1 Introdução

As indústrias souberam fazer da pesquisa, o seu motor de arranque no desenvolvimento e incorporação de novas tecnologias no processo de produção, melhorando a eficiência produtiva e reduzindo os custos operacionais. Assim, a produção industrial, com o surgimento de inúmeros produtos tais como os computadores, carros, materiais de alta resistência e os combustíveis, se tornou essencial para a sobrevivência da sociedade moderna.

Essa grande demanda por produtos industrializados se deve, em parte, ao grande crescimento populacional, principalmente nos grandes centros urbanos. O aumento populacional, o crescimento desordenado das grandes cidades e o aumento do consumo de recursos naturais, tais como minérios e combustíveis fósseis, inevitavelmente, leva à geração de grande quantidade de resíduos tóxicos que, muitas vezes, são lançados no meio ambiente sem controle adequado, podendo acarretar diversos tipos de problemas.

Dentre os vários poluentes produzidos pelas atividades industriais, principalmente pelas indústrias extrativistas, destacam-se os metais pesados oriundos das diversas etapas de processamento. Em geral, estes poluentes são extremamente tóxicos quando encontrados no ambiente acima das concentrações permissíveis. Mesmo em baixas concentrações, eles podem ser prejudiciais para uma grande variedade de organismos, dentre os quais, por exemplo, os peixes e os seres humanos que são contaminados através da água e do consumo de alimentos.

Os metais pesados podem ser encontrados na forma de íons dissolvidos em meio aquoso e, por não serem biodegradáveis, podem chegar facilmente ao topo da cadeia alimentar, se tornando um risco para a saúde humana. Alguns desses metais podem também ser bioacumulativos, aumentando seu poder de toxicidade nos organismos expostos.

Do ponto de vista ambiental, as substâncias não biodegradáveis possuem características muito prejudiciais devido à estabilidade da estrutura molecular, a lenta metabolização e excreção, condições que favorecem a bioacumulação destas

em sistemas biológicos. Várias espécies que estão na base da cadeia alimentar, como os fitoplânctons e zooplânctons, alguns moluscos, crustáceos e peixes possuem a capacidade de concentrar metais pesados em seus organismos mesmo quando presentes em pequenas concentrações no meio, sendo configurada assim uma situação de risco ambiental (Martins, 2002).

Alguns metais são nutrientes essenciais para o ser humano, como o ferro, cobalto e manganês. O ferro é um componente estrutural da hemoglobina e de muitas enzimas; o cobalto que é um componente central da vitamina B12, essencial na formação do sangue e para o sistema nervoso, enquanto que o manganês é absorvido pelo intestino delgado a partir do fígado e é distribuído para diferentes partes do organismo. O limite de toxicidade no homem é tanto maior quanto menos útil for a substância nas funções biológicas (Martins, 2002).

Os metais pesados também podem ser encontrados na natureza em pequenas quantidades, como por exemplo, na decomposição de rochas ou na lixiviação do solo. Entretanto, é a ação humana que intensifica a exposição das diversas formas de vida a essas substâncias através do descarte de resíduos industriais oriundos de: revestimento de metais, papel e celulose, curtumes, refinarias de petróleo, atividades de mineração, agronegócios, etc.

Segundo Ricklefs (1996) o excesso de substâncias tóxicas pode sobrecarregar o meio ambiente, e em consequência, o meio biótico absorverá quantidades excessivas desses poluentes, podendo causar intoxicações, fazendo com que haja uma diminuição na produtividade natural dos ecossistemas, afetando e reduzindo drasticamente a biodiversidade, podendo ainda, refletir nas atividades humanas, principalmente na agricultura, no fornecimento de água potável e de alimentos, uma vez que a poluição pode causar alterações das características físicas, químicas e biológicas das águas, gerando condições adversas à fauna e a flora (Clarisse *et. al.* 1999; Moreno, 2005)

Atualmente a preocupação com o tratamento efetivo dos efluentes é fruto da mudança do comportamento humano sobre o uso dos recursos hídricos, o descarte de efluentes no meio ambiente e as vantagens econômicas, uma vez que, muitas vezes é mais barato tratá-los do que sanar os danos decorrentes do descarte de efluentes e resíduos em geral *in natura* ao meio ambiente. Neste contexto, as indústrias se vêem obrigadas a investir no tratamento de seus efluentes, uma vez que a legislação nacional e internacional se torna cada vez mais rígida. Assim,

surge a necessidade de desenvolvimento de métodos eficientes, economicamente viáveis e ambientalmente amigáveis, destinados ao tratamento de grandes volumes de efluentes contendo metais pesados e outras substâncias tóxicas.

