



**2°**

**CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS  
E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS**

**SEMINÁRIO INTERNACIONAL  
"SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008**

**23 A 25 DE JUNHO DE 2008**

# **CÁLCULO DA CONVERGÊNCIA DE UM TÚNEL EM UM MACIÇO VISCOPLÁSTICO**

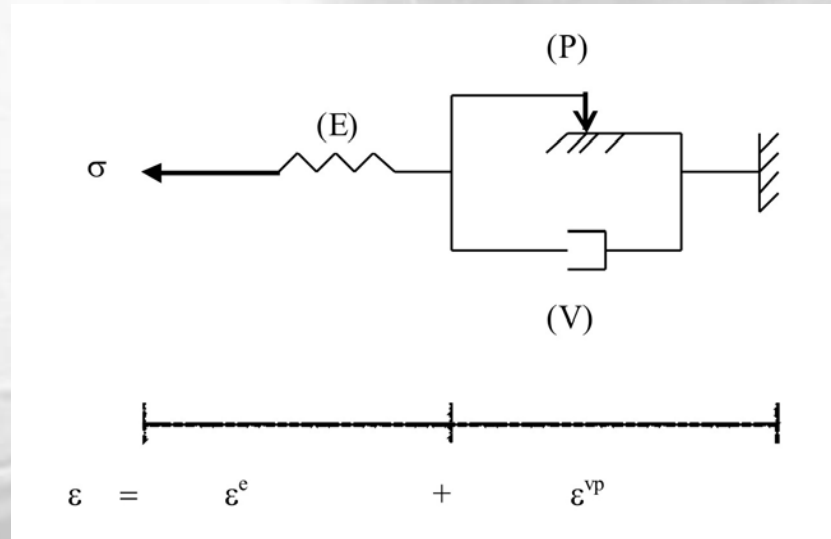
**Denise Bernaud - UFRGS**

**Eduardo Couto - UFRGS**

---

**CENTRO FECOMÉRCIO DE EVENTOS  
SÃO PAULO - SP**

## Modelo de comportamento do maciço



$$\underline{\underline{\dot{\varepsilon}}} = \underline{\underline{\dot{\varepsilon}}^e} + \underline{\underline{\dot{\varepsilon}}^{vp}}$$

com

$$\underline{\underline{\dot{\varepsilon}}^{vp}} = \frac{1}{\eta} \left\langle \frac{F(\sigma)}{F_0} \right\rangle \frac{\partial G(\sigma)}{\partial \underline{\underline{\sigma}}}$$



2°

CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS SEMINÁRIO INTERNACIONAL  
E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS "SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008  
23 A 25 DE JUNHO DE 2008

## Parâmetros adimensionais

\* maciço viscoplástico com um critério de von Mises

$E^* = \frac{E}{C}$  módulo de Young adimensional, sendo  $C$  a coesão

$P^* = \frac{P_\infty}{C}$  sendo  $P_\infty = \gamma H$

$K_s^* = \frac{K_s}{C}$  rigidez do revestimento adimensional



2°

CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS SEMINÁRIO INTERNACIONAL  
E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS "SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008  
23 A 25 DE JUNHO DE 2008

$$d_0^* = \frac{d_0}{R}$$

distância de colocação do revestimento adimensional

$$V^* = \frac{V\eta}{CR}$$

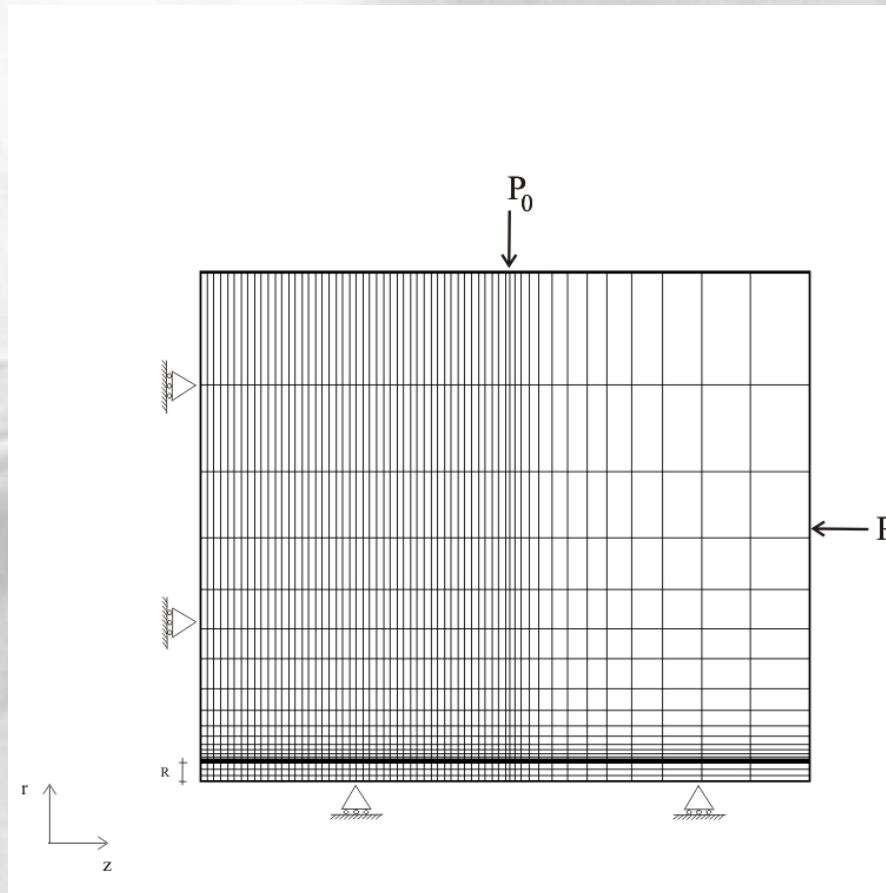
velocidade de escavação adimensional, sendo  $\eta$  a viscosidade do maciço e  $V$  a velocidade real de escavação



