo que estes são um dos principais problemas ambientais, não só no Brasil, mas no mundo como um todo (GIORDANO, 2000).

Uma forma de atuação, no que diz respeito ao aproveitamento de resíduos é a de buscar utilizações viáveis e econômicas para os inevitáveis resíduos agroindustriais gerados. Sempre que possível, o resíduo final deverá constituir em matéria prima para um novo processo, constituindo uma segunda transformação. Como exemplo, a indústria de cana de açúcar, cujo bagaço serve desde alimentação animal até a cogeração de energia elétrica para venda, satisfazendo as demandas regionais. Outro exemplo, é o processamento úmido do milho, em que a melhor solução para seus resíduos foi repassá-los a indústria de produção de óleo a partir do gérmen (CEREDA, 2000).

Como forma de escoar demanda, a maior parte desses subprodutos pode ser reciclada e reutilizada. Sendo assim, na estratégia de se combater o desperdício e aproveitar as sobras ou descartes inutilizados pelas indústrias, os subprodutos são utilizados como fontes de matéria prima para outros setores além de gerar maior competitividade entre as indústrias (COELHO e FIGUEIREDO, 2005).

Os resíduos gerados nos processos agroindustriais representam perdas econômicas no processo produtivo e se não receberem destinação adequada podem proporcionar problemas ambientais, em razão da sua carga poluidora. Dentre estes resíduos, existem alguns que podem ser utilizados na alimentação de ruminantes, como a polpa cítrica, a casca e o farelo de arroz, a torta de algodão e o resíduo úmido de cervejaria. Este último tem se destacado, uma vez que é gerado em grande volume durante o ano todo (BROCHIER, 2009).

Com o crescimento cervejarias no país passaram a produzir relativamente grande quantidade de subprodutos e resíduos, o que provoca preocupação no setor. Normalmente, os subprodutos e resíduos são descartados, apresentando grande potencial de contaminação ao meio ambiente, ou seja, são poluentes em potencial. Entretanto, comparada as outras indústrias, a cervejaria tende ser ambientalmente menos poluente (SANTOS, 2005).

A cevada tem alguns subprodutos úteis, o mais valioso é a palha que é utilizada principalmente para compostagem nos países desenvolvidos, mas também alimentar animais nos países em desenvolvimento e subdesenvolvidos. A cevada é o preferido por alguns fabricantes de alimentos devido ao seu baixo preço em comparação com o trigo e seu valor nutricional (AKAR *et al.*, 2004).

Os subprodutos da cevada são obtidos durante o processo industrial da produção de cerveja. O bagaço de cevada, também chamado de bagaço de malte, contém alto teor de umidade, em torno de 70 a 75% e alto teor de fibra (VIEIRA e BRAZ, 2009).

O bagaço de malte é um subproduto do processo de produção das cervejarias formado pela parte sólida obtida da filtração do mosto cervejeiro antes da fervura. Este é constituído principalmente de restos de casca e polpa de malte, mas também dos grãos do adjunto, como arroz, milho e trigo. O bagaço de malte é quantitativamente o principal subproduto do processo cervejeiro, sendo gerado de 14 a 20 kg a cada 100 litros de cerveja produzida (SANTOS *et al.*, 2005).

Quando seco e triturado, este resíduo cervejeiro poderá ser comercializado a nível nacional, uma vez que o processo de secagem beneficia o transporte, diminuindo o volume e o peso do material. Outra vantagem leva em consideração o seu conjunto nutricional, pois o bagaço é um alimento rico em fibras com significáveis níveis proteicos requeridos para a obtenção de um produto na alimentação animal. A qualidade deste alimento, medida pelos seus níveis nutricionais e principalmente pela capacidade de disponibilizar estes nutrientes em níveis superiores a 60%, torna o resíduo extremamente atraente e promove a redução de impactos ambientais, advindo da indústria cervejeira, sem que ocorram quedas nos índices produzidos (ASCHERI *et al.*, 2007).

2.3 Cevada

A cevada, apresentada na Figura 01, com nome científico *Hordeum Vulgare* é uma *gramínea cerealífera*. Considerado o quinto em importância no mundo, além de ser utilizada na alimentação animal como forragem verde e na fabricação de ração, o grão de cevada é largamente empregado na industrialização de cerveja e destilados (VIEIRA e BRAZ, 2009).

Figura 01. Cevada



Fonte. Mori, *et al.* (2012).

A cevada é dividida em duas subespécies: *Hordeum Vulgare* L. ssp. *Vulgare* e *Hordeum Vulgare* L. ssp. *Spontaneum* (C. Koch.) Thell. A *vulgare* é a cevada cultivada, já a *spontaneum* é o progenitor selvagem da cevada (AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2008).

A cevada pertence ao gênero *Triticeae* tribo da família das gramíneas, *Poncaeae*, também conhecido como *Gramineae*. A tribo *Triticeae* é um dos grupos de plantas de clima temperado com diversos cereais e forrageiras de importância econômica, bem como cerca de 350 espécies selvagens. O gênero *Hordeum* é incomum entre os *Triticeae*, já que contém ambas as espécies anuais, como *H. vulgare* e *H. marinum* e espécies perenes, tais como *H bulbosum* (VON BOTHMER, 1982).

O gênero *Hordeum* possui centros de diversidade na região central e sul da Ásia Ocidental, América do Norte Ocidental, América do Sul e no Mediterrâneo. As espécies *Hordeum* ocorrem em uma vasta gama de habitats. A maioria das espécies silvestres perenes cresce em ambientes úmidos, enquanto que as espécies anuais

são restritas a habitats abertos e áreas antropizadas. Muitas espécies são adaptadas a ambientes extremos e muitos têm tolerância ao frio e salino (VON BOTHMER, 1982).

O seu período de germinação é de 1 a 3 dias. Suas flores são dispostas em espigas, na extremidade do colmo e os frutos são amarelados e ovoides. Fornecem uma farinha alimentícia que é utilizada na fabricação de cerveja e os grãos torrados e moídos são usados na fabricação de bebida semelhante ao café natural sem cafeína (SCARLATELLI, 1994 apud CORDEIRO, 2011).

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) é uma das culturas fundadoras da agricultura do velho mundo e foi um dos primeiros cereais caseiros. É também um modelo experimental devido ao seu curto ciclo de vida e características morfológicas, fisiológicas e genéticas (AUSTRALIAN GOVERNMENT, 2008).

A região sul do Brasil destaca-se por sua grande produção de cereais, entre os quais de cevada, ocupando a quarta posição em produção de cereais no mundo (YALÇIN *et al.*, 2007), sendo superada somente pelo trigo, arroz e milho.

2.4 Cerveja

A cerveja é uma bebida de ampla difusão e intenso consumo, sendo conhecida desde remota antiguidade em diversos países do mundo, principalmente nos Estados Unidos, Alemanha e China (BAMFORTH, 2005).

Há 2800 a.C., os babilônios já fabricavam vários tipos de cervejas. Diversos documentos antigos relatam histórias e lendas ligadas à cerveja dos povos hititas, armênios, gregos e egípcios. Em várias regiões era utilizada na alimentação diária da população como importante fonte de nutrientes (AQUARONE, 1993 apud MATTOS, 2010).

A cerveja chegou ao Brasil em 1808, trazida por Dom João VI. Até o século XIX ela era importada e foi privilégio dos nobres. A fabricação de cerveja passou de ser uma atividade artesanal e converteu-se em um ramo economicamente muito importante dentro da microbiologia industrial. Depois da legislação sobre pureza, que entrou em vigor em 1516 (Baviera - Alemanha), a cerveja só pode ser fabricado a partir de malte, cereais, lúpulo, água pura e leveduras. Como as leveduras da cerveja não transformam o amido em açúcar, portanto não podem levar a cabo a

fermentação, primeiro tem que transformar o amido dos grãos de cereal submetendo-os a maceração, germinação e tostado em malte rico em açúcar, a partir do qual se obterá, por maceração e cocção em água o mosto de cerveja estéril. Este fermentará dando cerveja por adição de lúpulo, resfriamento e inoculação com as leveduras da cerveja.

