



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
FACULDADE DE QUÍMICA

BRENDA FORTUNATO DA SILVA

**EMPREGO DE BIOMASSAS RESIDUAIS NA REMOÇÃO DE POLUENTES
METÁLICOS: ANÁLISE DE ARTIGOS CIENTÍFICOS (2010-2016)**

BELÉM-PA
2018

BRENDA FORTUNATO DA SILVA

**EMPREGO DE BIOMASSAS RESIDUAIS NA REMOÇÃO DE POLUENTES
METÁLICOS: ANÁLISE DE ARTIGOS CIENTÍFICOS (2010-2016)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para a obtenção do grau de Bacharel em Química Industrial do Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Faculdade de Química, Universidade Federal do Pará.

Orientadora: Prof^a Dr^a Marta Helena Tavares Pinheiro

BELÉM-PA
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S586e Silva, Brenda Fortunato da
Emprego de Biomassas Residuais na Remoção de Poluentes Metálicos : Análise de Artigos Científicos (2010-2016) / Brenda Fortunato da Silva. - 2018.
44 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Química, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
Orientação: Profa. Dra. Marta Helena Tavares Pinheiro
1. Adsorção. 2. Biomassas Resisuais. 3. Poluentes Metálicos. I. Pinheiro, Marta Helena Tavares, *orient.* II. Título

CDD 541.335

BRENDA FORTUNATO DA SILVA

**EMPREGO DE BIOMASSAS RESIDUAIS NA REMOÇÃO DE POLUENTES
METÁLICOS: ANÁLISE DE ARTIGOS CIENTÍFICOS (2010-2016)**

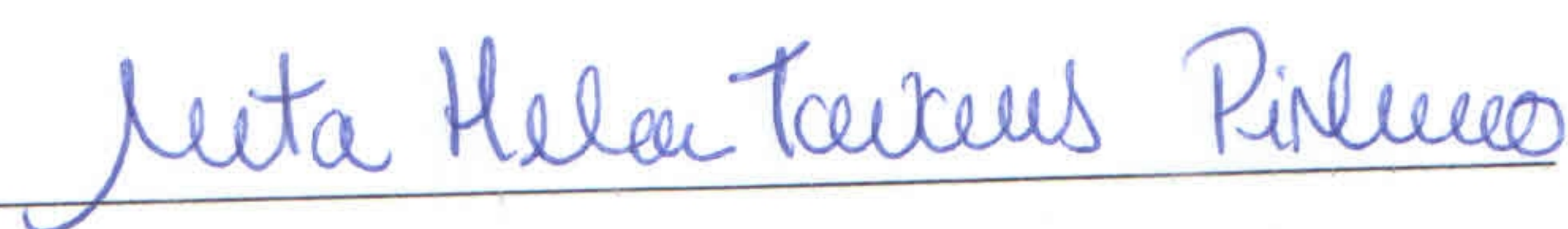
Trabalho de conclusão de curso apresentado para a obtenção do grau de Bacharel em Química Industrial do Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Faculdade de Química, Universidade Federal do Pará.

Orientadora Prof^ª. Dra. Marta Helena Tavares Pinheiro.

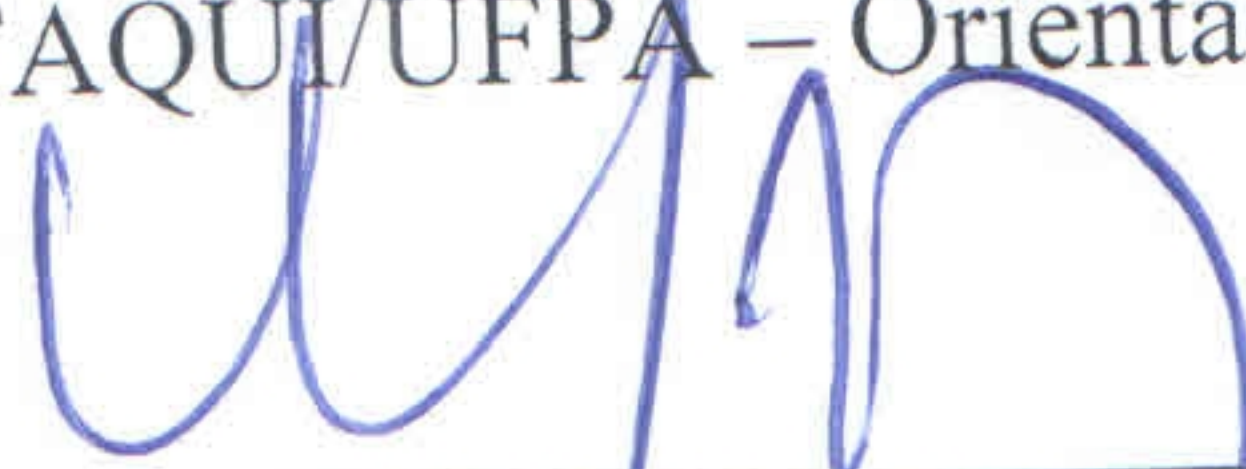
Data da Apresentação: 28 / 02 / 2018.

Conceito: EXCELENTE

Banca Examinadora



Prof^ª Dr^a Marta Helena Tavares Pinheiro
ICEN/FAQUI/UFPA – Orientadora



Prof^º. MSc. Williams Jorge Corrêa Pinheiro
ICSA/FABIB/UFPA – Membro

AGRADECIMENTOS

A Deus por sua infinita bondade de proporcionar-me condições de realizar esta caminhada para que eu pudesse trilhar mais esta etapa da minha vida.

A professora Marta H. Tavares Pinheiro, por toda a paciência, compreensão e empenho em me ajudar durante o período de estágio e desenvolvimento deste trabalho. Minha imensa gratidão.

Aos meus amigos do grupo “Juntos até o fim”, Brenda S., Érika, Layana, Marillia, Pamella, Rafael e Wilson que estiveram comigo nos momentos de alegria e principalmente nos momentos difíceis ao longo desta graduação, tornando esta caminhada mais leve.

A todos os professores pelos ensinamentos, e aos funcionários da Faculdade de Química, pela solicitude sempre que precisei.

Aos meus familiares e amigos, por todo apoio ao longo dos anos.

Ao meu companheiro Edilson, por toda paciência, amizade e amor dedicados em todos os momentos.

Ao meu filho Antônio Arjuna, que muito tem me ensinado sobre o amor e por me ceder o tempo que seria dedicado a ele.

À Universidade Federal do Pará por me proporcionar a experiência da Graduação.

A todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para minha formação.

RESUMO

Neste trabalho, apresentamos resultados da análise de artigos publicados em dois periódicos entre os anos de 2010 e 2016, um nacional e um internacional da área de Química. Os seguintes periódicos fizeram parte da análise: Química Nova e Journal of the Brazilian Chemical Society. Dos 3.930 artigos que formam o acervo consultado, no período pré-determinado, foram localizados apenas 11 artigos relacionados ao tema: emprego de biomassas residuais na remoção de poluentes metálicos em meio aquoso. A seleção desses artigos foi realizada mediante a leitura dos títulos, resumos e das palavras-chave e, quando necessário, do artigo completo. Após o processo de seleção, foi possível evidenciar que o desenvolvimento de pesquisas e, conseqüentemente, a elaboração de artigos relativos ao foco estudado concentraram-se no periódico Química Nova, tendo sido publicado 73 % dos artigos analisados. Pode-se concluir que os artigos publicados nos periódicos selecionados, relacionados a temática estudada representam um percentual abaixo de 1 % do total acessado, e que as biomassas estudadas se enquadram na categoria de resíduos agroindustriais, as quais representam uma fonte alternativa para remoção de espécies metálicas em efluentes aquosos, podendo ser empregados como material alternativo de baixo custo e de elevada disponibilidade e economicamente viáveis e contribuindo para minimização de impactos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção, Biomassas Residuais, Poluentes Metálicos.

LISTA DE FIGURAS

	P.
Figura 1. Esquema representativo adsorbato, absorvente e adsortivo.	17
Figura 2. Isotermas de adsorção.	20
Figura 3. Biomassas Residuais como biossorvente.	32
Figura 4. Formas em que as biomassas são estudadas.	33
Figura 5. Técnicas de caracterização usadas nos estudos.	35
Figura 6. Modelos de isotermas empregados.	37
Figura 7. Modelos cinéticos utilizados.	38

LISTA DE TABELAS

	P.
Tabela 1. Limites máximos aceitáveis de alguns metais presentes em efluentes.....	14
Tabela 2. Processos utilizados no tratamento de efluentes: vantagens e desvantagens.	15
Tabela 3. Utilização de materiais alternativos para remoção de íons metálicos.	16
Tabela 4. Comparação entre a adsorção química e adsorção física.....	19
Tabela 5. Dados quantitativos dos periódicos selecionados.....	30
Tabela 6. Relação dos artigos selecionados e analisados.	31
Tabela 7. Relação dos artigos e as respectivas técnicas de caracterização usadas.	35
Tabela 8. Parâmetros que influenciam o processo de adsorção de íons metálicos.....	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 METAIS PESADOS	13
3.2 TRATAMENTOS CONVENCIONAIS	15
3.3 BISSORVENTES	15
3.4 PROCESSO DE ADSORÇÃO.....	17
3.4.1 Tipos de Adsorção	19
3.4.2 Isotermas de Adsorção	20
3.4.2.1 Modelo de Isoterma de Langmuir	22
3.4.2.2 Modelo de isoterma de Freundlich	23
3.5 CINÉTICA DE ADSORÇÃO	24
3.5.1 Modelo de pseudo-primeira ordem	24
3.5.2 Modelo de pseudo-segunda ordem	25
3.6 ENERGIA LIVRE DE GIBBS	26
3.7 DESSORÇÃO	26
3.8 FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE ADSORÇÃO	27
3.8.1 Influência do pH	27
3.8.2 Potencial de carga zero (PCZ)	27
3.8.3 Propriedades do Adsorvente	28
4. METODOLOGIA	29
4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	29
4.2 SELEÇÃO DOS ARTIGOS	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 BIOMASSA RESIDUAL.....	32
5.1.1 Preparo das biomassas	33
5.2 POLUENTES METÁLICOS	34
5.3 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO	34

5.4 MODELOS DE ISOTERMAS E CINÉTICA DE ADSORÇÃO	36
5.4.1 Modelos de Isotermas	36
5.4.2 Modelos Cinéticos	38
5.5 PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE ADSORÇÃO	39
6. CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

Atualmente há uma preocupação com as questões ambientais no planeta, a preservação do meio ambiente e seus recursos naturais ganharam maior notoriedade nas últimas décadas. As atividades industriais são responsáveis pela geração de grandes volumes de resíduos que apresentam potencial risco à saúde humana e ao ambiente (VAGHETTI, 2009). Efluentes líquidos, advindos destas atividades podem apresentar contaminação com metais pesados, os quais causam grande impacto ambiental nas águas e nos solos, além de trazerem riscos a saúde da população que vive entorno da região, visto que tais metais têm caráter bioacumulativos e possuem alta toxicidade (CASARA, 2003).