Existem diversas tecnologias de tratamento de efluentes, dentre as quais se tem a: precipitação química, troca iônica, adsorção, filtração, flotação, processos eletroquímicos e biológicos. Entretanto, algumas destas tecnologias podem não ser eficientes quando aplicadas a grandes volumes de efluentes e com baixas concentrações de metal, menores que 100 mg.L^{-1} (Volesky, 1990).

De acordo com Harland (1994) e Pavan *et. al.* (2004) a adsorção de poluentes em fase sólida é considerada um dos procedimentos ambientalmente mais corretos, pois os íons metálicos são removidos por uma fase sólida, podendo este adsorvente ser regenerado e reutilizado ou ser mantido em um local isolado do meio ambiente. Entretanto, os adsorventes sintéticos são de alto custo, inviabilizando assim sua aplicação em larga escala.

Na busca por novos adsorventes, diversos materiais biológicos têm sido empregados para remoção de metais presentes em soluções aquosas. Seu uso se deve à capacidade dos diversos grupos funcionais, tais como os grupamentos fenólicos, carboxílicos e os polissacarídeos presentes na parede celular, em interagir com os íons metálicos presentes em solução (Huseyin *et. al.* 1999; Wang *et. al.* 1996; Wang *et. al.* 2005).

Os processos biossorbitivos são uma tecnologia recente e que, de acordo com vários trabalhos publicados na literatura (Ahluwalia *et al.*, 2007; Aksu, 2002; Barros, 2001; Beech *et al.*, 1995; Boniolo, 2008; Chen e Wang, 2007; Davis *et al.*, 2003; Dostalek *et al.*, 2004; Ferraz, 2007; Volesky, 2001; Veglio e Beolchini, 1997; Sag *et al.*, 1996; Pino, 2005; Pagnanelli, 2003; Kefala *et al.*, 1999; Mack *et al.*, 2007) tem apresentado resultados promissores para a remoção de metais pesados.

Mulaba-Bafubiandi *et al.*(2009) testou o microrganismo *Pseudomonas spp*, isolado de amostras de água de minas e de rejeitos de efluentes de mineração, para remoção de Cu^{2+} e Co^{2+} de efluentes. Os resultados obtidos foram a remoção de 45% Cu^{2+} (pH 6, 37 ° C, 24 horas) e 40% de Co^{2+} (pH 6, 37°C, 24 horas) em soluções sintéticas com baixa concentração ($0,07 \text{ mol.L}^{-1}$). Neste mesmo estudo foram recuperados a partir de amostras de água provenientes de minas 73% e 65% de Cu^{2+} e Co^{2+} respectivamente.

Vijayaraghavan *et al.*(2011) utilizaram casca do caranguejo (*Portunus sanguinolentus*) como bioissorvente para recuperação de Mn^{2+} e Zn^{2+} de soluções aquosas. Após 120 minutos de contato do bioissorvente com a solução aquosa contendo 500 mg.L^{-1} de Mn^{2+} , 90% do metal foi removido, enquanto que para o Zn^{2+} , nas mesmas condições experimentais, foram necessários 90 minutos para obter a mesma porcentagem de remoção.

Özdemi *et al.*(2009) realizaram testes utilizando os microorganismos *Geobacillus toebii sub.sp. decanicus* (G1) e *Geobacillus thermoleovorans* (G2) para remoção de Cd^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} e Mn^{2+} . Os autores observaram que a taxa de remoção depende tanto do bioissorvente utilizado como do metal que será removido, assim como das condições experimentais. Assim a porcentagem de máxima de remoção obtida foi para o Cd^{2+} de 94% (G1) e 96% (G2), para o Cu^{2+} de 81,5% (G1) e 50,1% (G2), para o Ni^{2+} de 75,6% (G1) e 61,2% (G2), para o Zn^{2+} de 91,9% (G1) e 88,1% (G2) e para o Mn^{2+} de 79,8%(G1) e 68,8% (G2).

Silva *et al.*(2009) testaram a eficiência do microorganismo *Pseudomonas aeruginosa*, isolado de solo contaminado por petróleo e metais pesados para bioissorção de Cr^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} e Mn^{2+} . A remoção máxima obtida foi de 99,6% a pH 7,72 para Cr^{3+} , 95,0% a pH 6,25 para Cu^{2+} , 87,7% a pH 7 para Zn^{2+} e 21,6% a pH 7,0 para Mn^{2+} .

A tecnologia bioissorativa é bastante atrativa para tratamento de efluentes nos dias atuais devido ao baixo custo operacional, a alta eficiência dos materiais biológicos em capturar íons metálicos de soluções aquosas em baixas concentrações, e principalmente, devido ao baixo impacto ambiental quando comparado com alguns métodos convencionais de tratamento de efluente.