O passo inicial da fabricação de cerveja envolve a obtenção do malte, ou seja, os grãos de cevada ou de cereais (milho e arroz) são imersos em água morna por algum tempo, e em seguida retira-se a água para que ocorra a germinação dos grãos e a hidrólise do amido em dextrina e maltose (CABRAL FILHO, 1999).

Segundo Brochier e Carvalho (2009), a cada 100 kg de malte obtém-se de 110 a 120 kg de resíduo úmido de cervejaria. O resíduo úmido de cervejaria é um subproduto do processo de fabricação da cerveja, também conhecido como bagaço de malte.

O bagaço de malte, exemplificado na Figura 02, é o principal subproduto da indústria cervejeira, representando cerca de 85% dos subprodutos totais gerados (REINOLD, 1997). Este subproduto encontra-se disponível em grande quantidade o ano todo, com baixo ou sem custo e é gerado não apenas pelas grandes indústrias, mas também pelas pequenas (MUSSATO *et al.*, 2006). Segundo Townsley (1979) colocar mais recente de outra pessoa que tenha esse cara, o bagaço de malte representa, em média, cerca de 31% do peso do malte original e aproximadamente 20 kg a cada 100 litros de cerveja produzida.

Figura 02. Bagaço da Cerveja



No processo de fabricação da cerveja, a geração de subprodutos é inevitável, sendo o bagaço de malte, o lúpulo gasto e a levedura, os mais produzidos. No entanto, como a maioria destes subprodutos é proveniente de matérias-primas agrícolas, eles podem ser reciclados e/ou reaproveitados (DRAGONE, 2007).

O setor cervejeiro brasileiro é o mais importante do mercado sul americano e um dos maiores do mundo (BRASIL, 2005). A produção de cerveja no Brasil alcançou em 2010 a marca recorde de 12,6 bilhões de litros, um crescimento de 18% em relação a 2009, mais do que o dobro do PIB. Com esse resultado o Brasil se tornou o terceiro maior mercado de cerveja do mundo, atrás apenas da China com uma produção na faixa de 40 bilhões de litros e Estados Unidos com 35 bilhões de litros (CORDEIRO, 2011).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (CERVBRASIL, 2015), em 2014 foram produzidos 14,1 bilhões de litros de cerveja, dando ideia da quantidade de subproduto gerado.

2.5 Gasolina

A gasolina é uma mistura complexa de hidrocarbonetos voláteis, no intervalo de C5 a C12 destilada entre 30 e 225°C (AIRES *et al.*, 1999), cujos componentes maiores são cadeias ramificadas de parafinas, cicloparafinas e compostos aromáticos, incluindo constituintes como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (denominados grupo BTEX), os quais representam os compostos mais solúveis e mais móveis encontrados na gasolina (POULSEN *et al.*, 1992).

A gasolina comercializada no Brasil é bastante diferenciada da de outros países, pois é misturada com 24% de etanol. Deste modo, as interações entre o etanol e os compostos BTEX podem causar um comportamento completamente diferente no deslocamento da pluma do que aquele observado em países que utilizam gasolina pura (FERNANDES & CORSEUIL, 1996), (SANTOS *et al.*, 1996).

2.6 Adsorção

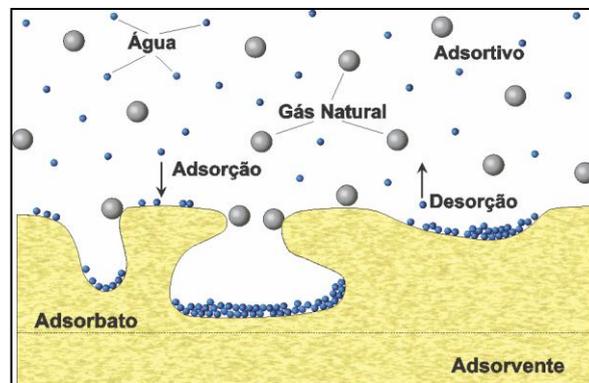
A adsorção é uma operação unitária de transferência de massa do tipo sólido-fluido na qual se explora a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua

superfície determinadas substâncias existentes em soluções líquidas ou gasosas. A adsorção física, ou de Van der Waals, decorre da ação de forças de atração intermoleculares fracas entre o adsorvente e as moléculas adsorvidas (DRAGONE, 2007).

A quantidade total adsorvida normalmente varia entre 5 e 30% do peso do sólido adsorvente, podendo chegar na superfície do sólido, quanto maior for esta superfície por unidade de peso, mais favorável será a adsorção (GOMIDE, 1988).

Denomina-se adsorvente a substância em cuja superfície se produz o fenômeno adsorção. Adsorvivo é o fluido em contato com o adsorvente e o adsorbato as espécies químicas retidas pelo adsorvente (NÓBREGA, 2001), apresentada na Figura 03.

Figura 03. Nomenclatura do fenômeno de adsorção



Fonte. Nóbrega (2001).

A técnica de adsorção usando biomassas como adsorvente vem sendo uma alternativa potencialmente atrativa e econômica para o tratamento de diversos tipos de efluentes. O efeito de diversas biomassas vem sendo estudado para a remoção de metais pesados de efluentes industriais (COSSICH *et al.*, 2002) e também no tratamento de efluentes contendo compostos orgânicos, como é o caso dos efluentes de petróleo (LIMA, 2010). Há uma constante busca por novos materiais que possam ser usados como adsorvente, que tenham baixo custo operacional e que deem resultados satisfatórios.

O processo de adsorção é o resultado da existência de um excesso de energia na superfície do adsorvente devido ao desbalanceamento das forças que

atuam em suas moléculas ou átomos. O conhecimento do tipo de forças atuantes na superfície possibilita a determinação das diferentes formas de interação existentes em sistemas diversos. As forças entre o soluto e o adsorvente responsáveis por este fenômeno superficial podem ser forças de reconhecimento molecular hidrofóbicas, forças de interação eletrostática, forças de Van der Waals ou forças químicas as quais se originam do compartilhamento de elétrons entre o sólido e a molécula adsorvida (BORGES, 2002).

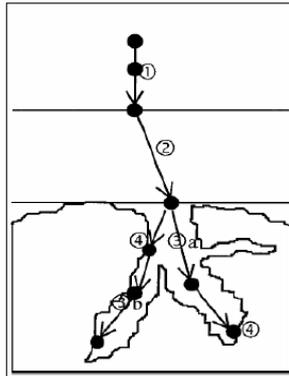
A união entre o sólido e o adsorbato pode ser tão forte que a adsorção apresenta as características de uma reação química, sendo este tipo de processo denominado quimissorção. Em outras situações a união do adsorbato com o adsorvente é fraca e o processo é chamado de fisissorção ou adsorção física. Neste tipo, o processo pode ser invertido com facilidade, de modo a liberar a substância adsorvida (GOMIDE, 1980). Os efeitos atrativos que ocorrem entre o adsorvente e o adsorbato são por causa das interações de Van der Waals, sendo um processo reversível, não específico, que ocorre normalmente com a deposição de mais de uma camada de adsorbato (MOURA, 1997).

2.6.1 Cinética de Adsorção

A adsorção é uma técnica útil e simples, que permite a coleta de dados, tanto cinéticos, sem necessidade de qualquer instrumento sofisticado (MITTAL *et al.*, 2006 *apud* HONORIO, 2013).

Segundo Honorio (2013), o mecanismo de adsorção em sólidos porosos para o processo de cinética depende da velocidade relativa entre quatro etapas, apresentada na Figura 04.

Figura 04. Etapas da Cinética de Adsorção



Fonte. VIZCARRA (2007) *apud* NUNES (2014).

- 1) Transferência de massa (difusão) do reagente do interior da fase fluida para a superfície do adsorvente.
- 2) Adsorção nos sítios da superfície externa.
- 3) Difusão do reagente da entrada do poro, através dos poros do adsorvente, até as proximidades da superfície adsorvente interna dos poros.
- 4) Adsorção das moléculas do reagente nos sítios disponíveis na superfície interna.