Devido às intensas atividades industriais que geram rejeitos de origem orgânica ou inorgânica, incluindo os poluentes metálicos, se faz necessário adequações por parte das indústrias, de forma que minimize os impactos ambientais causados por lançamentos de efluentes. Uma forma de minimizar essa problemática para descontaminar tais efluentes, é utilizando métodos, já conhecidos, como processos que envolvam troca iônica, adsorção por carvão ativado, separação por membrana, processos biológicos, eletroquímicos e a neutralização/precipitação química (GAVALLAH E KILBERTUS, 1998 *apud* MOREIRA, 2010). No entanto, essas tecnologias apresentam limitações, como alto custo operacional, remoção incompleta dos íons, geração de resíduos sólidos o que acarretaria em uma etapa extra de tratamento.

Diante desse cenário, cientistas de todo o mundo vêm pesquisando materiais alternativos com potencial efeito adsorvente, que possam promover a purificação de soluções aquosas contaminadas. Assim a biossorção surge como uma alternativa atrativa aos tratamentos convencionais, visto que utiliza uma biomassa como adsorvente.

Perante a isso, grupos de pesquisa têm realizado cada vez mais pesquisas que adentrem novas fontes alternativas de materiais adsorventes, por se tratar de uma tecnologia econômica e ambientalmente favorável. Em vista disso, biomassas residuais advindas de atividades agrícolas, pois, estas geram muitos resíduos agroindustriais, o que acarretaria em impacto ambiental devido seu descarte incorreto, além de ser uma opção de baixo custo e com certa disponibilidade. Portanto, com base no conhecimento vindouro de outras pesquisas a aplicação de biossorvente em processos de adsorção tem

se mostrado eficiente, apresentando resultados acima de 50% na remoção de metais, na maioria dos estudos realizados (FLECK et al., 2013).

Neste sentido, Lucena et al. (2012) afirmam que a utilização destes adsorventes, além de oferecer uma opção de baixo custo para processos de purificação de efluentes, oferece também uma alternativa de aproveitamento destes materiais, reduzindo o impacto ambiental de seu descarte. Mesmo assim, ainda, encontra-se na literatura muitos trabalhos em que são recomendados estudos adicionais para otimização do processo de adsorção (FLECK et al., 2013).

Portanto, com base nesse contexto, grupos de pesquisas em Universidades, têm realizado estudos na área do emprego da utilização de biomassas residuais como agente adsorvente de poluentes metálicos aquosos, através de processos de adsorção. A utilização de biomassas é uma forma alternativa para adsorção de metais em meio aquoso para o processo físico-químico tradicional, já que há estudos que comprovam potencial eficiência. Além da grande disponibilidade dessas biomassas, pois são encontradas facilmente como forma de folhas secas, bagaços de frutas, sementes, caroços, etc. Isso configura certo benefício ao meio ambiente, visto que essas biomassas residuais passam a ser reaproveitadas, diminuindo efetivamente o impacto ambiental causado pela má disposição de tais resíduos.

Perante a proposição, é apresentada nesta pesquisa uma análise geral da produção científica brasileira, entorno da área de pesquisa, tendo como foco a utilização de biomassas residuais no processo de adsorção, a partir de levantamento de busca em banco de dados em portais de periódicos nacionais, na área de Química. Nosso objetivo esteve voltado em evidenciar suas particularidades, desempenhos ou lacunas que possam contribuir para o melhor desempenho de futuras pesquisas na área. Foram selecionados os artigos a partir da leitura dos títulos e resumos e, quando necessário, leitura do artigo completo. O levantamento contemplou os últimos 7 anos (2010 – 2016) de publicações do tema proposto em diferentes plataformas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar análise em artigos científicos que descrevem a utilização de biomassas residuais como material adsorvente na remoção de poluentes metálicos em meio aquoso.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar revisão bibliográfica em artigos científicos na temática proposta compreendendo o período de 2010 a 2016;
- Verificar qual o tipo de biomassas mais empregadas em processos de adsorção;
- Analisar as principais variáveis que afetam o equilíbrio de um processo de adsorção.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

A contaminação da água e do solo se dá através da presença de substâncias que em determinadas concentrações são nocivas ao ser humano e ao meio ambiente. De acordo com MOREIRA et al. (2014) a contaminação da água com metais tóxicos, dentre outros poluentes, desencadeou uma necessidade do desenvolvimento de tecnologias para remoção desses contaminantes, visto que essas substâncias, encontradas em quantidades traço, oferecem resistência aos métodos tradicionais físico-químicos. O autor também afirma que a adsorção é um dos processos mais eficientes de tratamento de águas e águas residuárias, sendo empregadas nas indústrias a fim de reduzir dos seus efluentes os níveis de compostos tóxicos ao meio ambiente.

Por esta razão indústrias devem tratar seus resíduos antes de serem lançados em um corpo receptor como forma de efluente. Tais tratamentos devem seguir a legislação vigente, adequando-se às condições e padrões de emissão para o controle de lançamento do efluente gerado pela atividade industrial.

3.1 METAIS PESADOS

Embora o termo “metais pesados” não seja mais indicado pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (*International Union of Pure and Applied Chemistry - IUPAC*), essa terminologia é utilizada para caracterizar um grupo de metais e metaloides que estão associados à contaminação e potencialidade tóxica ou ecotóxica. Tal definição é aplicada a um grupo de elementos que possuem massa específica maior que $5,00 \text{ g cm}^{-3}$ ou que tenham número atômico maior do que 20,00, como mercúrio, cádmio e chumbo, por exemplo, uma vez que são muito reativos e possuem caráter bioacumulativo, de tal modo que o organismo humano não consegue eliminá-los de forma rápida e eficaz (GONÇALVES JUNIOR et al., 2000 *apud* GONÇALVES JUNIOR et al., 2009).

Segundo Seolatto et al. (2009), uma classe específica de metais pesados que apresentam periculosidade são Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, Hg, Ni e Fe, visto que estes estão intrinsecamente ligados a alterações degenerativas do sistema nervoso central, uma vez que não são metabolizados pelos organismos, produzindo, assim, o efeito de bioacumulação. Entretanto o homem necessita de pequenas quantidades diárias de metais presentes em sua alimentação, tais como V, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn,

As... Esses metais são essenciais para inúmeros processos metabólicos vitais a nível celular no organismo humano, de modo que sua carência pode acarretar distúrbios variados (KOTZ et al., 2014).

A presença de metais tóxicos em corpos d'água pode acarretar uma série de doenças ao ser humano, como câncer de pulmão, nariz e ossos, desconfortos e fraquezas, dores de cabeça, tonturas e problemas respiratórios, danos cerebrais e renais, assim como, doenças do fígado e lesões nos ossos (RAHMANI et al., 2010; REPO et al., 2011 *apud* FLECK et al., 2013).

A contaminação do meio ambiente por metais pesados se dá principalmente por atividades industriais como indústria têxtil, galvanoplastia, mineração, fábricas de papel, indústrias petroquímicas, curtumes, fábricas de reagentes inorgânicos e fertilizantes, entre outras, que geram grandes volumes de efluentes, os quais necessitam de tratamento adequado para remoção dos íons metálicos (SEOLATTO et al., 2009). Esses metais são considerados os principais poluentes do meio ambiente e possuem caráter potencial citotóxicos, carcinogênicos e mutagênicos (MOREIRA, 2007).

A Tabela 1 mostra alguns metais pesados e os limites aceitáveis segundo a RESOLUÇÃO n°430, de 13 de maio de 2011. A qual dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

Tabela 1. Limites máximos aceitáveis de alguns metais presentes em efluentes.

ELEMENTO	LIMITE MÁXIMO DETECTÁVEL
Arsênio total	0,5 mg.L ⁻¹ As
Cádmio total	0,2 mg.L ⁻¹ Cd
Chumbo total	0,5 mg.L ⁻¹ Pb
Cobre dissolvido	1,0 mg.L ⁻¹ Cu
Cromo (VI)	0,1 mg.L ⁻¹ Cr ⁺⁶
Cromo (III)	1,0 mg.L ⁻¹ Cr ⁺³
Mercúrio total	0,01 mg.L ⁻¹ Hg
Níquel total	2,0 mg.L ⁻¹ Ni
Prata total	0,1 mg.L ⁻¹ Ag
Zinco total	5,0 mg.L ⁻¹ Zn

Fonte: CONAMA (2011).

3.2 TRATAMENTOS CONVENCIONAIS

As técnicas convencionais utilizadas para remoção de íons metálicos em efluentes envolvem processos físico-químicos. Tais tratamentos tradicionais mostram-se impróprias para descontaminação de grandes volumes de efluentes contendo metais pesados em baixas concentrações, devido à baixa eficiência operacional e aos custos resultantes deste processo (DA SILVA et al., 2014). Tanto para Bai e Abraham (2003) como para Petroni et al. (2000) citado por Moreira (2010, p.16) afirmam que certos tratamentos convencionais, como precipitação química e filtração, oxidação fotocatalítica, troca iônica, osmose reversa dentre outros, apresentam algumas desvantagens, pois não conseguem remover efetivamente os íons metálicos, gerando ainda substâncias tóxicas que necessitam de um novo processo para eliminação dos íons, tornando o tratamento custoso, sendo assim, menos eficiente. As principais técnicas de tratamento convencionais estão sumarizadas na Tabela 2.

Tabela 2. Processos utilizados no tratamento de efluentes: vantagens e desvantagens.

Processo	Vantagens	Desvantagens
Precipitação química e Filtração	- Simples - Baixo custo	- Para concentrações altas. - Separação difícil. - Não muito efetiva. - Produz lamas.
Oxidação e Redução química	- Mineralização	- Requer agentes químicos
Osmose reversa	- Efluente puro (para reciclagem) - Efetivo	- Altas pressões - Custo elevado
Troca iônica	- Possível recuperação do metal	- Sensível a presença de partículas - Resinas de custo elevado
Adsorção	- Sorventes convencionais (carvão ativado)	- Não efetivo para alguns metais
Tratamento eletroquímico	- Possibilita a recuperação dos metais	- Para altas concentrações - Custo elevado
Evaporação	- Obtenção do efluente puro	- Requer fonte de energia - Custo elevado - Produz lamas

Fonte: adaptado de Volesky (2001).