2°

CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS SEMINÁRIO INTERNACIONAL  
E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS "SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008  
23 A 25 DE JUNHO DE 2008

# MÉTHODO DE ATIVAÇÃO/DESATIVAÇÃO DE ELEMENTOS





2°

CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS SEMINÁRIO INTERNACIONAL "SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008  
23 A 25 DE JUNHO DE 2008

Simulação numérica:

$$P_{\infty} = 4MPa \quad C = 1MPa \quad R = 1m \quad E = 500MPa$$

parâmetros adimensionais:

$$K_s^* = 36 \rightarrow 3600 \quad V^* = 10 \rightarrow 5000 \quad d_0^* = 0 \rightarrow 2$$

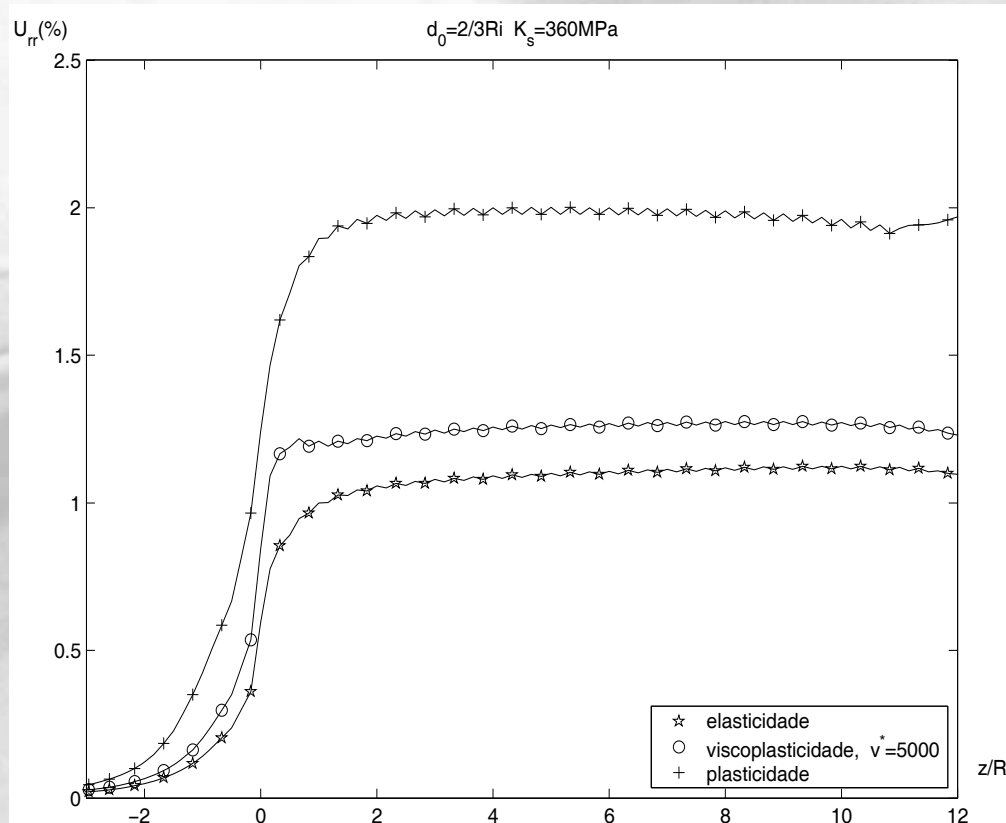


2°

CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS SEMINÁRIO INTERNACIONAL "SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008  
23 A 25 DE JUNHO DE 2008