Cinética de adsorção descreve a velocidade com a qual as moléculas do adsorbato são adsorvidas pelo adsorvente. Esta velocidade depende das características físico-químicas do adsorbato, tais como natureza, massa molecular e solubilidade e do adsorvente, tais como a natureza e estrutura de poros (CLAUDINO, 2003).

Está relacionada com a área de superfície do adsorvente. Dessa forma, o tamanho da partícula está diretamente relacionado e é também um importante fator que afeta a capacidade de adsorção (HONORIO, 2013).

2.6.1.1 Modelos Matemáticos

Diversos modelos cinéticos podem ser utilizados para descrever a adsorção de um adsorbato sobre um adsorvente. Dentre os vários existentes na literatura, os mais estudados são os de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem, os quais são muito utilizados para a bioadsorção cinética de poluentes em águas residuárias (HONORIO, 2013).

O modelo de pseudo-primeira ordem que foi a primeira equação de taxa estabelecida para um sistema de adsorção sólido/líquido inicialmente chamado de Lagergren, onde tal equação é amplamente utilizada em processos de adsorção do soluto de uma solução líquida e baseia-se na capacidade de adsorção do sólido (AKSU, 2000). O modelo de Lagergren assume que a taxa de variação da captação do soluto com o tempo é diretamente proporcional a diferença entre a quantidade adsorvida no equilíbrio e a quantidade adsorvida em qualquer tempo (SHAWABKEH, 2003). Esse modelo assume ainda que a adsorção é um processo de “falsa” ordem de reação química e a taxa de adsorção pode ser determinada pela Equação (01) (YANG, 2005).

$$\frac{dq}{dt} = k_f (q_e - q_t) \quad (01)$$

Onde:

q_t representa a quantidade de adsorbato removido no tempo t (mg.g⁻¹).

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

k_f a constante de taxa de pseudo-primeira ordem (min⁻¹).

t o tempo de contato (min) entre o adsorvente e o adsorbato.

A integração da Equação (04) com as considerações iniciais $q_t = 0$ em $t = 0$, e $q_t = q_t$ em $t = t$, leva a seguinte Equação (01):

$$\ln q_e - q_t = \ln q_e - k_f \cdot t \quad (02)$$

Rearranjando a Equação (02) numa forma não linear de cinética de pseudo-primeira ordem, tem-se:

$$q_t = q_e (1 - \exp(-k_f \cdot t)) \quad (03)$$

O modelo pseudo-segunda ordem, assim como o de pseudo-primeira ordem, baseia-se na capacidade de adsorção da fase sólida e relata o comportamento do

processo em toda a faixa de tempo de contato (AKSU, 2000). A taxa de adsorção, segundo esse modelo, pode ser determinada pelas Equação (04) (HO, *et al.*1999):

$$\frac{dq}{dt} = k_s (q_e - q_t)^2 \quad (04)$$

Onde:

k_s é a constante da taxa de pseudo-segunda ordem ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$).

Integrando a Equação (04) com as seguintes condições iniciais: $q_t = 0$ em $t = 0$, e $q_t = q_t$ em $t = t$, leva a seguinte equação:

$$q_t = \frac{k_s \cdot q_e^2 \cdot t}{1 + k_s \cdot q_e \cdot t} \quad (05)$$

A taxa inicial da adsorção h_o ($\text{mg g}^{-1} \text{h}^{-1}$) pode ser obtida em valores de t próximos a zero utilizando a seguinte Equação (06):

$$h_o = k_s \cdot q_e^2 \quad (06)$$

2.6.2 Isotermas de Equilíbrio

A forma mais frequente de se investigar o tipo de interação existente entre soluto e adsorvente é através da realização de isotermas de adsorção, as quais relacionam as quantidades de soluto adsorvido por unidade de massa de adsorvente, a uma dada temperatura, em condições de equilíbrio termodinâmico (BORGES, 2002).

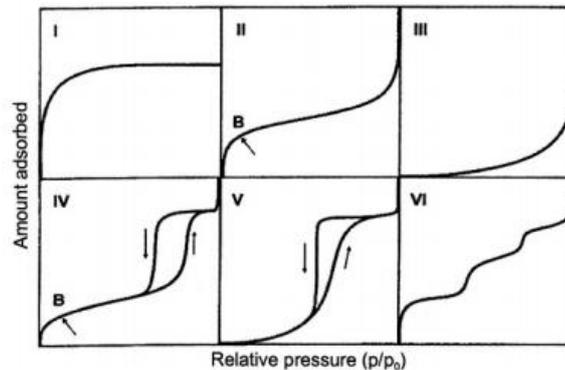
O estudo do equilíbrio fornece informações fundamentais para a seleção de um adsorvente satisfatório. Segundo Morais (2005), as informações das isotermas de equilíbrio podem fornecer a estimativa da quantidade aproximada de adsorvente necessária para um dado processo e conseqüentemente, o tamanho do equipamento requerido para a operação de adsorção em condições de equilíbrio.

Park *et al.* (2001), define isoterma como uma curva que descreve, em uma dada umidade, a relação de equilíbrio de uma quantidade de água adsorvida por componentes do material biológico e a pressão de vapor ou umidade relativa, a dada temperatura, sendo esta relação dependente da composição química dos alimentos, tais como gordura, amido, açúcar e proteínas.

Estas curvas fornecem informações úteis para processos de concentração, secagem e hidratação de alimentos, visto que a facilidade de se retirar ou adicionar água está relacionado com a atividade de água do alimento e ainda para verificar e acompanhar a estabilidade de produtos alimentícios durante o armazenamento (RIBEIRO e SERAVALLI, 2007).

Para concentrações mais elevadas na fase adsorvida, Brunauer *et al.* (1940) apresentou uma classificação qualitativa das isotermas de adsorção física, como se pode-se observar na Figura 05.

Figura 05. Classificação de Isotermas de Adsorção



Fonte. Keller (2005).

A Isotherma do tipo I, é a mais comum que são caracterizadas de adsorventes microporosos devido ao tamanho dos poros do sólido, os quais não são muito maiores que o diâmetro molecular do sorbato.

A Isotherma dos tipos II e III, adsorventes nos quais há uma extensa variação de tamanhos de poros. Esta variação permite ao adsorvente a capacitação de avançar, de forma contínua, de uma adsorção monocamada para multicamada, seguida de condensação capilar.

A formação de duas camadas superficiais adsorvidas é caracterizada pela isoterma do tipo IV, onde uma camada encontra-se sobre a superfície plana e a

outra nas paredes de um poro cujo diâmetro é muito maior que o diâmetro molecular do sorbato. Caso os efeitos de atração intermolecular sejam grandes, ou seja, as atrações entre as moléculas adsorvidas são mais fortes que as interações sorbato-superfície, uma curva isotérmica do tipo V é observada (RUTHVEN, 1984).

2.6.2.1 Modelos Matemáticos

E para representar essas Isotermas de adsorção existem diversos modelos matemáticos, como Freundlich, Langmuir e Langmuir-Freundlich, onde podem ser apresentados a baixo:

- Isoterma de Freundlich

Essa isoterma é empírica e muito utilizada porque descreve com precisão os dados de ensaios de adsorção em sistemas aquosos, além de descrever o equilíbrio em superfícies heterogêneas e não restringir a adsorção somente em monocamada (MOHANA e PITTMAN, 2006), descrita pela Equação (07):

$$q = A \cdot c^{\frac{1}{n}} \quad (07)$$

Onde:

A e n são constantes características da equação de Freundlich e indicam a capacidade e a intensidade de adsorção, respectivamente, onde os valores de A e n podem ser encontrados plotando-se um gráfico de $\log q$ em função de $\log c$, sendo A o coeficiente linear da reta e n o coeficiente angular (MORAIS, 2005).

