

22-25 MARÇO 2012

PROGRESSÃO DA EROSÃO INTERNA EM BARRAGENS DE ATERRO

Ricardo Santos

ricardos@lnec.pt

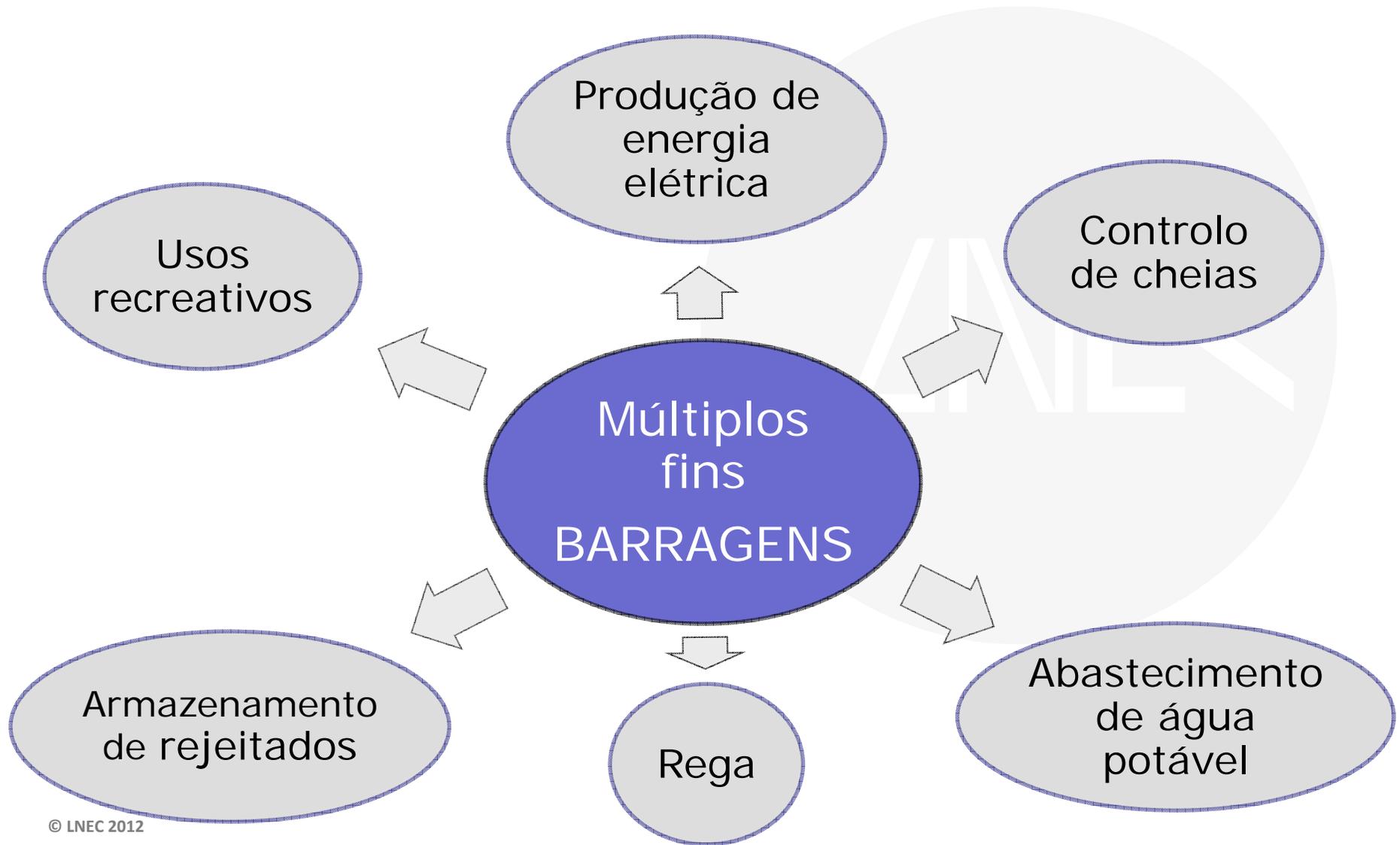
Bolseiro de Doutoramento
Departamento de Geotecnia
Núcleo de barragens e obras de aterro