## Simulação em elasticidade, viscoplasticidade e plasticidade

$$d_0^* = 2/3 \quad K_s^* = 360$$



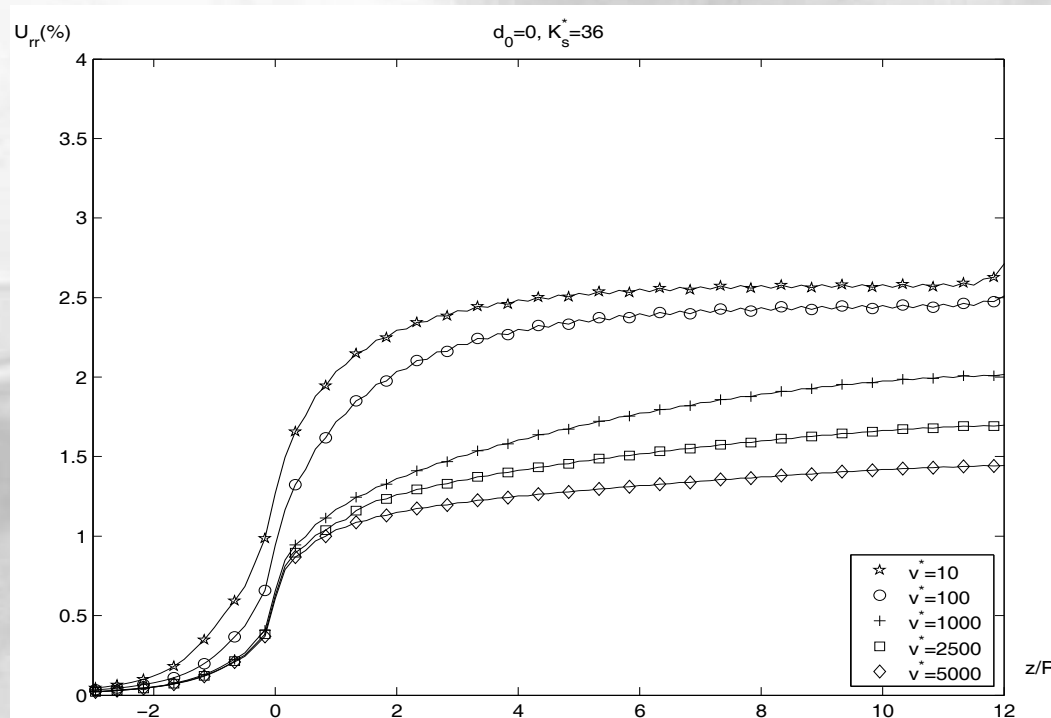


2°

CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS SEMINÁRIO INTERNACIONAL  
E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS "SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008  
23 A 25 DE JUNHO DE 2008

## Viscoplasticidade : t= fim de construção

$$d_0^* = 0 \quad K_s^* = 36$$



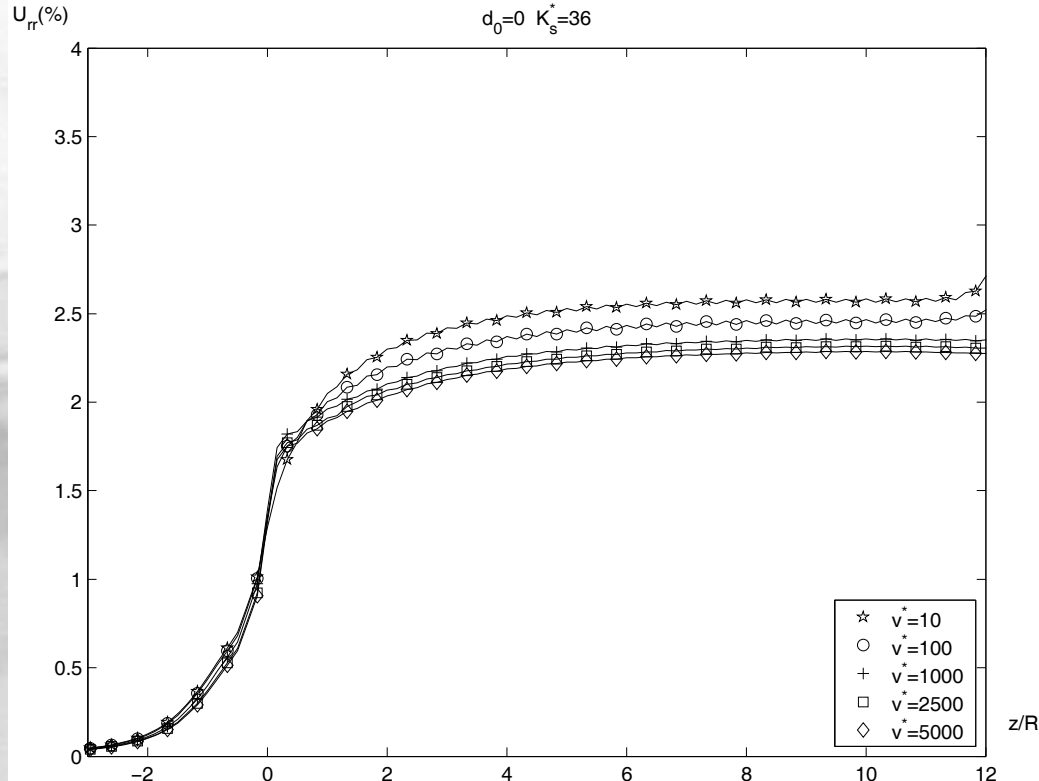


2°

CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS SEMINÁRIO INTERNACIONAL  
E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS "SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008  
23 A 25 DE JUNHO DE 2008