3.3 BIODSORVENTES

Materiais como resíduos industriais, agrícolas, florestais ou de origem urbana têm despertado grande interesse no meio científico e vêm sendo estudados por vários

autores. Diversos trabalhos têm mostrado o estudo com materiais adsorventes para cátions e ânions destacando-se: quitosana, argilas, zeólitas, levedura, bactérias, carvão ativado, bagaço de cana-de-açúcar, resíduos agroindustriais e compósitos (PINO, 2005).

Pino (2005) também elucidada que biomassa é qualquer matéria orgânica seja de origem vegetal, animal ou microbiana. A incluir materiais advindos de transformações naturais ou artificiais, os quais podem ser classificados como biomassa natural, biomassa produzida e biomassa residual.

Desta forma, os adsorventes naturais ou biossorventes constituem uma excelente alternativa como método de remediação química para remoção de metais poluentes em meio aquoso. Portanto as tecnologias baseadas na utilização deste tipo de material oferecem uma boa alternativa frente às tecnologias convencionais de recuperação de metais.

Benvindo da Luz et al. (2004) apresentaram os primeiros estudos acerca do uso de materiais alternativos utilizados em remoção de íons metálicos (Tabela 3), os autores destacam que esses materiais devem apresentar características adequadas para sua implementação em escala industrial, como possuir capacidades elevadas de sorção e serem abundantes e baratos.

Tabela 3. Utilização de materiais alternativos para remoção de íons metálicos.

Materiais	Metais removido	Autores
Bactérias	Zn, Cu, Ni, Cd, Pb	Cotoras et al., 1993; Mattuska e Straube., 1993.
Algas	Ag, Pb, Zn, Cd, Hg	Brierley, 1990; Costa e Leite, 1990; Greene e Darnall, 1990
Macrófitos aquáticos	Cr, Cu, Pb, Co, Zn, Ni, Cd	Carvalho, 1992; Hafez et al., 1992; Schneider, 1995.
Subprodutos industriais	Cu, Pb, Zn, Hg	Ferrarezi et al., 1993; Goy e Gaballah, 1994; Gaballah e Kilbertus, 1995; Schneider, 1995

Fonte: Adaptado e modificado de Benvindo da Luz et al. (2004)

Para Benvindo da Luz et al. (2004) um biossorvente pode ser considerado de baixo custo quando requer pouco processamento, é abundante na natureza, ou consiste em um subproduto industrial. Segundo as primeiras pesquisas realizadas diversos

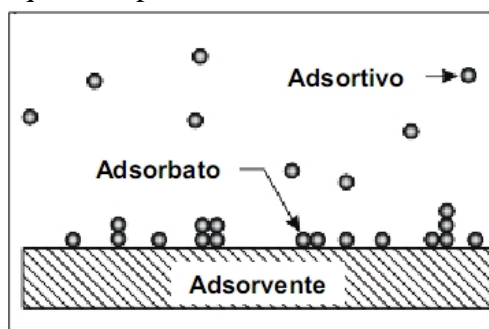
materiais de origem biológica podem ser utilizados na remoção de metais, baseado na sua capacidade de adsorção, até mesmo em baixas concentrações do íon estudado. O processo se dá de forma passiva por efeito de interações físico-químicas entre os íons e os grupos funcionais presentes na superfície da biomassa (VOLESKY, 2004).

A biossorção é um método rápido, reversível e econômico ao contrário de métodos tradicionais (precipitação química e osmose inversa) para remoção de metais pesados de efluentes (TUNALI et al., 2005 *apud* SEOLATTO et al., 2009). No processo de biossorção, os íons metálicos interagem por meio físico-químico com os grupos funcionais presentes na superfície da biomassa. A biossorção de íons metálicos por biomassas residuais é afetada por vários fatores, como pH, concentração de metais, temperatura, área superficial do adsorvente dentre outros, de tal forma que esses parâmetros devem ser acompanhados durante o processo para que o método seja eficiente (PINO, 2005).

3.4 PROCESSO DE ADSORÇÃO

Em razão de sua importância tecnológica, a adsorção tem ganhado destaque desde o início do século, devido sua eficiência comprovada em pesquisas científicas, como ferramenta utilizada em diversos setores. Ela pode ser entendida como um fenômeno de transferência de massa, onde materiais sólidos concentram em sua superfície diferentes substâncias presentes em fluidos, em meios líquidos ou gasosos, permitindo assim a separação dos componentes desses fluidos (NASCIMENTO et al., 2014). Neste processo o material sólido é denominado adsorvente, enquanto, a solução que é adsorvida é o adsorbato, há também a designação para o solvente no qual o adsorbato se encontra dissolvido que é chamada de adsortivo (COLOMBO, 2013), conforme o esquema da Figura 1.

Figura 1. Esquema representativo adsorbato, adsorvente e adsortivo.



Fonte: Adaptado de Butt et al. (2003).

A adsorção ocorre quando a molécula de um soluto, presente na solução, é acumulada em uma superfície de um material sólido, devido às forças superficiais presentes. O processo de sorção envolve uma fase sólida (sorvente) e a fase líquida (solvente) que contem as espécies dissolvidas que serão sorvidas (sorvato, ex. íons do metal). O processo inverso à adsorção é a dessorção (PINO, 2005).

Segundo Moreira (2008) citado por Nascimento et al. (2014, p.14), “A adsorção é um dos processos mais eficientes de tratamento de águas e águas residuárias, sendo empregadas nas indústrias a fim de reduzir dos seus efluentes os níveis de compostos tóxicos ao meio ambiente”. Nascimento et al. (2014) também afirmam que a adsorção tornou-se, então, um dos métodos mais populares para este fim, ganhando importância como um processo de separação e purificação, nas últimas décadas.

O fenômeno superficial de adsorção atua em função de diversas forças, tais como, forças hidrofóbicas, atração elétrica entre o soluto e o adsorvente, forças de van der Waals ou simplesmente produto de uma reação química entre o soluto e o sorvente (Weber, 1972 *apud* Benvindo da Luz et al., 2004).

De acordo com Benvindo da Luz (2004, p.654):

A eficiência de adsorção de diversos compostos em carvões ativados geralmente é estudada com auxílio das isotermas de adsorção de Freundlich e Langmuir. A capacidade de adsorção teórica do adsorvente em relação a um contaminante em particular pode ser determinada pelo cálculo da isoterma de adsorção. A quantidade de adsorbato que pode ser adsorvida é função das características de ambas, da concentração de adsorbato e da temperatura. Geralmente, a quantidade de material adsorvido é determinada em função da concentração a uma temperatura constante, e a função resultante é chamada isoterma de adsorção. Equações que são usadas para descrever as isotermas com base nos dados experimentais foram desenvolvidas por Freundlich, Langmuir e por Brunauer, Emmet, e Teller. Dentre elas, a isoterma de Freundlich é mais representativa do fenômeno de adsorção do carvão ativado usado em tratamento de águas e efluentes.

Podemos observar, de acordo com a afirmativa do autor que o material adsorvido, neste caso, íons metálicos, é avaliado em função da concentração a uma temperatura constante. Ele conclui que os modelos clássicos mais usados para descreverem a biossorção dos íons metálicos são os de Langmuir e Freundlich. Estes geralmente ajustam bem os resultados experimentais.

3.4.1 Tipos de Adsorção

O fenômeno de adsorção pode ser dividido em dois tipos quando relacionados a sua intensidade, a adsorção física e a adsorção química. A primeira, conhecida como fisissorção, é descrita como uma interação relativamente fraca entre o adsorvato e a superfície do adsorvente, podendo ser comparadas às forças de van der Waals, ela ocorre quando forças intermoleculares de atração entre as moléculas do fluido e a superfície do sólido são maiores do que as forças de atração entre as próprias moléculas do fluido (COSTA, 2014).

A fisissorção possui caráter não específico e é reversível, por não haver modificação nas espécies envolvidas no processo. Deve-se acrescentar que, como não ocorre formação ou quebra de ligações, logo, a natureza química do adsorvato não é alterada. Outro fato característico deste tipo de adsorção é a possibilidade de haver várias camadas de moléculas adsorvidas (COLOMBO, 2013). Na Tabela 4 são apresentadas as principais diferenças entre a adsorção física e química.

Tabela 4. Comparação entre a adsorção química e adsorção física.

Adsorção física	Adsorção química
Forças de Van der Waals	Ligações químicas
A espécie adsorvida conserva sua natureza.	A espécie adsorvida sofre uma transformação dando origem a uma espécie diferente.
Calor de adsorção < 10 kcal/mol	Calor de adsorção > 20 kcal/mol
Baixa especificidade	Altamente específica
Ocorre em toda superfície do adsorvente	Ocorre somente nos sítios ativos
Multicamadas	Adsorção em monocamada
Energia de ativação baixa.	Energia de ativação pode ser elevada.
Fácil dessorção	A dessorção pode ser difícil ou pode ser acompanhada de transformações químicas

Fonte: Adaptado de Soares, 1996 apud Pino, 2005.

A quimissorção, é altamente específica, pois nem todas moléculas presentes no fluido são capazes de adsorver quimicamente, somente àquelas capazes de se ligar ao sítio ativo, e envolve reação química, visto que, ocorre troca ou partilha entre os elétrons das moléculas do adsorvato junto a superfície do adsorvente, caracterizando uma nova ligação química (NASCIMENTO et al., 2014).

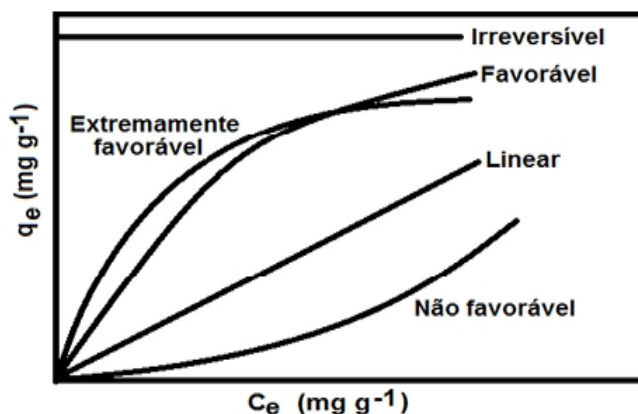
Nascimento et al. (2014, p.15) também ressalta que “a adsorção física ocorre em toda a superfície adsorvente, por isso é dita ser não localizada, ao passo que a adsorção química só pode ocorrer nos sítios ativos, sendo assim, é dita localizada.”