- Isoterma de Langmuir

Esse modelo baseia-se na ideia de que as moléculas do adsorbato são adsorvidas e aderem à superfície do adsorvente em sítios livres, definidos e localizados. Portanto, o ponto máximo de adsorção corresponde à monocamada saturada de moléculas de soluto na superfície do adsorvente, sem que haja

qualquer interação lateral entre as moléculas adsorvidas (CARVALHO, 2010). O modelo de isotermas de Langmuir está representado na Equação (08).

$$\frac{q}{q_s} = \frac{bc}{1+bc} \quad (08)$$

onde:

$\frac{q}{q_s}$ é a taxa de adsorção;

q_s é a máxima capacidade de adsorção;

c é a concentração do adsorbato;

b é o parâmetro da equação de Langmuir.

- Isoterma de Langmuir-Freundlich

Com as limitações do modelo de Langmuir em prever com sucesso o equilíbrio de misturas, muitos autores modificaram a equação e introduziram a forma de Freundlich (MORAIS, 2005).

Para componentes puros tem-se as equações (09) e (10) para representar o modelo de isotermas de Langmuir-Freundlich:

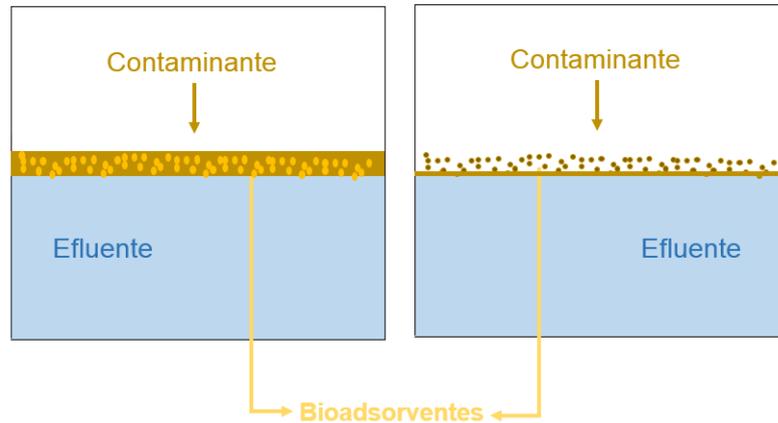
$$\frac{q_1}{q_{s1}} = \frac{b_1 p_1^{n_1}}{1 + b_1 p_1^{n_1}} \quad (09)$$

$$\frac{q_2}{q_{s2}} = \frac{b_2 p_2^{n_2}}{1 + b_2 p_2^{n_2}} \quad (10)$$

2.6.3 Adsorção em Leito Diferencial

O sistema de adsorção em leito diferencial é uma técnica nova, onde consiste em remover contaminantes de um efluente através de uma camada fina de bioadsorventes em contato com esse efluente, proposto por Sousa *et al.* (2011), apresentado na Figura 06.

Figura 06. Representação de leito diferencial



3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local de estudo

Este projeto foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, na cidade de Campina Grande. A pesquisa foi realizada no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais, UEPB.

3.2 Equipamentos

Serão relacionados os equipamentos que são pertencentes ao Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais, da Universidade Estadual da Paraíba de Campina Grande, PB.

3.2.1 Sistema de Peneiras

Foi utilizada um sistema de peneiras da Granutest de 1,00 e 2,38 mm para uniformizar o tamanho da biomassa (bagaço da cerveja), apresentada na Figura 07.

Figura 07. Sistema de Peneiras



3.2.2 Mesa Agitadora

Os testes cinéticos foram realizados em uma Mesa Agitadora da Nova Técnica, apresentada na Figura 08.

Figura 08. Mesa Agitadora Nova Técnica



3.2.3 Balança Analítica

Balança Mater AD200, com capacidade máxima de 210g, com precisão de leitura de 0,001g, apresentada na Figura 09.

Figura 09. Balança Mater



3.2.4 Sistema de Leito Diferencial

Foi utilizado no Sistema de Leito Diferencial um reservatório de vidro com capacidade para 4000mL, apresentado na Figura 10, e uma tela de alumínio, apresentado na Figura 11, onde a tela de alumínio é acoplada ao reservatório de vidro.

Figura 10. Reservatório de Vidro



Figura 11. Tela de Alumínio



3.3 Matéria Prima

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada como matéria prima, o resíduo cevada da produção de cerveja de alunos no Laboratório de Alimentos no Núcleo de Pesquisa e Extensão em Alimentos – NUPEA, na Universidade estadual da Paraíba e o efluente gasolina tipo comum em posto de combustível, localizado em Campina Grande, Paraíba, Brasil.

3.4 Preparação da Matéria Prima para o Processamento

A biomassa seca foi triturada e peneirada utilizando um conjunto de peneiras de 1,00 a 2,38 mm de abertura, de maneira a se obter um material uniforme e por fim, acondicionada em reservatório de vidro devidamente identificado para posterior utilização, como apresentado na Figura 12.

Figura 12. Peneiramento da Biomassa



3.5 Cinética de Adsorção

Na primeira etapa, o estudo de cinética de adsorção foi realizada em 3 experimentos, em triplicatas, com 1,2g de biomassa seca, em cada experimento e com o total de 12 amostras em cada, onde no primeiro experimento tinham concentração iguais a 8,6, 12,0 e 15,4mL de gasolina para 40mL de água.

Foram transferidas para o *erlenmeyer* (250mL) as concentrações de água e gasolina e colocando-os em agitação por 5 minutos até a máxima mistura das duas substâncias, apresentado na Figura 13, em seguida adicionou a biomassa seca, ao

erlenmeyer tampando-o com papel alumínio e deixando em agitação, onde a cada 5 minutos uma amostra foi retirada, por um tempo percorrido máximo de 60 minutos, transferindo-se o conteúdo do *erlenmeyer* (250mL) com auxílio de uma peneira e um funil para reter o agente adsorvente, onde o conteúdo líquido foi transferido para uma proveta (50mL, 100mL) para a realização da leitura do volume de cada substância.

Figura 13. Amostras na mesa de agitação



Em ambas as etapas da adsorção foram feitas a diferença entre a quantidade de contaminante no início do processo com a quantidade no final da adsorção, observando-se a quantidade de adsorbato e prevendo a eficiência do adsorvente em adsorver o agente contaminante.

3.6 Isoterma de Equilíbrio

Os experimentos foram realizados em triplicata, sendo 1,2g de biomassa seca, com diversas concentrações de água e agente contaminante (gasolina), foram medidos 10 concentrações diferentes de água/gasolina com variação de 5% a 50% de gasolina em um total de 52mL água/gasolina, apresentada na Tabela 01.

A solução foi transferida para um *erlenmeyer* (250mL) com as concentrações de água e gasolina submetendo em agitação por 5 minutos até a máxima mistura das duas substâncias, em seguida adicionou-se a biomassa seca ao *erlenmeyer* tampando-o com papel alumínio e deixando em agitação por 60 minutos para que a biomassa adsorva o agente contaminante. Após passado o tempo de agitação, transferiu-se o conteúdo do *erlenmeyer* com o auxílio de uma peneira e um funil para

reter o agente adsorvente, transferido o conteúdo para uma proveta (50mL) para realização da leitura do volume de cada substância.

Tabela 01. Variação de concentração água/gasolina

Concentração (%)	Gasolina (mL)	Água (mL)
5	2,6	49,4
10	5,2	46,8
15	7,8	44,2
20	10,4	41,6
25	13,0	39,0
30	15,6	36,4
35	18,2	33,8
40	20,8	31,2
45	23,4	28,6
50	26,0	26,0

3.7 Adsorção em Leito Diferencial

O processo de Adsorção em Leito Diferencial foi realizado em 3 experimentos com concentrações diferentes, como apresentado na Tabela 02.

Tabela 02. Variação de concentração do leito diferencial

Concentração (%)	Gasolina (L)	Água (L)
5,0	0,2	3,8
7,5	0,3	3,7
10,0	0,4	3,6

Na primeira etapa, uniformizou-se, na tela de alumínio, uma camada fina da biomassa com espessura de 3mm, como apresentado na Figura 14.