Orientadores

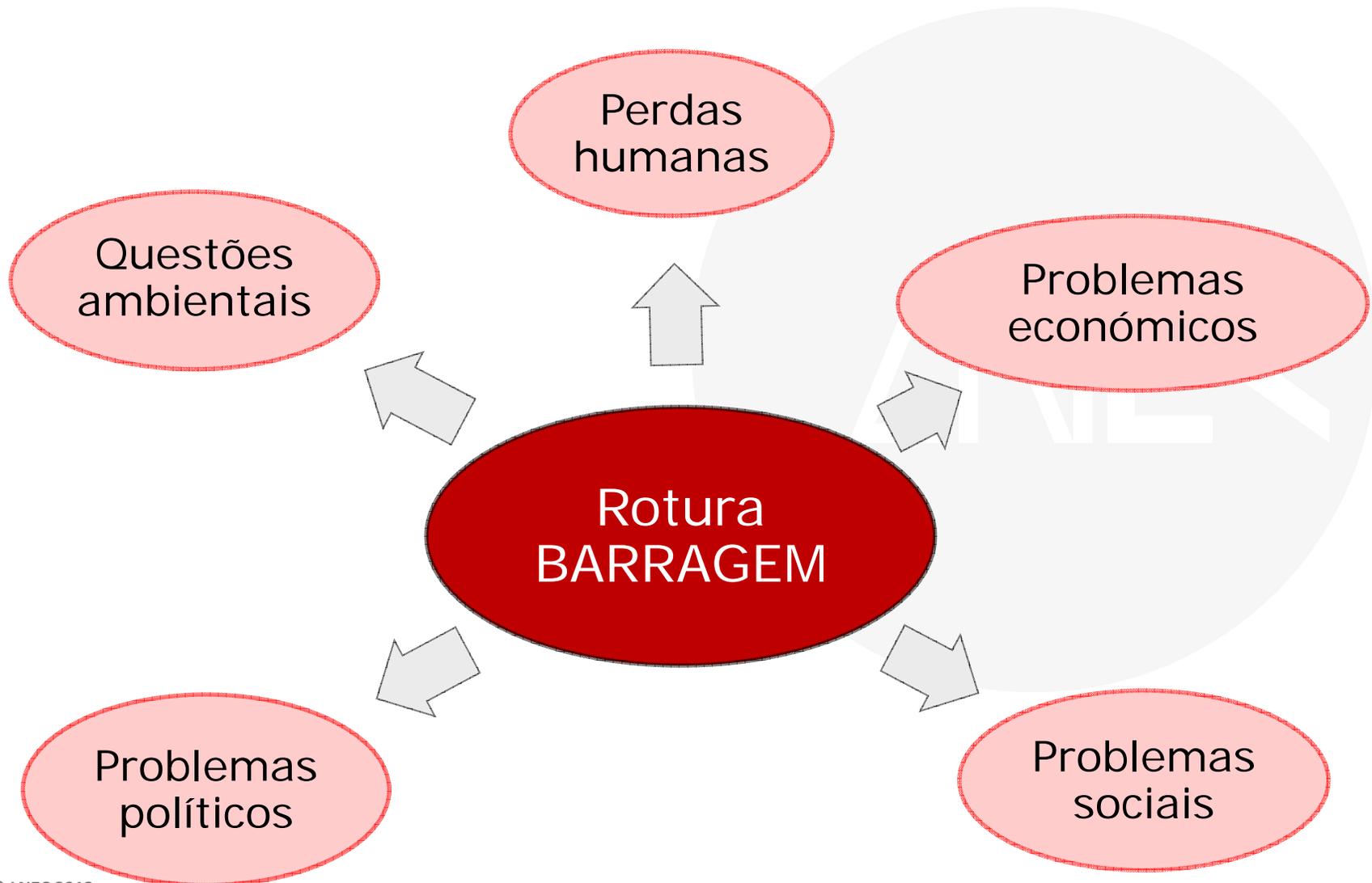
Laura Caldeira

Emanuel Maranhã das Neves

Relevância das barragens na sociedade

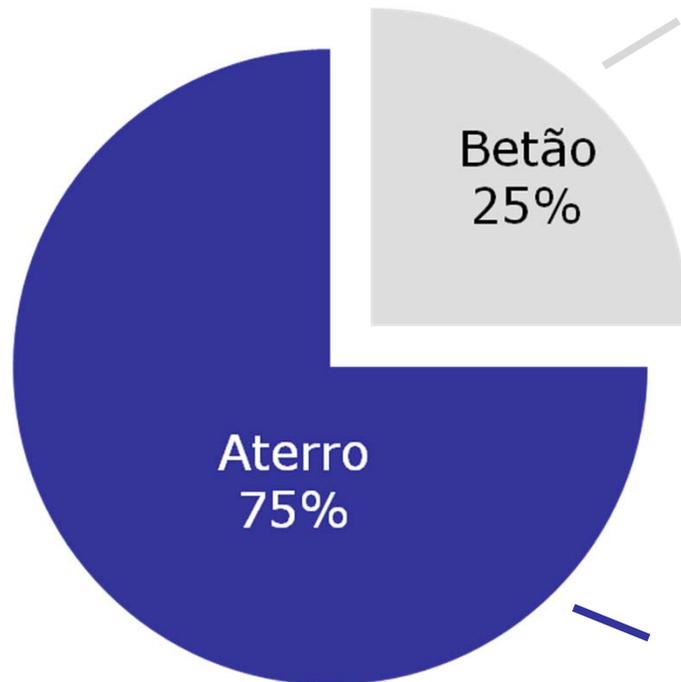


Relevância das barragens na sociedade



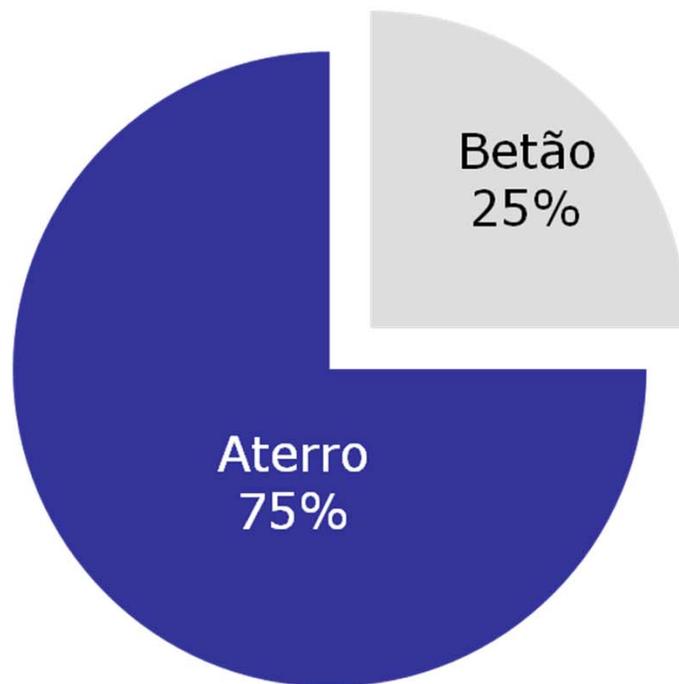
Relevância das barragens de aterro

Tipologia das barragens

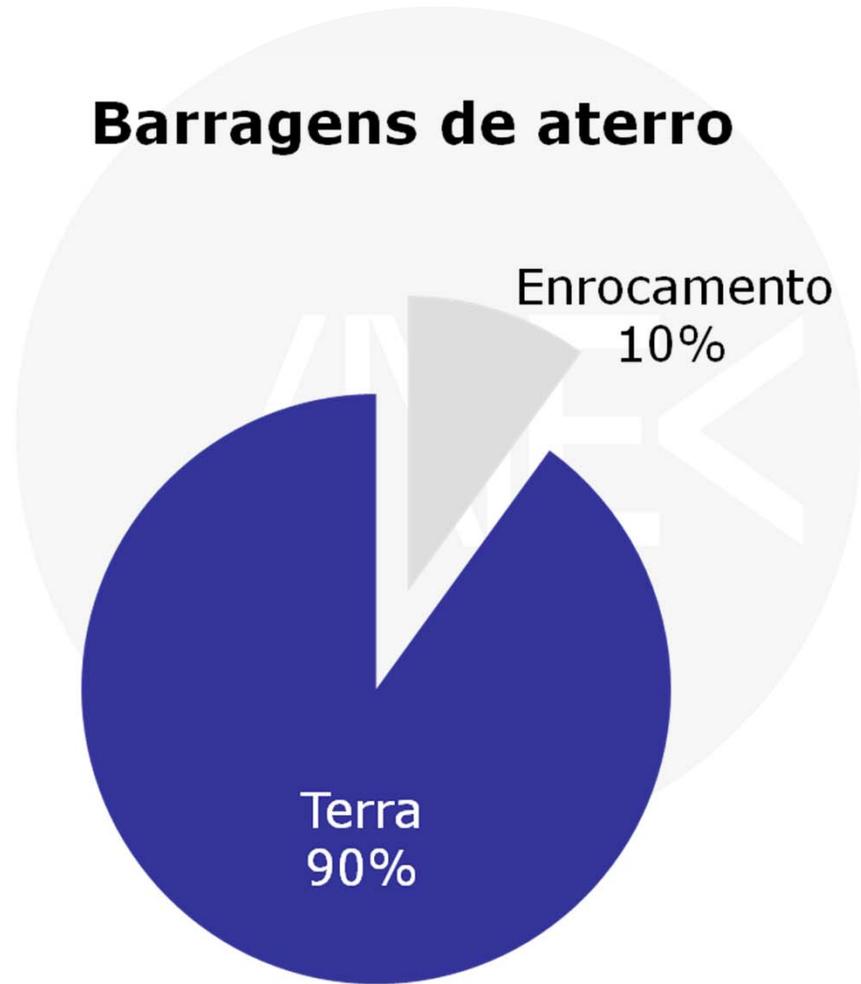


Relevância das barragens de aterro

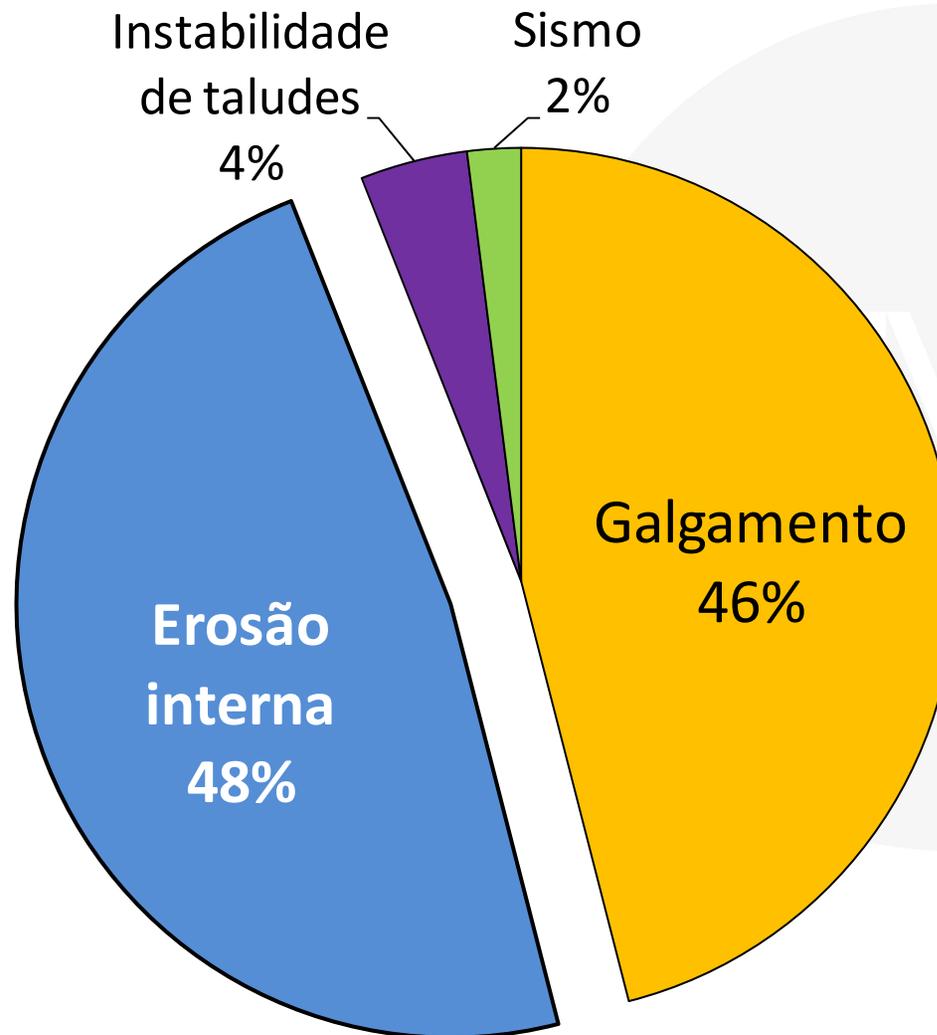
Tipologia das barragens



Barragens de aterro



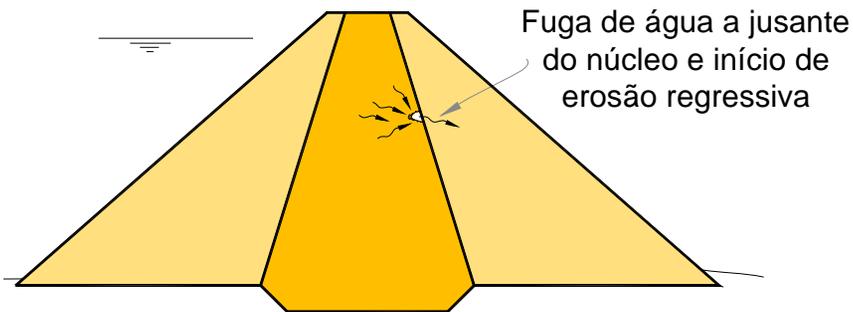
Modos de rotura das barragens de aterro



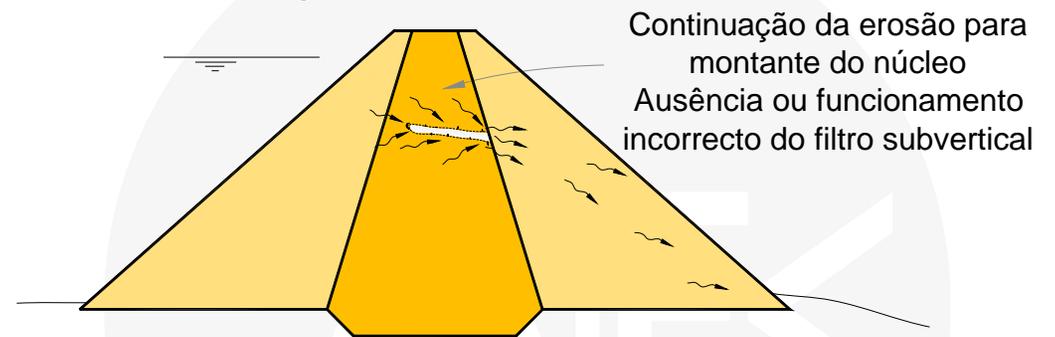
Fonte: Foster, Fell e Spannagle (2000)

Fases do processo de erosão interna

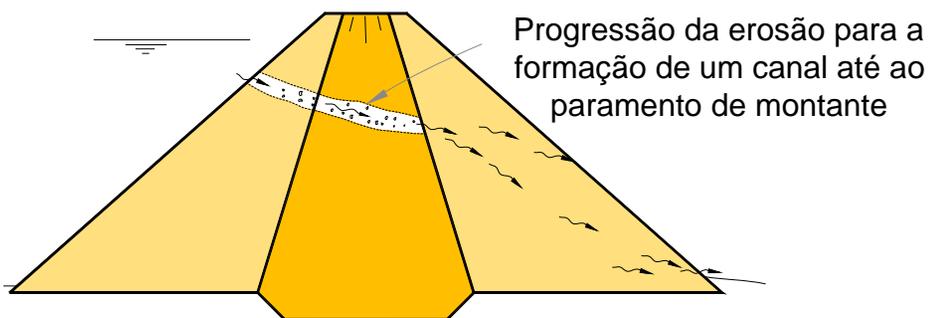
FASE 1 INICIAÇÃO



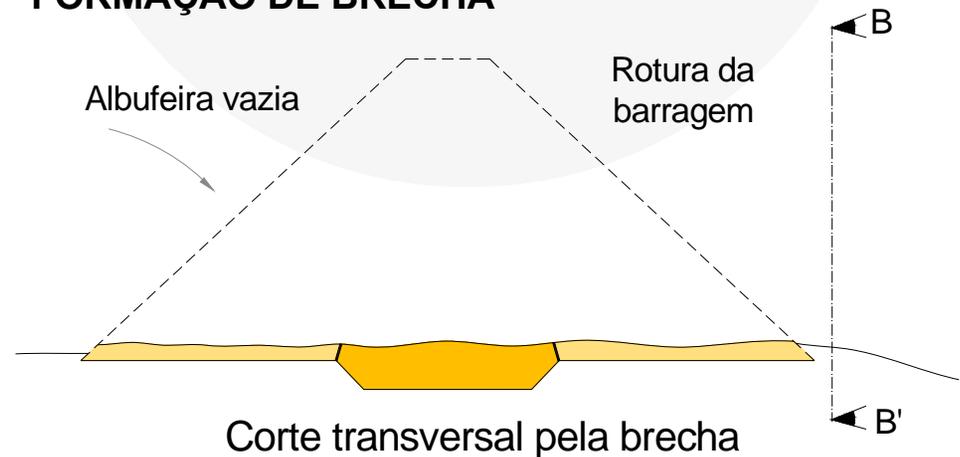
FASE 2 CONTINUAÇÃO/FILTRAGEM



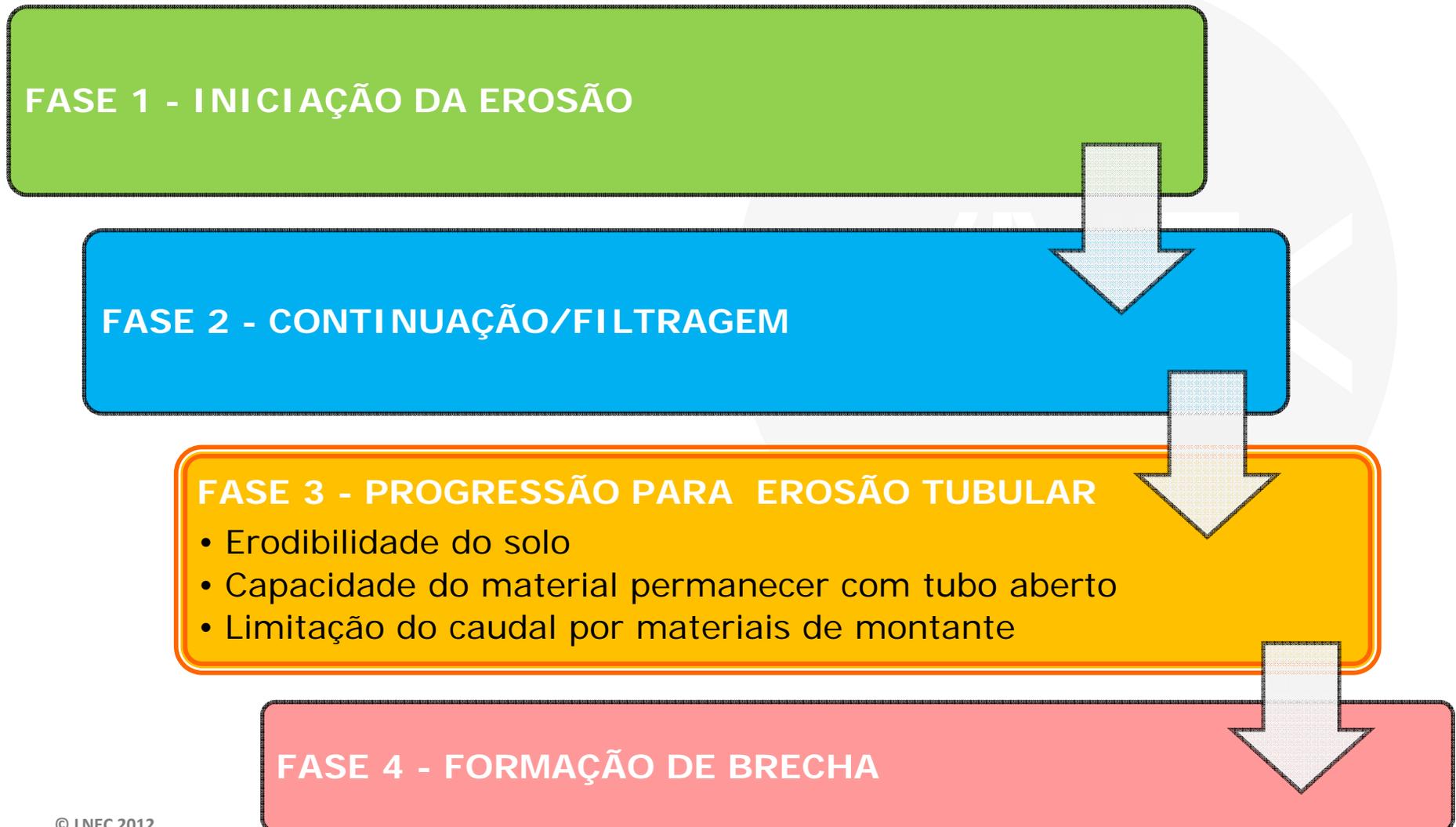
FASE 3 PROGRESSÃO PARA EROSÃO TUBULAR



FASE 4 FORMAÇÃO DE BRECHA



Fases do processo de erosão interna





Progressão para erosão tubular



Tunbridge Dam, Tasmânia, Austrália, 11/28/2008
Fonte: Jeffery Farrar (2008)