3.4.2 Isotermas de Adsorção

As isotermas são modelos termodinâmicos representativos do processo de adsorção, onde um volume (V) de soluções com concentrações iniciais (C_0) conhecidas e diferentes são colocados sob agitação constante com uma massa (m) do adsorvente em uma temperatura determinada, após certo tempo o equilíbrio será atingido (NASCIMENTO et al. 2014). As isotermas expressam, neste caso, a relação entre a quantidade de metal que é sorvido por unidade de massa do biossorvente e a concentração do metal em solução no equilíbrio a uma determinada temperatura constante (PINO, 2005).

Ao final do experimento, quando o equilíbrio de adsorção é atingido, pode-se obter a concentração final de soluto na solução em equilíbrio C_e , e a capacidade de adsorção do adsorvente q_e . Assim, podemos obter um gráfico de q_e versus C_e como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2. Isotermas de adsorção.



Fonte: Colombo, 2013.

As isotermas de adsorção são classificadas em 5 tipos de curvas, que caracterizam um processo específico de adsorção. Segundo McCABE et al. (2001) citado por Colombo (2013) a isoterma linear passa pela origem e a quantidade adsorvida é proporcional à concentração do adsorbato em solução. Isotermas convexas são favoráveis, pois grandes quantidade adsorvidas podem ser obtidas com baixas

concentrações de soluto. Enquanto as isotermas côncavas são desfavoráveis, pois altas concentrações do fluido são necessárias para baixas concentrações do adsorbato no sólido.

Aplicando modelagem com equações de isotermas, então a relação q_e versus C_e pode ser expressa na forma matemática, e a capacidade máxima de adsorção de um adsorvente pode ser calculada experimentalmente (COONEY, 1999 *apud* NASCIMENTO et al., 2014).

Para se obter valores de C_e , é necessário separar o adsorvente da solução, através de filtro membrana, papel filtro ou centrifugação, em seguida utiliza-se a solução sobrenadante que corresponde a concentração residual do adsorbato (C_e). Esta é analisada através de técnicas analíticas, tais como cromatografia gasosa ou líquida (HPLC), espectrometria no ultravioleta ou visível (UV-VIS), espectrometria de absorção ou emissão (FAAS, GFAAS, ICP OES) entre outras (NASCIMENTO et al., 2014). Já para obter valores de q_e , um balanço de massa deve ser realizado, onde a quantidade de adsorbato no adsorvente deve ser igual à quantidade de adsorbato removido da solução, segundo a Equação 1.

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m} \quad (1)$$

Onde:

q_e : capacidade de adsorção;

C_o : concentração inicial do adsorbato (íons metálicos) (mg L^{-1});

C_e : concentração do adsorbato no equilíbrio (mg L^{-1});

V : volume em litros (L) da solução contendo os íons metálicos;

m : massa do adsorvente em gramas (g).

A taxa de retenção do adsorbato também pode ser calculada, após o contato com o adsorvente, conforme mostra a Equação 2:

$$\% \text{ adsorção} = \frac{(C_i - C_e)}{C_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde: C_i e C_{eq} (mg L^{-1}) são, respectivamente, as concentrações inicial e de equilíbrio dos íons estudados.

Os modelos de isotermas mais empregados para descrever os processos de adsorção por biossorventes em estudos para remoção de metais, de acordo com o levantamento bibliográfico, são os modelos de Langmuir e Freundlich.

3.4.2.1 Modelo de isoterma de Langmuir

O modelo de Langmuir é descrito como um modelo simples, o qual pressupõe que as forças que atuam na adsorção são similares em natureza a aquelas que envolvem combinação química (PINO, 2011 b). A adsorção ocorre em sítios específicos e homogêneos na superfície do adsorvente, e uma vez que o sítio esteja ocupado por uma molécula, não poderá mais haver adsorção naquele local, formando assim a monocamada (GUSMÃO, 2011).

A Equação 3 representa o modelo de Langmuir:

$$q = \frac{q_{m\acute{a}x.} \times K_L \times C_e}{1 + K_L \times C_e} \quad (3)$$

Onde:

q: quantidade do soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio (mg g⁻¹);

q_{máx.}: capacidade máxima de adsorção (mg g⁻¹);

K_L: constante de interação adsorvato/adsorvente (L mg⁻¹);

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

A linearização da equação de Langmuir é descrita na Equação 4:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_{m\acute{a}x.}} + \frac{1}{q_{m\acute{a}x.} \times K_L} \quad (4)$$

As constantes q_{máx.} e K_L são obtidas em um gráfico que correlaciona C_e/q_e versus C_e. O termo K_L⁻¹ corresponde ao coeficiente linear e q_{máx.} é obtido a partir do coeficiente angular.

O termo K_R, muito utilizado no modelo de Langmuir, representa o fator de separação adimensional é definido como um parâmetro importante para avaliar o grau

de desenvolvimento do processo de adsorção. K_R pode ser calculado através da Equação 5, mostrada abaixo:

$$K_R = \frac{1}{1 + KL \times C_i} \quad (5)$$

Onde:

C_i é a concentração inicial do soluto em solução (mg L^{-1}).

De acordo Erdogan et al. (2005) citado por Nascimento et al. (2014) na maioria das situações de adsorção, o adsorvato prefere a fase sólida à líquida e a adsorção é dita favorável, $0 < K_R < 1$. Quando $K_R > 1$, há o indicativo de que o soluto prefere a fase líquida à sólida, ou seja o processo da adsorção não favorável. $K_R = 1$ corresponde a uma isoterma linear.

3.4.2.2 Modelo de isoterma de Freundlich

O modelo proposto por Freundlich foi um dos primeiros a equacionar a relação entre a quantidade de material adsorvido e a concentração do material na solução em um modelo com características empíricas. Tal modelo pode ser aplicado a sistemas não ideais, em superfícies heterogêneas em sorção multicamada (CIOLA, 1981; MCKAY, 1996 *apud* NASCIMENTO et al, 2014).

A expressão matemática da isoterma de Freundlich é:

$$q_e = K_F \times C_e^{1/n} \quad (6)$$

A Equação 6 frequentemente é utilizada em sua forma linear

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (7)$$

Onde:

q_e : quantidade de soluto (metal) adsorvido (mg g^{-1});

C_e : concentração do adsorvato no equilíbrio em solução (mg L^{-1});

$1/n$: constante relacionada à heterogeneidade da superfície;

K_F : constante de capacidade de adsorção de Freundlich ($\text{mg}^{1-(1/n)} (\text{g}^{-1}) \text{L}^{1/n}$).

O valor de $1/n$ representa a intensidade da adsorção, uma adsorção favorável tende a ter $1/n$ entre 0,1 e 1. Ao passo que quanto menor for o valor de $1/n$, mais forte é a interação entre o metal e o biossorvente. Por outro lado, quando o valor $1/n$ for igual a 1, isso indica que a adsorção é linear, ou seja, as energias são idênticas para todos os sítios de adsorção, o que sugere uma isoterma de adsorção desfavorável (COLOMBO, 2013).

Assim, para a determinação dos parâmetros K_F e $1/n$, a partir de regressão linear, um gráfico de $\log q_e$ versus $\log C_e$ fornecerá uma inclinação de $1/n$ e um intercepto $\log K_F$. Portanto através do coeficiente angular da reta podemos calcular n e através do coeficiente linear podemos calcular o valor de K_F . (FEBRIANTO et al., 2009 *apud* NASCIMENTO et al., 2014).

3.5 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

A cinética de adsorção descreve a velocidade de uma reação química que é um parâmetro importante, determinada pelas concentrações dos reagentes e produtos envolvidos. A cinética das reações químicas é utilizada industrialmente para prever a eficiência de materiais, e assim é uma importante ferramenta na implementação de novas tecnologias de sorção (PINO, 2005; MONTEIRO, 2009).

O modelo de Lagengren (1898) foi o primeiro desenvolvido para um processo de sorção em um sistema sólido-líquido, sendo o mais utilizado para determinar a taxa de sorção de um soluto em uma solução líquida (PINO, 2005).

3.5.1 Modelo de pseudo-primeira ordem

A equação de velocidade de pseudo-primeira ordem de Lagengren está representada pela Equação 8 a seguir:

$$\frac{dq_t}{dt} K_1 (q_e - q_t) \quad (8)$$

Integrando-se a Equação (8) de $t = 0$ a $t = t$ e $q_t = 0$ a $q_t = q_t$ obtém-se a Equação 9, conforme:

$$\log \left(\frac{q_e}{q_e - q_t} \right) = \frac{K_1}{2,303} t \quad (9)$$

Reorganizando a Equação 9 em sua forma linearizada, temos a Equação 10:

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{K_1}{2,303} t \quad (10)$$

Onde:

q_e é a quantidade de adsorbato retido no sólido no equilíbrio (mg g^{-1});

q_t é a quantidade de adsorbato retido no tempo t (mg g^{-1});

k_1 é a constante de velocidade da reação de pseudo-primeira ordem (min^{-1})

A constante de velocidade K_1 é obtida através da curva $\log(q_e - q_t)$ em função do tempo, assim como o valor de q_e , o qual posteriormente é comparado com o q_e experimental.

O ajuste para o modelo de pseudo-primeira ordem de Lagergren em geral não se ajusta bem a reações em tempos superiores a 20 minutos, e assim é necessário a utilização de outra equação que abranja todas as faixas de tempo. O modelo de pseudo-segunda ordem apresenta esta característica (MONTEIRO, 2009).

3.5.2 Modelo de pseudo-segunda ordem

Conforme a lei de velocidade de segunda ordem, o modelo de pseudo-segunda ordem é expressa pela Equação (11) a seguir:

$$\frac{dq_t}{dt} K_2 (q_e - q_t)^2 \quad (11)$$

Onde: K_2 é a constante do modelo de pseudo-segunda ordem dada em g mg min^{-1} .

Novamente, através da integração da Equação (11) de $t = 0$ a $t = t$ e $q_t = 0$ a $q_t = q_t$ obtém-se a Equação 12, assim:

$$\frac{1}{q_e - q_t} \frac{1}{q_e} + K_2 t \quad (12)$$

Linearizando-se a Equação 12, temos a Equação 13:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (13)$$

Quando o processo de adsorção corresponde a uma cinética de pseudo-segunda ordem, o gráfico de t/q_t em função de t , da Equação 13, fornece uma relação linear, na qual q_e e k_2 podem ser determinados a partir do coeficiente angular e do coeficiente linear do gráfico (MONTEIRO, 2009).

