



## Remediação da drenagem ácida da mina de Urânio Osamu Utsumi (MG) com biocarvões em barreira reativa permeável em laboratório

Camila de Campos Souza - IG/UNICAMP

Aline Renee Coscione - IAC

Heber Luiz Caponi Alberti - LAPOC/CNEN

Rodrigo Leandro Bonifacio - LAPOC/CNEN

Ricardo Perobelli Borba - IG/UNICAMP

Belo Horizonte, 24 de Novembro de 2021





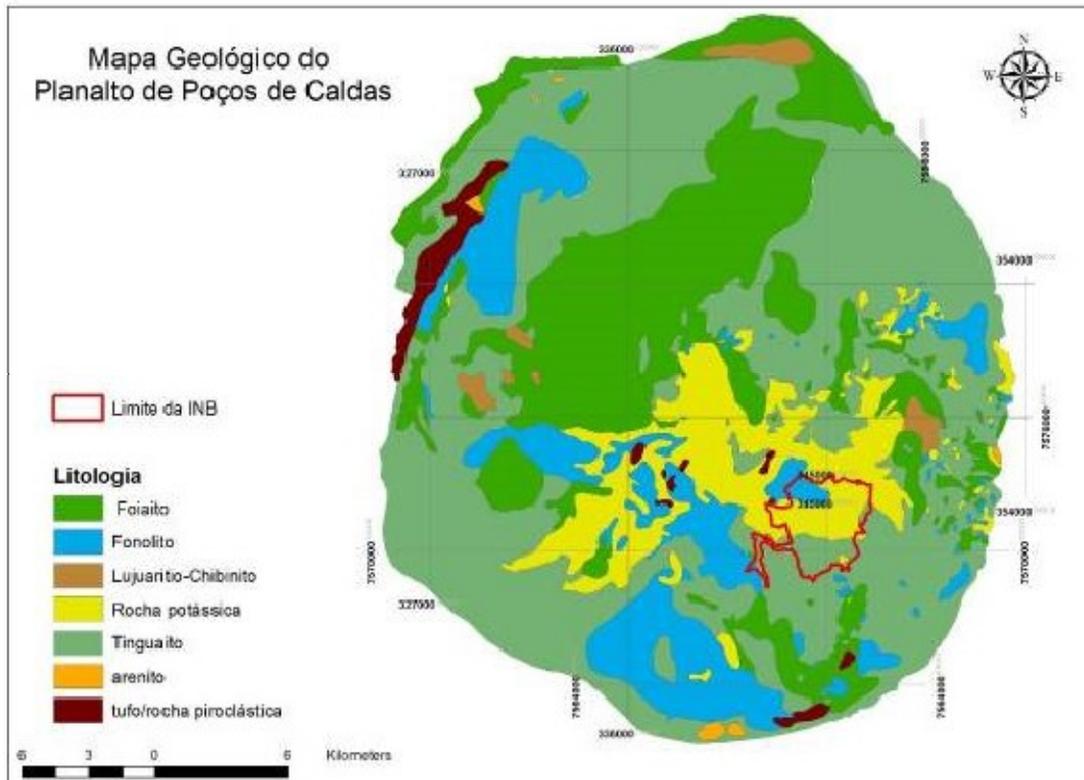
1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA  
1<sup>ST</sup> LATIN AMERICAN ACID MINE DRAINAGE CONGRESS  
1<sup>ER</sup> CONGRESO LATINOAMERICANO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA

- **A mina Osamu Utsami**
  - INB, Município de Caldas (MG)
  - Exploração de Urânio – Lavra a céu aberto - início em 1982 – término 1996
  - Situação atual: descomissionamento





1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA  
1<sup>ST</sup> LATIN AMERICAN ACID MINE DRAINAGE CONGRESS  
1<sup>ER</sup> CONGRESO LATINOAMERICANO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA



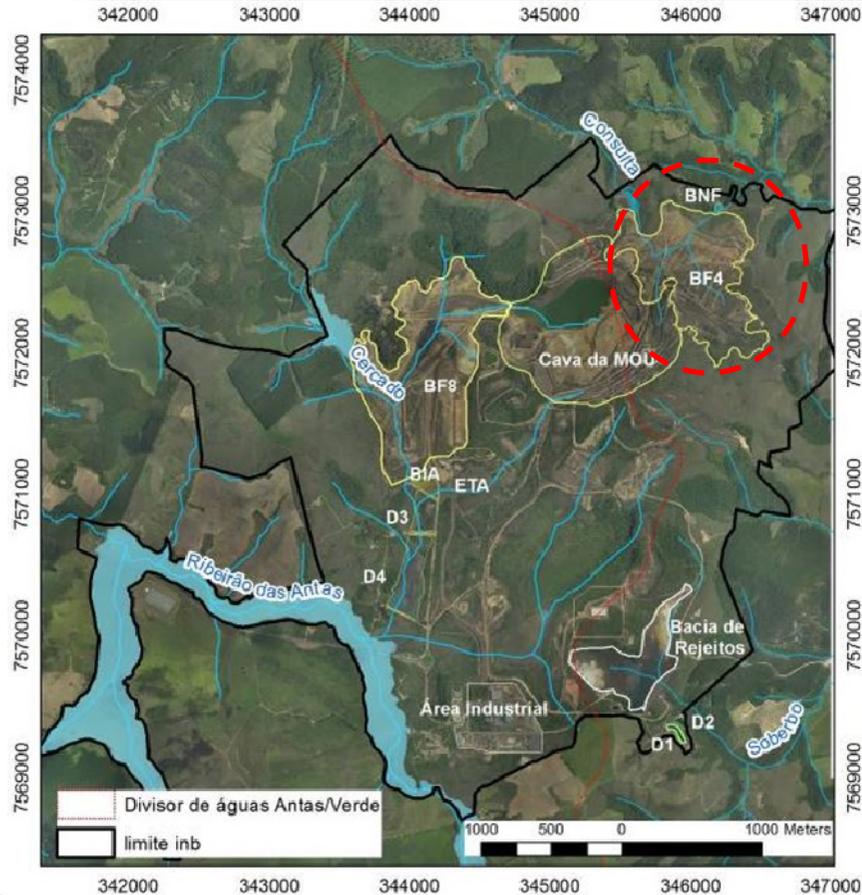
## Mina Osamu Utsumi

Suíte Alcalina de Poços de Caldas – fonólitos  
(feldspato potássico,  
sericita, **pirita**, fluorita,  
minerais de urânio  
(processos hidrotermais))

Fonte: Caponi, 2016



1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA  
1<sup>ST</sup> LATIN AMERICAN ACID MINE DRAINAGE CONGRESS  
1<sup>ER</sup> CONGRESO LATINOAMERICANO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA



Visão geral do complexo industrial da INB/Caldas.  
Em destaque a pilha de estéril BF4 e a bacia Nestor Figueiredo (BNF) de contenção da DAM do BF4.

Fonte: Caponi, 2016



1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA  
1<sup>ST</sup> LATIN AMERICAN ACID MINE DRAINAGE CONGRESS  
1<sup>ER</sup> CONGRESO LATINOAMERICANO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA

## Mina Osamu Utsumi



Fonte: Caponi, 2016



1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA  
1<sup>ST</sup> LATIN AMERICAN ACID MINE DRAINAGE CONGRESS  
1<sup>ER</sup> CONGRESO LATINOAMERICANO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA

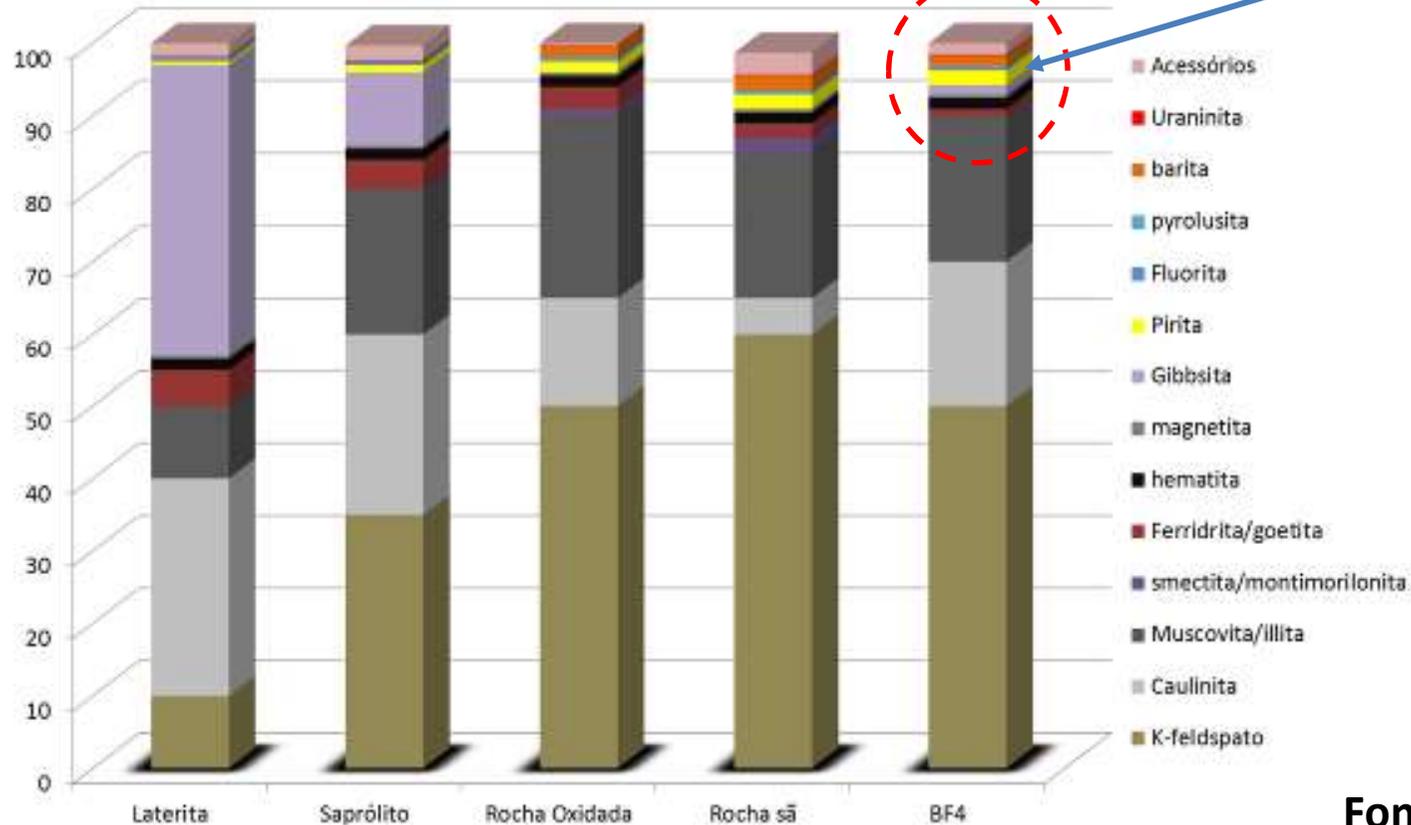
## Mina Osamu Utsumi



Fonte: Caponi, 2016



1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA  
1<sup>ST</sup> LATIN AMERICAN ACID MINE DRAINAGE CONGRESS  
1<sup>ER</sup> CONGRESSO LATINOAMERICANO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA



Pirita no BF4

Composição mineralógica das rochas da Mina Osamu Utsumi

Fonte: Caponi, 2016



- No período de operação da mina foram **removidas  $94,5 \times 10^6$  toneladas de rocha**, sendo que **apenas 2%** deste material foram enviados para **processamento**
- **2.395.820 ton de rejeitos contendo pirita** depositados em pilhas de estéreis denominados **bota-foras-BF**.
- O principal BF, sob ponto de vista da proteção do meio ambiente é o BF4
- Ocupa 56,9 ha e contém **12,4 milhões  $m^3$  de estéril**, com altura de talude de 90 metros
- Vazão mensal média de  $80.000m^3/mês = \mathbf{DAM}$



## Objetivo

Qual é a capacidade dos biocarvões de casca de eucalipto e de bagaço de cana em neutralizar a DAM e reter elementos?



## Porque testar o biocarvão na remediação?

- Alto índice de carbono e capacidade de troca de cátions
- Porosidade Elevada
- Capacidade de retenção de elementos





- **Obtenção dos biocarvões (BC) de casca de eucalipto e bagaço de cana**
  - Empresa Bioware
  - Matriz: Casca de Eucalipto e Bagaço de Cana
  - **Secagem – umidade de 15%**
  - Cominuição do material – **1,2 mm**
  - Pirólise em reator de leito fluidizado (**470° – 500°C**) – O<sub>2</sub> controlado
  - Subprodutos: bio-óleo e extrato ácido





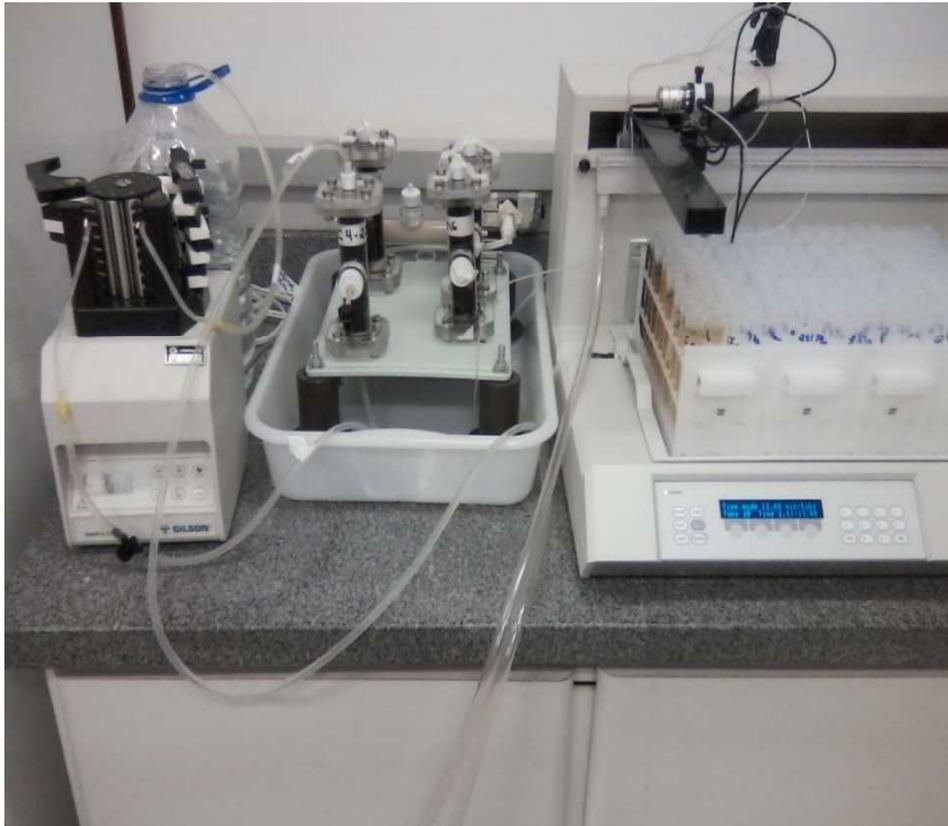
- **Ensaio de lixiviação de colunas**

- Materiais reativos: **BC Eucalipto, BC Cana**
- Topo e base de areia + recheio com 5 g de biocarvão (cana ou eucalipto)
- Volume de poros ~22 mL