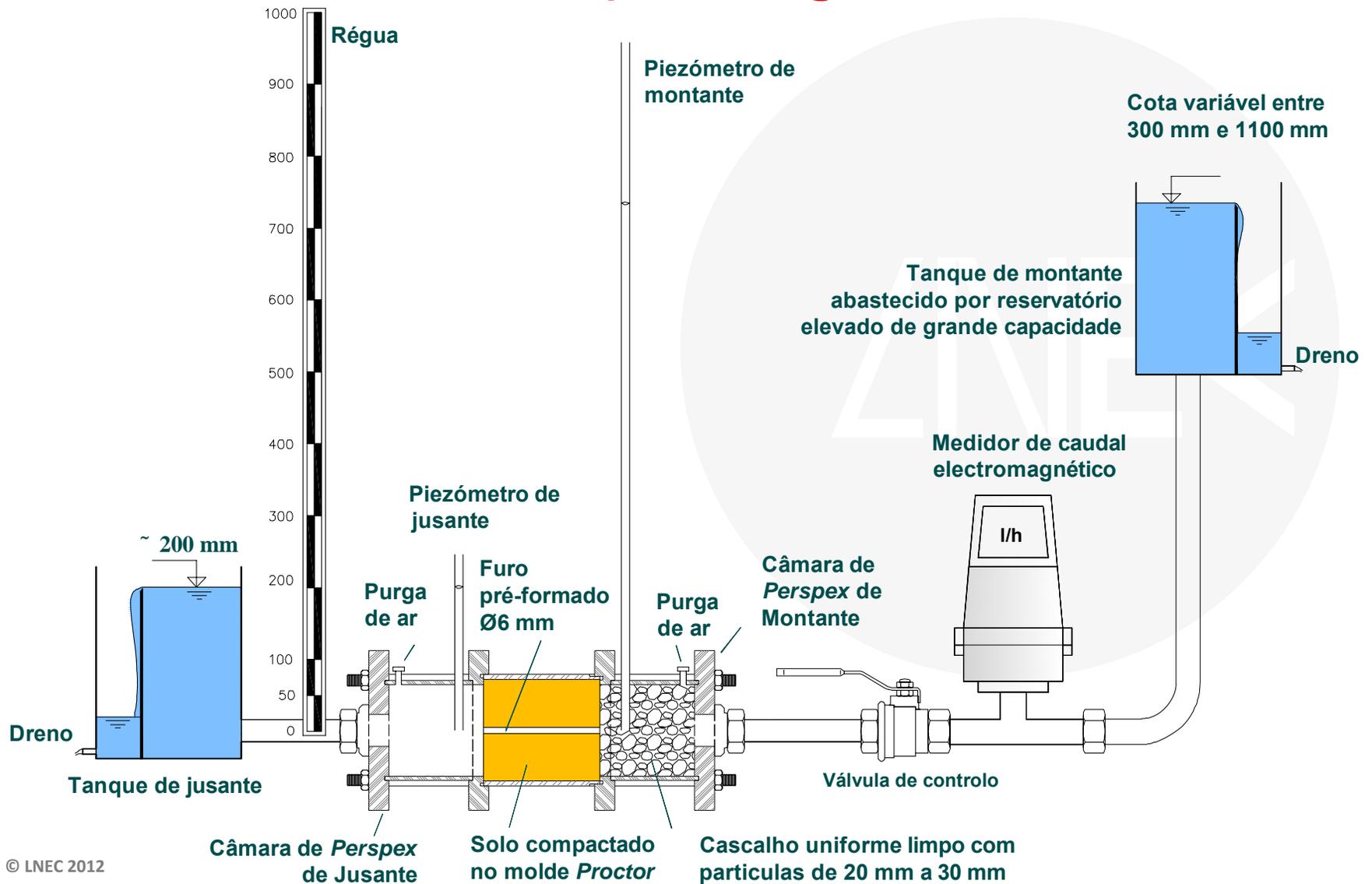


Progressão para erosão tubular

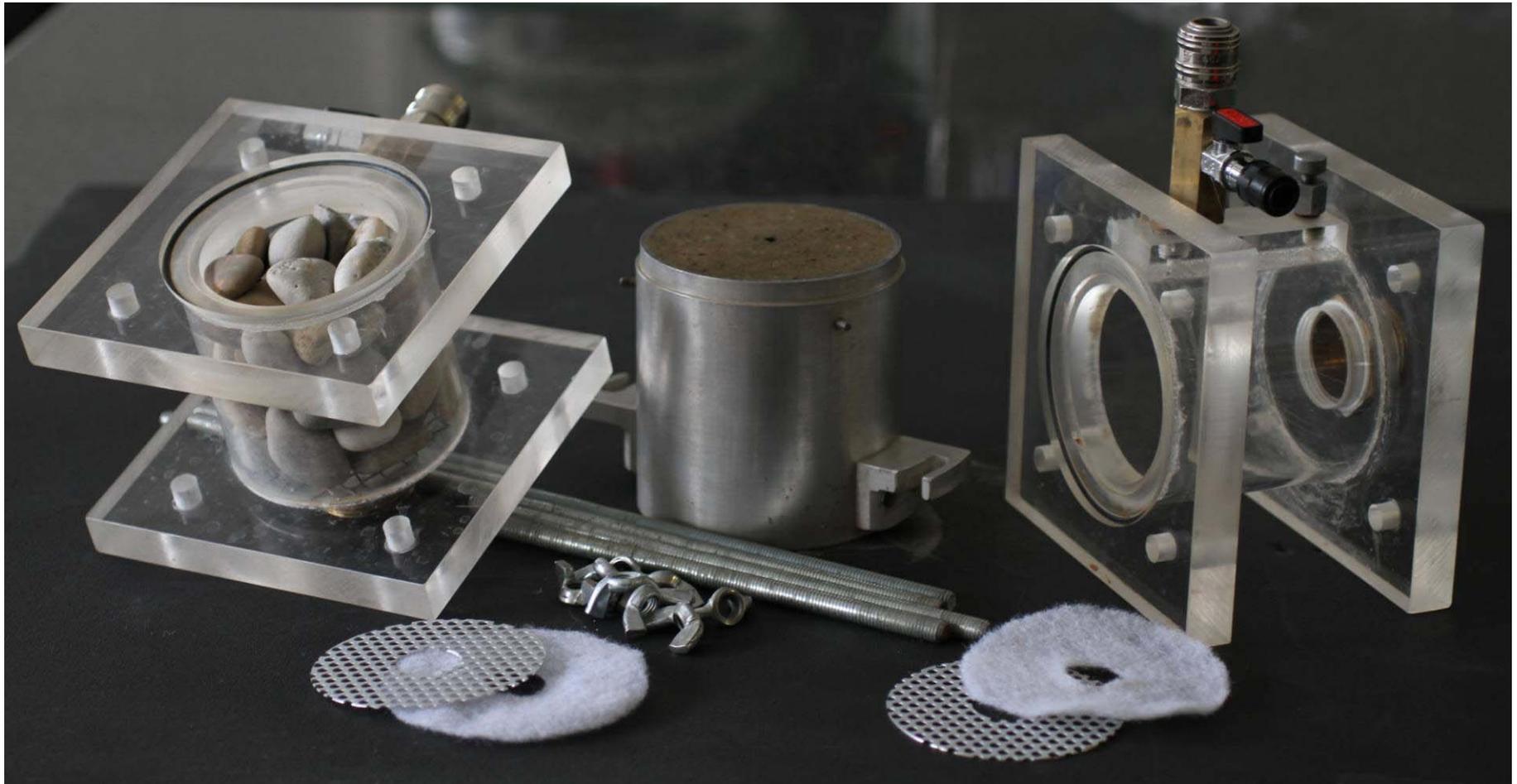


Fonte: Hanson e Hunt (USDA, 2007)