3.6 ENERGIA LIVRE DE GIBBS

Em processos de adsorção, a variação da energia livre de Gibbs indica a espontaneidade do processo de adsorção. As reações são consideradas espontâneas em sistemas onde houver liberação de energia favorecendo a formação de produtos, e portanto o valor de ΔG° é negativo (MONTEIRO, 2009).

A constante de Langmuir (K_L) frequentemente é utilizada, em diversos trabalhos, para o cálculo da variação da energia livre de Gibbs, como constante de equilíbrio, segundo a Equação 14:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_L \quad (14)$$

Onde: ΔG° é a variação da energia livre de Gibbs, em KJ mol^{-1} ; R é a constante universal dos gases ($8,314 \times 10^{-1} \text{ KJ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$); T é a temperatura em Kelvin (K) e K_L é a constante de equilíbrio da reação, em L mol^{-1} .

3.7 DESSORÇÃO

A dessorção de modo simplificado é o processo inverso da adsorção, e vários fatores podem provocar a dessorção do adsorbato, como um aumento na temperatura, variação do pH, mudança na fase fluida, entre outros. Ela pode ser definida como a liberação de uma substância ou material de uma interface entre uma superfície sólida e uma solução (PIETROBELLI, 2002).

De acordo com Volesky (2001) citado por Seolatto et al. (2009) o objetivo da dessorção é obter uma solução concentrada do metal, para recuperar os metais extraídos da fase líquida, onde é necessário que se efetue a retirada destes do material biossorvente, sem destruir a capacidade do adsorvente, para possibilitar sua utilização em outro ciclo de biossorção.

3.8 FATORES QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE ADSORÇÃO

O desempenho da adsorção de um metal por meio de biossorvente depende de vários fatores como a área superficial, as propriedades do adsorvente e do adsorvato, a temperatura do sistema, natureza do solvente e o pH do meio. Podem contribuir também a presença de outros íons (que poderiam competir pelos sítios de ligação), as condições em que a biomassa é trabalhada (quantidade, tamanho, *in natura* ou modificada quimicamente) todos esses fatores afetam a capacidade de adsorção. Para Nascimento et al. (2014) o fenômeno de adsorção resulta da combinação entre as forças envolvidas na adsorção física e química. O resultado do processo envolve características do adsorvente como a área superficial, tamanho do poro, densidade, grupos funcionais presentes na sua superfície e hidrofobicidade do material. Por outro lado, a natureza do adsorvato depende da polaridade, do tamanho da molécula, da solubilidade e da acidez ou basicidade.

3.8.1 Influência do pH

O pH é um dos parâmetros que mais influenciam o comportamento dos metais diante o adsorvente, visto que a carga dos sítios ativos da superfície do adsorvente assim como a especiação do metal sofrem influência direta em função da variação do pH. (VAGHETTI, 2009). Este parâmetro de fundamental importância em um processo de adsorção em solução, possui a capacidade de governar as interações eletroestáticas presentes entre o adsorvente e o adsorvato (NASCIMENTO et al., 2014).

3.8.2 Potencial de Carga Zero (PCZ)

O Ponto de Carga Zero (PCZ) é utilizado na adsorção para indicar o pH em que a superfície do material adsorvente seja neutro, ou seja, as cargas negativas estão exatamente contrabalanceadas pelas cargas positivas (CLARK, 2010). Para valores de pH inferiores ao PCZ, a carga superficial é positiva e a adsorção de ânions é favorecida, no entanto, para valores de pH superiores ao PCZ a carga superficial é negativa e a adsorção de cátions é favorecida (APEEL; MA; RHUEL, 2003 *apud* FREITAS et al., 2015).

Por meio da técnica de determinação do PCZ é possível prever a ionização dos grupos funcionais de superfície e a interação destes com as espécies metálicas em solução. Deste modo, grupos localizados na superfície de cada sítio ativo do adsorvente podem dissociar ou associar prótons da solução metálica, o qual dependerá das propriedades da biomassa e do pH da solução (NASCIMENTO et al., 2014). O método mais utilizado para determinação experimental do PCZ é a titulação potenciométrica (CLARK, 2010).

3.8.3 Propriedades do Adsorvente

A natureza do adsorvente é de fundamental importância para o entendimento e interpretação dos resultados em um processo de adsorção, visto que, a estrutura molecular da biomassa irá coordenar o grau de adsorção obtido (RECH, 2014). Devido, principalmente, sua área superficial, específica, porosidade, volume específico de poros, distribuição do tamanho de poros, dos grupos funcionais presentes na superfície do adsorvente e da natureza do material precursor (DOMINGUES, 2005 *apud* NASCIMENTO et al., 2014).

4. METODOLOGIA

O estudo desenvolvido possui caráter quali-quantitativo, baseado na análise textual visando uma investigação em fontes de informação em meio eletrônico na área da química.

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A presente pesquisa de caráter bibliográfico foi desenvolvida mediante busca eletrônica de periódicos científicos nacionais da área de química indexados na base de dados Scielo. O critério adotado para seleção das revistas foi a disponibilidade ao acesso público gratuito e virtual, além de possuírem avaliação nível A ou B segundo o Qualis do Sistema de Avaliação e Qualificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

O acervo examinado foi constituído por dois periódicos vinculados a Sociedade Brasileira de Química (SBQ), que publicam artigos relacionados à Química – *Química Nova* (Quim. Nova)-[Qualis B2] e *Journal of the Brazilian Chemical Society* (JBACS)-[Qualis A2].

O Qualis-periódicos é um sistema usado para classificar a produção científica dos programas de pós-graduação no que tange a artigos publicados em periódicos científicos. Essa classificação é realizada periodicamente por um comitê de consultores especialista em cada área de avaliação. A função do QUALIS é exclusivamente para avaliar tal produção de artigos. A estratificação quanto à qualidade da produção é feita de modo indireto, aferindo a qualidade dos artigos, a partir da análise dos periódicos científicos. Tais veículos de divulgação são enquadrados em divisões de qualidade – A1 (mais elevado); A2; B1; B2; B3; B4; B5 e C – com peso zero (PLATAFORMA SUCUPIRA, 2017).

A revista *Química Nova* foi lançada no ano de 1978, a qual publica artigos com resultados originais de pesquisa, trabalhos de revisão, divulgação de novos métodos ou técnicas, educação e assuntos gerais em português, espanhol e inglês. Os artigos submetidos à revista são avaliados por consultores ad hoc (do Brasil e exterior) especialistas na área envolvida e que eventualmente podem pertencer ao Conselho Editorial. A edição de *Química Nova* está a cargo de um corpo editorial e suas linhas gerais e planejamento de longo prazo estão sob responsabilidade dos Editores e do

Conselho Editorial. E os artigos publicados na revista são indexados em: Science Citation Index Expanded, Chemical Abstracts – Caplus, SciELO e Scopus.

A primeira publicação da revista eletrônica e impressa da JBCS data de 1990, é publicada mensalmente pelo PubliSBQ, os artigos científicos na língua inglesa, que engloba todos os aspectos da química, exceto educação, filosofia e história da química. É um meio para relatar contribuições originais e significativas selecionadas para novos conhecimentos químicos. Os artigos publicados pela JBCS são indexados em: Science Citation Index, Science Citation Index Expanded (SciSearch), ISI Alerting Services, Índice de citação química, Conteúdo atual/Ciências físicas, químicas e da Terra, Chemical Abstracts – Caplus e SciELO.

4.2 SELEÇÃO DOS ARTIGOS

Após o processo de obtenção das fontes selecionadas, realizou-se algumas análises que contribuiriam para a sistematização do que vem sendo publicado por pesquisadores e seus colaboradores sobre a utilização de biomassas residuais como material adsorvente para remoção de poluentes metálicos. Na Tabela 5, apresentamos algumas informações sobre os periódicos selecionados para a análise.

Tabela 5. Dados quantitativos dos periódicos selecionados.

Periódicos	Período de Publicação	Vol.	Exemplares	Total de Artigos	Artigos Analisados
Química Nova (Quim. Nova)	2010-2016	33-39	7	1972	8
Journal of the Brazilian Chemical Society (JBCS)	2010-2016	21-27	7	1958	3
Total			14	3.930	11

Fonte: A autora

O acervo consultado foi constituído por 2 periódicos da área da Química sendo 7 exemplares da revista da Quim. Nova (volumes 33 a 39) e 7 exemplares da revista JBCS (volumes 21 a 27), publicados entre os anos de 2010 e 2016. Totalizando 3.930 artigos, apenas 11 abordavam o tema de interesse para este trabalho, e foram, então, selecionados para análise, sendo 8 artigos da revista Quim. Nova e 3 artigos da revista JBCS.

Os artigos desses periódicos foram selecionados por meio da leitura dos títulos, dos resumos e, quando necessário, do artigo completo, possibilitando-se, dessa forma,

um controle seletivo e rigoroso da seleção do material bibliográfico, de modo a responder aos objetivos do presente estudo. A seguir, apresenta-se os 11 artigos selecionados dispostos conforme a Tabela 6.

Tabela 6. Relação dos artigos selecionados e analisados.

Nº	Artigos Selecionados
1	BONIOLO, M. R. et al. Biomassa residual para remoção de íons urânio. Química Nova . São Paulo, v. 33, n. 3, p. 547-551, 2010.
2	MIMURA, A. M. S. et al. Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} e Zn^{2+} . Química Nova . São Paulo, v. 33, n. 6, p. 1279-1284, 2010.
3	ARAÚJO, C. S. T. et al. <i>Moringa oleifera</i> Lam. Seeds as a Natural Solid Adsorbent for Removal of Ag in Aqueous Solutions. Journal of the Brazilian Chemical Society . São Paulo, v. 21, n. 9, p. 1727-1732, 2010.
4	PORPINO, K. K. P. et al. Fe (II) adsorption on <i>Ucides cordatus</i> crab shells. Química Nova . São Paulo, v. 34, n. 6, p. 928-932, 2011.
5	HORRUTINER, Y. E. et al. Caracterización de la Biomasa Inactiva de <i>Aspergillus niger</i> O-5 como Sorbente de Pb (II). Química Nova . São Paulo, v. 34, n. 7, p. 1141-1146, 2011.
6	MENEGHEL, A. P. et al. Biosorption and Removal of Chromium from Water by using Moringa Seed Cake (<i>Moringa oleifera</i> Lam.). Química Nova . São Paulo, v. 36, n. 8, p. 1104-1110, 2013.
7	MAGRO, C. D. et al. Biossorção Passiva de Cromo (VI) através da Microalga <i>Spirulina platensis</i> . Química Nova . São Paulo, v. 36, n. 8, p. 1139-1145, 2013.
8	MOHAMMADI, S. Z. et al. Removal of Pb (II) Ions and Malachite Green Dye from Wastewater by Activated Carbon Produced from Lemon Peel. Química Nova . São Paulo, v. 37, n. 5, p. 804-809, 2014.
9	FONTANA, K. B. et al. Biossorção de Pb(II) por Casca de Urucum (<i>Bixa orellana</i>) em Soluções Aquosas: Estudo Cinético, Equilíbrio e Termodinâmico. Química Nova . São Paulo, v. 39, n. 9, p. 1078-1084, 2016.
10	AMORIM, D. J. et al. Characterization of Pequi (<i>Caryocar brasiliense</i>) Shells and Evaluation of Their Potential for the Adsorption of Pb _{II} Ions in Aqueous Systems. Journal of the Brazilian Chemical Society . São Paulo, v. 27, n. 3, p. 616-623, 2016.
11	MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C. et al. A Kinetic, Equilibrium, and Thermodynamic Study on the Biosorption of Tl ⁺ and Cd ²⁺ by <i>Eichhornia crassipes</i> Roots Using Carbon Paste Electrode. Journal of the Brazilian Chemical Society . São Paulo, v. 27, n. 9, p. 1667-1678, 2016.