Figura 14. Tela com camada de biomassa



No reservatório de vidro foram depositados uma mistura de água/contaminante com concentrações definidas na Tabela 02, obtendo-se uma camada fina sobrenadante, como apresentado na Figura 15.

Figura 15. Mistura de água/contaminante



Em seguida, foi acoplado a tela de alumínio ao reservatório com a solução água/contaminante, com tempo decorrido de contato até 120 minutos, como apresentado na Figura 16. Após decorrido esse tempo, foi retirada a tela de alumínio e medido o volume restante de contaminante em uma proveta, para quantificação adsorvida do contaminante.

Figura 16. Contato da biomassa com água/contaminante



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cinética de Adsorção

De acordo com os experimentos realizados, utilizando o sistema de adsorção, após o tempo de contato água/gasolina e volume total da mistura heterogênea, foi possível observar um volume final de gasolina inferior ao inicial de cada amostra, mostrando uma boa adsorção da gasolina na presença do resíduo da cerveja. Essa quantificação foi feita através de análise volumétrica, utilizando proveta graduada.

As curvas cinéticas de adsorção para cada experimento água/gasolina foram apresentadas na forma de capacidade de adsorção da biomassa, ou seja, quantos mL de gasolina foram retirados por cada g de biomassa, em função do tempo de contato, de soluções com 8,6; 12,0; 15,6mL de gasolina com 40,0mL de água, apresentado na Figura 17, e representados pelas Figuras 18, 19 e 20, respectivamente.

Figura 17. Amostras de cinética de adsorção



Figura 18. Cinética de adsorção para 8,6mL de gasolina e 40,0mL de água

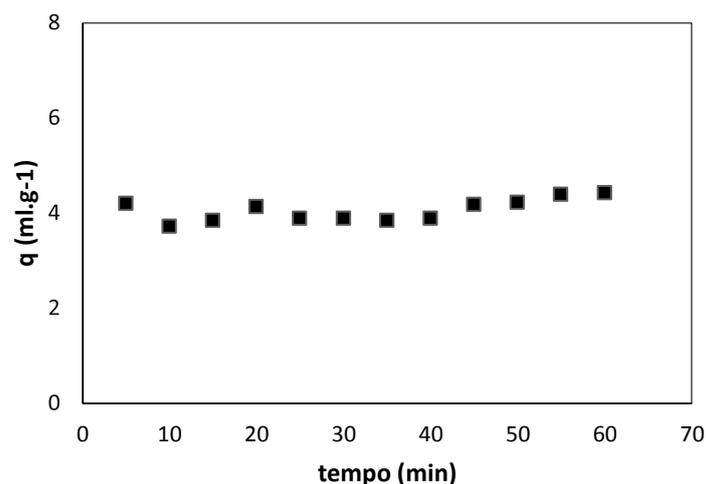


Figura 19. Cinética de adsorção para 12,0mL de gasolina e 40,0mL de água

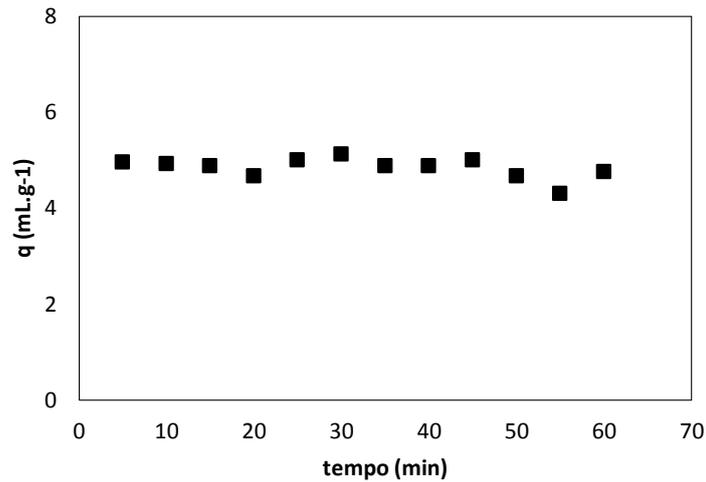
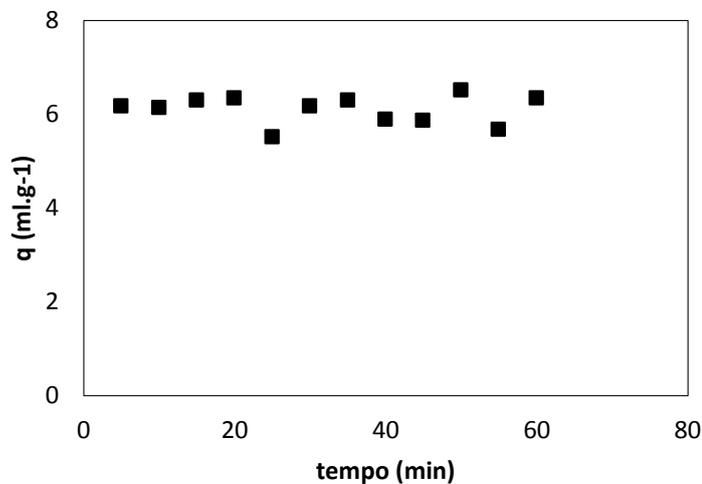


Figura 20. Cinética de adsorção para 15,6mL de gasolina e 40,0mL de água



Através das ilustrações das curvas cinéticas apresentadas nas Figuras 18, 19 e 20 foi possível observar para o bagaço de cerveja, utilizando o adsorbato gasolina, que a cinética foi bastante rápida e a quantidade de gasolina adsorvida para o bagaço foram aproximadamente 4,0, 5,0 e 6,0mL/g, respectivamente. Os desvios encontrados nas quantidades adsorvidas de gasolina pode ter ocorrido devido à manipulação ou a adsorção de água pelo bagaço de cerveja.

4.2 Isotermas de Equilíbrio

No equilíbrio foram utilizadas 10 amostras de concentrações diferentes em um tempo de agitação constante de 60 minutos, como apresentados na Figura 21.

Figura 21. Amostras de isotermas de e equilíbrio

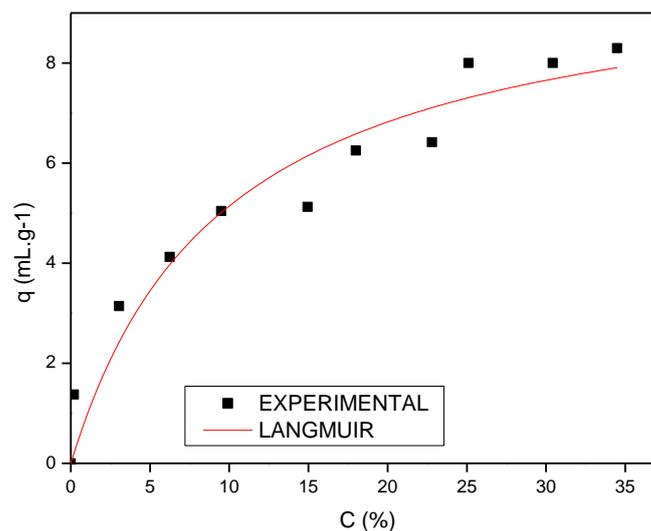


Na Figura 22 é apresentada a curva da isoterma de equilíbrio para a adsorção de gasolina utilizando como biomassa resíduo de cerveja, sendo colocada na forma de capacidade de adsorção da biomassa, ou seja quantos mL de gasolina foram retirados por cada g de biomassa, em função da concentração final de cada adsorbato no fluido.

Este modelo foi escolhido por considerar como o modelo mais eficaz para a representação de isotermas em que há uma interação entre a superfície do adsorvente e o soluto para um único componente, como de acordo com Morais (2005).

O ajuste para esse modelo foi realizado pelo método de regressão não linear com o uso do programa Microcal Origin®.

Figura 22. Isoterma de equilíbrio para adsorção do bagaço de cerveja, comparada com o modelo de Langmuir



Assim, pode-se observar que essa isoterma pode ser considerada favorável, apresentando concavidade voltada para baixo, correspondendo ao Tipo I da classificação BET (RUTHVEN, 1984), corroborando com Morais (2005) válidas para bagaço de cana e mesocarpo de coco.