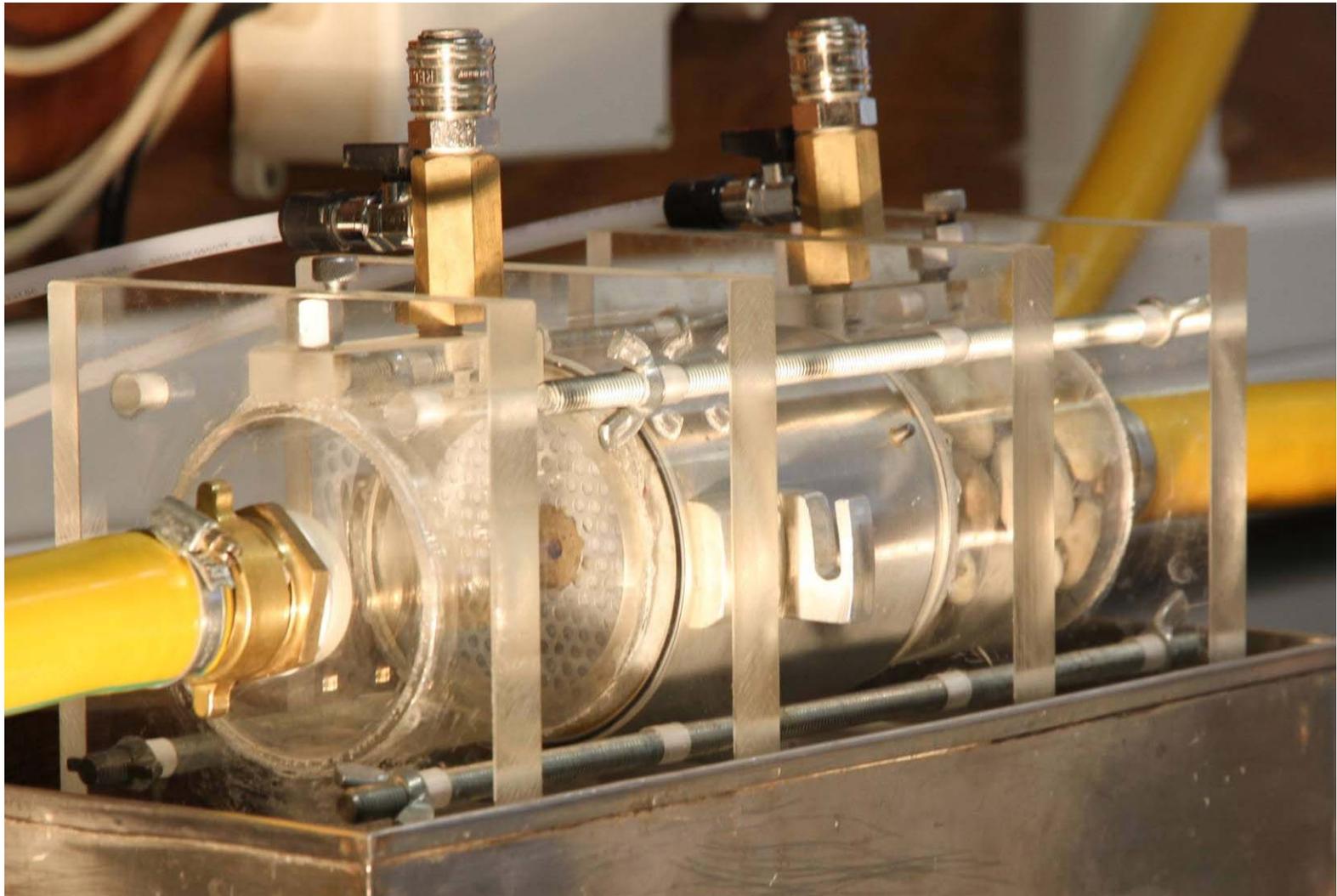
Ensaio de erosão por fuga concentrada



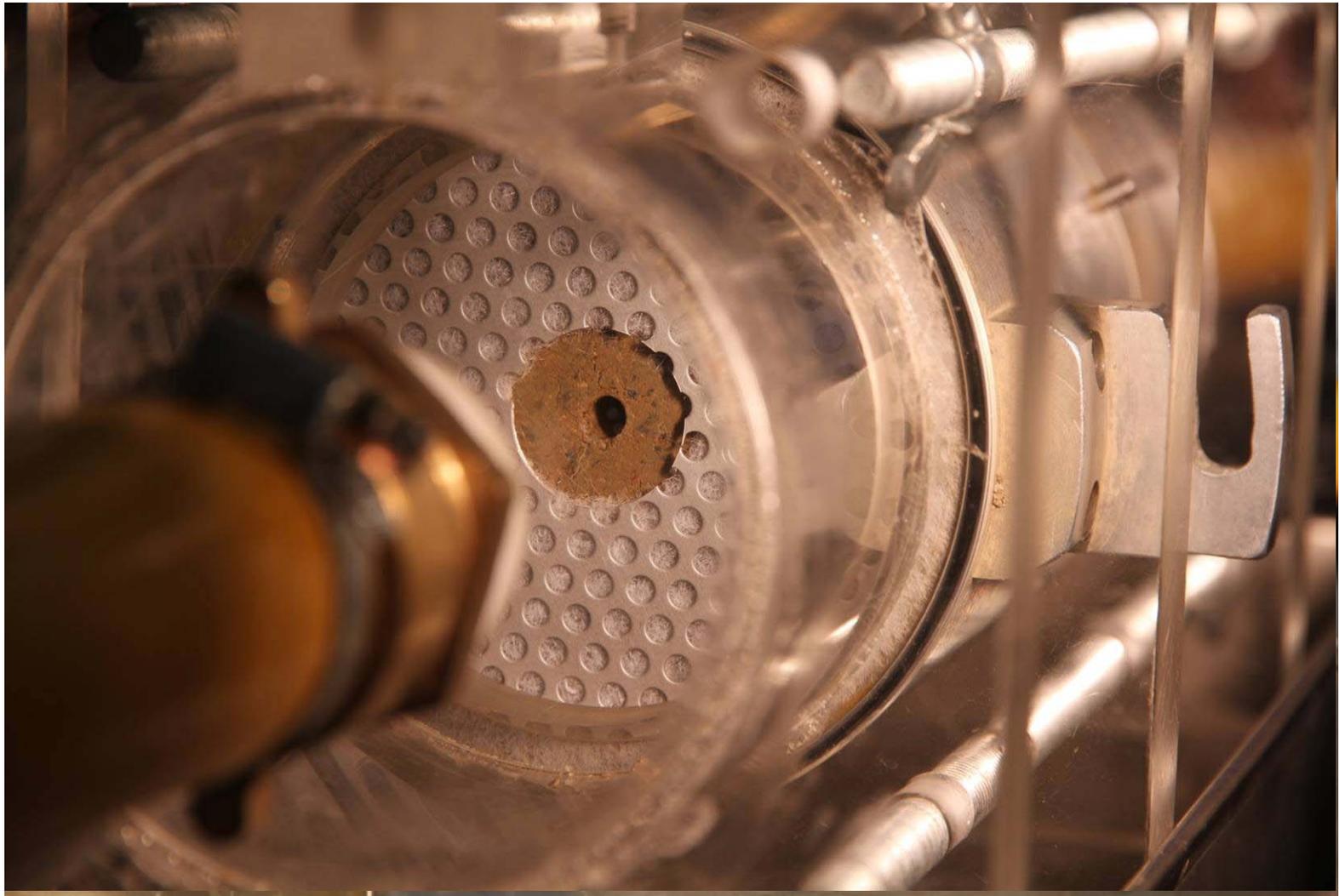
Ensaio de erosão por fuga concentrada



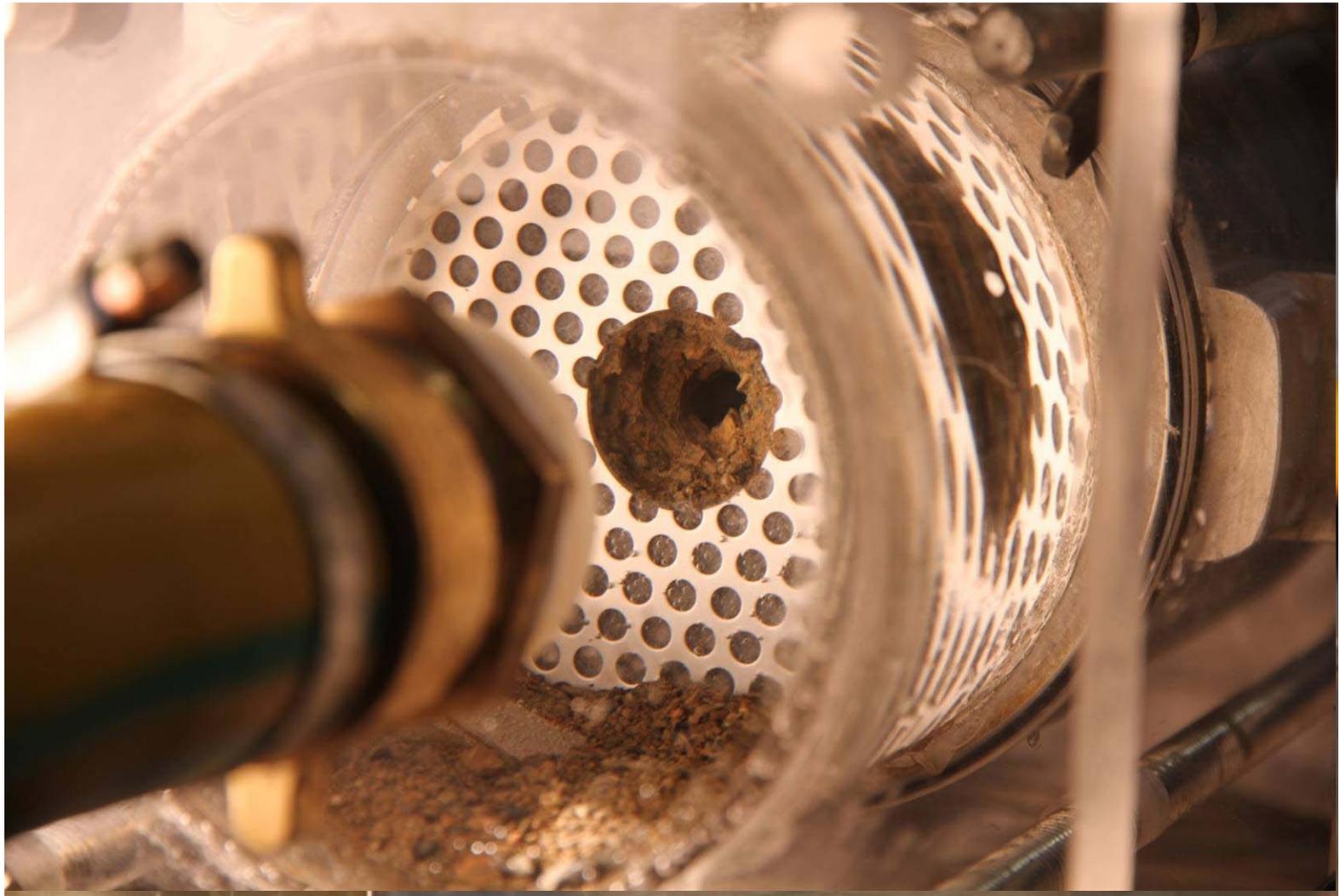
Ensaio de erosão por fuga concentrada



Ensaio de erosão por fuga concentrada

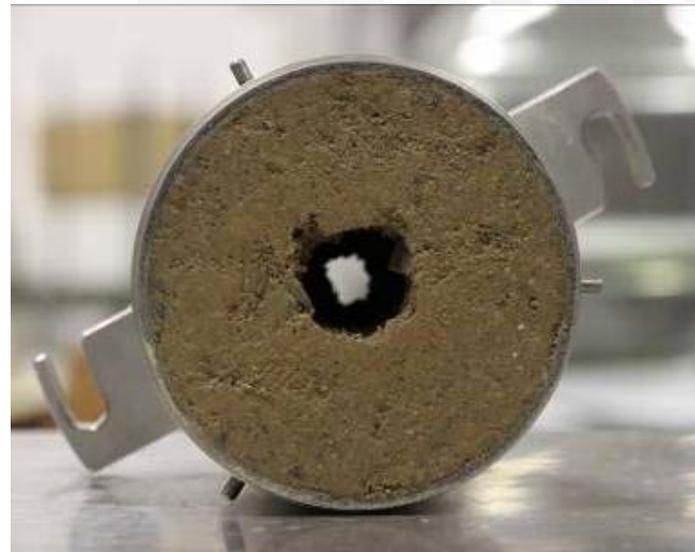


Ensaio de erosão por fuga concentrada



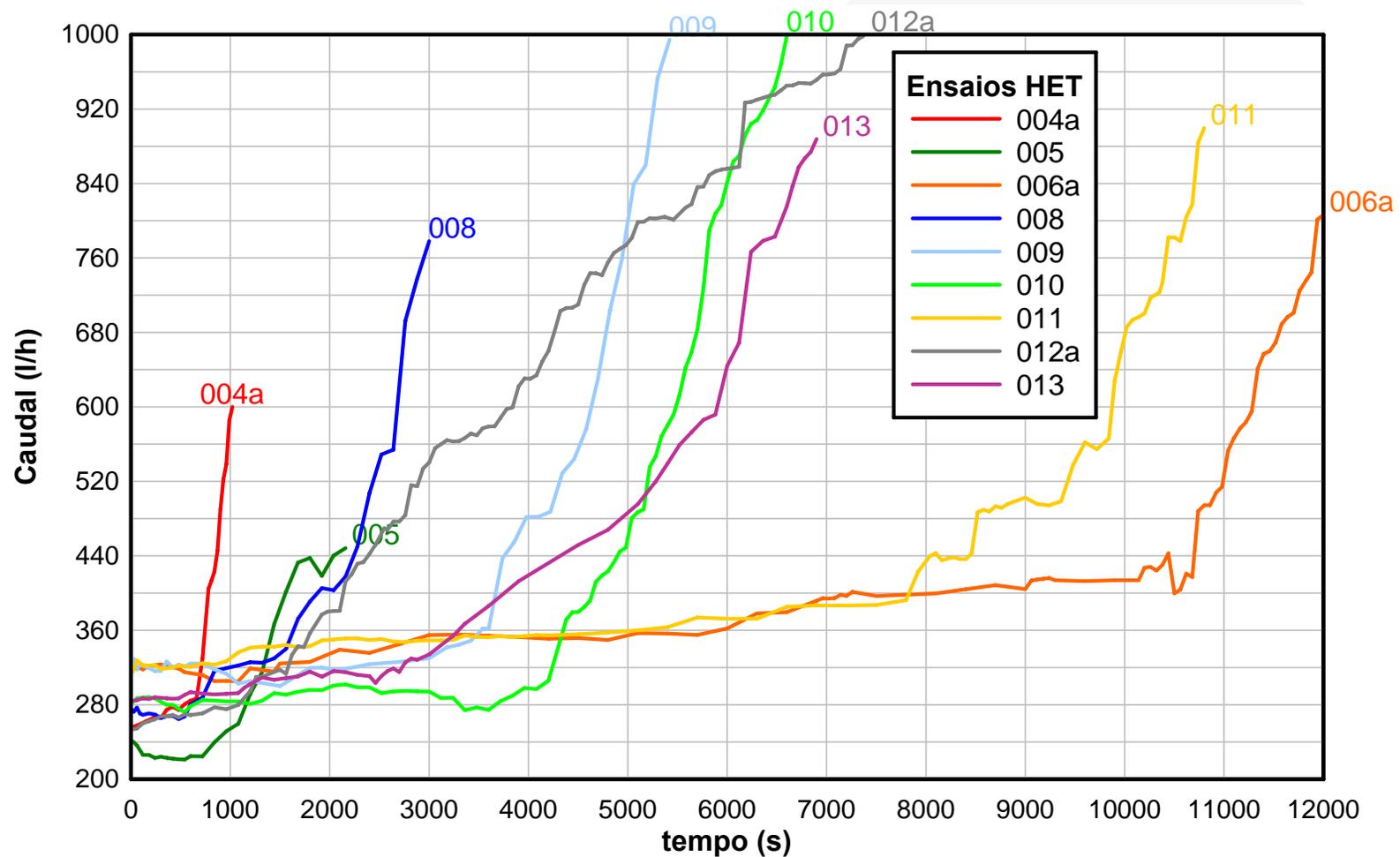
Ensaio de erosão por fuga concentrada

> Furo no final do ensaio



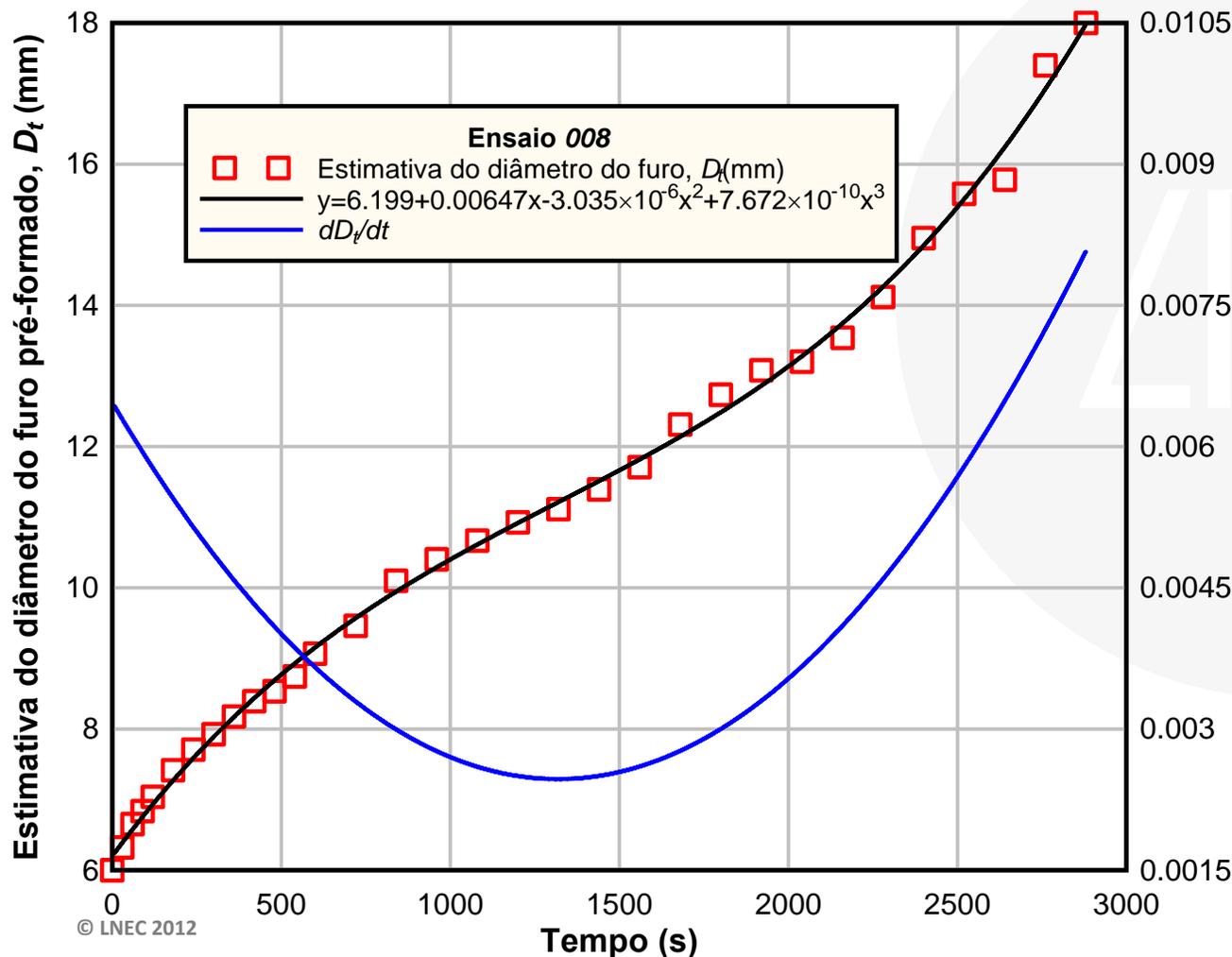
Ensaio de erosão por fuga concentrada

> Evolução dos caudais nos ensaios com progressão da erosão



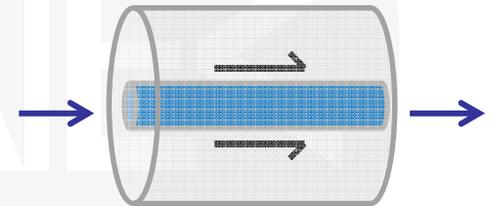
Ensaio de erosão por fuga concentrada

> Mecânica dos fluidos → Evolução do diâmetro do furo



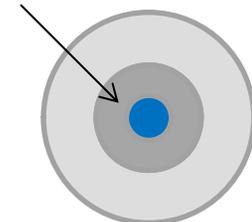
Tensão de corte

$$\tau_t = \rho_w \cdot g \cdot i_t \cdot \frac{D_t}{4}$$



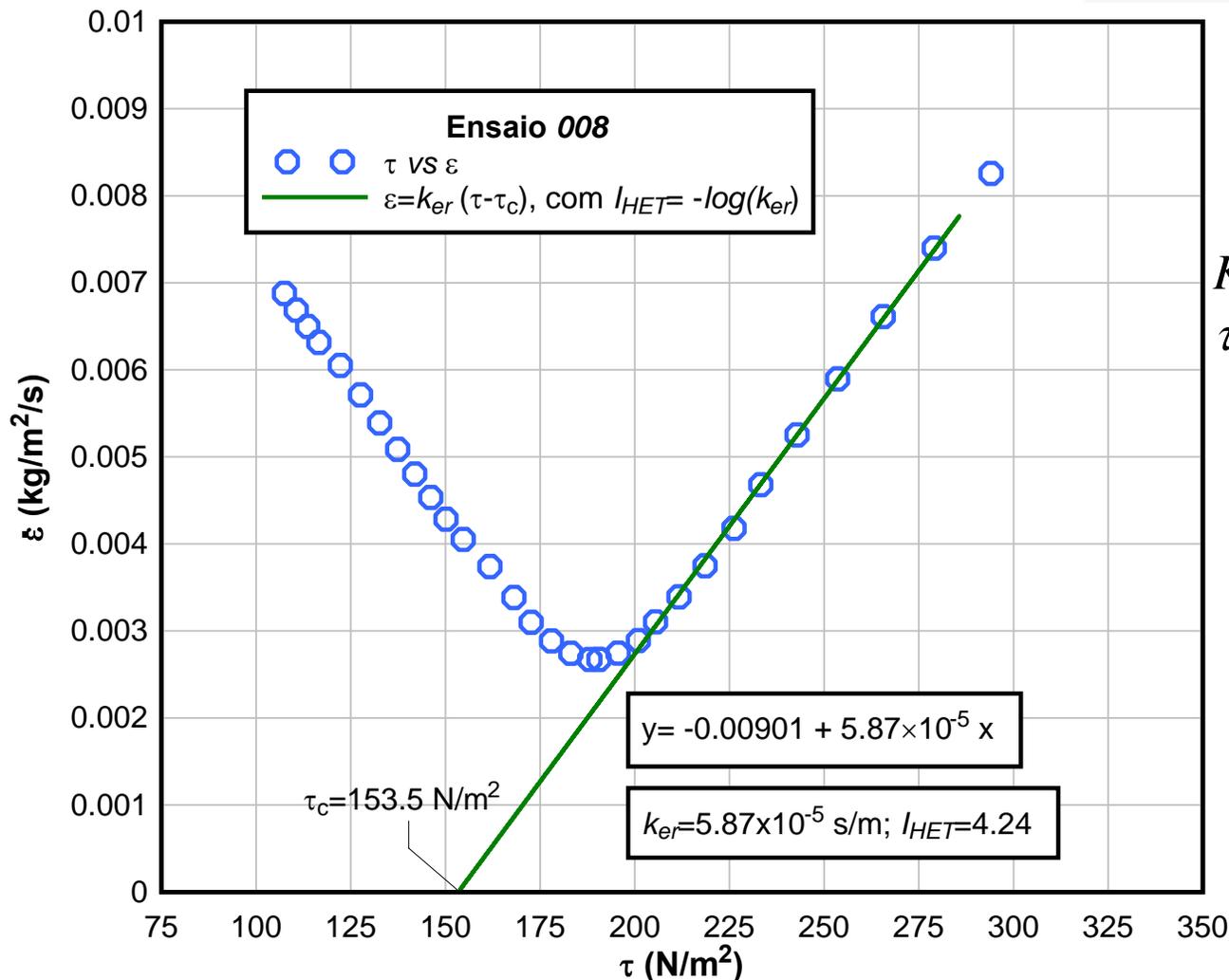
Taxa de erosão

$$\dot{\epsilon}_t = \frac{\rho_d}{2} \frac{dD_t}{dt}$$



Ensaio de erosão por fuga concentrada

> Estimação dos parâmetros de erodibilidade, I_{HET} e τ_c