Fonte: A autora.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

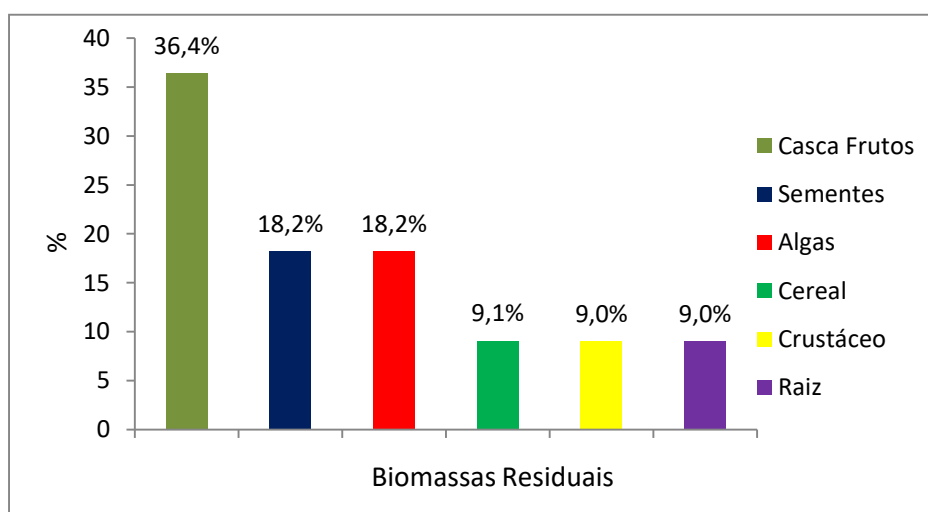
De posse dos artigos selecionados, analisou-se o que está sendo pesquisado na área de interesse, como: os tipos de biomassas residuais, os principais poluentes, as técnicas de caracterização, os modelos de isotermas e cinética de adsorção, e alguns parâmetros que podem influenciar o processo de adsorção, como: tempo de contato, o pH e concentração do poluente.

5.1 BIOMASSA RESIDUAL

Dos 3.930 artigos produzidos e publicados nas revistas Quim.Nova e JBCS, relativos ao tema pesquisado revela um percentual abaixo de 1 %. Este baixo percentual pode ser atribuído ao termo de busca de pesquisa que foi delimitado a “Biomassas Residuais”, excluindo o carvão ativado, argilas, materiais mesoporosos, entre outros, o que aumentaria este percentual em torno de 10 %.

Portanto, do universo pesquisado 36,4 % estão representados por cascas de frutos (banana, urucum, pequi e limão), 18,2 % de sementes (*Moringa oleífera* Lam) e algas (*Aspergillus niger* O-5, *Spirulina platensis*), 9,0 % de cereal (arroz), 9,1 % de crustáceo (carapaça de caranguejo) e raiz (*Eichhornia crassipes*), conforme representado na figura 3, essas biomassas residuais se enquadram na categoria de resíduos agroindustriais, os quais podem ser empregados como material alternativo e de baixo custo e de elevada disponibilidade.

Figura 3. Biomassas Residuais como bioissorvente.



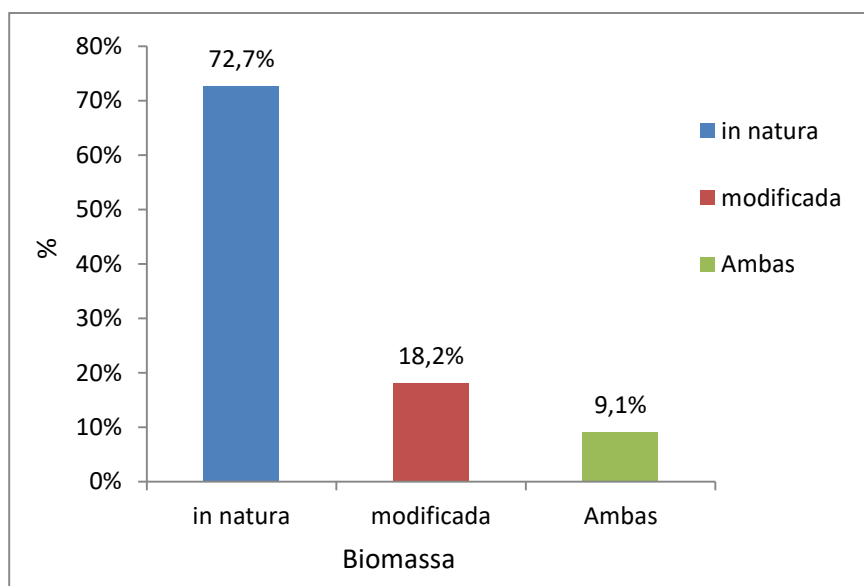
Fonte: A autora

Observa-se que é uma preocupação dos pesquisadores na busca de metodologias alternativas para o tratamento de efluentes, empregando materiais de baixo custo, muitas vezes remanescentes de descartes industriais, florestais ou agrícolas, o que representaria uma economia e minimização de impactos ambientais secundários.

5.1.1 Preparo das biomassas

Um outro aspecto relevante quanto às biomassas é o seu modo de preparo para o uso como bioissorvente, podendo ser utilizada na sua forma *in natura* ou modificada quimicamente. Observou-se que 72,7% das biomassas estudadas estavam *in natura*, ou seja, não passaram por nenhum tipo de tratamento prévio, além da lavagem com água corrente, água destilada e/ou desionizada, e posteriormente secagem, trituração e peneiramento para classificação em diferentes granulometrias quando necessário. Em contra partida, 18,2% das biomassas passaram por tratamento químico e apenas 9,1% das biomassas foram utilizadas na forma *in natura* e modificadas, como exposto na Figura 4.

Figura 4. Formas em que as biomassas são estudadas.



Fonte: A autora

Observa-se que a preferência pela utilização das biomassas no seu estado *in natura* se deve, possivelmente, ao seu baixo custo e poder ser utilizada sem tratamento prévio, característica fundamental para escolha de um bioissorvente, assim como por apresentarem capacidade de adsorção semelhantes ou superiores aos materiais

quimicamente modificados. O tratamento químico possui a característica de modificar a superfície da biomassa, produzindo alterações na sua morfologia que podem afetar as propriedades como um sorvente, e elevar o custo do processo de adsorção.

5.2 POLUENTES METÁLICOS

Nos 11 artigos selecionados, foram estudados 12 poluentes metálicos [Ag (I), Al (III), Cd (II), Cr (III), Cr (VI), Cu (II), Fe (II), Ni (II), Pb (II), Tl (I), Zn (II) e U(II)], escolhidos pelos pesquisadores, em função de suas presenças em efluentes industriais e radioativos. O íon Pb(II) foi o mais frequente, sendo objeto de estudo em 36,4 % dos artigos pesquisados e o único íon que se repetiu nesta amostragem.

A frequência destacada do íon Pb(II) pode ser atribuída, dentre outros fatores, [i] a sua ampla aplicação industrial, [ii] ao status de um dos principais contaminantes do meio ambiente (FONTANA et al, 2016), [iii] ao seu alto índice de toxicidade, o que evidencia preocupação dos pesquisadores na redução da concentração deste metal no meio ambiente.

5.3 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

Na etapa de preparação da biomassa a caracterização é fundamental para a confirmação das propriedades físico-químicas, observou-se nos artigos algumas técnicas como: Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) visando a verificação da morfologia do material, Espectroscopia na região do Infravermelho com transformada de Fourier (*Fourier transform infrared spectroscopy* – FTIR) empregada na elucidação dos grupos funcionais e disposição destas na molécula, Ponto de carga zero (PCZ) permite prever a ionização de grupos funcionais na superfície da biomassa, Análise Térmica Simultânea (*differential scanning calorimetry* – DSC, *Thermogravimetric analysis* - TGA) verificar a estabilidade da estrutura da biomassa e análises da área superficial e porosidade utilizando um analisador volumétrico de adsorção, para o cálculo da área de superfície (ASAP). As técnicas estão relacionadas com os respectivos artigos na Tabela 7, a seguir.

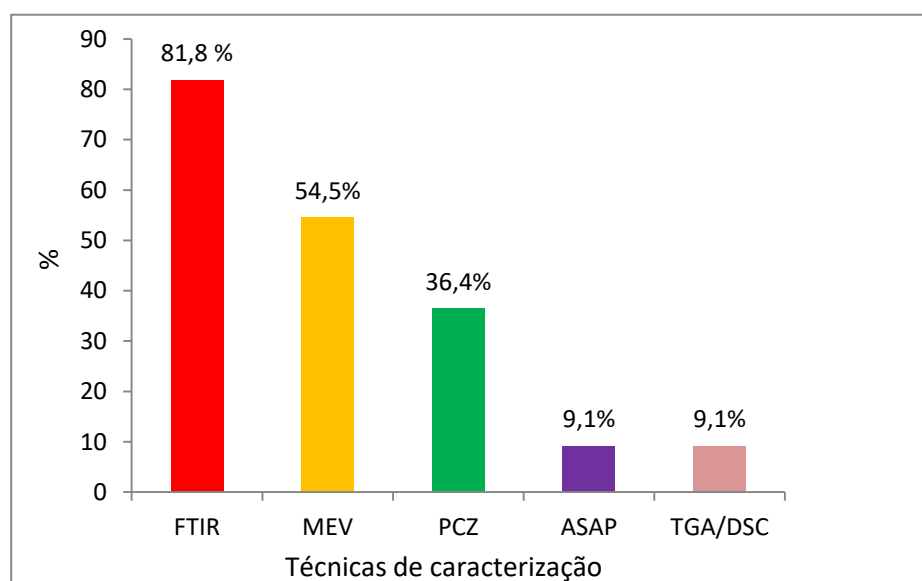
Tabela 7. Relação dos artigos e as respectivas técnicas de caracterização usadas.