## Viscoplasticidade : t= estabilização

$$d_0^* = 0 \quad K_s^* = 36$$



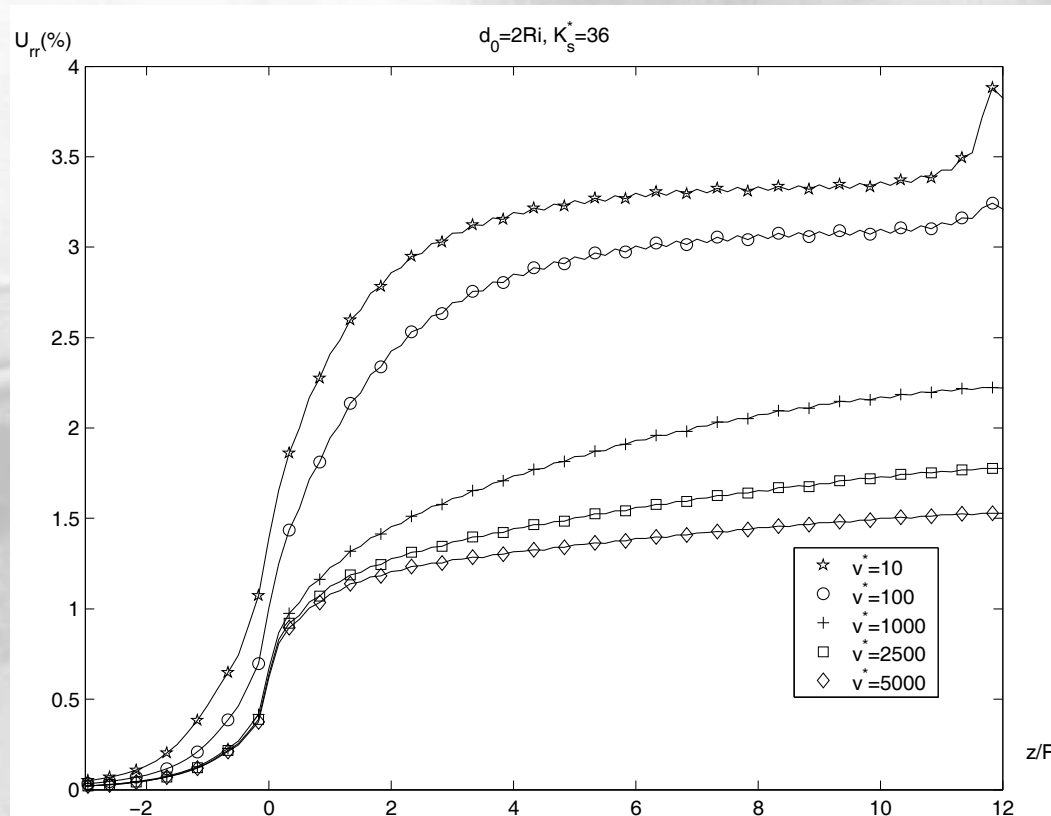


2°

CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS SEMINÁRIO INTERNACIONAL  
E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS "SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008  
23 A 25 DE JUNHO DE 2008