$$\dot{\varepsilon}_t = k_{er} (\tau_t - \tau_c)$$

K_{er} – Coeficiente de erosão
 τ_c – Tensão de corte crítica

**Índice de
taxa de erosão**

$$I_{HET} = -\log(k_{er})$$

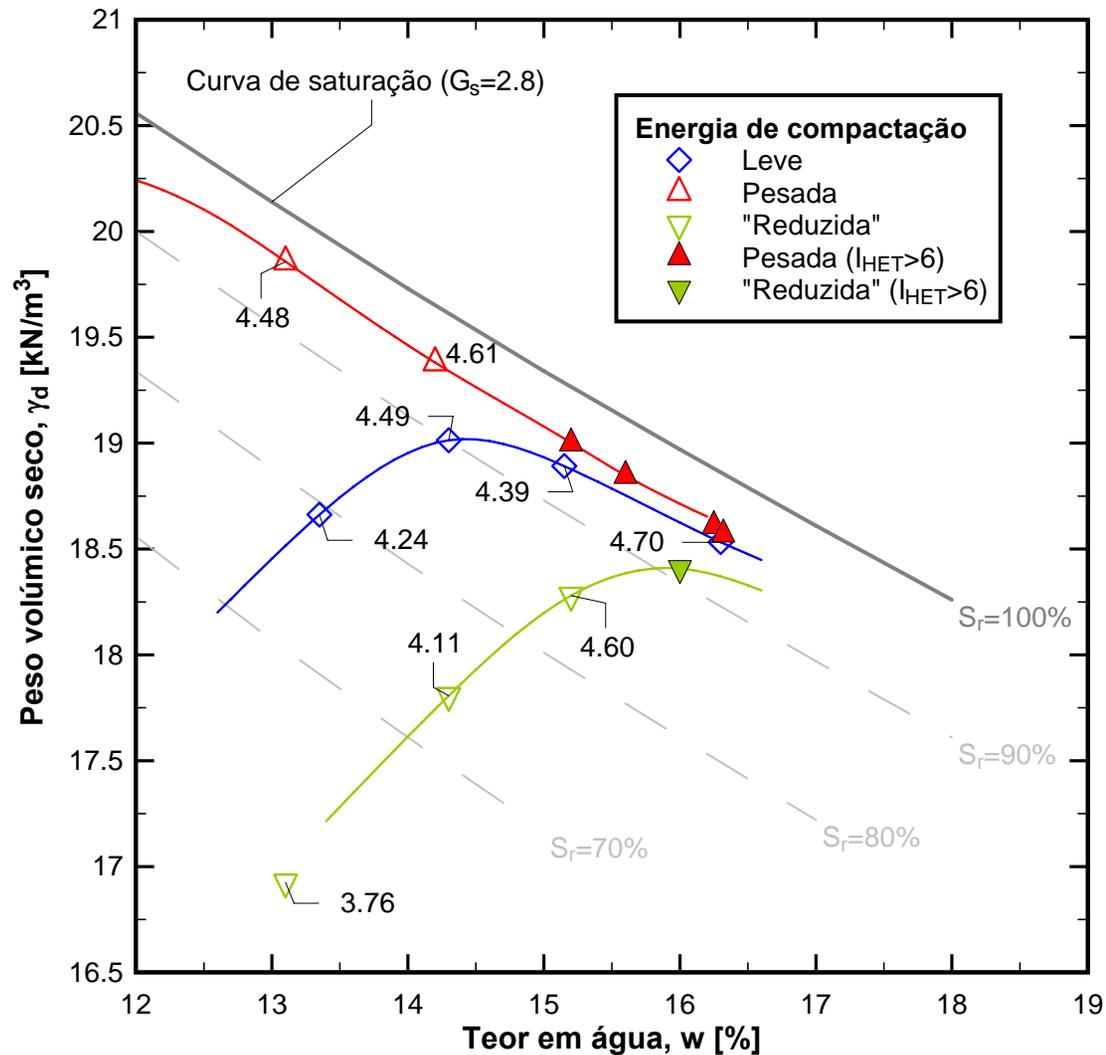
Ensaio de erosão por fuga concentrada

> Classificação da erodibilidade em função de I_{HET}

Grupo	Índice de taxa de erosão, I_{HET}	Descrição da erosão através de uma fuga
1	<2	Extremamente rápida
2	2–3	Muito rápida
3	3–4	Moderadamente rápida
4	4–5	Moderadamente lenta
5	5–6	Muito lenta
6	>6	Extremamente lenta

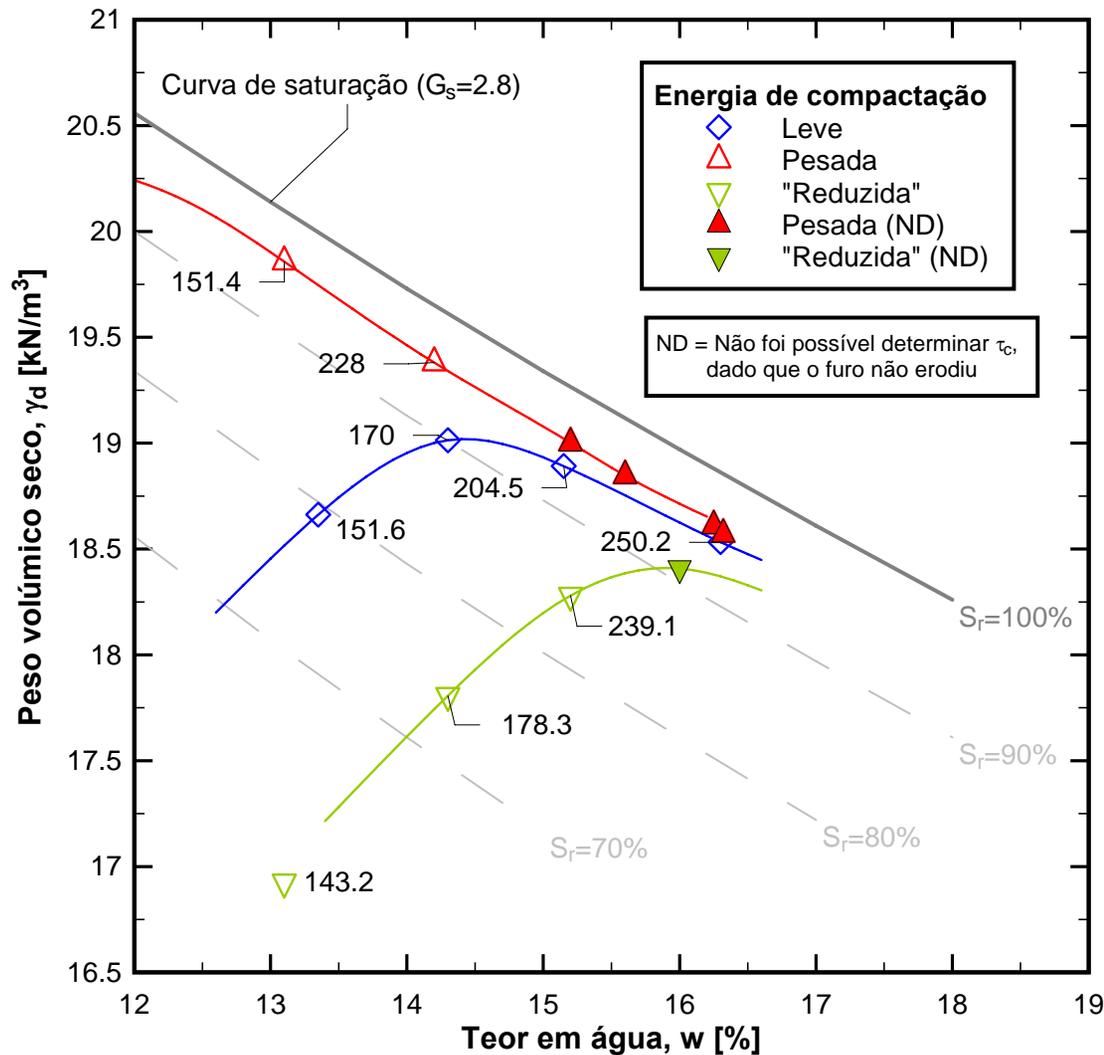
Ensaio de erosão por fuga concentrada

> Resultado de I_{HET} nas curvas de compactação



Ensaio de erosão por fuga concentrada

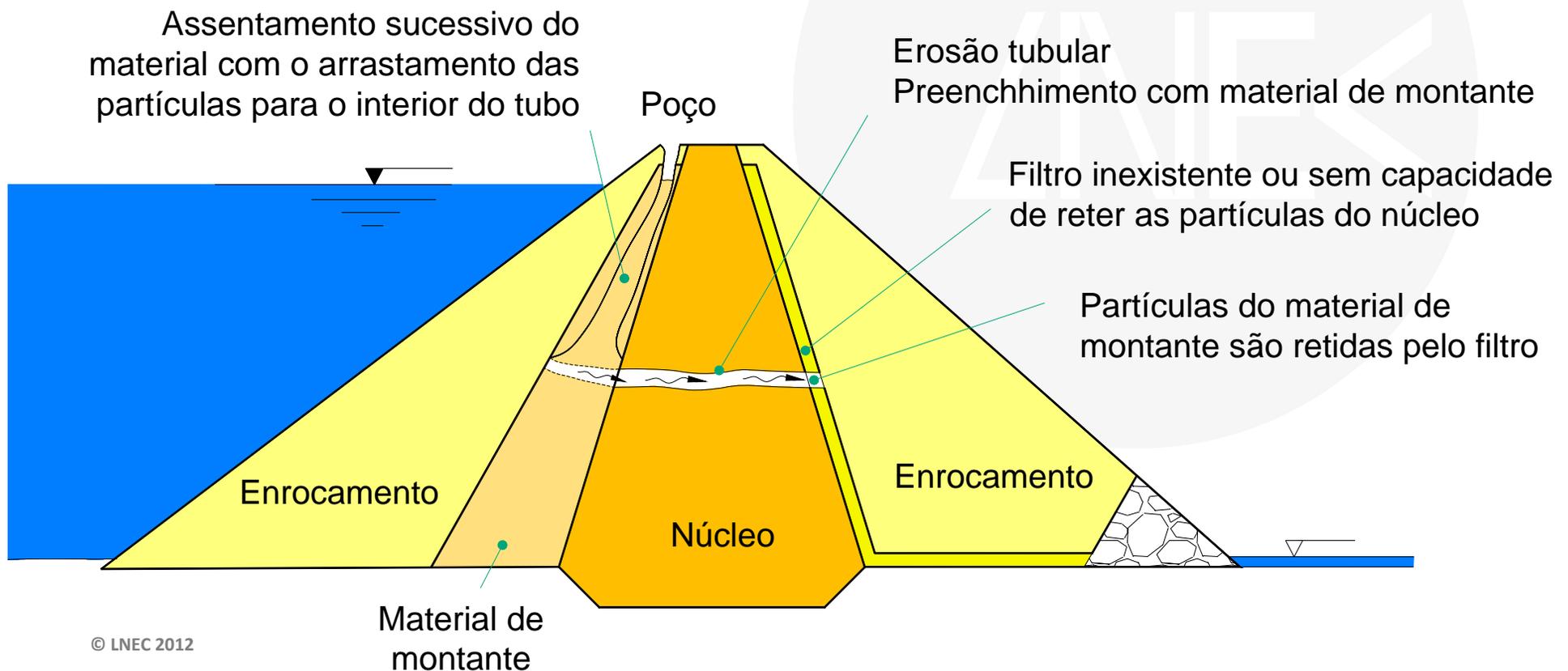
> Resultado de τ_c (N/m²) nas curvas de compactação



Limitação da progressão da erosão

Influência de materiais a montante do núcleo

- > Restrição do caudal
- > Preenchimento do tubo de erosão



Limitação da progressão da erosão

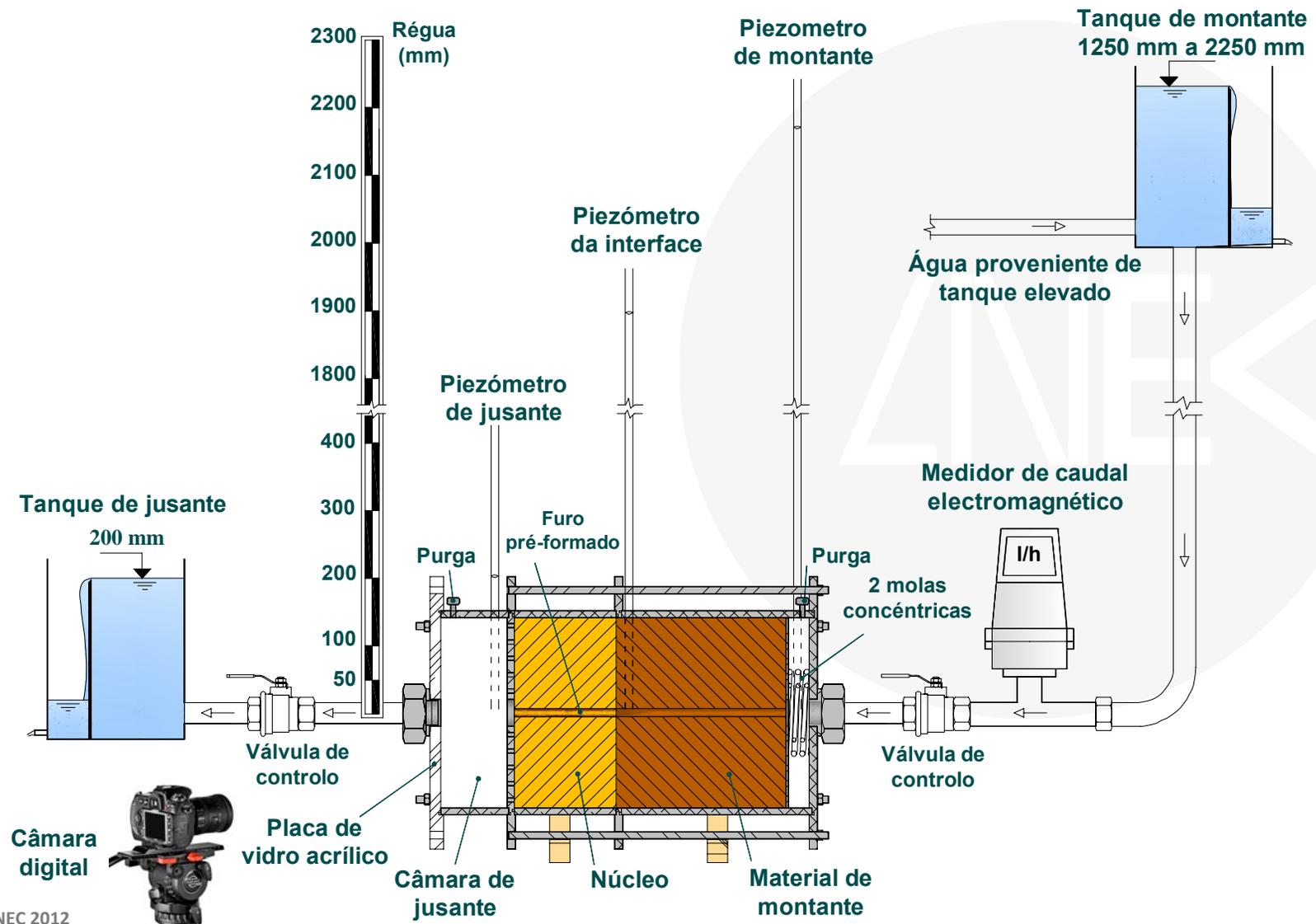


WAC Bennett Dam | Canadá

Fonte: Steve Garner, BCHydro (2007)