Artigo	Técnicas de caracterização
1	MEV, FTIR
2	PCZ
3	FTIR
4	FTIR, ASAP
5	MEV, FTIR, (TGA/DSC)
6	MEV, FTIR, PCZ
7	---
8	MEV, FTIR
9	MEV, FTIR
10	MEV, FTIR, PCZ
11	FTIR, PCZ

Fonte: A autora

As referidas técnicas de caracterização foram aplicadas 24 vezes nos artigos analisados, sendo a espectroscopia por infravermelho a mais frequente, apresentando um percentual de 37,5 %.

Observa-se na Figura 5 que 81,8% dos artigos utilizaram FTIR como técnica, enquanto 54,5% dos estudos também utilizaram MEV/EDS, já 36,4% dos artigos utilizou a técnica de PCZ, enquanto que 9,1% dos pesquisadores utilizaram os métodos ASAP e TGA/DSC, cada. É importante salientar que uma técnica presente em um estudo, neste caso, não exclui a utilização de outra ou mais técnicas de caracterização.

Figura 5. Técnicas de caracterização usadas nos estudos.

Fonte: A autora

Acredita-se que a preferência pela técnica de Espectroscopia na região do Infravermelho se deve, provavelmente, a facilidade em se poupar tempo no preparo da amostra e ao custo do equipamento e da manutenção exigida. Assim como, a facilidade de interpretação dos espectros da análise em comparação com dados espectrais armazenados em arquivos de sistemas de busca computacionais, facilitando a elucidação estrutural das biomassas.

A microscopia eletrônica de varredura é um método amplamente utilizado em química, quando acoplado a Espectrometria de raios-x por dispersão de energia (EDS) pode-se realizar uma análise qualitativa e semi-quantitativa. Esta análise pode ser realizada antes e depois da adsorção, como efeito de comparação ao predizer a morfologia do material. E com base nos espectros EDS pode-se atestar a presença dos íons adsorvidos na superfície da biomassa.

O PCZ é uma forma de caracterização importante para predizer, por exemplo, em um estudo preliminar como se dá o comportamento ácido-básico da superfície da biomassa em meio aquoso, visto que grupos superficiais podem atuar na captura e retenção de espécies metálicas, tais grupos podem ser modificados através da variação do pH, o que irá afetar o processo de adsorção.

Na literatura consultada, observou-se que são poucos os artigos que apliquem as técnicas de TGA/DSC para caracterização de biomassa residual.

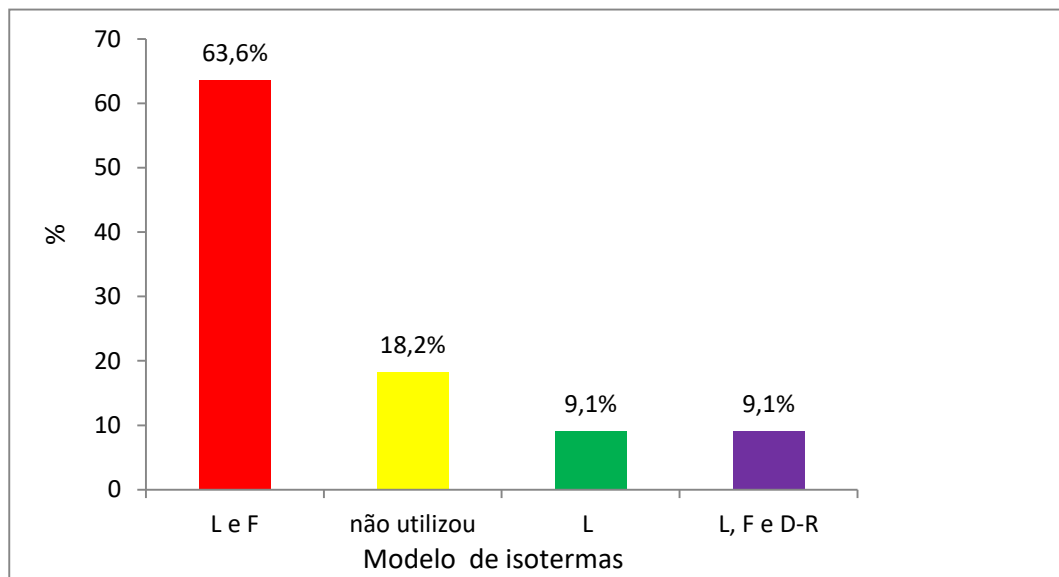
5.4 MODELOS DE ISOTERMAS E CINÉTICA DE ADSORÇÃO

5.4.1 Modelos de Isotermas

As Isotermas de Adsorção utilizam de curvas que irão prever, quantitativamente, como o adsorvente irá adsorver o soluto, com ela, pode-se estimar a quantidade máxima de uma solução metálica que o adsorvente adsorverá, dessa forma, pode-se obter dados para confirmar se a biomassa é economicamente viável para purificação do fluido (PORPINO, 2009 *apud* COSTA, 2014). Os modelos de isotermas mais utilizados para descrever um processo de adsorção são os de Langmuir e Freundlich. Do total de artigos pesquisados 63,6% deles utilizaram conjuntamente os modelos de Langmuir e Freundlich (L e F), 18,2% não empregaram nenhum modelo destes, 9,1% trabalharam apenas com o modelo de Langmuir e outros 9,1% aplicaram três tipos de modelos, a

saber, Langmuir, Freundlich e Dubinin-Radushkevich (L, F e DR) como apresentado graficamente na Figura 6.

Figura 6. Modelos de isotermas empregados.



Fonte: A autora

Dentre o acervo consultado observa-se que os estudos adequaram-se melhor ao modelo de Langmuir, correspondendo a 72,7% dos artigos, isto indica que a adsorção das espécies metálicas ocorre na superfície do respectivo biossorbente, ou seja, forma uma monocamada, em uma superfície completamente homogênea.

Apenas 9,1% dos artigos ajustaram-se melhor ao modelo de Freundlich, tal modelo considera que a adsorção da espécie metálica ocorre em múltiplas camadas, desta forma, pode-se comprovar que o modelo é baseado na adsorção em uma superfície heterogênea, característica própria da membrana celular de microorganismos, neste caso um fungo.

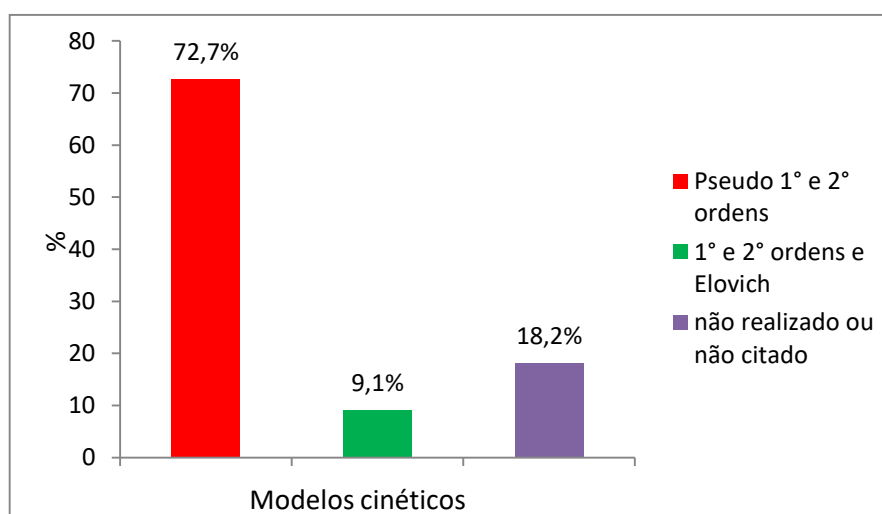
Observou-se que assim como encontrado na maioria da literatura consultada, como nos artigos da pesquisa, também predominaram a escolha pelos modelos matemáticos de Langmuir e Freundlich. Dentre as justificativas mais relatadas prevaleceram algumas como, o fato do modelo de Langmuir ser, provavelmente, o modelo mais conhecido e utilizado, sendo amplamente utilizado para descrever o comportamento do adsorvato no equilíbrio para os mais diversos sistemas (COELHO, 2016).

O modelo de Freundlich considera que os parâmetros empíricos são constantes que dependem de diversos fatores experimentais tais como temperatura, área superficial do adsorvente e do sistema a ser estudado, tais constantes se relacionam com a distribuição dos sítios ativos e a capacidade de adsorção do adsorvente (COELHO, 2016).

5.4.2 Modelos Cinéticos

Os modelos cinéticos mais utilizados nos artigos são os de pseudo 1° ordem e pseudo 2° ordem os quais correspondem a 72,7% da produção, enquanto 9,1% dos autores utilizaram os modelos de pseudo 1° ordem, pseudo 2° ordem e Elovich. No entanto, 18,2 % dos autores não citaram ou não realizaram nenhum modelo cinético, os dados podem ser observados da Figura 7.

Figura 7. Modelos cinéticos utilizados



Fonte: A autora

Observa-se que do total de artigos que utilizaram os modelos cinéticos cerca de 88,9% dos resultados se adequaram melhor ao modelo cinético de pseudo 2° ordem, isso pode ser justificado devido o modelo considerar que a etapa determinante da velocidade envolve o mecanismo de interação entre o íon metálico e o bioadsorvente, ou seja, depende das interações físico-químicas entre o sorvato e os grupos de superfície. O modelo cinético de pseudo-segundo ordem, assume que o processo ocorre em sítios

localizados sem interação entre os adsorventes e que a adsorção máxima ocorre com a saturação de uma monocamada de adsorventes na superfície adsorvente.

Em contra partida apenas 11,1% dos resultados se adequaram ao modelo cinético de pseudo 1° ordem, o qual pode ser explicado em decorrência do modelo considerar que a velocidade de adsorção é proporcional ao número de sítios livres do bioissorvente.

5.5 PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE ADSORÇÃO

Variáveis como pH e tempo de equilíbrio, são parâmetros que influenciam diretamente um processo de adsorção. Segundo Boniolo, et al.(2010), uma cinética de adsorção relativamente rápida, torna o processo vantajoso em termos na redução dos custos operacionais e de implantação, considerando a operacionalização em maiores escalas.

