Curso de treinamento do PAE

Módulos 2 e 3
Modelagem da Cheia de Ruptura
Vale a Jusante



Lourenço Sassetti Mendes
João Fernandes
Maria Teresa Viseu

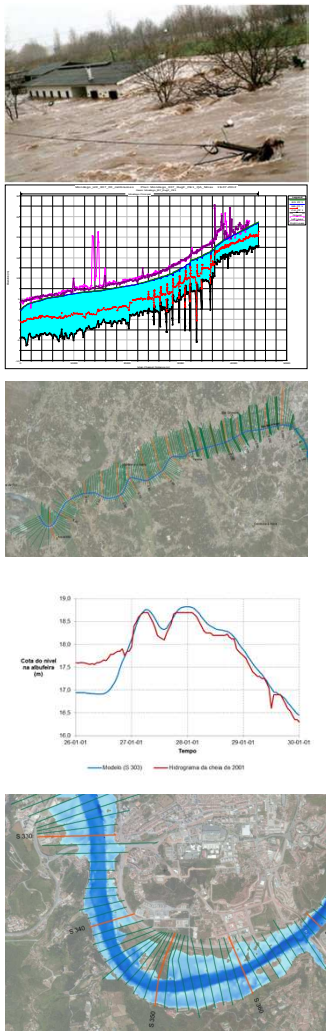
ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

LNEC
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

COBA, S.A.
COBA, LTDA.