Desta forma, sugere-se que a adsorção da gasolina aconteça em monocamada, sem que haja interações entre as moléculas adsorvidas. A superfície do adsorvente é homogênea em se tratando de grupos funcionais e os sítios de adsorção são energeticamente equivalentes (KHAMBHATHY *et al.*, 2009).

Com o ajuste dos dados experimentais ao modelo de isoterma de Langmuir, os valores dos parâmetros q_s , b e R^2 foram obtidos a partir do método de regressão não linear, onde q_s é a máxima capacidade de adsorção em mL/g e b é o parâmetro da equação de Langmuir, apresentados na Tabela 03.

Tabela 03. Parâmetros de Langmuir para bagaço de cerveja

Biomassa	q_s (mL/g)	b	R^2
Bagaço de cerveja	10,12714	0,10322	0,9365

Utilizando o bagaço de cerveja como adsorvente, observou-se que a biomassa teve um bom ajuste ao modelo de adsorção de Langmuir, pois apresentou o coeficiente de correlação $R^2 = 0,9365$, bem próximo de um, o que reflete que o processo de adsorção se ajusta bem ao modelo de Langmuir. A capacidade máxima adsorvida pelo bagaço foi de aproximadamente 8,0 mL/g, ou seja, a cada 1g de biomassa tem-se 8,0mL de gasolina e comparando com o ajuste ao modelo de Langmuir a capacidade máxima de adsorção foi de 10,1mL/g, ou seja, os dados experimentais estão bem ajustados ao modelo de Langmuir.

4.3 Adsorção em Leito Diferencial

De acordo com os experimentos realizados, utilizando o sistema em leito diferencial, após o tempo de contato água/gasolina e volume total da mistura heterogênea, foi possível observar um volume final de gasolina inferior ao inicial de

cada amostra, mostrando uma boa adsorção da gasolina na presença do resíduo da cerveja. Essa quantificação foi feita através de análise volumétrica, utilizando proveta graduada.

Nas Figuras 23, 24 e 25 estão representados os dados experimentais para uso do bagaço da cerveja em porcentagem de gasolina adsorvida pelo tempo de contato entre o bagaço, água e o contaminante em sistema de leito diferencial.

Na Figura 23, está apresentada a concentração de 5,0% com Volume de gasolina inicial = 0,2L e Volume de água = 3,8L, onde observa-se que apresentaram resultados satisfatórios, onde a biomassa adsorve quase todo o contaminante observando que inicialmente com 15 minutos houve uma adsorção de 97,5% e com 30 minutos quase a total adsorção do contaminante com 99,2%.

Figura 23. Percentual da adsorção da gasolina para concentração de 5,0%

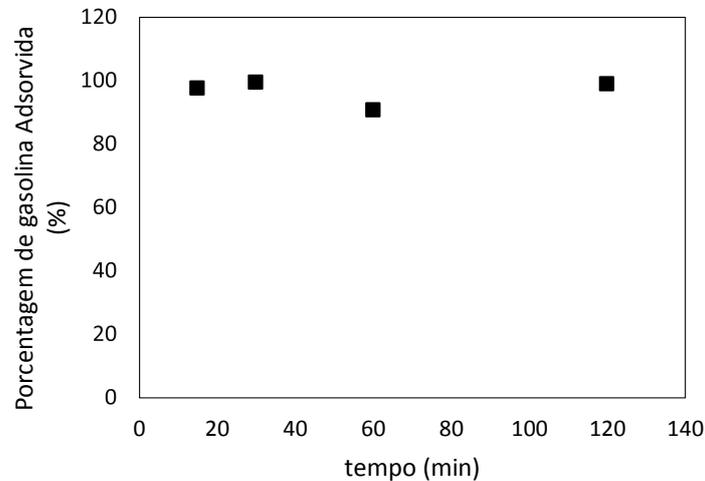


Figura 24, está apresentada a concentração de 7,5% com Volume de gasolina inicial = 0,3L e Volume de água = 3,7L, onde observa-se que apresentaram resultados satisfatórios, onde a biomassa adsorve quase todo o contaminante nos primeiros 15 minutos houve uma adsorção de 72,3% e aos 120 minutos 98,5%.

Figura 24. Percentual da adsorção da gasolina para concentração de 7,5%

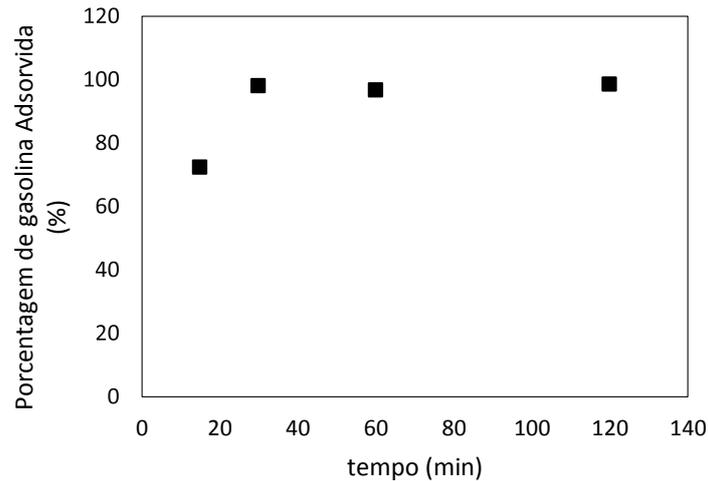
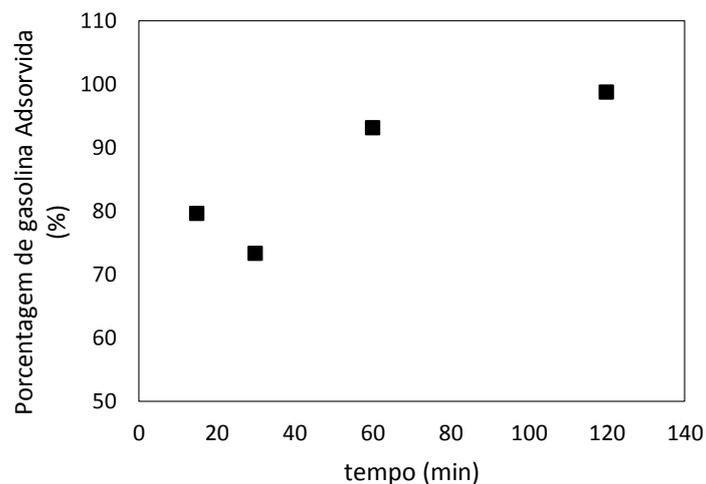


Figura 25, está apresentada a concentração de 10,0% com Volume de gasolina inicial = 0,4L e Volume de água = 3,6L, onde observa-se que apresentaram resultados satisfatórios, onde a biomassa adsorve quase todo o contaminante, onde inicialmente a adsorção é baixa pelo fato da maior quantidade de contaminante, onde em 120 minutos foram 98,75% adsorvidos.

Figura 25. Percentual da adsorção da gasolina para concentração de 10,0%



Em contrapartida, nota-se que há desvios em todas as concentrações analisadas, de quantidades adsorvidas de gasolina e pode ter ocorrido devido à manipulação ou a adsorção de água pelo bagaço de cerveja, que pode ser explicado

pelo fato do bagaço ser bastante rico em celulose e lignina de acordo com Dragone (2007), como apresentado na Tabela 04:

Tabela 04. Composição química do bagaço de cerveja

Celulose	16,78 %
Hemicelulose	28,42 %
Lignina	27,78 %
Proteínas	15,25 %

Fonte. Dragone, 2007.

Corroborando com Morais (2005), nesses tipos de biomassas que relata a presença de lignina, que é organofílica e celulose que é hidrofílica, onde adsorção de água na celulose promove o colapso dos poros, dificultando assim a entrada de outros substratos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para avaliar o poder adsorativo do resíduo gerado no processo de produção da cerveja como biomassa adsorvente em corpos aquáticos contaminados com gasolina, fez-se uso das curvas de equilíbrio, com avaliação da cinética de adsorção e dos modelo matemático de Langmuir.

