

Vinicius Kolankiewicz<sup>1</sup>, Fernando Hamerski<sup>2</sup>, Hugo Marcelo Veit<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DEMEC – Departamento Engenharia Mecânica - UFRGS

<sup>2</sup>DEMAT – Departamento de Engenharia de Materiais - UFRGS

## Introdução

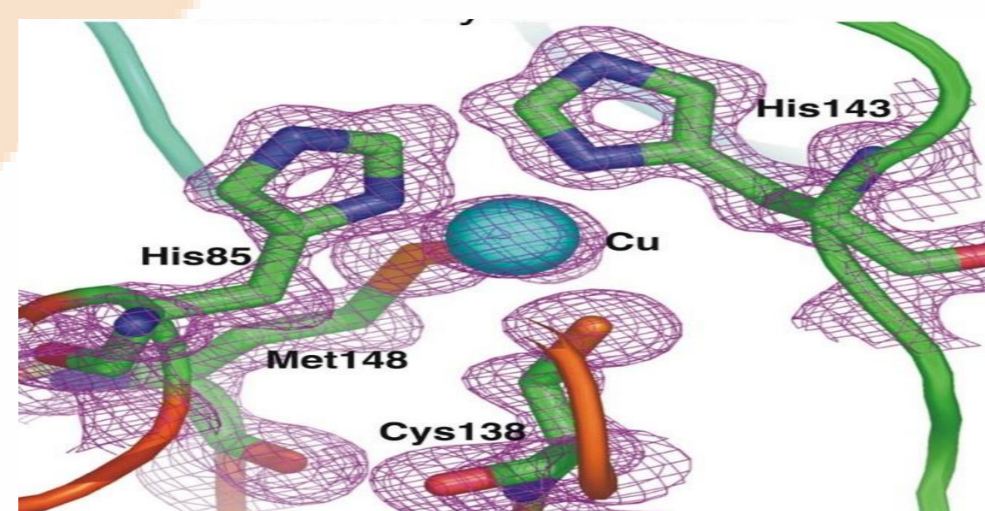
A obsolescência programada, aliada ao crescente avanço tecnológico dos equipamentos eletroeletrônicos, em especial dos celulares, tem estimulado a busca por processos para reciclagem destes produtos.

Os métodos mais utilizados para a recuperação e reciclagem dos metais preciosos presentes nos componentes de PCI (Placa de Circuito Impresso) são à base de processos térmicos ou hidrometalúrgicos, com os quais normalmente são alcançados altos rendimentos, porém com a geração de grande quantidade de resíduos perigosos ao meio ambiente e altos custos.

A recuperação desses metais é de grande interesse, devido ao esgotamento dos mesmos. Como rota alternativa aos processos convencionais, temos a biolixiviação, um processo mediado pela ação de bactérias e pelas reações catalisadas enzimaticamente através do contato dos microrganismos com a fração metálica das PCI.

### Desta forma teríamos:

- Economia de insumos;
- Baixo consumo de energia;
- Investimento capital e custos baixos;
- Reduzida mão de obra especializada;
- Sem emissão de poluentes gasosos.



## Objetivo

Aclimatar as bactérias dos tipos *Acidithiobacillus ferrooxidans* (remoção de cobre, chumbo e prata) e *Chromobacterium violaceum* (remoção de ouro) para uso em biolixiviação sob altas concentrações de resíduos.

## Materiais e Métodos

Foram utilizados 75 celulares de diferentes tipos e marcas. O peso total recolhido foi de 24,37 kg. Posteriormente, os celulares foram desmontados e as placas de circuito impresso separadas, que pesadas somaram 5,606 kg, representando cerca de 23% de PCI em peso.

A Figura 1 apresenta placas de circuito interno de aparelhos celulares obsoletos utilizados no experimento.