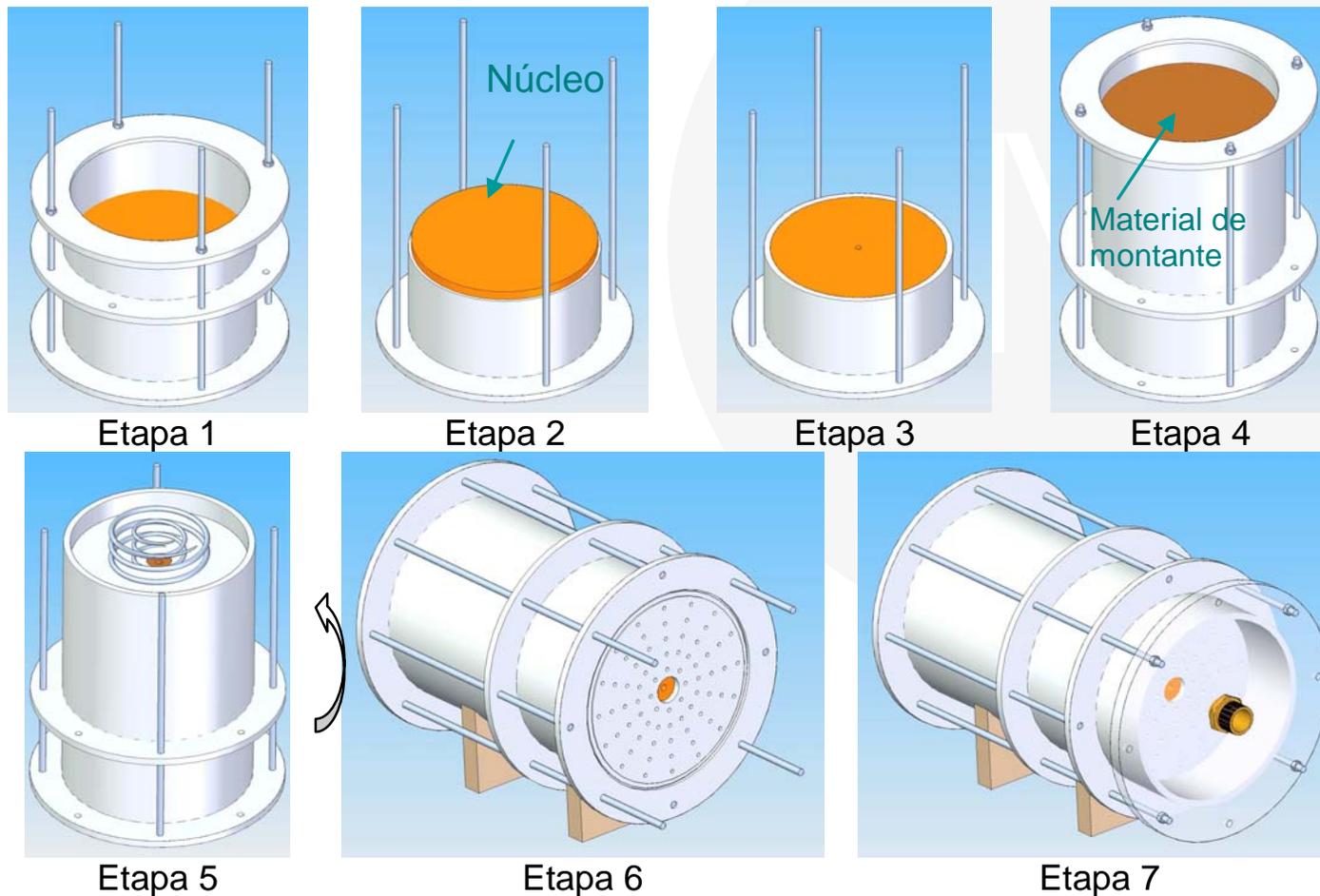
Altura de aterro=186 m | Comprimento= 2 km
Produção de energia elétrica= 13 bilhões kWh/ano

Ensaio de limitação da progressão da erosão



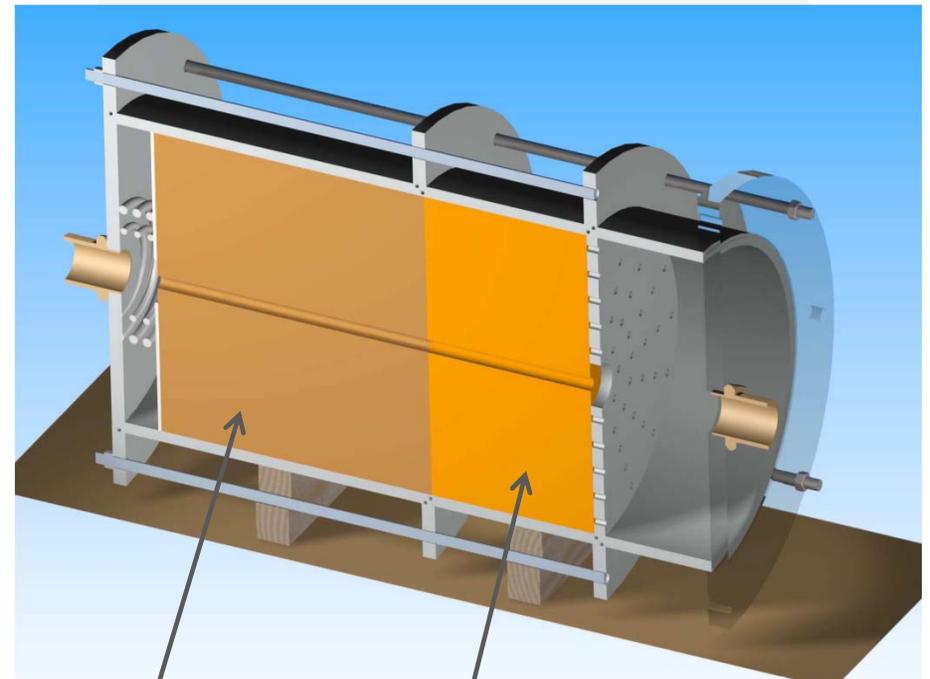
Ensaio de limitação da progressão da erosão

- > Etapas da montagem do equipamento
- > Compactação/furação da amostra de ensaio