A cinética de adsorção descreveu que o bagaço adsorveu de forma satisfatória quase 50% do total do seu contaminante.

Na isoterma de equilíbrio obteve-se um resultado satisfatório com capacidade máxima de adsorção de aproximadamente 8,0mL/g, predizendo que o bagaço em estudo apresenta forte interação entre adsorbato e adsorvente, apresentando resultado satisfatório.

No sistema de leito diferencial os resultados para as concentrações estudadas, o bagaço adsorveu quase todo o contaminante, apresentando como um bom adsorvente de composto orgânico.

Assim, sugere-se estudos futuros, mais aprofundados com o bagaço de cerveja, como aplicação de outras variações de concentrações para melhor análise da máxima adsorção.

REFERÊNCIAS

- AQUARONE, E.; ZANCANARO JÚNIOR, O. Vinagres. In: AQUARONE, E., LIMA, U.A., BORZANI, W. (Ed.). **Alimentos e bebidas produzidos por fermentação**. São Paulo: Editora Blucher, 1993.
- AIRES, J.R.; KERNICK, G.; OLIVEIRA, A.C.P., **Some Environmental Produced by Gasoline Spills in Underground Tanks, 3rd International Symposium on Environmental Geochemistry in Tropical Country**, 25 - 29, 1999.
- AKAR, T; ACVI, M.; DUSUNCELI, F. **Barley: Post-harvest operations**, 2004.
- AKSU, Z.; TEZER, S. **Equilibrium and kinetic modelling of biosorption of remazol black B by Rhizopus Arrhizus in a batch system: Effect of temperature**, *Process Biochem.*, 36 (2000) 431-439.
- AMAYA, A.; MEDERO, N.; TANCREDI, N.; SILVA, H.; DEIANA, C. **Activated carbon briquettes from biomass materials**. *J. Biores. Technol.*, v. 98, p.1635-1641, 2007.
- ASCHERI, D. P. R. BURGER, M. C. de M.; MALHEIROS. L. V.; OLIVEIRA, V. N. **Curvas de Secagem e Caracterização de Hidrolisados de Bagaço de Cevada**, 2007.
- AUSTRALIAN GOVERNMENT. **Department of health and Ageing office of the Gene Technology Regulator**. *The Biology of Hordeum vulgare L*, 2008.
- BAMFORTH, C.W. *Food, Fermentation and Micro-organisms*. Davis: Wiley-Blackwell, 2005.
- BHATTY, R. S. Review – **The potential of hull-less berley**. *Cereal Chem*, 1999.
- BORGES, A. M. **Utilização do Resíduo do Resíduo do Processamento de Camarão na Adsorção de Ânions**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.
- BONI, H. T. **Aplicação de Biomassa na Redução do Teor de Óleos e Graxas Presentes em Efluentes Aquosos**. Dissertação de obtenção do título de Mestre da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2012.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 263 de 22 de Setembro de 2005. **Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, amidos, Farinhas e Farelos**. *Diário Oficial da União*. Brasília. 2005.
- BROCHIER, M. A., CARVALHO S. **Aspectos ambientais, produtivos e econômicos do aproveitamento de resíduo úmido de cervejaria na alimentação de cordeiros em sistema de confinamento**. *Ciência Agrotécnica*, v.33, n. 9. 2009, p. 1392-1399.
- BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; DEMING, W. E.; TELLER, E.; *On a Theory of the vander Waals Adsorption of Gases J. Amer. Chem. Soc.*, 62, 1723 (1940).

CABRAL FILHO, S.L.S. **Avaliação do resíduo de cervejaria em dietas de ruminantes através de técnicas nucleares e correlatas.** Piracicaba, 1999. 68p. Dissertação (Mestrado) – Univesidade de São Paulo.

CARVALHO, E. da S. **Reuso do Mesocarpo de Coco na Remoção de Contaminantes Derivados de Petróleo Presentes em Corpos D'água, Utilizando Sistema de Adsorção em Leito Diferencial.** Trabalho de Conclusão em Química Industrial, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

CEREDA, M. P. **Manejo, uso e tratamento da industrialização da mandioca.** São Paulo: Fundação Cargill, 2000.

CERVBRASIL, Associação Brasileira da Indústria da Cerveja *DBR INTERATIVA*, 2015. Disponível em http://www.cervbrasil.org.br/arquivos/ANUARIO_CB_2015_WEB.pdf

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de trufa e sua utilização na remoção de poluentes.** Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

COELHO, C. M.; FIGUEIREDO, J. M. **A prevenção dos Resíduos Industriais. Ponto da situação.** Seminário APEMETA: Gestão de resíduos industriais, 2005.
CORDEIRO, L. G.; **Caracterização E Viabilidade Econômica Do Bagaço De Malte Oriundo De Cervejarias Para Fins Energéticos.** João Pessoa, 2011.

CORSEUIL, H. X., ALVAREZ, P.J.J. **Natural bioremediation of aquifer material contaminated with gasoline-ethanol mixtures,** Rev. Microbiol., v.27, n.1, p.19-26, 1996.

COSSICH, E. S.; SILVA, E. A.; TAVARES, C. R. G.; CARDOZO FILHO, L.; RAVAGNANI, T. M. K. **Modelagem da Biossorção de Cromo pela Alga Marinha Sargassum sp. em Coluna de Leito Fixo.** III Encontro Brasileiro de Adsorção – III EBA, Recife - PE, pp. 231-240, 2002.

COSTA, A. D.; MATTOS, E. S.; LIMA, C. A. R.; VIEIRA, A. A.; MATTOS, M. A.; FERREIRA, R. A. D.; SARINHO, V. C.; RAMALHO, H. F. **Composição e energia digestível do bagaço de malte em suínos machos nas fases de crescimento e terminação.** Jornada de iniciação científica, 2006.

DRAGONE, S. I. M.; **Aproveitamento integral de subproduto da indústria cervejeira em processos químicos e biotecnológicos.** Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial. Área de Concentração: Conversão de Biomassa) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, 2007.

FERNANDES, M. & CORSEUIL, H.X., **Contaminação de águas subterrâneas por derramamento de gasolina: Efeito cossolvência.** In 3º Simpósio ÍtaloBrasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiente, Gramado, junho, 1996.

- FINOTTI, A.R. **Estudos de fase livre em contaminações subsuperficiais com gasolina e etanol**. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2003.
- FINOTTI, A.R.; Teixeira, C. E.; Fedrizzi, F.; Calgliari, J.; Filho, I. do N. **Avaliação da influência do etanol sobre o grau de volatilização BTEX em solos impactados por derrames de gasolina/etanol**. Revista Nova Técnica, Engenharia Sanitária e Ambiental, v.14 n.4, Caxias do Sul, 2009.
- GIORDANO, S. R. **Gestão ambiental no sistema agroindustrial**. 2000.
- GOMIDE, R. **Operações Unitárias: Operações de transferência de massa**. Vol. 4, 1988.
- GONÇALVES, G. C.; P. K. NAKAMURA ; M. T. VEIT. **Produção E Caracterização De Carvão Ativado Obtido A Partir Dos Resíduos Da Indústria Cervejeira**. 2014.
- GUIMARÃES, R. R. et al. **Avaliação nutricional da farinha da entrecasca de melancia (*Citrullus vulgaris* Sobral) em animais**. In: simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos, 2007.
- HO, y. s.; mckay, g. m. **Pseudo-second order model for sorption process, process Biochem**. 1999.
- HONORIO, J. F.; **Emprego da Casca de Soja como Adsorvente na Remoção de Corantes Reativos Têxteis**. Dissertação de defesa para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química. Toledo, PR, 2013.
- KELLER, J. U.; STAUDT, R.; SIEGEN, U.; GERMANY; **Gas Adsorption Equilibria. Experimental Methods and Adsorptive Isotherms**. 2005.
- KHAMBHATY, Y.; MODY, K.; BASHA, S.; JHA, B. **Kinetics, equilibrium and thermodynamic studies on biosorption of hexavalent chromium by dead fungal biomass of marine *Aspergillus niger***. Chemical Engineering Journal, v. 145, p. 489–495, 2009.
- LIMA, L. M. R. **Estudo da Ampliação de Escala na Adsorção de Contaminantes Orgânicos Presentes em Efluentes Aquosos Mediante Leito Fixo de Biomassa**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, 2010.
- MARIANO, J.B. Impactos Ambientais do Refino de Petróleo. **Dissertação de Mestrado**. Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
- MATTOS, C. **Desenvolvimento De Um Pão Fonte De Fibras A Partir Do Bagaço De Malte**. Porto Alegre, 2010.
- MOHANA, M.; PITTMAN, J. C. U. **Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from water**. Journal of Hazardous Materials, v. 137, p.762–811, 2006.