GRUPO BANCO MUNDIAL

ÍNDICE



INTRODUÇÃO

Barragem dos Hospitais, Portugal

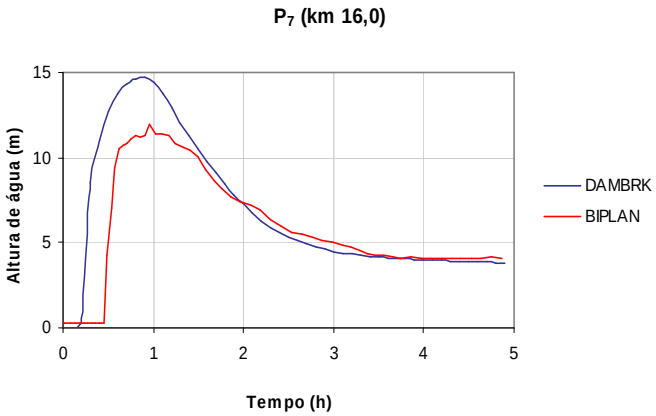
enclavado.blogspot.pt

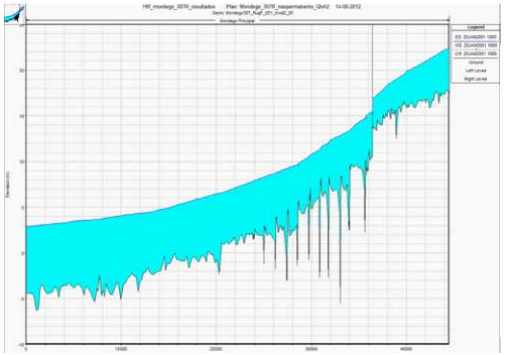
INTRODUÇÃO - Objectivos

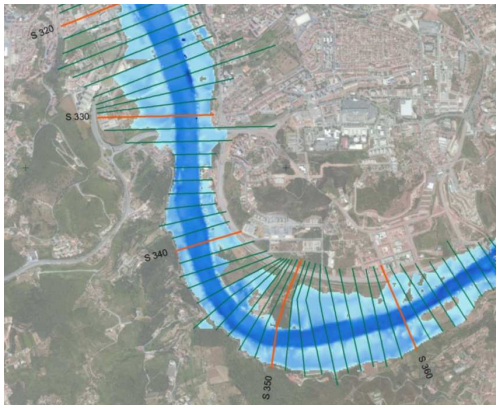
1. **Hidrograma de ruptura**

2. **Propagação da cheia**

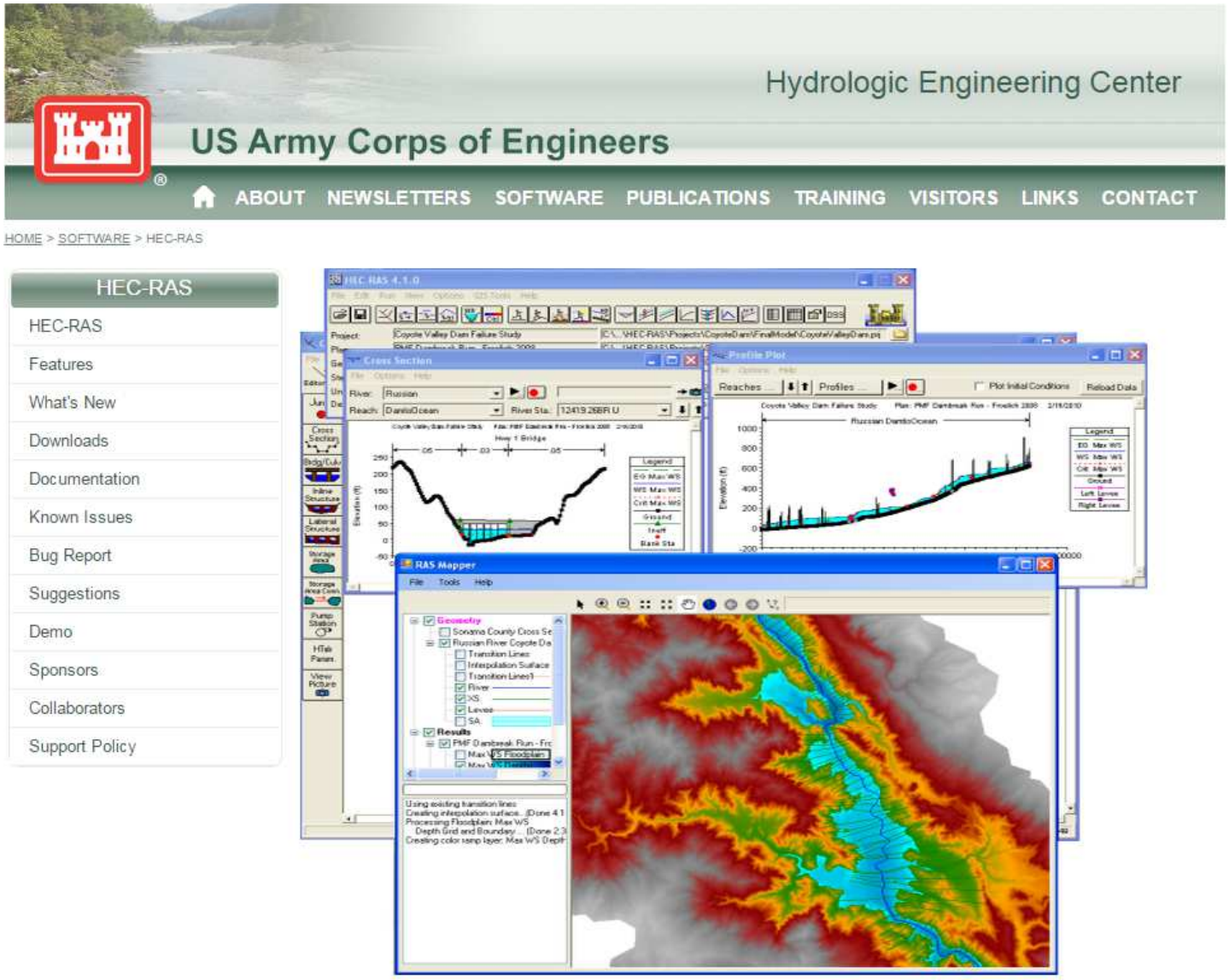
3. **Zona inundada**





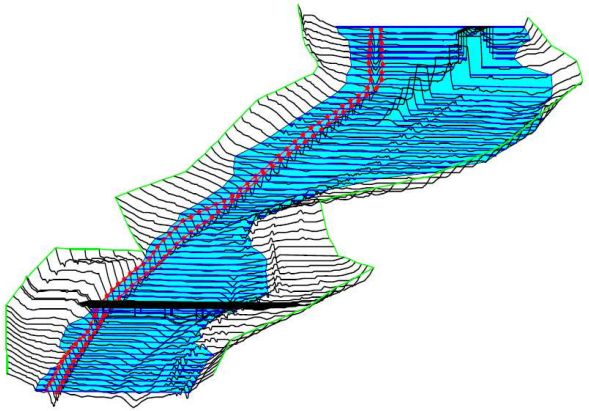


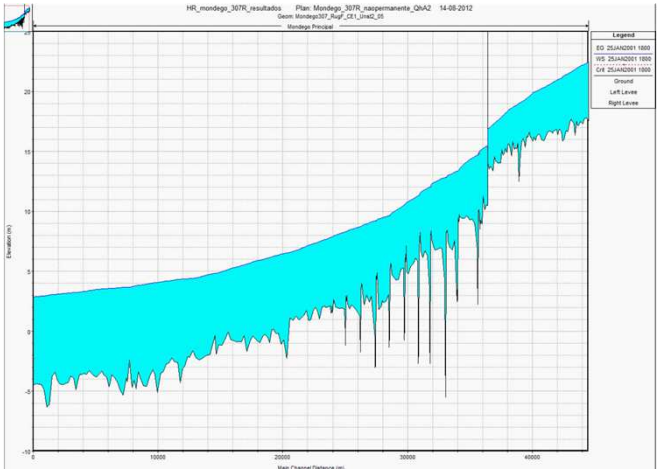
Modelo HECRAS



http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/

Modelo HECRAS - Funcionalidades





- calcula a curva de regolfo de escoamentos unidimensionais em rios
- regime permanente, lentos ou rápidos, e regime variável
- transporte sedimentar em fundo móvel
- análise de qualidade da água.
- rede de canais - natural ou regularizada
- considera pontes, coletores, diques, confinamentos longitudinais, descarregadores e açudes
- representação gráfica

Modelo HECRAS - características