1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA  
1<sup>ST</sup> LATIN AMERICAN ACID MINE DRAINAGE CONGRESS  
1<sup>ER</sup> CONGRESO LATINOAMERICANO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA



- **Ensaio de colunas de lixiviação**

- Fluxo: 1 ml/min
- Amostragem (volume de poro)
- 1 volume de poros = 22 mL

**EM MÉDIA:**

Amostragem: 11 min/tubo

VP lixiviado = 56 VP (1,35 L)

Duração média dos experimentos:  
cerca de 20 hs por coluna



## Soluções amostradas

- Filtradas (filtro de 0,45  $\mu\text{m}$ )
- Separação das amostras para as análises químicas (acidificadas com 200  $\mu\text{L}$  de ácido nítrico)
- Determinação dos parâmetros físico químicos pH, Eh e condutividade
- DAM e soluções: composição química determinada por ICP–OES (IAC) e ICP–MS (CNEN; U e Th)

## Biocarvão

- Extração parcial com o método EPA 3051a



# Resultados

- **DAM**

- **As e Mn:** concentração acima do permitido (CONAMA 430/2011 – padrões de lançamento de efluentes **As: 0,5 mg/L; Mn = 1 mg/L; sem dados para urânio e tório)**
- **pH: 3,77** – ausência de Fe (precipitado)
- **U – 4,56 mg/L e Th = 0,1 mg/L**

|               | mg/L  |      |       |      |     |      |     |      |      |
|---------------|-------|------|-------|------|-----|------|-----|------|------|
| DAM           | Al    | As   | Ca    | K    | Mg  | Mn   | Na  | Se   | Zn   |
| Média         | 122,3 | 0,90 | 89,37 | 10,1 | 6,6 | 67,3 | 3,8 | 0,05 | 13,3 |
| Desvio padrão | 1,8   | 0,05 | 18,05 | 0,6  | 0,2 | 21,7 | 0,5 | 0,06 | 0,3  |



## Balanço de Massa - BC Eucalipto

| Massas                    | Al          | As          | Ca         | K           | Mg          | Mn           | Na         | Zn          | U           |
|---------------------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|------------|-------------|-------------|
| Adicionada DAM (mg)       | 208,0       | 1,5         | 151,9      | 17,3        | 11,3        | 114,5        | 6,4        | 22,6        | 7,9         |
| Percolada (mg)            | 219,2       | 1,3         | 217,1      | 41,2        | 11,3        | 148,7        | 7,8        | 18,4        | 2,9         |
| retida                    | -11,2       | 0,2         | -65,2      | -23,9       | 0,0         | -34,2        | -1,4       | 4,1         | 5,0         |
| % retida                  | <b>-5,4</b> | <b>14,5</b> | <b>-43</b> | <b>-139</b> | <b>-0,4</b> | <b>-29,9</b> | <b>-22</b> | <b>18,4</b> | <b>63,1</b> |
| Teores nas Cinzas (mg/kg) | 367         | 4.3         | 6446       | 41187       | 2987        | 121          | 288        | 56          | 0           |

Th = todas as medidas após o tratamento se mostraram abaixo dos limites de detecção do equipamento = 100% de retenção