# Viscoplasticidade : $t = \text{fim de construção}$

$$d_0^* = 2 \quad K_s^* = 36$$



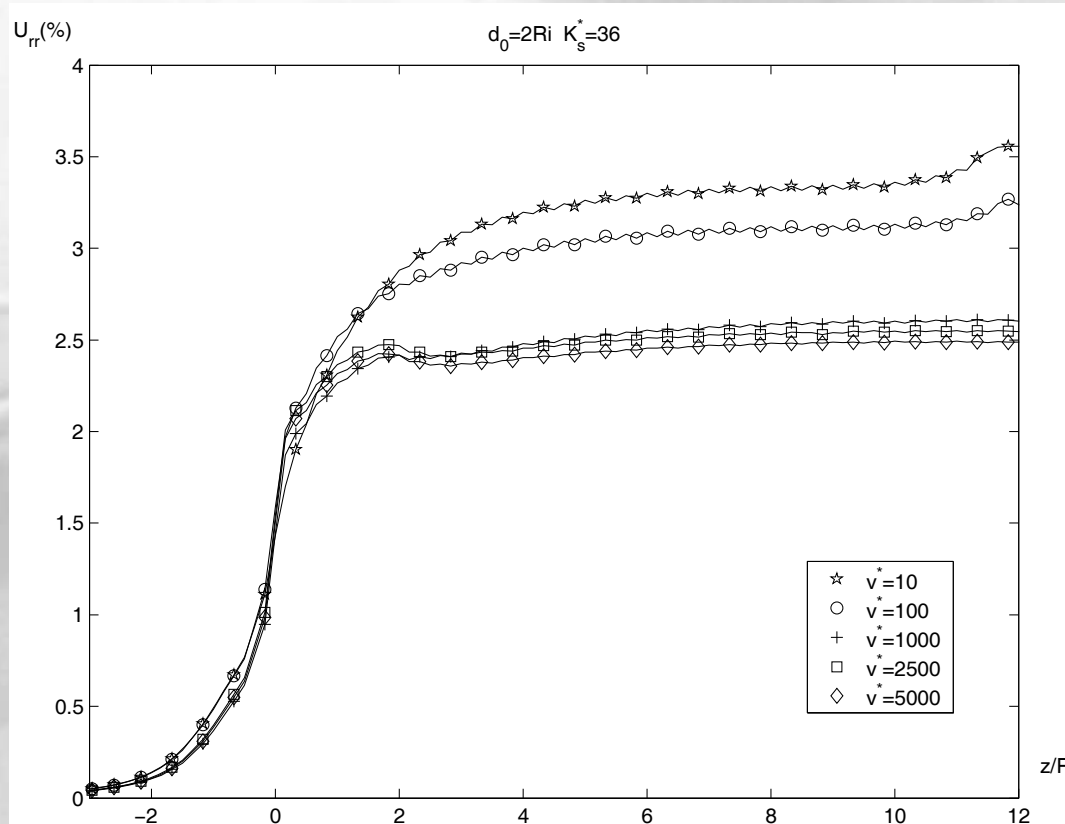


2°

CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS SEMINÁRIO INTERNACIONAL "SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008  
23 A 25 DE JUNHO DE 2008

## Viscoplasticidade : t= estabilização

$$d_0^* = 2 \quad K_s^* = 36$$

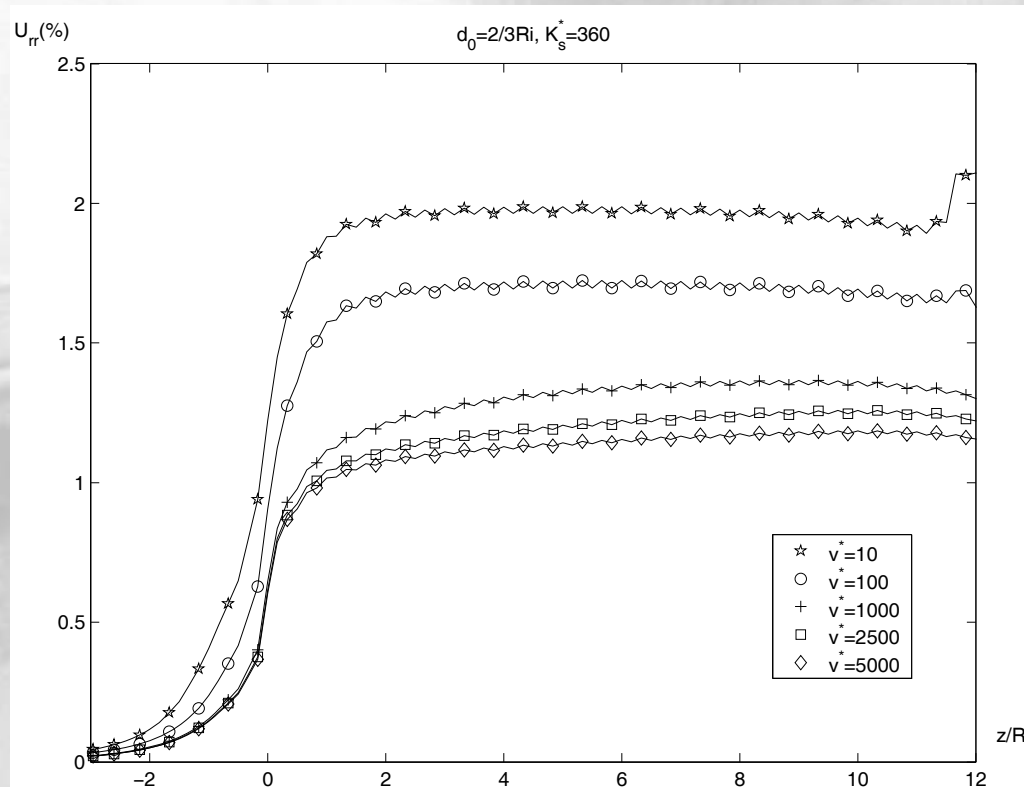
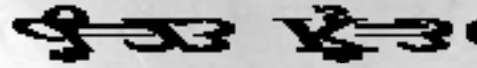