- **Modelo uni-dimensional – 1D**
  - Domínio de cálculo são as secções
  - Sem escoamento transversal

- **Vantagens:**
  - Modelo bem conhecido;
  - Rápido;
  - Fácil utilização;
  - Grande estabilidade no cálculo;

- **Desvantagens:**
  - Escoamento unidirecional;
  - Não há manutenção do escoamento numa parte da secção;

Modelo HECRAS – equações base

- **Utiliza as equações da continuidade e dos momentos.**

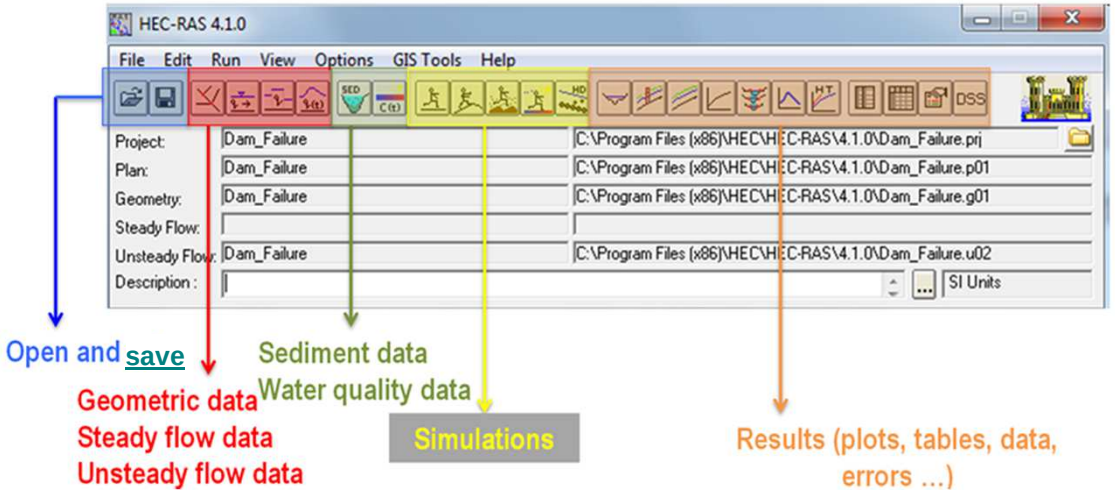
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \qquad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha Q^2/A)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial h}{\partial x} - S_o + S_f\right) = 0$$

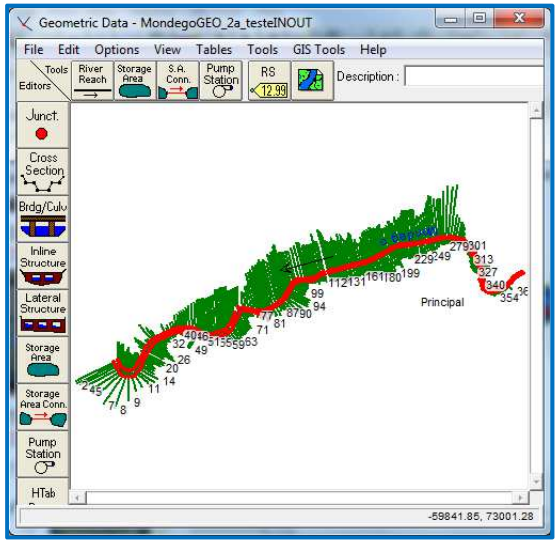
- **As perdas de energia são calculadas:**
  - fricção - Manning Equation
  - Coeficinte para contracções/alargamentos

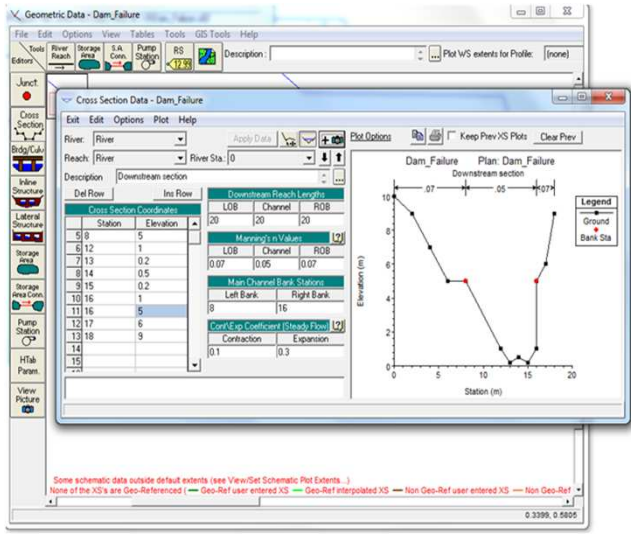
$$h_e = L\bar{S}_f + C\left|\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}\right|$$