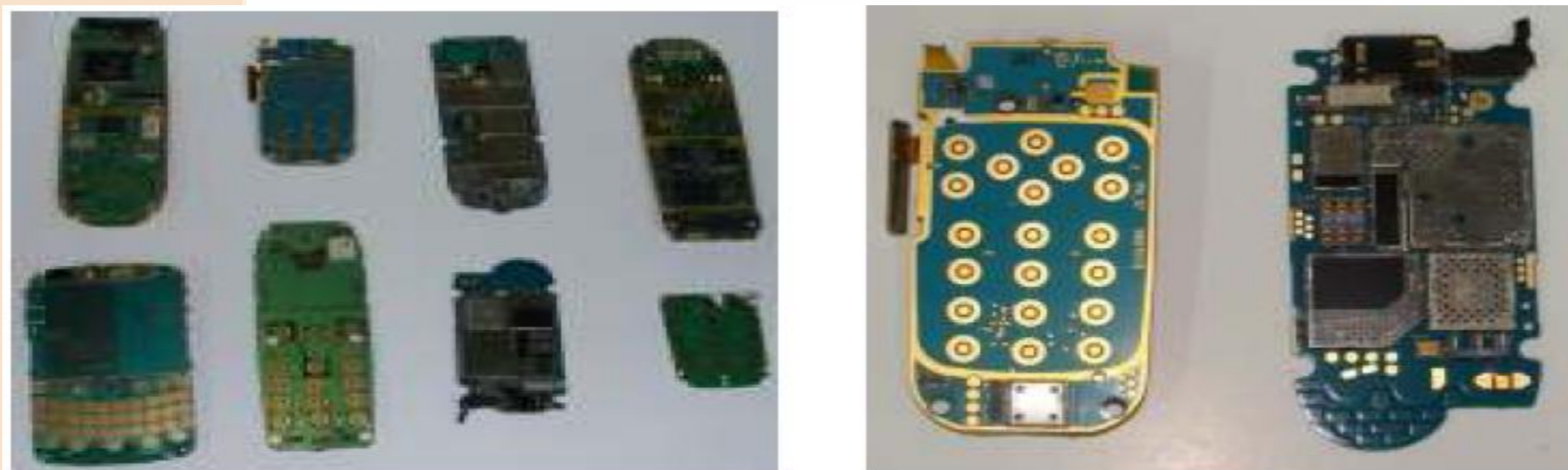


Figura 1 – PCI's inteiras retiradas de celulares.

Em um primeiro momento, as PCI's foram cortadas com alicate com tamanho de 12mm. Como o ouro está presente na superfície das placas, não há necessidade de ser moído para extração por biolixiviação, evitando assim que parte desse ouro seja perdida pelo atrito entre as placas e os componentes da máquina durante o processo de cominuição.

O cobre, entretanto, é encontrado no interior das PCI's. Assim, elas passaram por duas etapas diferentes: um moinho de martelos e um moinho de facas, no primeiro reduzindo as placas para posterior uso no segundo, que exige um tamanho menor para funcionamento.



Figura 2 - Moinho de martelo e facas, respectivamente

A caracterização das placas cominuídas foram feitas mediante lixiviação química com água-régia, numa proporção sólido/líquido de 1:20, durante 2 horas em temperatura de 60°C. Durante esta lixiviação ácida, as amostras foram mantidas sob agitação.

O próximo passo foi estudar o tipo de bactéria que tem maior capacidade de ajudar na lixiviação dos metais de interesse. No caso do ouro a *Chromobacterium violaceum* foi escolhida, enquanto que para o cobre usou-se a *Acidithiobacillus ferrooxidans*.

Então, a adaptação dos microrganismos em presença das PCI's foi reavaliada utilizando os meios de cultura apresentados na Figura 3.

## A. ferrooxidans

32°C  
pH 2 T&K

Solução A  
(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 0,625 gL<sup>-1</sup>  
MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 0,625 gL<sup>-1</sup>  
K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; 0,625 gL<sup>-1</sup>

Solução B  
FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 166,5 gL<sup>-1</sup>

## C. violaceum

32°C  
pH 6,8

Hidratação

Polipeptona; 5 gL<sup>-1</sup>  
Extrato de carne; 3 gL<sup>-1</sup>

Repicagem

Polipeptona; 10 gL<sup>-1</sup>  
Glicina; 5 gL<sup>-1</sup>  
Extrato de levedura; 5gL<sup>-1</sup>  
MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 1 gL<sup>-1</sup>

Figura 3 – Meios de cultura para adaptação das bactérias.

A bactéria *Acidithiobacillus ferrooxidans* foi isolada de licor de drenagem ácida de uma mina de carvão.

O processo de adaptação bacteriana foi conduzido através de repicagens sequenciais, onde bactérias foram cultivadas na presença de PCI's, inicialmente na concentração 2,5g L<sup>-1</sup>, adquirindo resistência aos produtos da lixiviação química. Sucessivos cultivos, com acréscimo de 0,5g L<sup>-1</sup> na concentração de PCI a cada repique, foram realizados utilizando, como inóculo, uma alíquota de 20mL do cultivo anterior contendo bactérias adaptadas.

## Resultados

Após cortadas e trituradas, os resultados dos formatos e tamanhos das PCI's podem ser vistos na Figura 4 abaixo.



Figura 4 – Resultado final das placas de tamanho 12mm, < 2mm e > 2 mm, respectivamente.

A caracterização (Tabela 1) forneceu a quantidade de metal presente em mg por kg de placas de circuito impresso.

Tab. 1 – Quantidade de metal presente em proporção à PCI

Metal	Massa (mg)/kg <sub>PCI</sub>
Ouro (Au)	0,000912
Cobre (Cu)	0,368900
Prata (Ag)	0,000256
Níquel (Ni)	0,022900
Estanho (Sn)	0,020800

A adaptação das bactérias continua em andamento. Abaixo as fotos de alguns erlenmeyers no começo do trabalho.



Figura 5 – a) *Acidithiobacillus ferrooxidans* isolada de drenagem ácida de minas; b) bactéria com placas menor que 2mm; c) bactéria com placas maior que 2mm.

## Conclusões

Cada marca e modelo de celular possui placas diferentes. Em geral, as placas de celulares são uma boa fonte de metais como ouro, prata e cobre. A moagem é necessária quando se deseja extrair o cobre, porém para o caso do ouro não é necessária, pois o ouro está contido superficialmente.

Existem bactérias capazes de lixiviar ouro e cobre. Mas para isso, precisam ser adaptadas ao meio contendo as placas.

A biolixiviação é uma alternativa barata e ambientalmente mais correta do que processos tradicionais de pirometalurgia e hidrometalurgia.

## Agradecimentos