

# Degradação biológica de CIANETOS

A importância do desenvolvimento de tecnologia para obtenção de um tratamento biológico

O ouro é encontrado associado a diversos minérios, como o quartzo e a pirita, em teores da ordem de gramas/tonelada. No Brasil, são utilizados os métodos de concentração gravimétrica e amalgamação com o mercúrio para o tratamento de minérios aluvionares ou, então, a cianetação, com uso do cianeto, para a extração de ouro de minérios. A cementação com cianeto e zinco, por ser simples, eficiente e barata, tem sido a metodologia usual no processamento de minérios primários e concentrados de ouro e prata. O grande sucesso do cianeto como lixiviante do ouro se deve à enorme estabilidade do íon dicianoaurato, mesmo quando a concentração de cianeto livre tende a zero. Isto contribui para a seletividade do processo, já que a estabilidade de outros cianos complexos metálicos que podem estar presentes em soluções de cianetação é menor do que a do dicianoaurato. O processo subsequente à cianetação, denominado cementação, consiste na recuperação do ouro complexado ao cianeto através da utilização de partículas de zinco. Desse modo, o ouro é liberado na sua forma elementar e o cianeto, complexado ao zinco. Durante o processo de tratamento, são produzidos rejeitos líquidos contendo cianetos livres e complexados com metais e tiocianatos. Estima-se que três milhões de toneladas/ano de cianetos são utilizados não só na lixiviação de minérios, mas também na produção de intermediários químicos, fibras sintéticas e borrachas, indústrias de galvanização, compostos farmacêuticos e outros. Efluentes de produção e processamento de alimentos também podem apresentar quantidade substancial de cianeto originado de glicosídeos cianogênicos presentes em vários vegetais e frutos, como mandioca, sorgo, amêndoas, pêssegos, cerejas e bambu.

Os compostos de cianeto são potencialmente tóxicos a qualquer tipo de vida, e podem estar presentes no ambi-

ente sob várias formas. Compreendem uma classe de compostos inorgânicos e orgânicos que contém o grupamento ciano (CN). Na água, o cianeto é encontrado na sua forma molecular, como ácido cianídrico (HCN) ou na sua forma livre, como íon cianeto (CN<sup>-</sup>). O íon cianeto pode ser convertido a ácido cianídrico após acidificação a pH 4,0. Em condições alcalinas, o cianeto livre é ionizado e forma complexos metálicos estáveis. A toxicidade dos vários compostos de cianeto depende de sua forma química e de sua constante de estabilidade. Assim, quanto menos estável é o composto, maior o seu grau de toxidez. O ácido cianídrico apresenta-se como o mais tóxico, pois é bastante instável e altamente volátil. Ele se liga fortemente ao ferro, cobre ou enxofre, elementos-chave de muitas enzimas e proteínas. No sistema citocromo oxidase, o cianeto compete com o oxigênio durante a sua absorção nos tecidos vivos. A inalação de altas concentrações de ácido cianídrico leva à asfixia, paralisia, inconsciência, convulsão e morte por falência respiratória. A dose letal de cianeto para o homem varia entre 0,5 a 3,5mg/kg do peso corporal. Substâncias com pequenas quantidades de cianetos na ordem de 18mg/dia de CN<sup>-</sup> são normalmente toleradas pelo organismo humano, que as transforma rapidamente em íon tiocianato no fígado e as elimina pela urina.

A presença de cianeto na água tem efeito significativo sobre a atividade biológica dos ecossistemas. O cianeto livre, em uma concentração menor que 0,1mg/l, pode ser tóxico para algumas espécies aquáticas mais sensíveis. A legislação brasileira determina que a concentração máxima de cianeto para descartar é de 0,2mg/l. Para evitar impacto sobre o ecossistema aquático, os efluentes contendo rejeitos industriais com altas concentrações de cianetos devem ser detoxificados antes de serem lançados no ambiente. Existem vários métodos naturais, químicos e biológicos

**Valter Roberto Linardi**  
Professor titular do Departamento  
de Microbiologia do  
Instituto de Ciências Biológicas da UFMG  
Foto cedida pelo autor.

para a retirada do cianeto dos efluentes. A grande maioria das mineradoras de ouro utilizam a degradação natural como forma única de tratamento, que consiste em confinar o efluente, por determinado período de tempo, em barragens. O tratamento é denominado natural, pois não são utilizados quaisquer meios externos para acelerar, promover ou complementar aqueles processos que ocorrem espontaneamente, por efeito do clima ou condições intrínsecas do efluente. Na realidade, a degradação natural dos cianetos consiste no resultado da interação de um conjunto de reações que incluem: volatilização do HCN, dissociação de cianetos complexados, hidrólise do CN livre e complexado, fotodecomposição (ultravioleta), oxidação química e bacteriana e precipitação de cianetos insolúveis. As reações principais desse processo são a volatilização do HCN e a dissociação dos cianetos complexados. A degradação natural em barragens pode ser utilizada como um pré-tratamento, visando à diminuição do consumo de reagentes químicos na etapa posterior, onde um processo químico ou biológico permitirá alcançar a qualidade desejada para o descarte, ou no caso de efluentes mais simples, onde a presença de metalocomplexos é pequena.