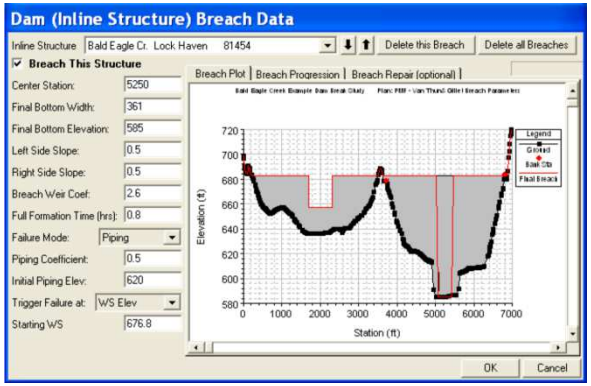
- **Equação dos momentos:**
  - Ressalto hidráulico, hidraúlica de pontes, junção de afluentes

Modelo HECRAS – GUI









Modelo HECRAS – mais informação

http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation.aspx

Hydrologic Engineering Center

US Army Corps of Engineers

ABOUT NEWSLETTERS SOFTWARE PUBLICATIONS TRAINING VISITORS LINKS CONTACT

HOME > SOFTWARE > HEC-RAS > DOCUMENTATION

HEC-RAS

- HEC-RAS
- Features
- What's New
- Downloads
- Documentation
- Known Issues
- Bug Report
- Suggestions
- Demo
- Sponsors
- Collaborators
- Support Policy

The documentation for HEC-RAS consists of a User's Manual which describes how to use the interface; a Hydraulic Reference Manual which describes the data required, equations used, solution techniques, and modeling advice; and an Applications Guide which contains seventeen example applications of using various aspects of HEC-RAS. All three documents are in PDF format and can be viewed online or downloaded. To view online or download individual chapters, go to the manual's individual page with the links below.

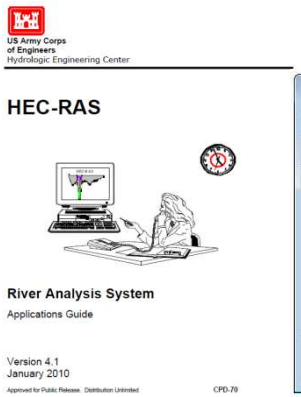
The HEC-RAS documentation is automatically installed during the setup of the program and can be accessed through the Help menu. To view the documentation without installing the program, you may use the links below.

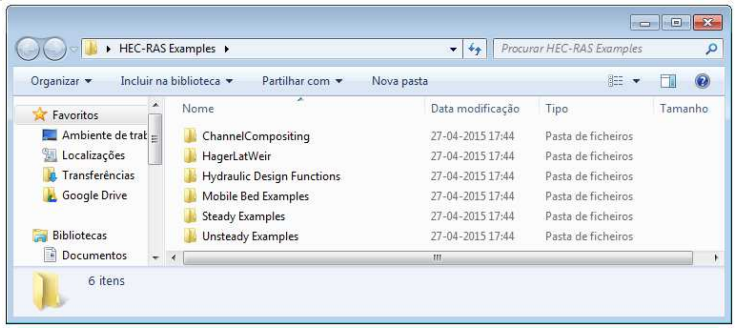
- HEC-RAS 4.1, User's Manual
- HEC-RAS 4.1, Applications Guide
- HEC-RAS 4.1, Hydraulic Reference Manual

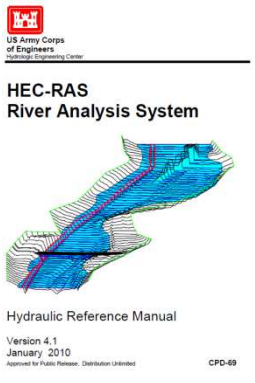
See the What's New page for the current release notes listing the bug fixes for this and previous releases. The What's New page also summarizes the current version's features.

In addition to the above Manuals and Guides the following documents may also be of interest:

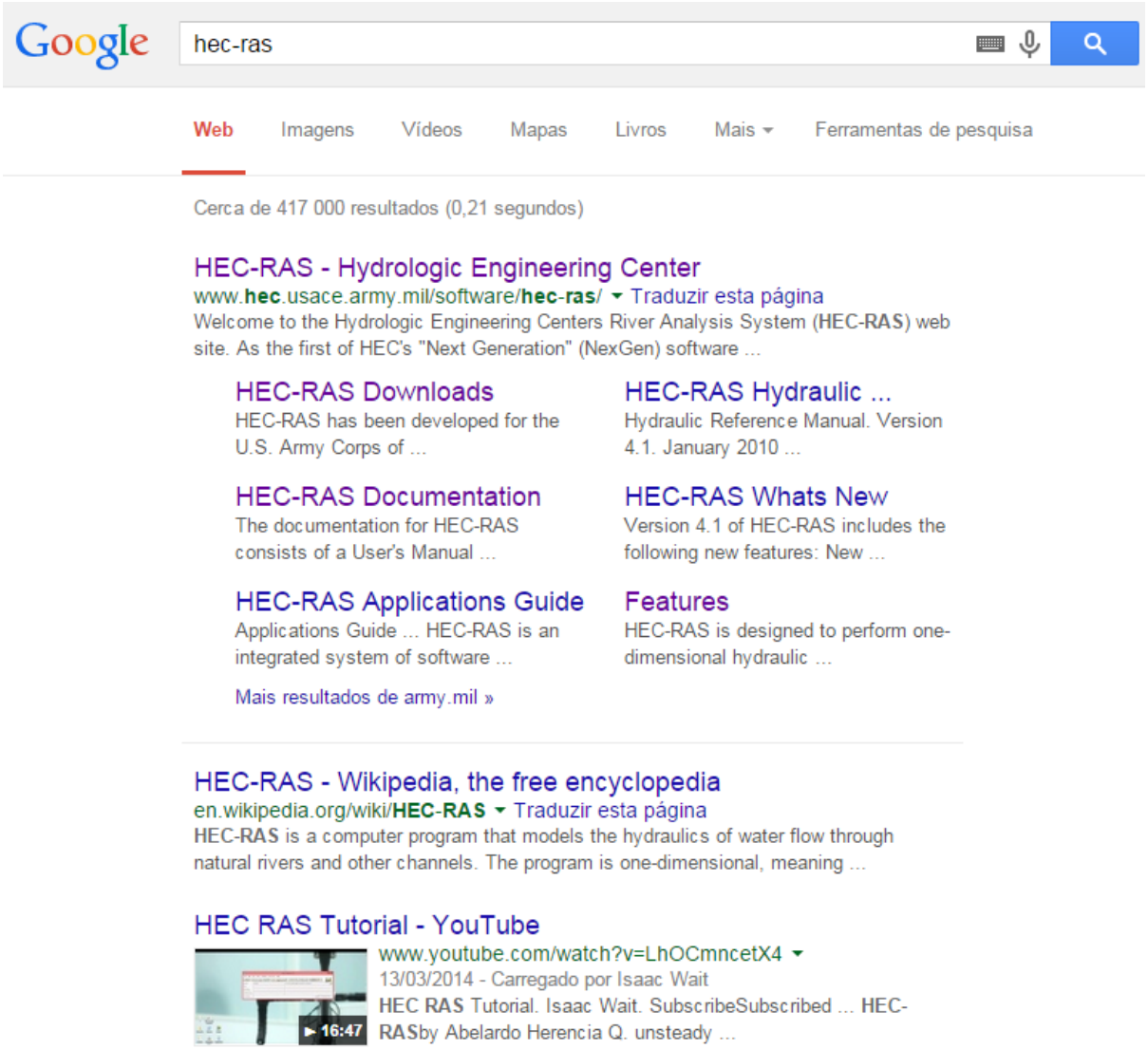
- RD-41, A Comparison of the One-Dimensional Bridge Hydraulic Routines from HEC-RAS, HEC-2, and WSPRO, Sep 1995
- RD-42, Flow Transitions in Bridge Backwater Analysis, Sep 1995
- TD-39, Using HEC-RAS for Dam Break Studies, Aug 2014