Selecionou-se 6 artigos pesquisados, para análise acerca do efeito do pH, tempo e capacidade máxima de adsorção conforme apresentado na Tabela 8 abaixo:

Tabela 8. Parâmetros que influenciam o processo de adsorção de íons metálicos.

Bioissorvente	Íon Metálico	pH	q _{máx.} (mg/g)	Tempo (min.)
Biomassa inativa (Fungo)	Pb(II)	5,0	4,7 a 6,2	30
Casca de limão (Carvão)	Pb(II)	7,0	90,9	25
Casca de urucum	Pb(II)	4,5	43,6	60
Casca de pequi	Pb(II)	7,0	35,5	30
Semente (<i>Moringa oleífera L.</i>)	Ag(I)	6,5	23,1	20
Semente (<i>Moringa oleífera L.</i>)	Cr(III)	5,0	3,2	120

q_{máx.} = Capacidade máxima de adsorção

Como pode-se observar na tabela 8, que a Semente (*Moringa oleífera L.*) mostrou ser um bioissorvente eficiente na remoção do íon Ag(I) já que em um único estágio de equilíbrio de 20 min. adsorveu 23,1 mg/g, num pH 6,5, quando comparado ao íon Cr(III), verifica-se neste caso, que natureza do bioissorvente, possivelmente, está influenciando na captura do íon metálico, no pH, tempo de equilíbrio e capacidade de adsorção. Para o íon Pb(II) verifica-se que o tempo de equilíbrio é relativamente rápido apresentando uma variação de 25 a 60 min.

De forma geral, o que se observa é que ocorre aumento na capacidade de adsorção com o pH, o que também tem sido relatado em outros estudos, é que para valores de pH superiores a 7 ocorre redução na adsorção, muitas vezes devido aos íons envolvidos estarem sujeitos a processos de precipitação e sofrerem hidrólise.

Neste sentido, observa-se que os artigos que trabalharam com o íon Pb (II) e com cascas de frutos, escolheram faixa de pH entre 4,5 e 7,0, e capacidade de adsorção obtida apresentaram uma variação entre 35,5 a 90,9 mg/g e o artigo que trabalhou com biomassa de fungo o pH selecionado foi 5,0 e a capacidade de adsorção ficou entre 4,7 a 6,2 mg/g.

Portanto, a seleção do tempo de contato entre o bioissorvente e a espécie metálica, sofre a influência direta da natureza do bioissorvente em possuir sítios ativos disponíveis ao processo de adsorção, e também do pH, uma vez que os íons hidrogênio podem competir fortemente com o bioissorvente, afetando a solubilidade dos íons metálicos bem como o estado de ionização dos grupos funcionais presentes no bioissorvente.

6. CONCLUSÃO

Como resultado desse estudo, encontramos 11 artigos distribuídos em dois periódicos avaliados segundo conceito A e B pelo Qualis/Capes. O período analisado foi em um intervalo de 7 anos (2010- 2016) em que 3.930 artigos foram publicados e o *corpus* analítico atingiu menos de 1% (os 11 selecionados) do total acessado. Desse levantamento e da análise desses 11 artigos, foi possível concluir que as pesquisas voltadas para a temática analisada não são muito frequentes no acervo consultado, e as publicações nesses periódicos que trazem considerações a esse respeito se encontram concentradas nos primeiros três anos do levantamento (2010-2013), o que pode apontar para uma tendência quanto ao tema a ser investigado.

De acordo com os artigos estudados, conclui-se que ao pensar sobre o tema, os pesquisadores atuantes na área tendem a refletir sobre a natureza das biomassas por oferecem diversos grupos químicos responsáveis pela retenção dos metais. Assim, a adsorção de metais por resíduos agrícolas ou subprodutos industriais pode ser atribuída à presença de grupos funcionais como: de lignina, celulose, hemicelulose, proteínas, carboidratos e compostos fenólicos que contêm grupos carboxilo, hidroxilos, fosfatos, aminos, álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, fenóis e éteres, que podem remover íons metálicos de um efluente contaminado. Ao mesmo tempo em que mostram-se eficientes, representam uma fonte alternativa para remoção de espécies metálicas em efluentes aquosos, uma vez que os procedimentos são simples, economicamente viáveis e contribuem para minimização de impactos ambientais, uma vez que as biomassas que seriam descartadas, muitas vezes de forma inadequada, passam a ser reaproveitadas e utilizadas como material adsorvente. Contudo, a eficiência do processo requer alguns cuidados quanto ao controle de parâmetros que afetam o desempenho do experimento, como por exemplo, o pH e o tempo de equilíbrio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENVINDO DA LUZ, A., SAMPAIO, J. A., ALMEIDA, S. L. M. de. **Tratamento de minérios**. 5ª ed. Revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CETEM-MCT, 2010, 858 p.

BONIOLO, M. R. et al. Biomassa residual para remoção de íons urânio. **Química Nova**. São Paulo, v. 33, n. 3, p. 547-551, 2010.

BRASIL. CONAMA. **RESOLUÇÃO nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Brasília: Diário Oficial da União, 2011.

BUTT, H. J.; GRAF, K.; KAPPL, M. **Physics and chemistry of interfaces**. Weinheim: Wiley-VCH, 2003, 361 p.

CASARA, M. Mineração predatória na Amazônia Brasileira – Cinco décadas de irresponsabilidade social e ambiental no estado do Amapá. Observatório Social, maio 2003. Florianópolis, SC. 2003.

CLARK, H. L. M. **Remoção de fenilalanina por adsorvente produzido a partir da torta prensada de grãos defeituosos de café**. 2010, 115p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 2010.

COELHO, G. F. **Remoção de metais de águas utilizando biossorventes de castanha de caju, caroço de açaí e castanha do Brasil modificados quimicamente**. 2016, 178 f. (Tese de Doutorado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon – PR, 2016.

COLOMBO, A. **Biossorção dos íons cádmio e chumbo pela casca de soja**. 2013, 115 f. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo – PR, 2013.

COSTA, L. S. **Utilização do caroço de açaí como leito filtrante no tratamento de água de abastecimento e residuária**. 2014, 112 p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Pará. Belém – PA, 2014.

FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYNG, E. Adsorventes naturais como controladores de poluentes aquáticos: uma revisão. **Revista EIXO**, Brasília, v. 2, n. 1, p. 39-52, jan./jun. 2013.

FONTANA, K. B. et al. Biossorção de Pb(II) por Casca de Urucum (*Bixa orellana*) em Soluções Aquosas: Estudo Cinético, Equilíbrio e Termodinâmico. **Química Nova**. São Paulo, v. 39, n. 9, p. 1078-1084, 2016.

FREITAS, F. B. A.; CÂMARA, M. Y. F.; FREIRE, D. M.; "Determinação do PCZ de adsorventes naturais utilizados na remoção de contaminantes em soluções aquosas", p. 610-618. In: **Anais do V Encontro Regional de Química & IV Encontro Nacional de Química** São Paulo: Blucher.

GONÇALVES JUNIOR, A. C.; SELZLEIN, C.; NACKE, H. Uso de biomassa seca de aguapé (*Eichornia crassipes*) visando à remoção de metais pesados de soluções contaminadas. **Acta Scientiarum Technology**. v.31, 2009.

GUSMÃO, K. A. G. **Estudo de adsorção em solução aquosa de dois corantes catiônicos e uma eteramina usando bagaço de cana modificado quimicamente**. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, 2011.

KOTZ, J. C., TREICHEL, P. M., WEAVER, G. C. **Química Geral e reações químicas**, vol.1. 6° ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

LUCENA, G. L.; SILVA, A.G.; HONÓRIO, L. M.C.; SANTOS, V.D. Cinética de adsorção do Cobre (II) utilizando biadsorventes. **Scientia plena**, v.8, n.9, 2012.

MOREIRA, A. S. **Biossorção utilizando alga marinha (*Sargassum sp.*) aplicada em meio orgânico**. 2007, 114 p. (Tese de Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Natal-RN, 2007.

MOREIRA, D. R. **Desenvolvimento de Adsorventes Naturais para Tratamento de Efluentes de Galvanoplastia**. 2010, 79f. (Dissertação de Mestrado). PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL, 2010.

NASCIMENTO, R. F, et al. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2014, 256 p. (Estudos da Pós - Graduação) Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014.

PIETROBELLI, J. M. T. A. **Avaliação do potencial de biossorção dos íons Cd (II), Cu (II) e Zn (II) pela macrófita *Egeria densa***. 2007, 98 f. (Dissertação de Mestrado) Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo- PR, 2007.

PINO, G. A. H. **Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca do coco verde (*Cocos nucifera*)**. 2005, 113 f. (Dissertação de Mestrado) Pontífice Universidade Católica, Rio de Janeiro-RJ, 2005.

PINO, G.H.; TOREM, M. L. Aspectos Fundamentais da biossorção de metais não ferrosos - estudo de caso. **Tecnol. Metal. Master. Miner.**, São Paulo, v. 8, n. 1, p.57-63, jan./mar. 2011.

PORTAL SUCUPIRA. Disponível em: <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/index.xhtml>> acesso em: 22/12/2017.

RECH, A. L. **Biossorção de íons metálicos utilizando caroço de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) como adsorvente alternativo**. 2014, 128 p. (Tese de Doutorado) Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon – PR, 2014.

SEKAR, M.; SAKTHI, V.; RENGARAJ S. Kinetics and equilibrium adsorption study of lead (II) onto activated carbon prepared from coconut shell. **Journal of colloid and interface science**. n. 279, p.307-313, 2004.

SEOLATTO, A. A. et al. Planejamento experimental estatístico para a otimização das condições em batelada de dessorção de níquel da alga marinha *Sargassum filipendula*. **Acta Scientiarum Technology**. v. 31, n. 2, p. 207-214, 2009.

SILVA, J. L. B. C.; PEQUENO, O. T. B. L.; ROCHA L. K. S., ARAÚJO E. C. O.; MACIEL, T. A. R.; BARROS, A. J. M. Biossorção de Metais Pesados: Uma Revisão. **Revista Saúde e Ciência**. v. 3, n.3, p. 137-149, 2014.

VAGHETTI, J. C. P. **Utilização de Biossorventes para Remediação de Efluentes Aquosos Contaminados com íons Metálicos**. 2009, 99 f. (Tese de Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS, 2009.

VOLESKY, B. **Sorption and biosorption**. Quebec: BV-Sorbex, 2004