2°

CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS SEMINÁRIO INTERNACIONAL  
E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS "SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008  
23 A 25 DE JUNHO DE 2008

# Viscoplasticidade : t= fim de construção



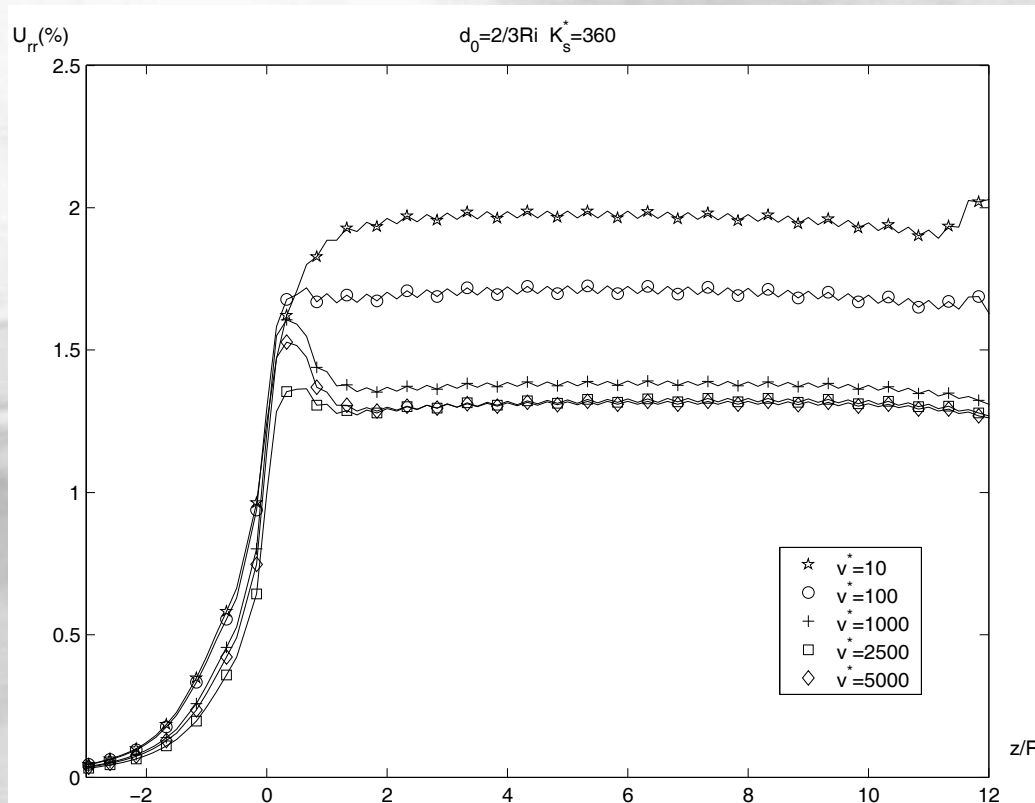


2°

CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS SEMINÁRIO INTERNACIONAL  
E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS "SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008  
23 A 25 DE JUNHO DE 2008