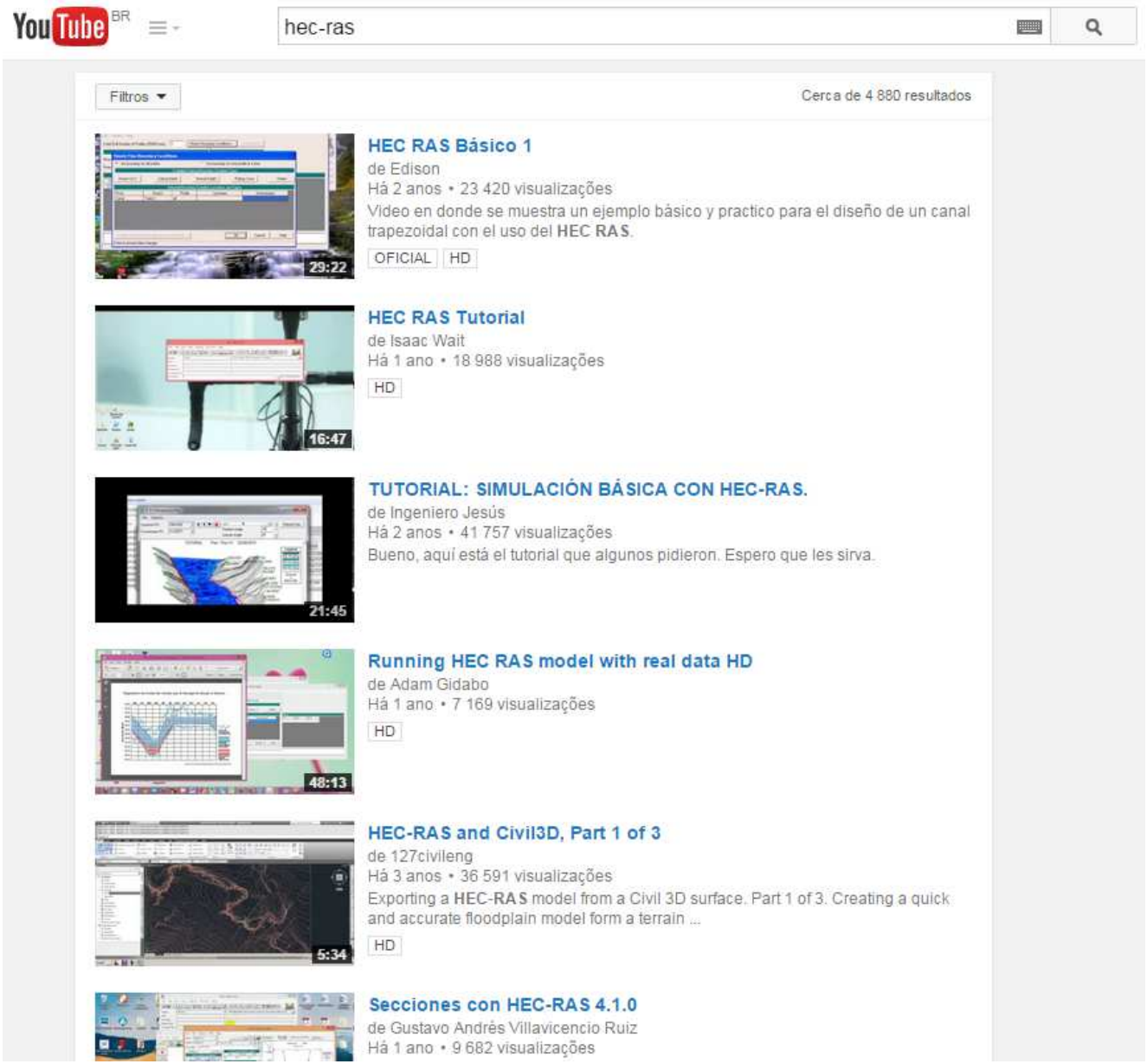




Modelo HECRAS – mais informação



Modelo HECRAS – mais informação



Modelo HECRAS – dados

1. **Linhas de água**

2. **Secções transversais**

3. **Rugosidades**

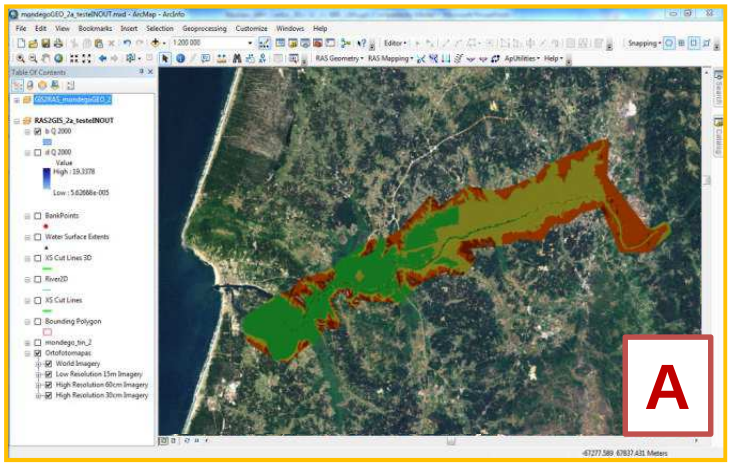
4. **Hidrograma da ruptura**

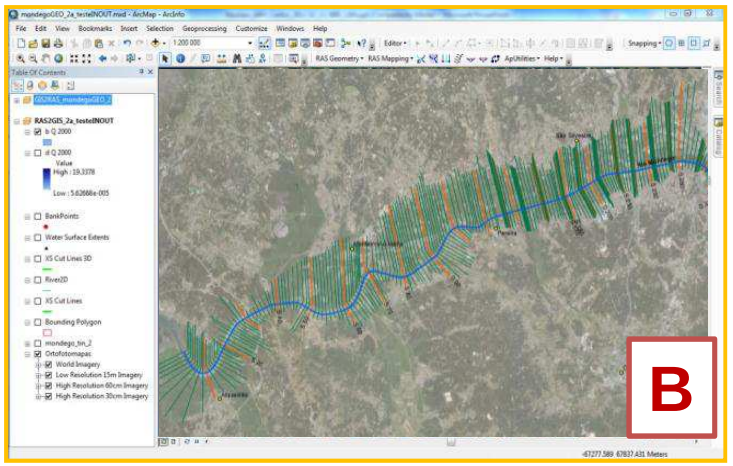
5. **Condições de fronteira de jusante**

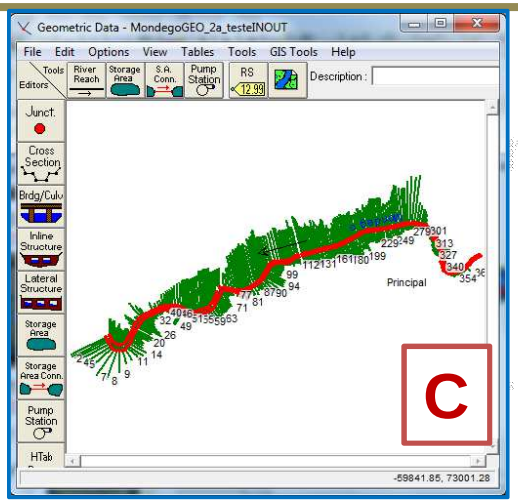
Modelo HECRAS – dados

1. **Linhas de água**
2. **Secções transversais**
3. **Rugosidades**

HEC-GeoRAS







4. Ruptura

5. Fronteira de jusante

Extensão HEC-GeoRAS

HOME > SOFTWARE > HEC-GEORAS > DOWNLOADS

HEC-GeoRAS

- HEC-GeoRAS
- Downloads
- Known Issues
- Support Policy

HEC-GeoRAS is a GIS extension that provides the user with a set of procedures, tools, and utilities for the preparation of GIS data for import into HEC-RAS and generation of GIS data from RAS output. While the GeoRAS extension is designed for users with limited geographic information systems (GIS) experience, knowledge of GIS is advantageous. Users, however, must have experience modeling with HEC-RAS and have a thorough understanding of river hydraulics to properly create and interpret GIS data sets.