Ensaio de limitação da progressão da erosão

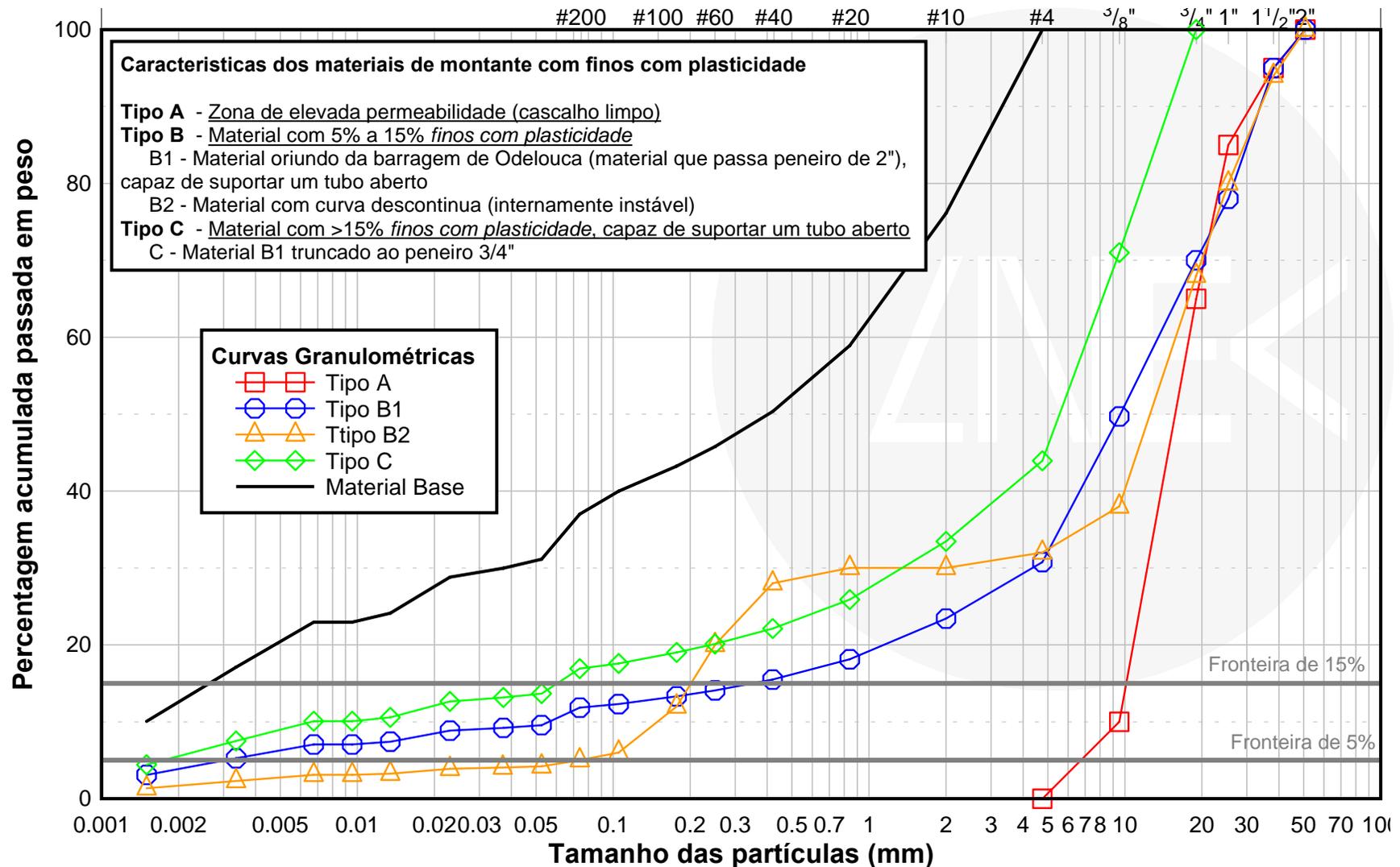
> Célula de ensaio



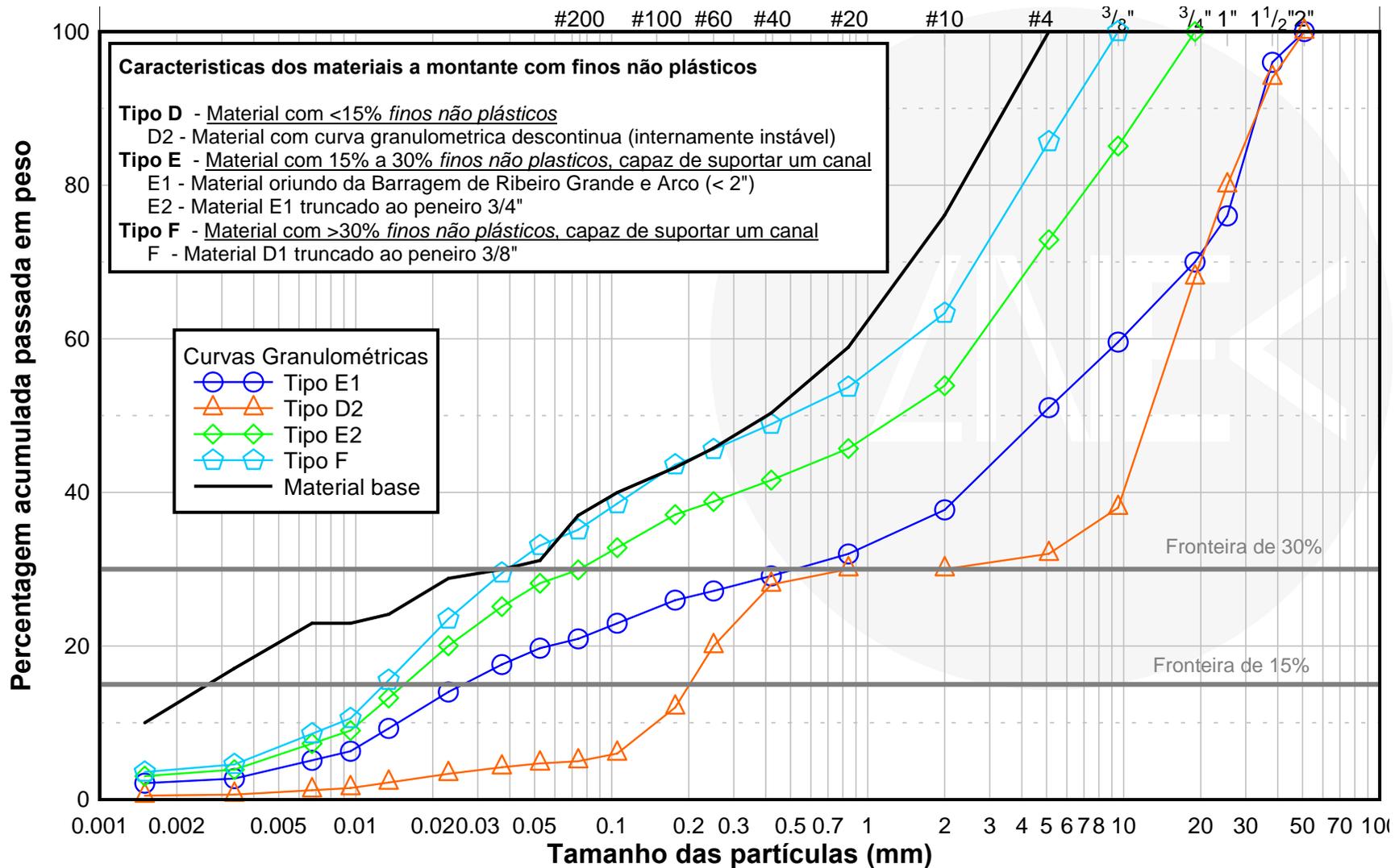
Material de
montante

Núcleo

Ensaio de limitação da progressão da erosão

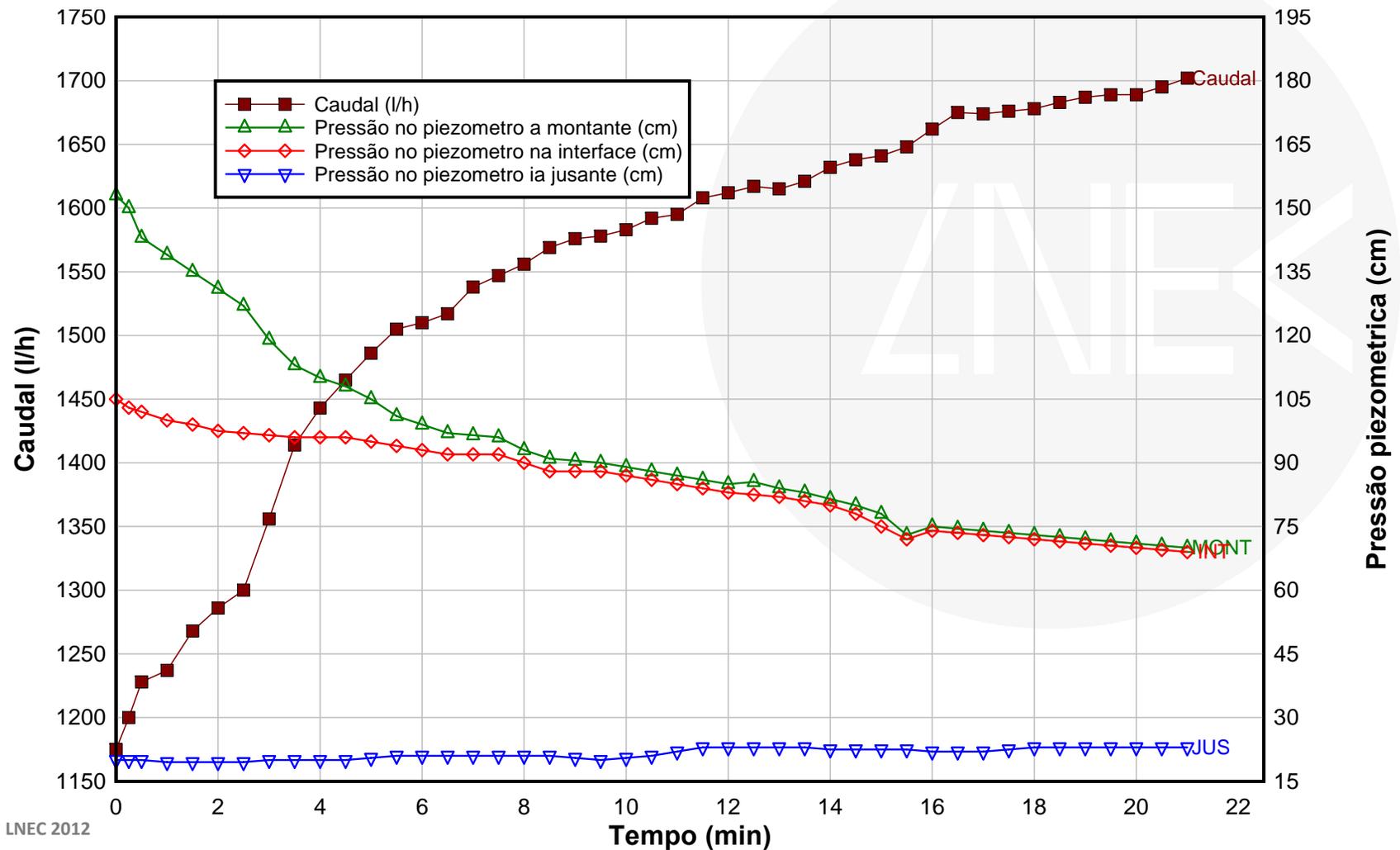


Ensaio de limitação da progressão da erosão



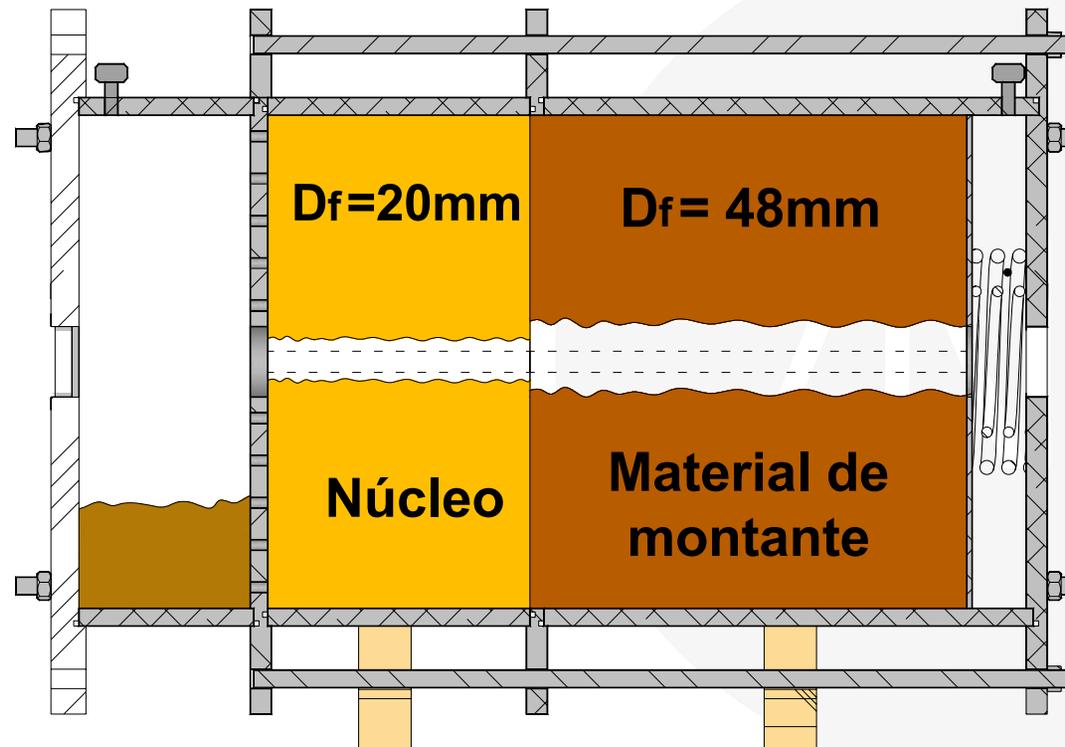
Ensaio de limitação da progressão da erosão

> Resultados: Progressão da erosão sem restrição do caudal



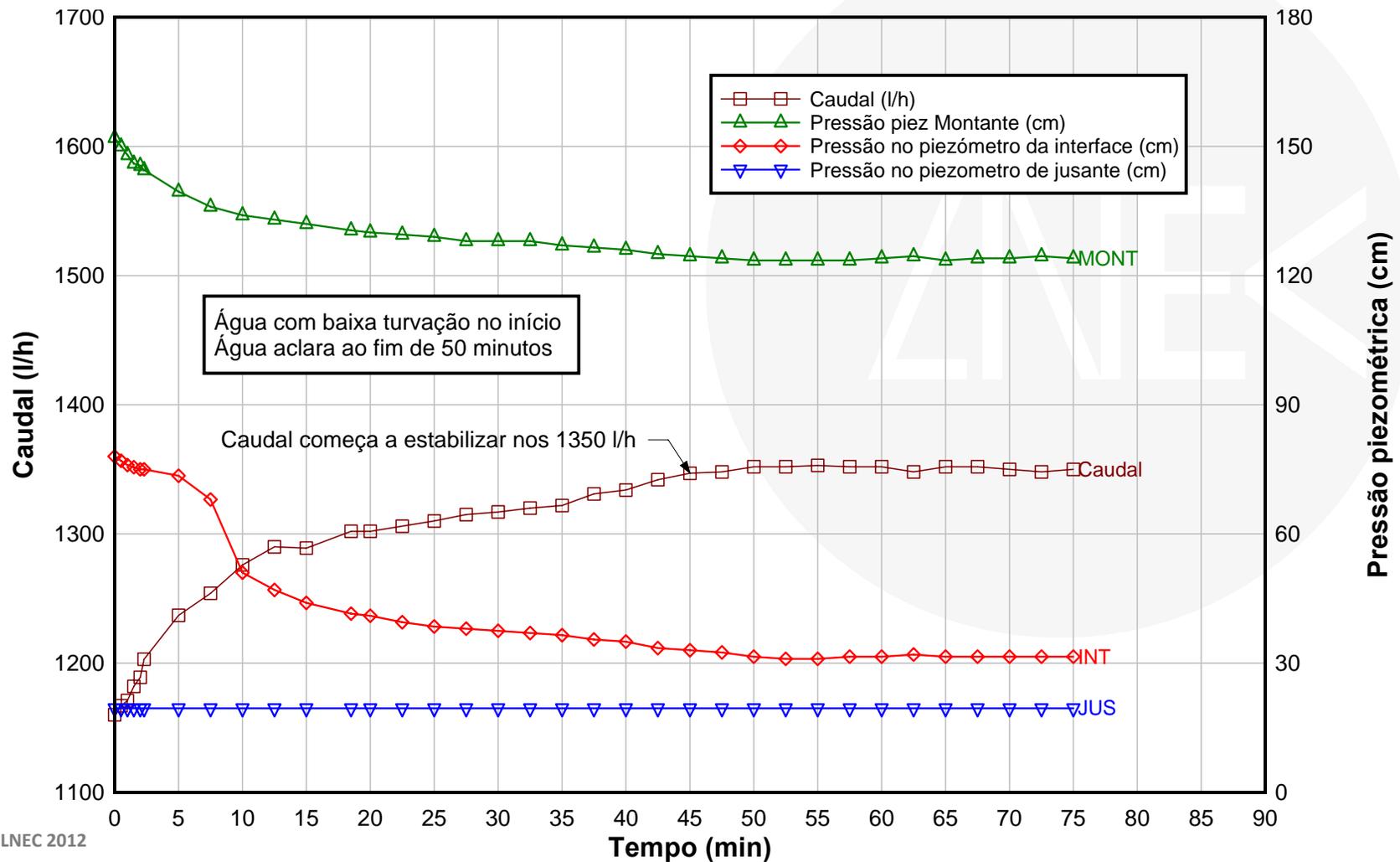
Ensaio de limitação da progressão da erosão

> Resultados: Progressão da erosão sem restrição do caudal



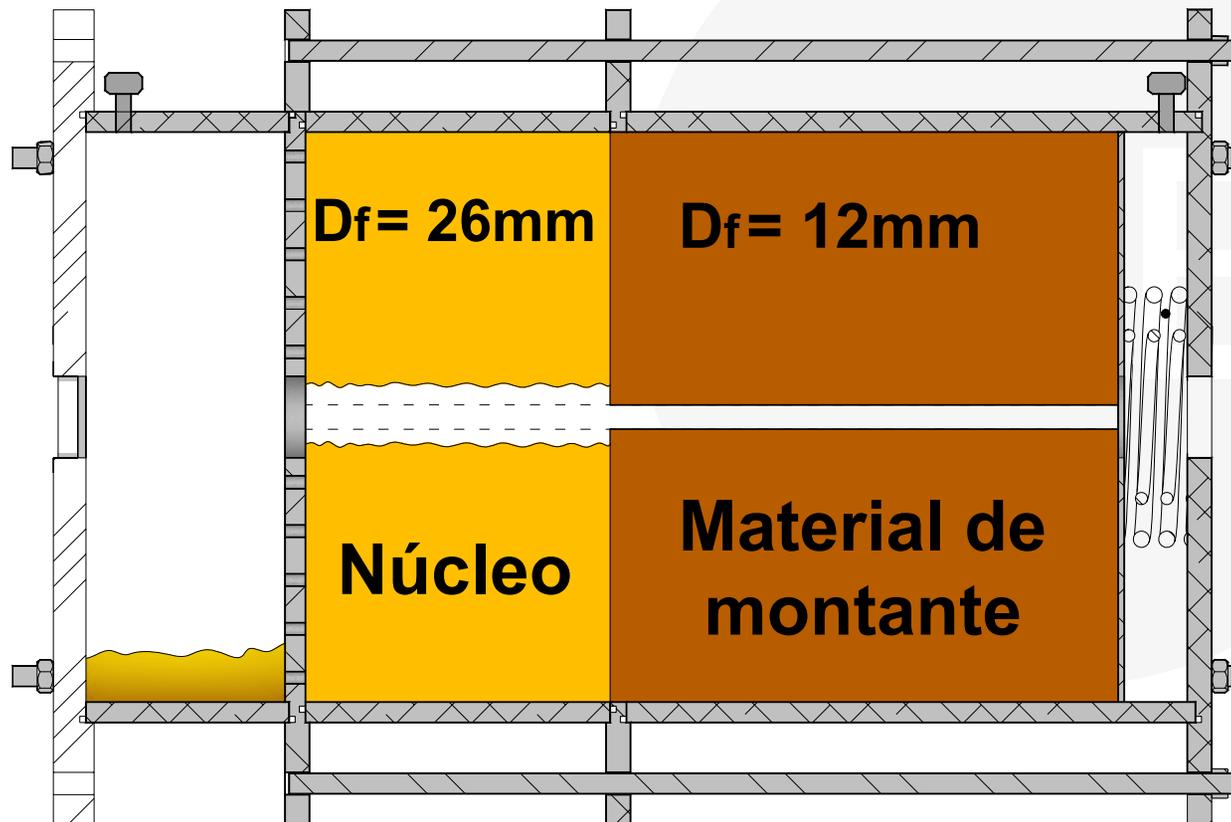
Ensaio de limitação da progressão da erosão