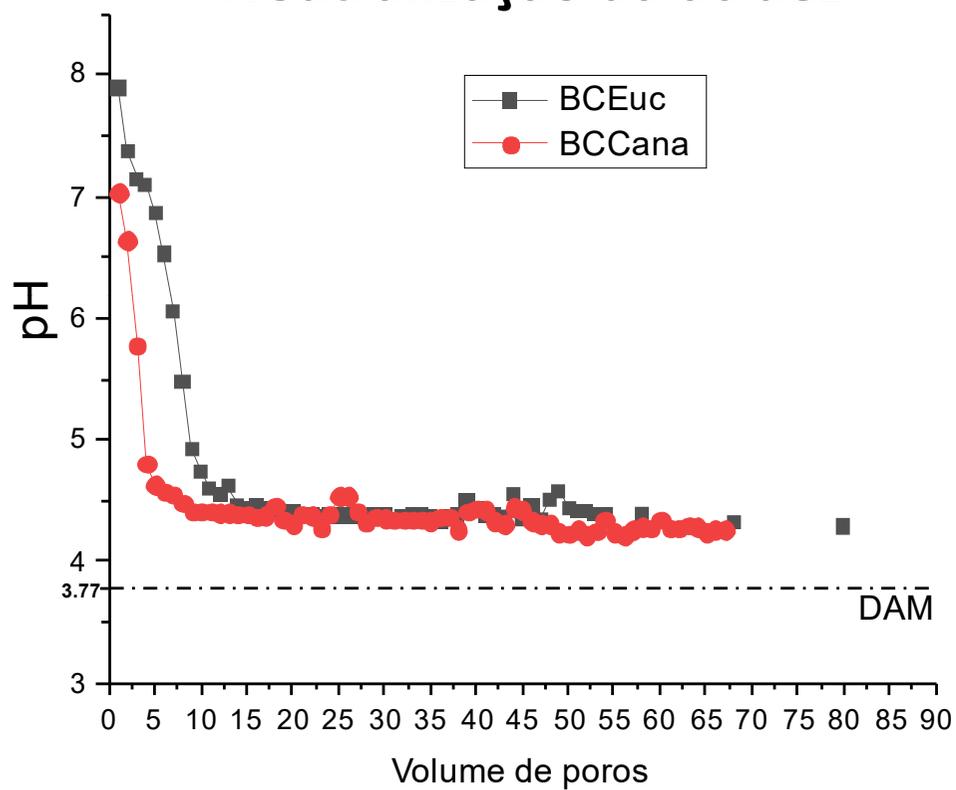
## Balanço de Massa - BC Cana

| Massas                       | Al           | As          | Ca           | K           | Mg         | Mn           | Na          | Zn          | U           |
|------------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Adicionada<br>DAM (mg)       | 183,3        | 1,4         | 133,9        | 15,2        | 9,9        | 100,9        | 5,7         | 19,9        | 6,8         |
| Percolada (mg)               | 202,3        | 1,2         | 169,0        | 37,0        | 11,0       | 131,2        | 6,2         | 16,8        | 5,4         |
| retida                       | -19,0        | 0,1         | -35,1        | -21,8       | -1,0       | -30,3        | -0,5        | 3,1         | 1,3         |
| <b>% retida</b>              | <b>-10,4</b> | <b>10,8</b> | <b>-26,2</b> | <b>-143</b> | <b>-11</b> | <b>-30,1</b> | <b>-9,5</b> | <b>15,5</b> | <b>20,3</b> |
| Teores nas Cinzas<br>(mg/Kg) | 4301         | 1.3         | 4477         | 14433       | 2033       | 164          | 239         | 104         | 0           |

Th = todas as medidas após o tratamento se mostraram abaixo dos limites de detecção do equipamento = 100% de retenção