HEC-GeoRAS 10.2 for ArcGIS 10.2:

This package will install HEC-GeoRAS 10.2 and all its pre-requisites automatically. Documentation is available from the programs Help menu.

ArcGIS 10.2 (ArcView license) with the 3D Analyst and Spatial Analyst extensions are required.

Release Notes: The Animation Tool was not migrated to HEC-GeoRAS 10.2. The native ArcGIS Animation Toolbar must be used.

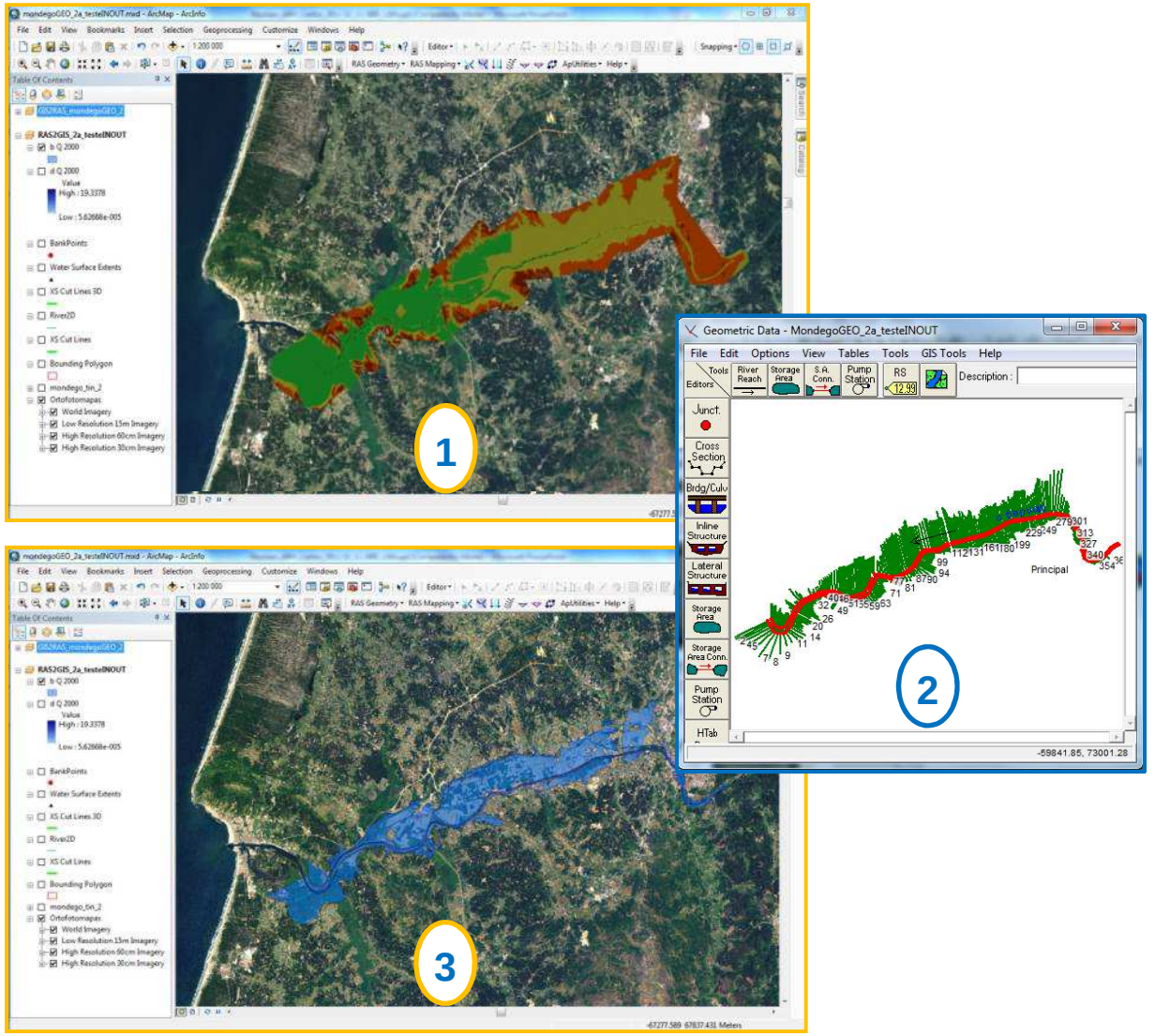
Download HEC-GeoRAS 10.2 **[Updated]** Install Package (12.6 MB)

HEC-GeoRAS 10 Example Data Sets:

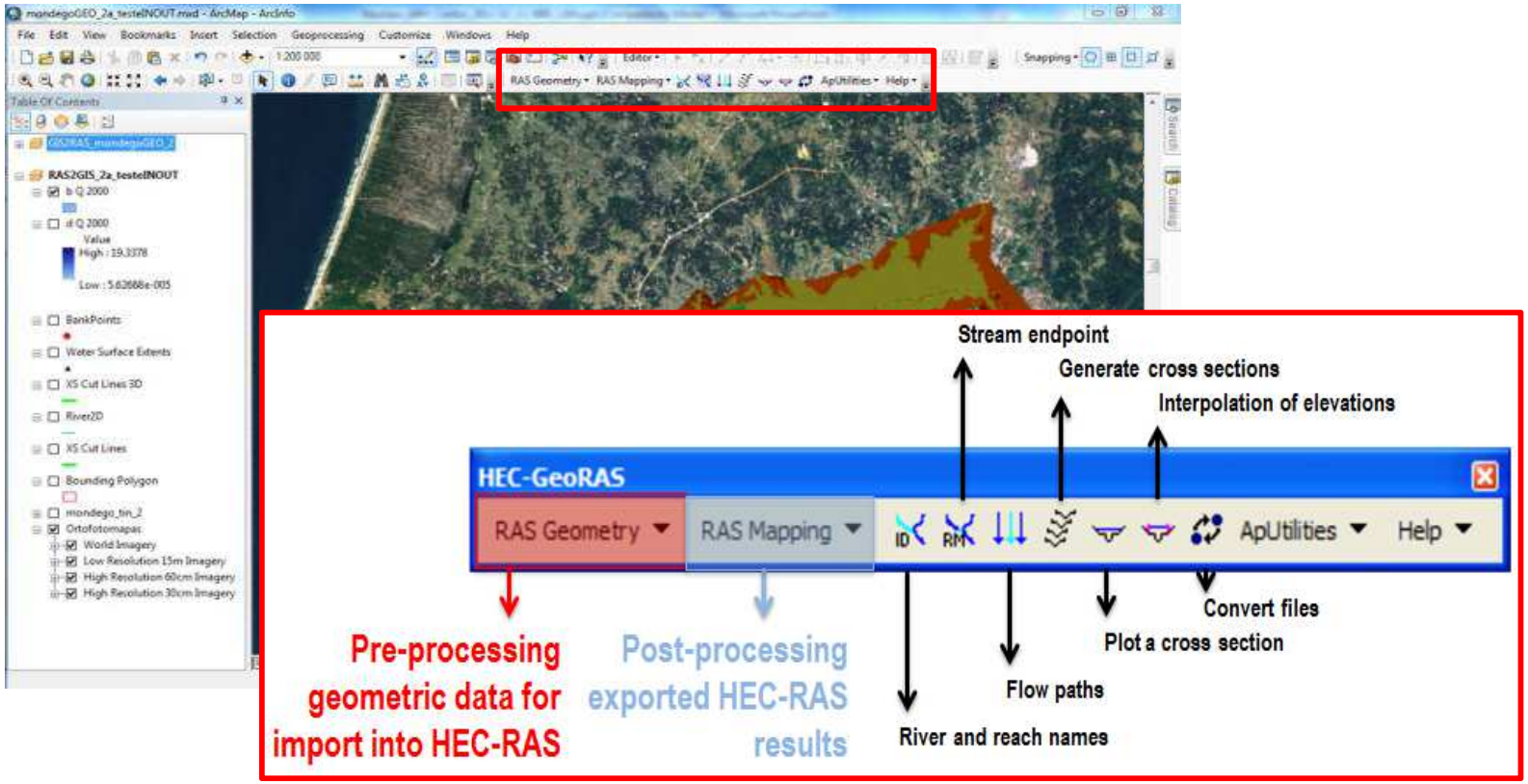
Examples: [What are these datasets?]
- Wailupe Import Example (5.96 MB)
- Baxter Example (44.7 MB)
- Terrain Tiles Example (11.9 MB)