> Resultados: Restrição do caudal a montante



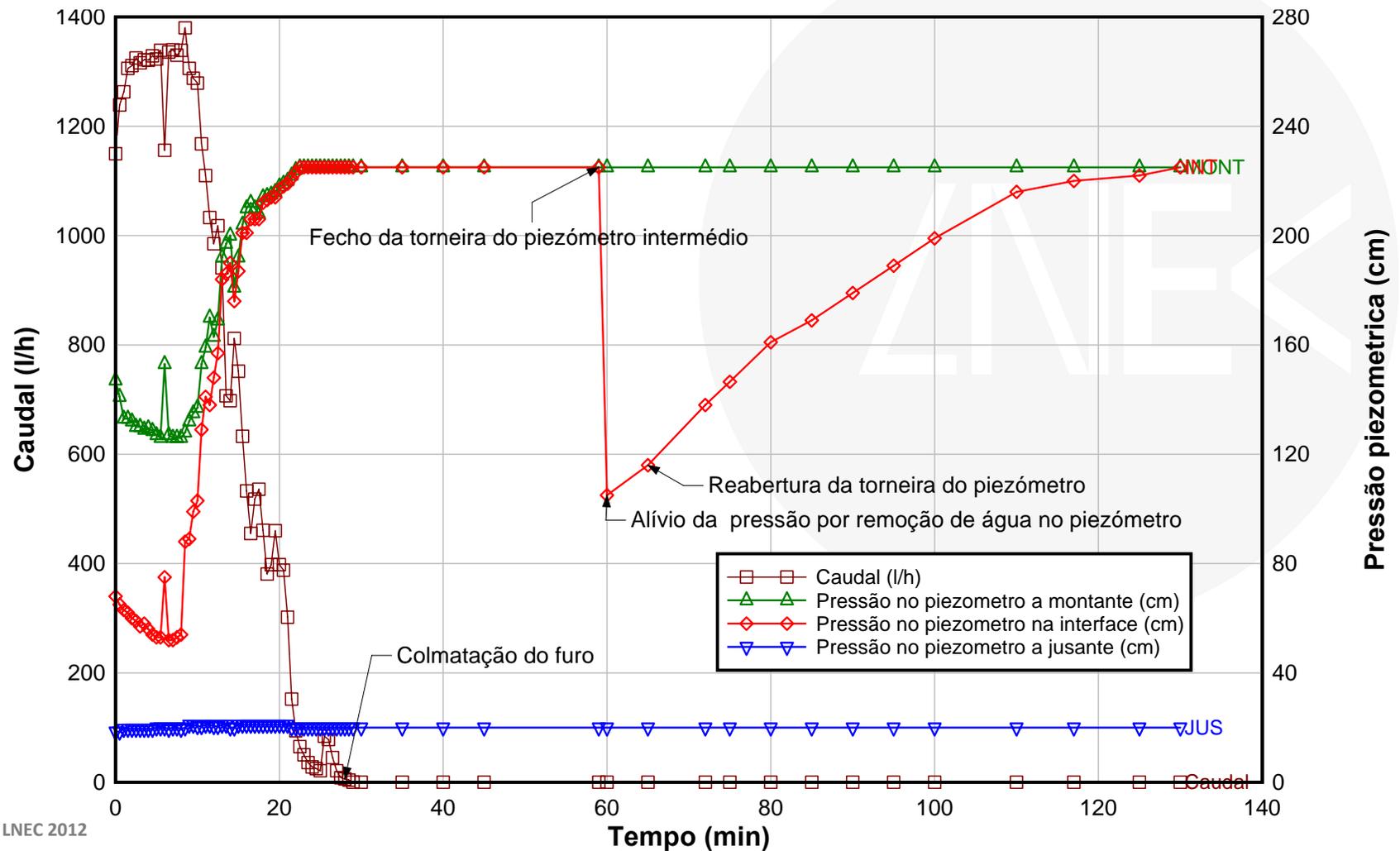
Ensaio de limitação da progressão da erosão

> Resultados: Restrição do caudal a montante



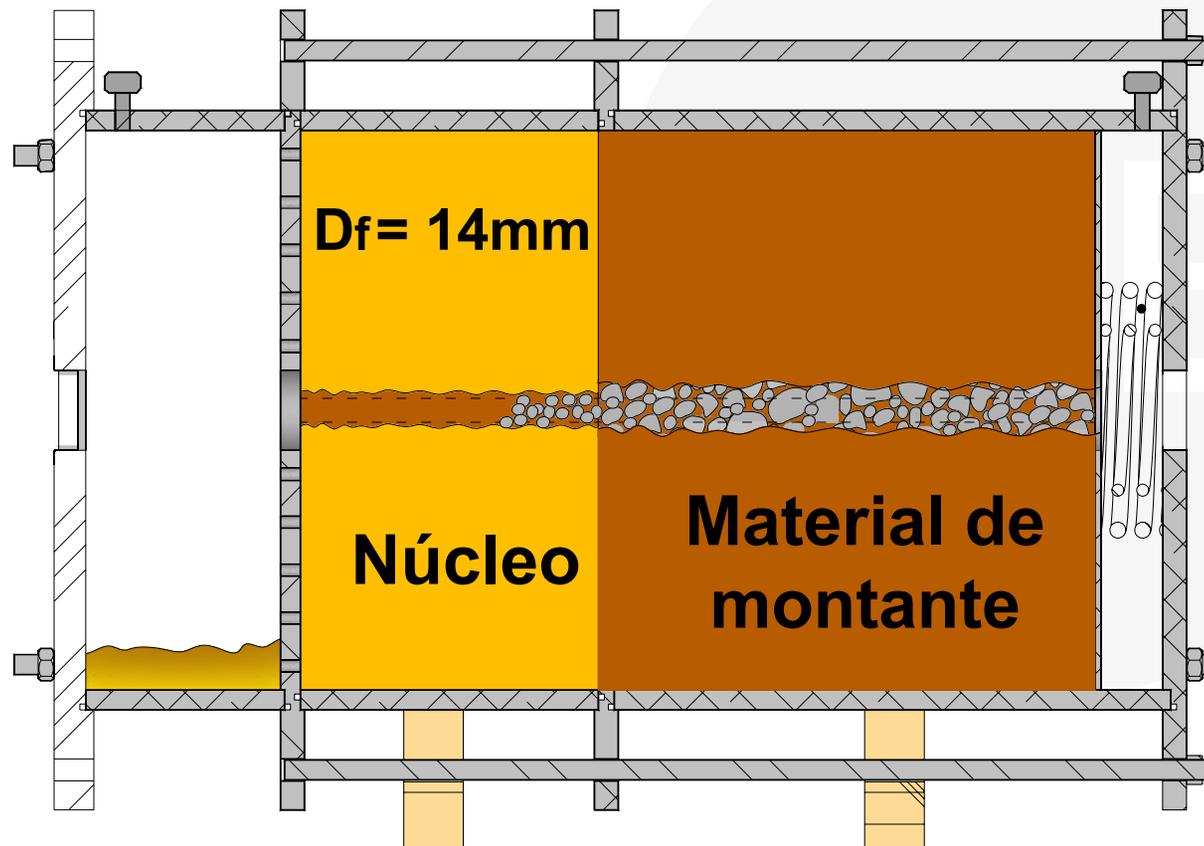
Ensaio de limitação da progressão da erosão

> Resultados: Caudal cessa por completo



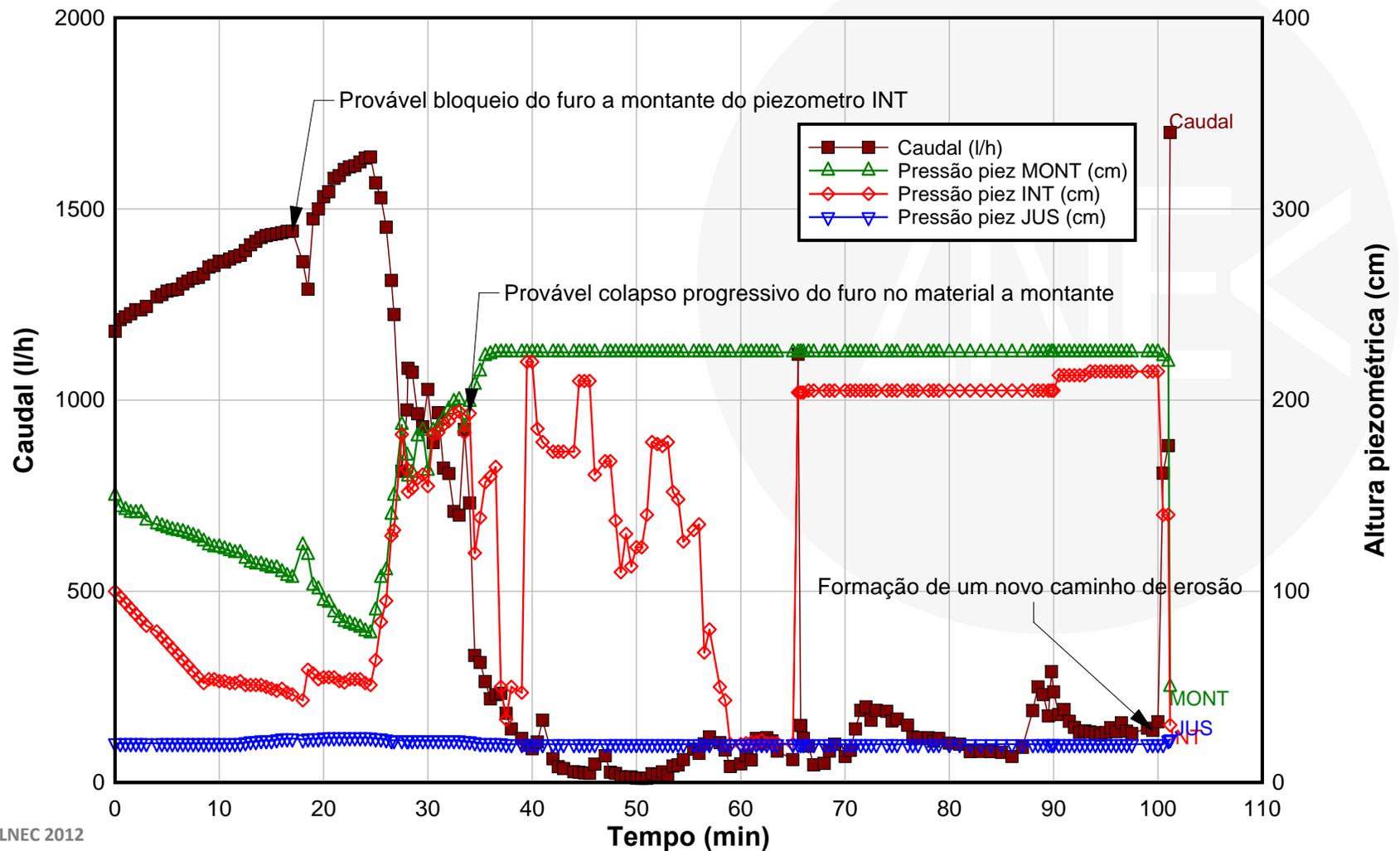
Ensaio de limitação da progressão da erosão

> Resultados: Caudal cessa por completo



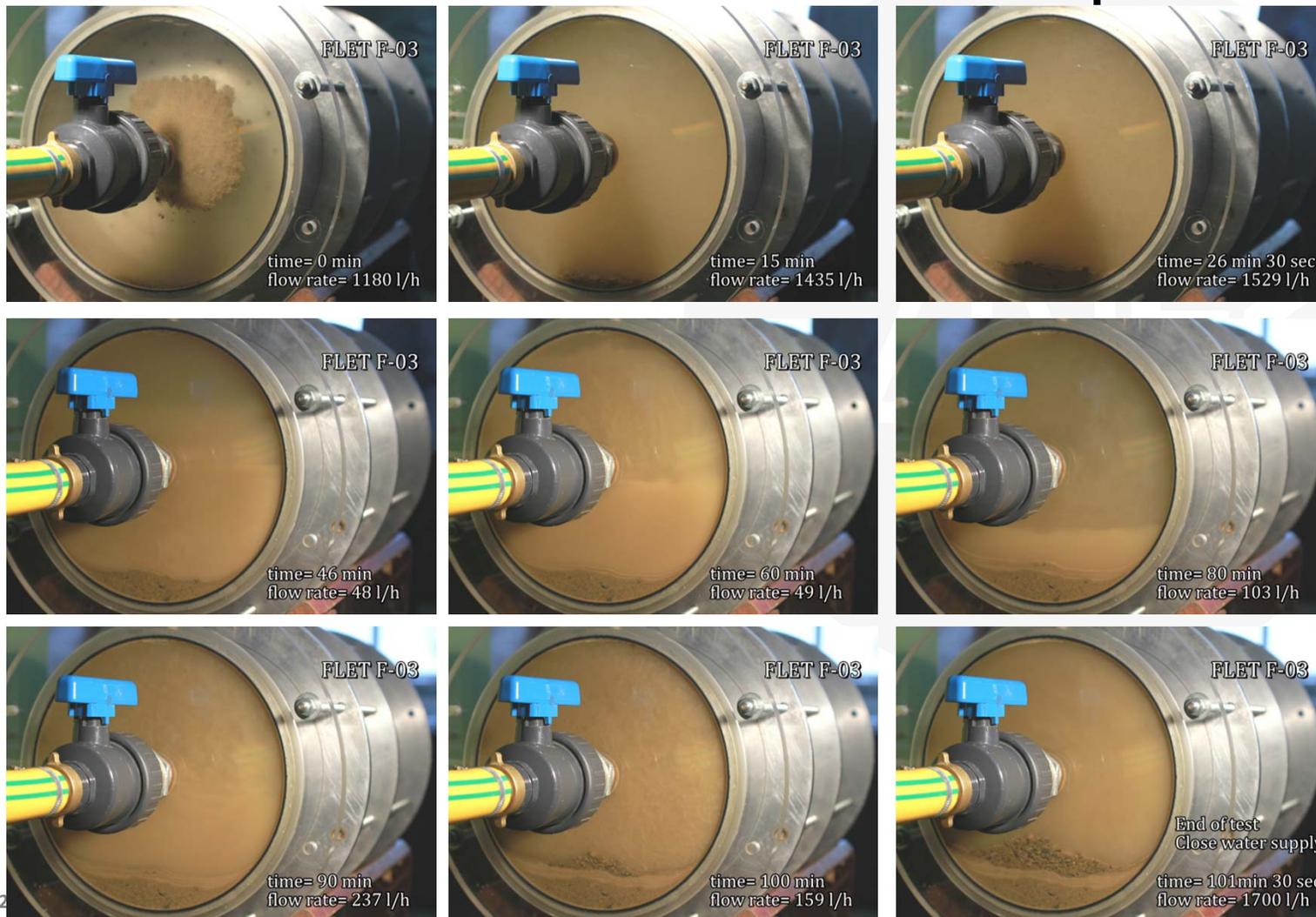
Ensaio de limitação da progressão da erosão

> **Resultados: Erosão diminui durante um período tempo**



Ensaio de limitação da progressão da erosão

> Resultados: Erosão diminui durante um período tempo



Conclusões

- > O ensaio permite avaliar se existe restrição do escoamento e se a erosão cessa ou diminui devido à presença de um material a montante do núcleo.
- > A restrição do escoamento é influenciada por algumas características do material de montante (finos plásticos ou não plásticos, % finos, % cascalho, forma da curva granulométrica, ...).
- > As condições de compactação do material de montante influenciam a capacidade de restrição do escoamento e de limitação da erosão.

22-25 MARÇO 2012

PROGRESSÃO DA EROSÃO INTERNA EM BARRAGENS DE ATERRO

Ricardo Santos

ricardos@lnec.pt

Bolseiro de Doutoramento
Departamento de Geotecnia
Núcleo de barragens e obras de aterro

Orientadores

Laura Caldeira

Emanuel Maranhã das Neves