## Viscoplasticidade : t= estabilização

$$d_0^* = 2/3 \quad K_s^* = 360$$



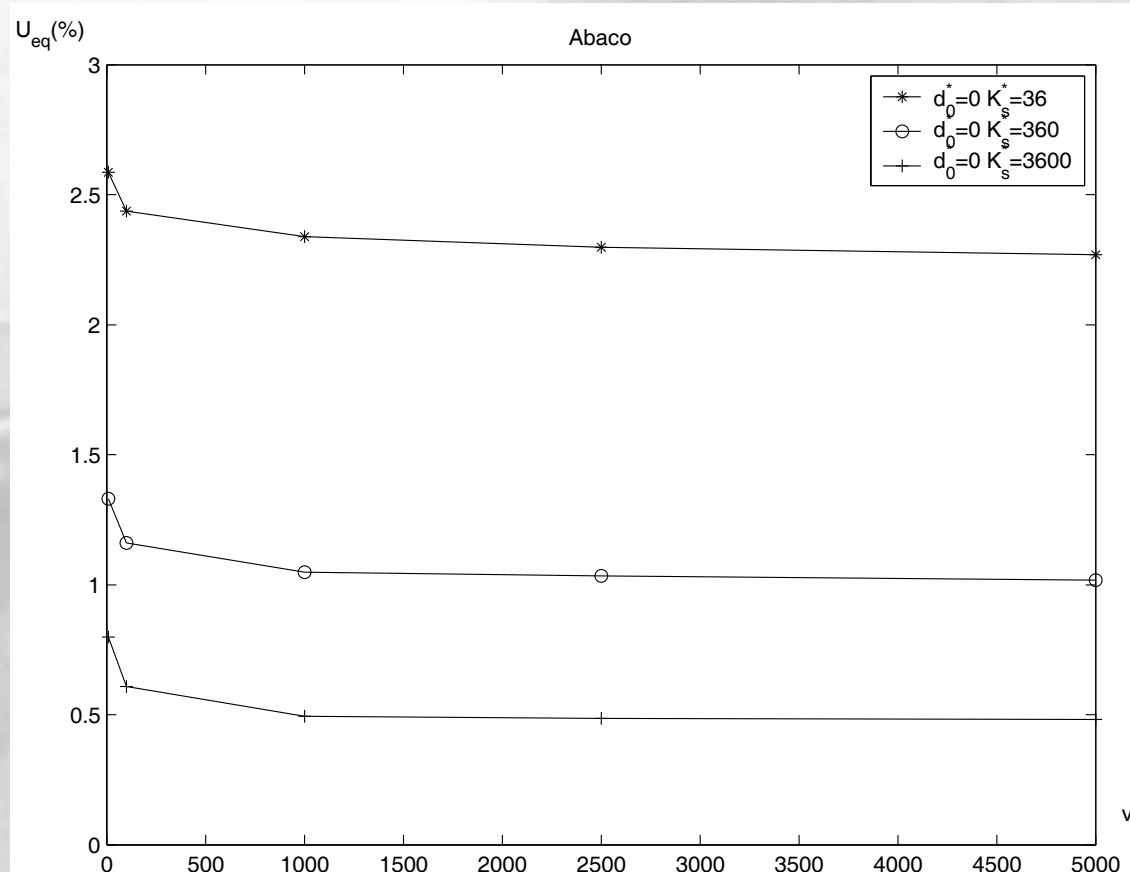


2°

CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS SEMINÁRIO INTERNACIONAL  
E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS "SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008  
23 A 25 DE JUNHO DE 2008

# Ábaco

convergência ao equilíbrio x velocidade adimensional  $V^*$



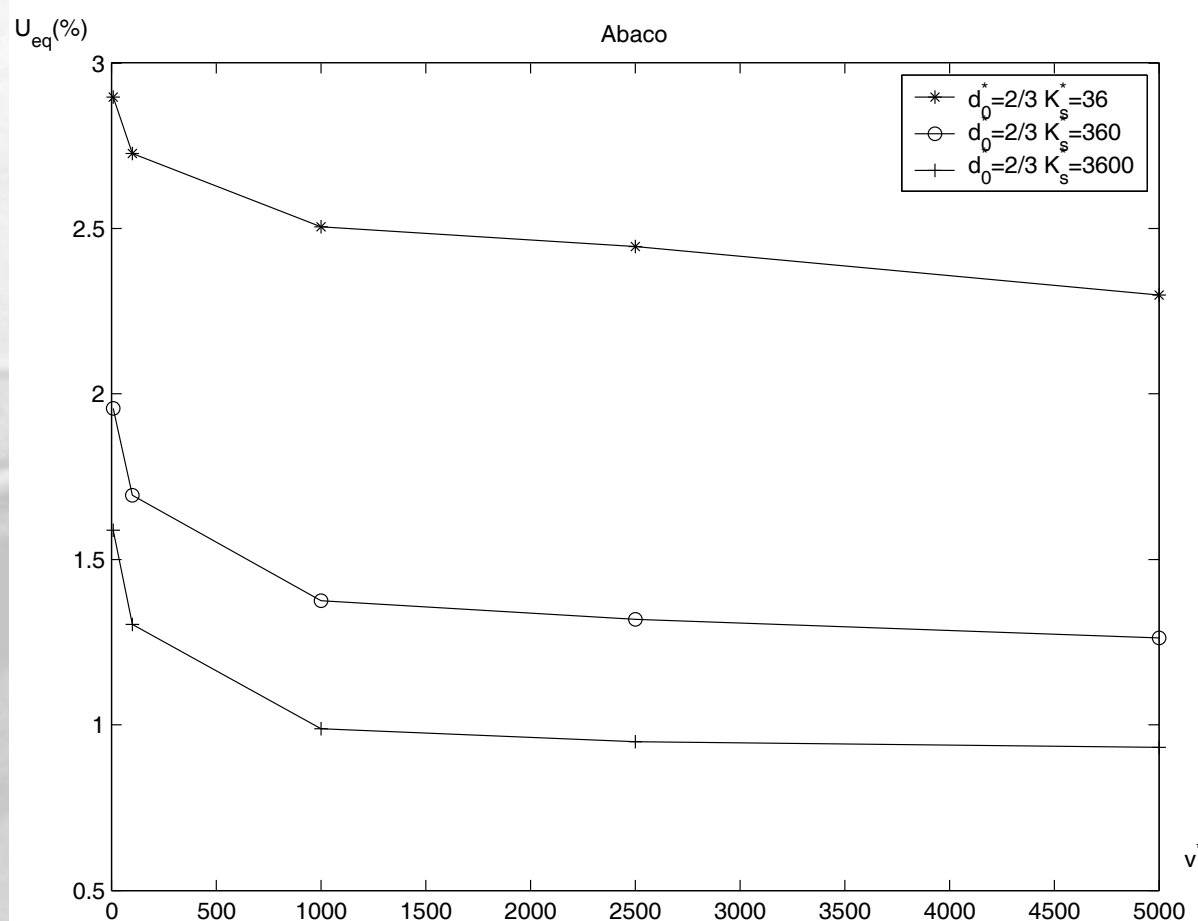


2°

CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS SEMINÁRIO INTERNACIONAL  
E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS "SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008  
23 A 25 DE JUNHO DE 2008