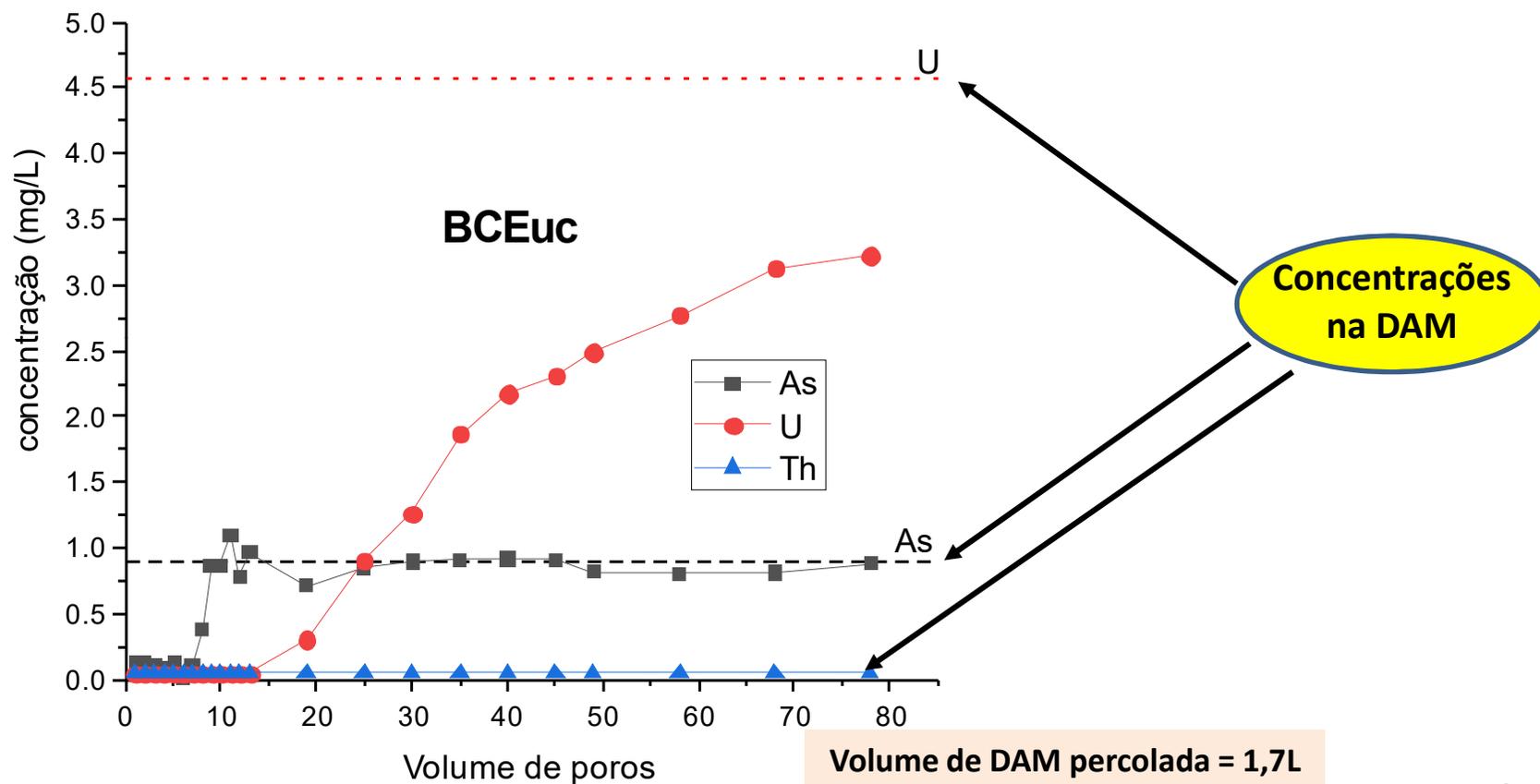


## Neutralização da acidez



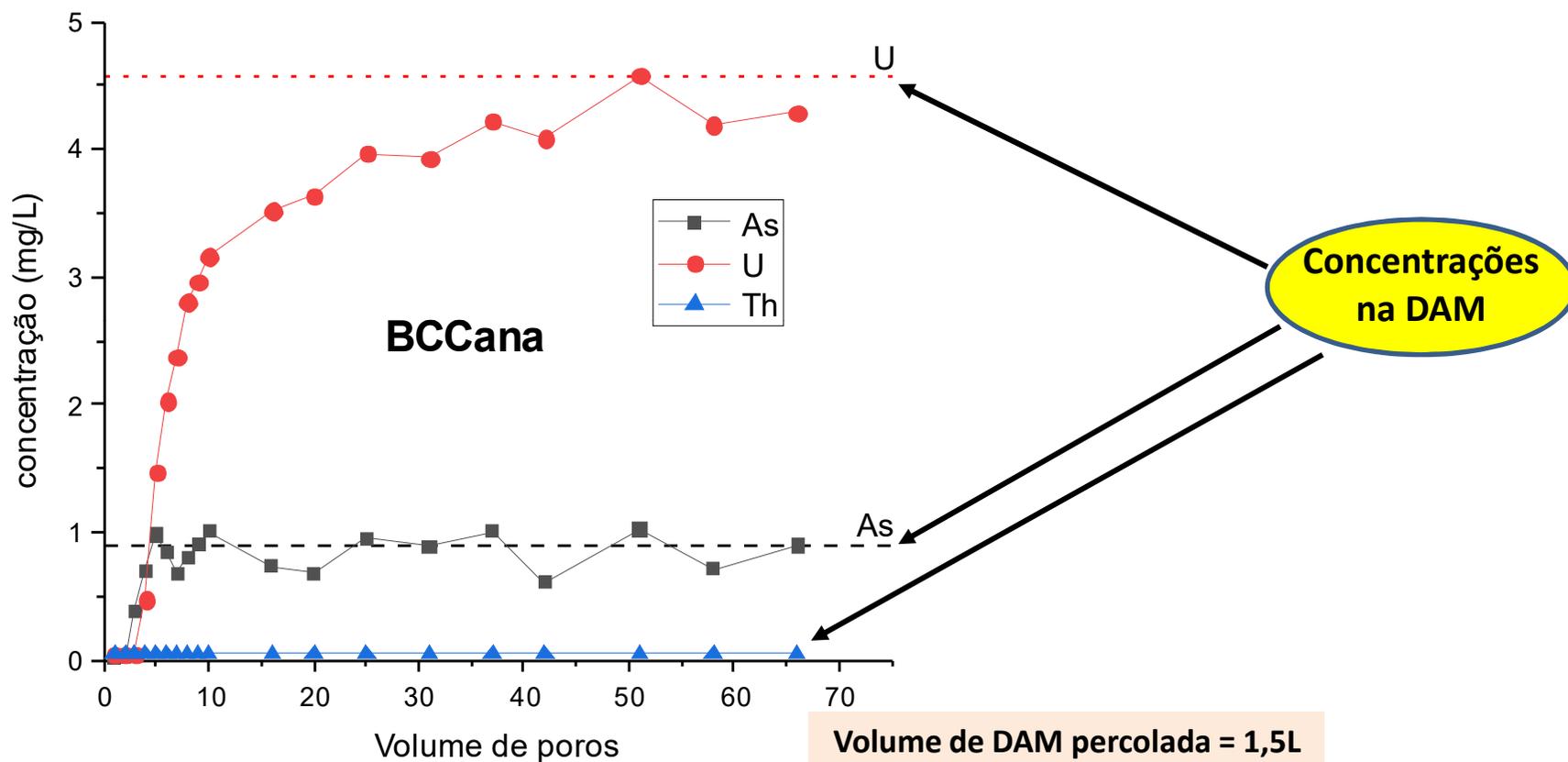


## Retenção de U, As e Th





## Retenção de U, As e Th





## CONCLUSÕES

- capacidade de neutralização do pH dos biocarvões é pequena,
- A capacidade de retenção total do Th, e parcial do U e As indicam um potencial do uso dos biocarvões para a remoção destes íons de soluções.



1º CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA  
1<sup>ST</sup> LATIN AMERICAN ACID MINE DRAINAGE CONGRESS  
1<sup>ER</sup> CONGRESO LATINOAMERICANO DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA

**Obrigado!!!**