- MORAIS, V. L. M. **Purificação de Efluentes Contaminados com Hidrocarbonetos por Adsorção em Leito Fixo de Biomassa**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, p. 104, 2005.
- MOREIRA, R. F. P.; HUMBERTO, J. J.; SOARES, J. L. **Isotermas de Adsorção de Corantes sobre Carvão Ativado**. II Encontro Brasileiro de Adsorção – II EBA, Florianópolis – Santa Catarina, pp. 85-91, 2000.
- MORENO, F. N.; CORSEUIL, H. X.; **Fitorremediação de Aquíferos Contaminados por Gasolina**. Florianópolis – SC, 2001.
- MOURA, M. C. P. A. **Otimização do processo de recuperação do cromo de efluentes de curtumes por micro emulsões no extrator Morris**, 1997.
- MUSSATTO, S.I.; DRAGONE, G. ROBERTO, I.C. **Brewers' spent grain: generation, Characteristics and potencias aplcations**. *Journal of Central Scienc*, 2006.
- NATIONAL RESEARCH COUNCI., 1993. **In Situ Bioremediation: When does it work?** National Academic Press, Washington, D. C. 250 p.
- NÓBREGA, G. A. S. **Determinação do teor de umidade do gás natural usando um dispositivo com adsorção**, 2001.
- NUNES, A. dos S. **Produção de Adsorventes a partir da Casca de Amendoim Visando a Aplicação na Remoção de Corantes Orgânicos**. Dissertação de obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga, 2014.
- OECD. **Consensus document on compositional considerations for new varieties of barley (Hordeum vulgare L.): Key foos and feed nutrients and anti-nutrients**. Report n° 12, Environment Directorate, OECD, 2004.
- OLIVEIRA, E. R. **Utilização de resíduos agroindustriais na alimentação de ruminantes**, 2003.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. **Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para pêra bartlett (Pyrus sp.) com e sem desidratação osmótica**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 2001.
- PORTELA, J. V. F. **Estudo dos aspectos tecnológicos e de qualidade envolvidos no aproveitamento da casca e da polpa da melancia (*Citrullus lanatus Schrad*)**. 2009.
- RIBEIRO, E.P.; SERAVALLI, E.A.G. *Química de Alimentos*. 2ª Edição. Ed. Edgard Blücher LTDA, 2007. 184p.
- POULSEN, M.; LEMON, L.; BARKER, J. F. **Dissolution of Monoaromatic Hydrocarbons into Groundwater from Gasoline – Oxygenate mixtures**. *Environ. Sci. Technol.*, 1992.

RAFATULLAH, M.; SULAIMAN, O.; HASHIM, R.; AHMAD, A. **Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review.** *J. Hazardous Materials*, v. 177, p.70-80, 2010.

REINOLD, M. R. **Manual prático de cervejaria.** São Paulo: Aden Editora e Comunicações Ltda, 1997.

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

RUTHVEN, D. M. **Adsorption – Theory & Practice.** Fortaleza - CE, 1996.

SANTANA, A. F.; OLIVEIRA, L. F. **Aproveitamento da casca de melancia (*Curcubita citrullus*, Shrad) na produção artesanal de doces alternativos.** *Alim. Nutr.*, Araraquara, v. 16, n.4, p. 363-368, out./dez. 2005.

SANTOS, R.F.; MONTENEGRO, M.A.P.; LUZ L.B.; COURSEUIL, H.X. **Influência do etanol na biodegradação do benzeno em aquíferos contaminados com derramamentos de gasolina.** In: 3º Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Gramado, junho, 1996.

SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. M. **Cervejas e Refrigerantes.** CETESB, 2005.

SANTOS, E. G. **Estudo da Adsorção de Contaminantes Orgânicos Provenientes da Água de Extração do Petróleo, em Coluna de Leito Fixo, Utilizando Biomassas como Adsorventes.** Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, 2005.

SCHEER, A. P.; MEIEN, O. F.; VASCO DE TOLEDO, E. C.; MACIEL, F. R.; WOLF, M. M. **A Adsorção de Misturas Líquidas e Seu Tratamento por Métodos Numéricos.** III Encontro Brasileiro de Adsorção - III EBA, Recife - PE, 2002.

SCARLATELLI, F. P. O uso de resíduo de cervejaria (cevada) na alimentação de vacas leiteiras. *Gado holandês.* São Paulo. V. 60, nº 427. p.p 26 – 28, 1994.

SEGUNDO, P. de O. **Avaliação da Viabilidade do Sisal como Sorvente de Óleo.** Natal, 2011.

SILVA, R. L. B. **Contaminação de Poços Rasos no Bairro Brisamar, Ítaguai, Rj, por Derramamento de Gasolina: Concentração de Btex e Avaliação da Qualidade da Água Consumida pela População.** Tese para título de Doutorado em Ciências na área de Saúde Pública, Escola Nacional de Saúde. Pública da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2002.

SILVA, A. B. S.; **Estudo De Adsorção De Íons Cobre(II) Em Carboximetilquitosana: Cinética De Adsorção, Isothermas E Parâmetros Termodinâmicos.** Trabalho de conclusão de graduação do curso de Química Industrial da Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2014.

SHAWABKEH, R. A.; TUTUNJI, M.F., **Experimental study and modeling of basic dye sorption by diatomaceous.** *Clay. Appl. ClaySci.*, 24 (2003) 111-120.

THIEM, S. M.; KRUMME, M. L.; SMITH, L. R.; TIEDJE, J. M. Use of **Molecular Techniques to evaluate the Survival of a Microorganism Injected into an Aquifer**. Appl. Environ. Microbiol., 1994.

SOUSA, R. S.; LIMA, L. M. R.; SILVA, V. L. M. M., **Adsorção de óleo diesel em sistema de leito diferencial com biomassa bagaço de cana-de-açúcar**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.6.2 (2011) 123-126. ISSN 1809-8797.

TOWNSLEY, P. M. Preparation of commercial products from brewer's waste grain and trub. MBAA Technical Quarterly, v. 16, p. 130-134, 1979.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Environmental management in the brewing industry**. UNEP Technical Report Series n° 33. UNEP. Paris, 1996.

VIDE, J. J. N. Manuales Basicos - **Química Física Aplicada**. Editora Gráficas Rey, S. 3 ed., p. 73-80. Barcelona, 2011.

VIEIRA, A. A. e BRAZ, J. M. **Bagaço de cevada na alimentação animal**. Revista eletrônica nutritime, 2009.

VON BOTHMER, R. **The wild species of Hordeum: Relationships and potential use for improvement of cultivated barley. Chapter 1**. In: PR Shewry, ed. Barley: Genetics, Biochemistry, Molecular Biology and Biotechnology. C. A. B. International, Wallingford, Oxon. 1982.

YALÇIN, E.; ÇELİK, S.; AKAR, T.; SAYIM, I.; KOKSEL, H. **Effectis of genotype and environment on b-glucan and dietary fiber contents of hull-less barley grown in Turkey**. Food Chemistry, 2007.

YANG, X.; AL-DURI, B. **Kinetic modeling of liquid-phase adsorption of reactive dyes on activated carbon**, J. Colloid Interface Sci., 287 (2005) 25-34.