# Ábaco

convergência ao equilíbrio x velocidade adimensional  $V^*$



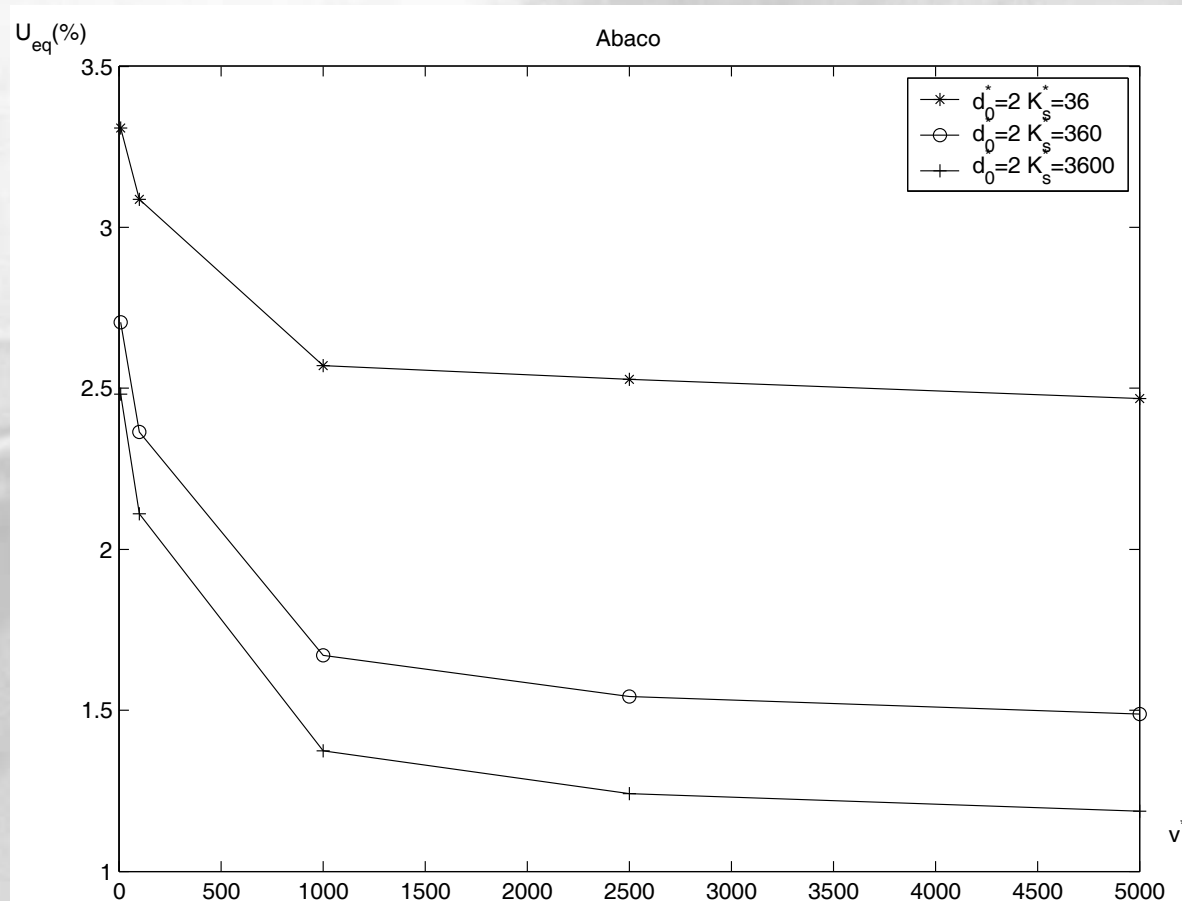


2°

CONGRESSO BRASILEIRO DE TÚNEIS E ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS SEMINÁRIO INTERNACIONAL "SOUTH AMERICAN TUNNELLING" - 2008  
23 A 25 DE JUNHO DE 2008

# Ábaco

convergência ao equilíbrio x velocidade adimensional  $V^*$



## CONCLUSÕES

\*Mostramos que em um maciço viscoplástico de von Mises o problema tem 5 parâmetros independentes

\* Estudo paramétrico  $\longrightarrow$  ábacos  $U_{eq} \times V^*$  pode ser útil para os engenheiros trabalhando com dimensionamento de túneis

\* Programa numérico pode modelar fasagens reais de construção de um túnel, com velocidades de escavação variáveis.