A degradação química consiste na utilização de métodos químicos para a destruição de cianetos; em geral, processos de oxidação. Os processos que constituem alternativas para o uso industrial são: cloração alcalina, processo INCO ( $\text{SO}_2 + \text{Ar}$ ), processo DEGUSSA ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e ozonização.

A degradação biológica de cianetos consiste na utilização de organismos vivos como bactérias, fungos e algas que possuem sistemas enzimáticos e vias metabólicas específicas capazes de metabolizar ou transformar estes íons tóxicos em produtos menos agressivos ao meio ambiente. A degradação de cianetos por bactérias mais bem descrita na literatura até o momento refere-se à linhagem de *Pseudomonas fluorescens* isolada por Harris & Knowles (1983). Esta bactéria utiliza cianeto como fonte de carbono e nitrogênio através das seguintes vias: em pequenas concentrações de cianeto de potássio (KCN) há produção de amônia e  $\text{CO}_2$  - reação oxigênio dependente - e, em concentrações maiores, o KCN é convertido em amônia e formato ou formamida (figura 1).

A degradação biológica envolve mecanismos como: volatilização, transformações metabólicas, adsorção dos cianetos pela biomassa e reações químicas com compostos orgânicos.

Como exemplo de aplicação industrial da degradação biológica de cianeto,

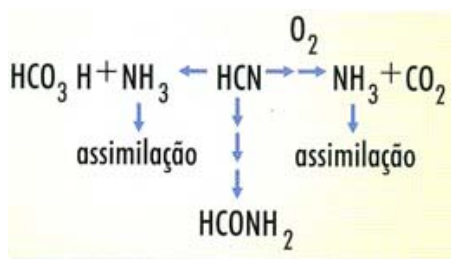


Figura 1 - Vias metabólicas de conversão de cianeto por *Pseudomonas fluorescens* (Kunz et al., 1992)

e a acumulação dos metais a ele complexados, pode-se citar o processo patenteado pela Homestake Mining Co., localizada em South Dakota (EUA). O sistema compõe-se de duas etapas, envolvendo oxidação. Durante a primeira etapa, os cianetos livres e complexados são transformados em amônia e carbonato. Os metais presentes são adsorvidos, ingeridos e precipitados. Nesta fase, utiliza-se flora mista com predominância da bactéria *Pseudomonas paucimobilis*. Os mutantes de *Pseudomonas paucimobilis* foram obtidos através da aclimação gradual do efluente contendo elevadas concentrações de cianetos e, após, foram imobilizados em lodo ativado sob constante aeração. A segunda etapa constitui-se na degradação da amônia produzida com utilização de bactérias do gênero *Nitrossomonas* para a nitrificação da amônia e bactérias do gênero *Nitrobacter* para a nitratação.

Pesquisas realizadas no Brasil por Granato (1993) relatam a utilização de biomassa obtida através da aclimação de lodo biológico. O autor demonstrou que a biomassa obtida foi eficiente na

redução da concentração de cianetos, além de promover a completa degradação de tiocianatos.

A grande preocupação com os problemas ambientais fez da degradação biológica de cianetos uma alternativa atrativa, por ser mais barata e ecologicamente mais aceitável que os métodos químicos.

O Laboratório de Fermentação do Departamento de Microbiologia da UFMG, junto com o Departamento de Engenharia Metalúrgica da UFMG, Mineração Morro Velho e com o Setor de Biotecnologia do CETEC, está desenvolvendo projetos de pesquisa objetivando desenvolver um bioprocessos capaz de remover cianetos livres e complexados dos efluentes de mineração. Foram isoladas de pontos do circuito de beneficiamento de ouro da Mineração Morro Velho (Nova Lima-MG) bactérias pertencentes ao gênero *Pseudomonas* e a espécie *Escherichia coli*, capazes de degradar cianometais e tiocianatos. Gomes & Linardi (1996) isolaram dos efluentes da Mineração Morro Velho uma linhagem de fungo filamentosos identificado como *Aspergillus niger*, capaz de degradar cianometais e acumular ouro, prata e cobre presentes nos efluentes de mineração.

No Brasil, especialmente no Estado de Minas Gerais, os métodos de detoxificação de cianetos utilizados pelas indústrias resumem-se aos naturais e aos químicos. O desenvolvimento de tecnologia para a obtenção de um tratamento biológico resultará em um processo eficiente e de custos não-elevados que pode ser utilizado como uma alternativa ou em associação às tecnologias já existentes.