http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-georas/

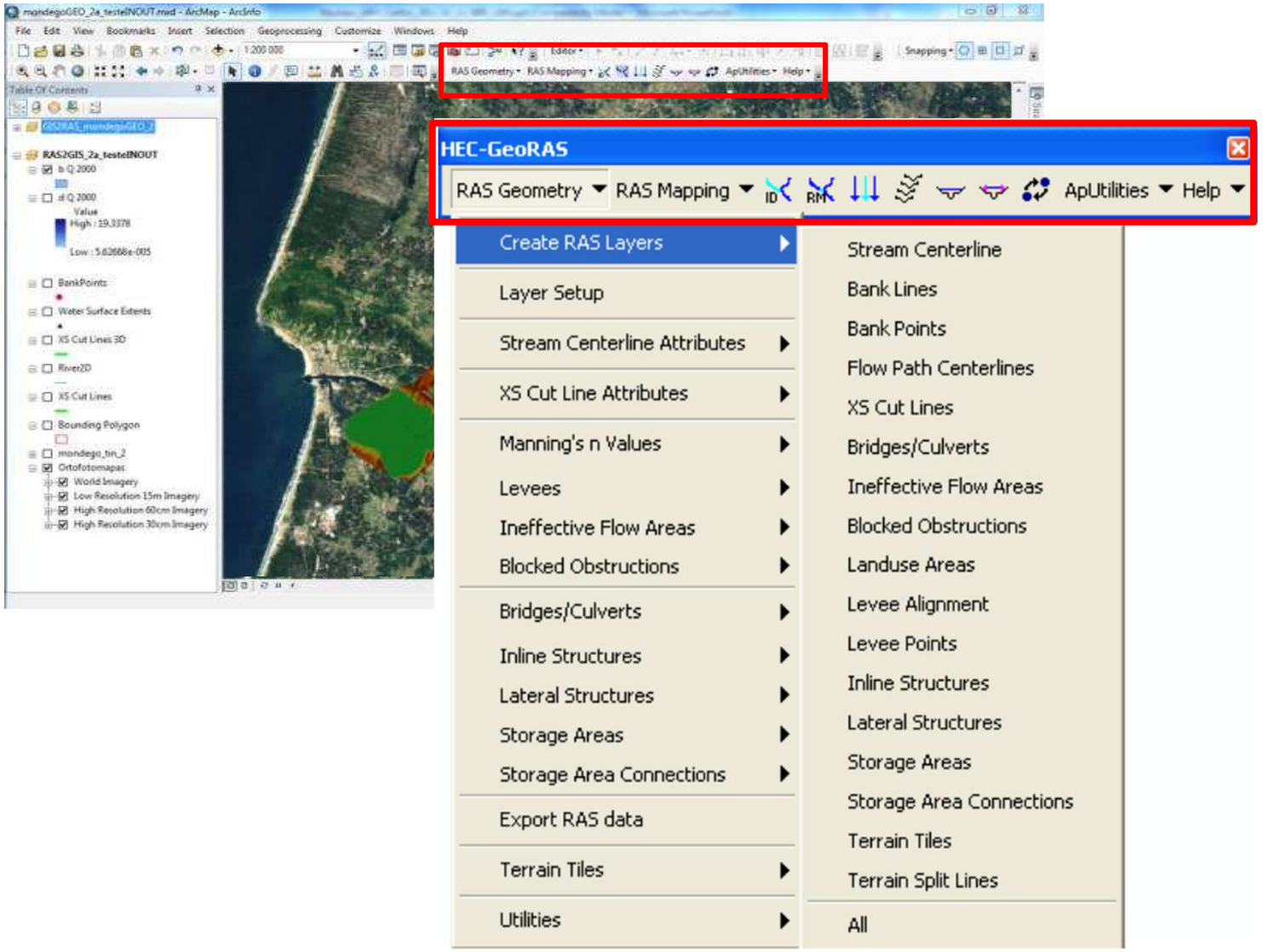
Extensão HEC-GeoRAS - Funcionamento



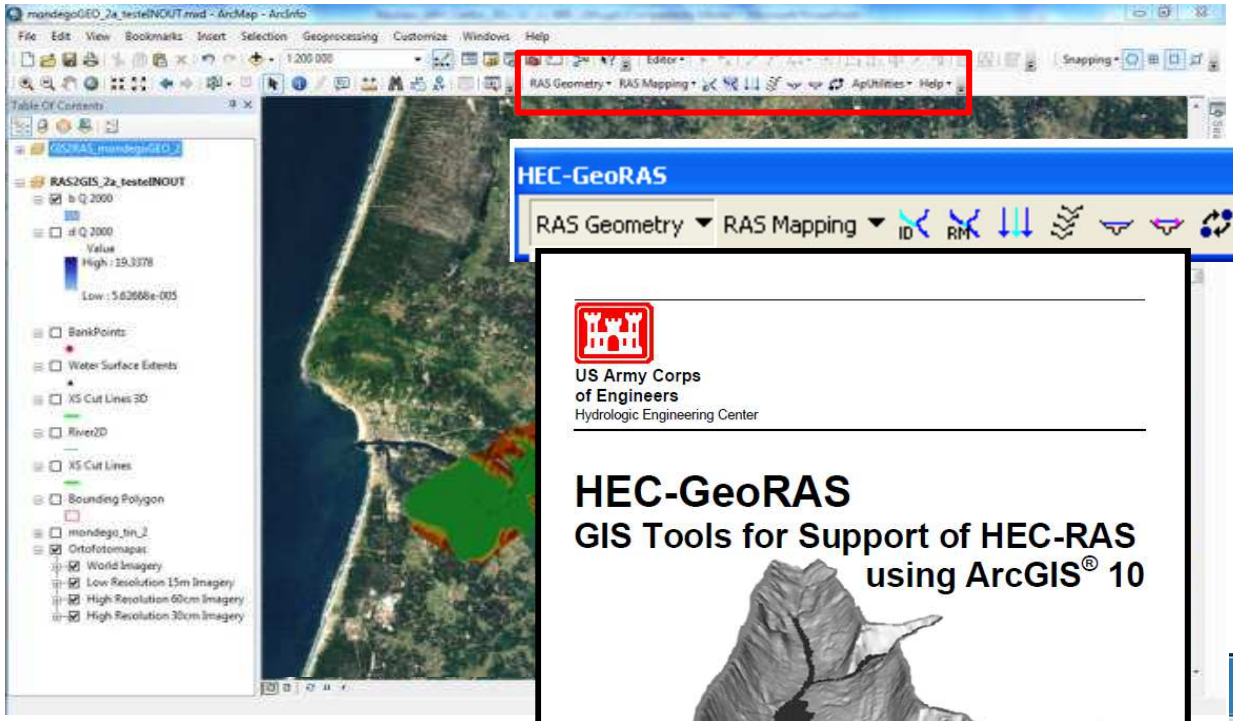
Extensão HEC-GeoRAS - GUI

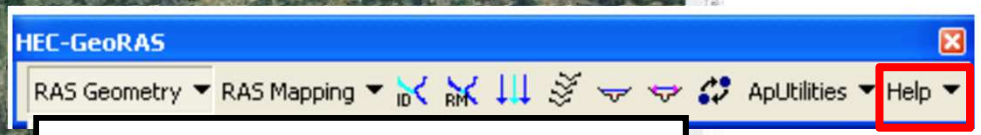


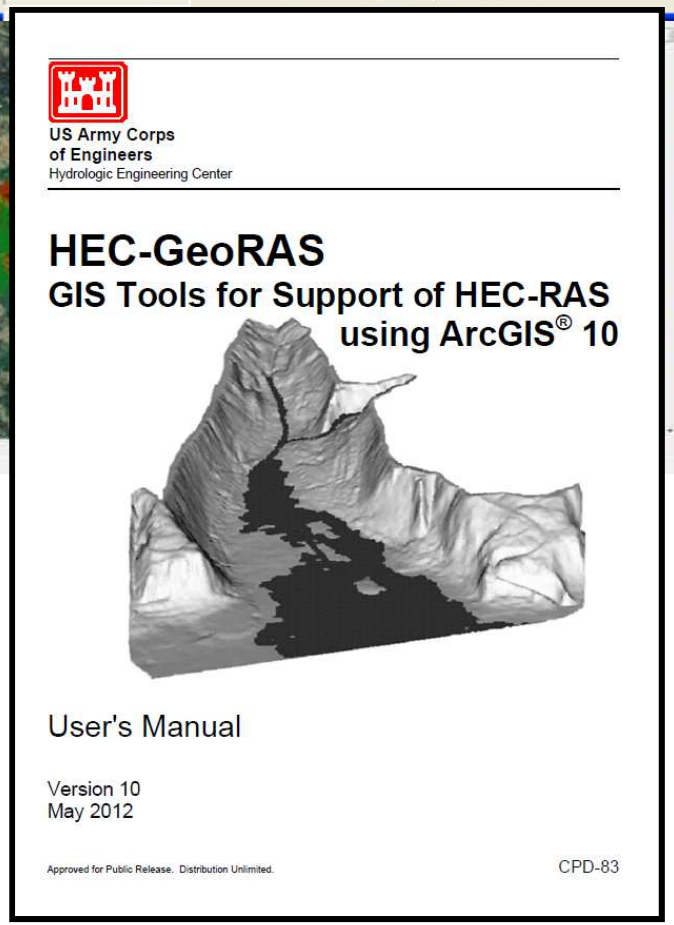
Extensão HEC-GeoRAS – Aplicação

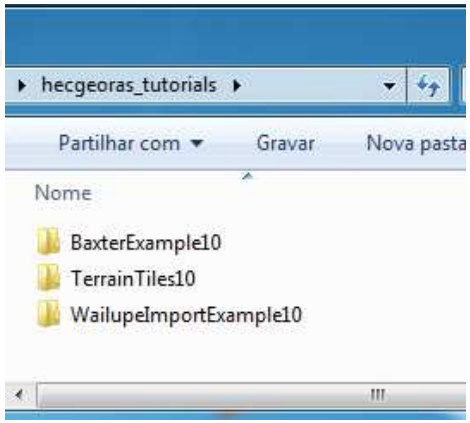


Extensão HEC-GeoRAS – mais informação

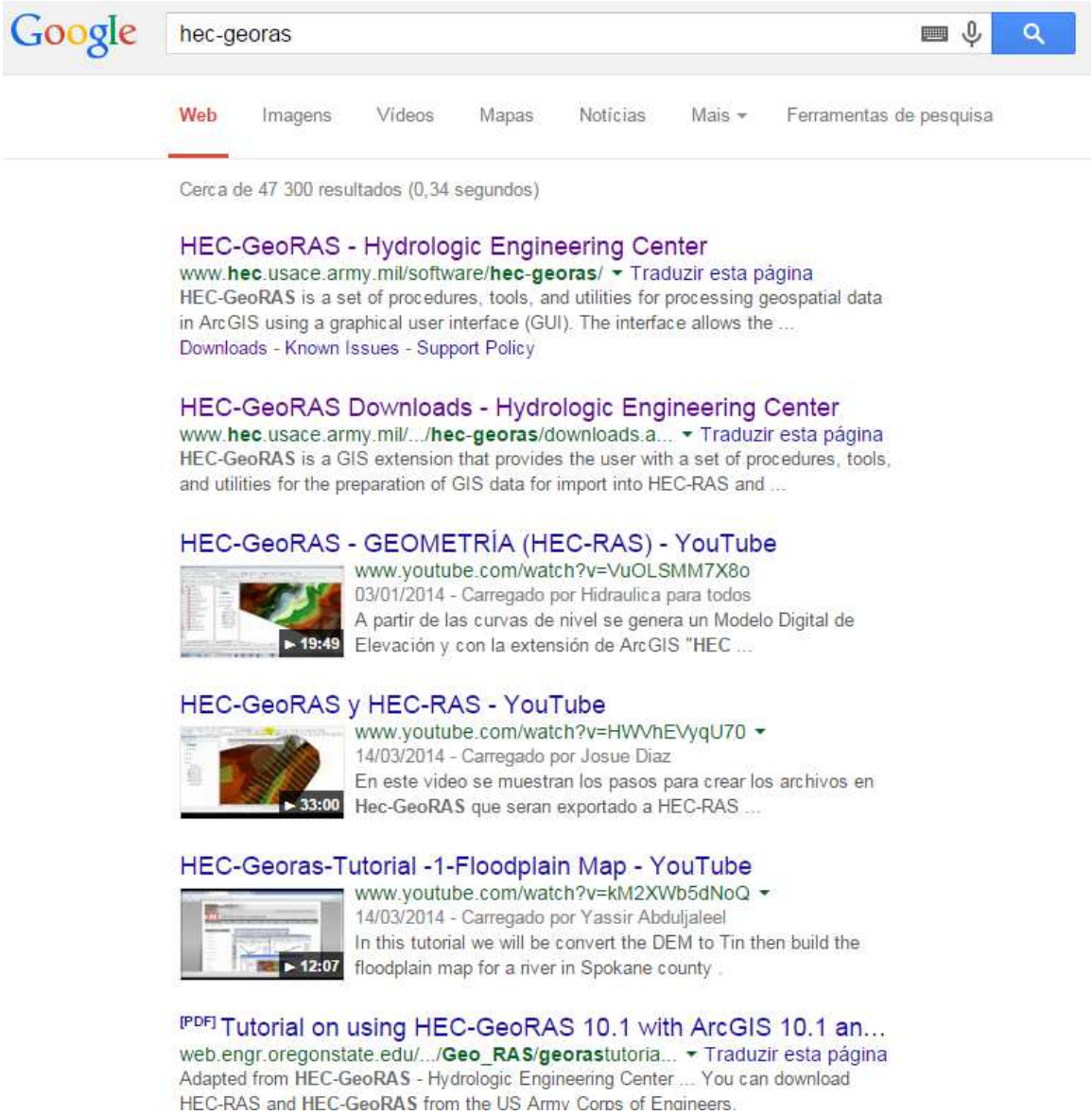




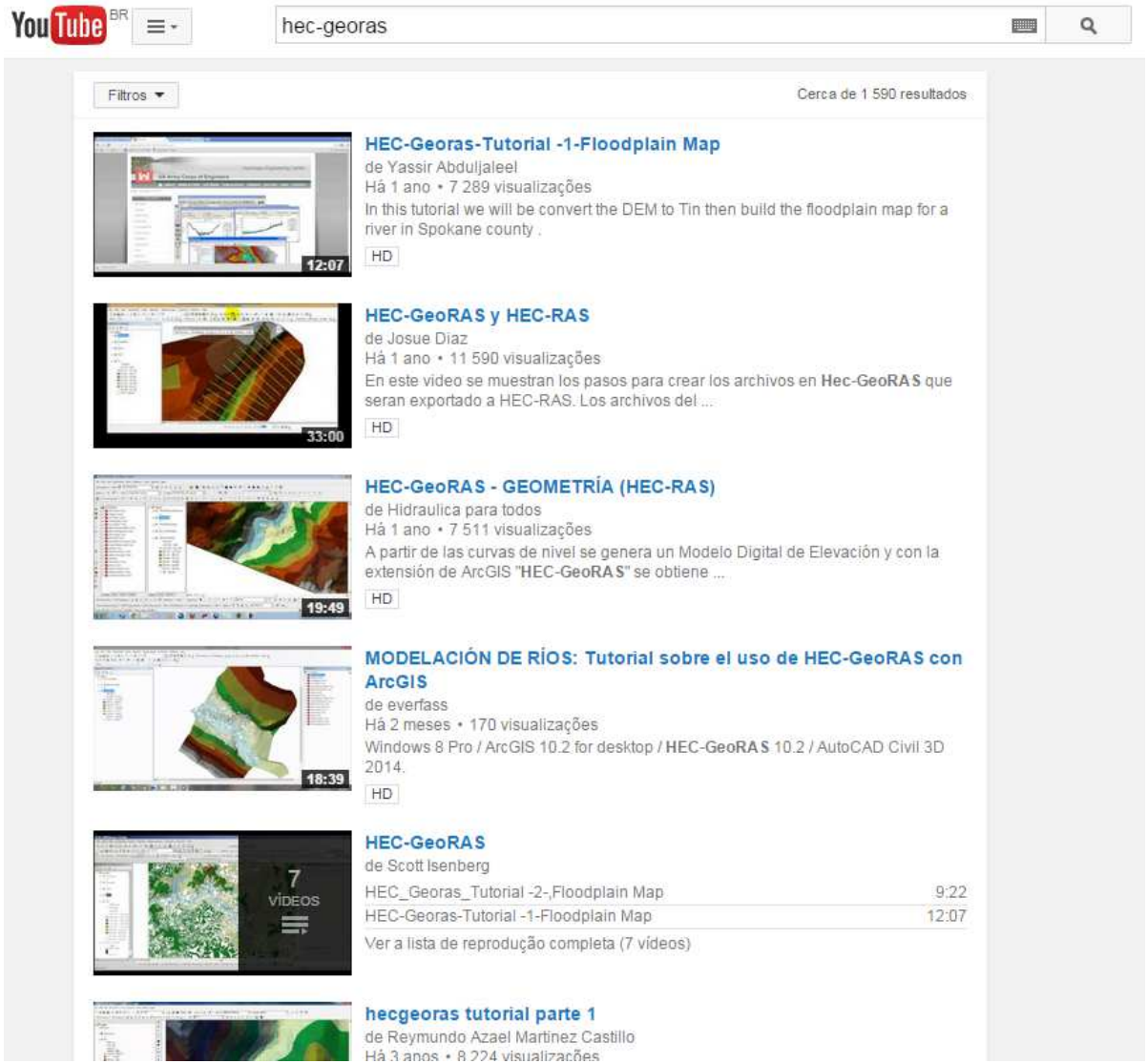




Extensão HEC-GeoRAS – mais informação

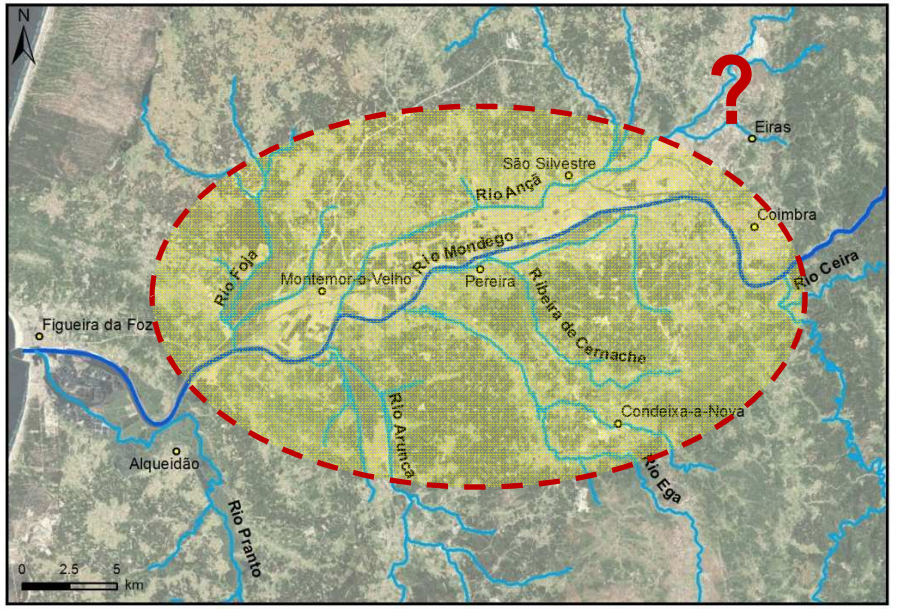


Extensão HEC-GeoRAS – mais informação



APLICAÇÃO – variáveis do sistema

- **Delimitação da área em estudo**
  - Linhas de água - limite de jusante
  - Área inundável
- **Outros elementos**
  - Açudes, diques, canais
  - Ocupação do solo
- **Hidrograma da ruptura**



APLICAÇÃO – Informação Base

- **Levantamentos atualizados de:**
  - leitos dos rios e zonas adjacentes (1/500, 1/1000 ou 1/2000)
  - infra-estruturas (açudes, pontes, etc)

- **Cartografia da ocupação do território**
  - densidade populacional
  - edificações/construções, rede viária e ferroviária, infra-estruturas, zonas agrícolas e atividades económicas existentes)

- **Outros estudos**

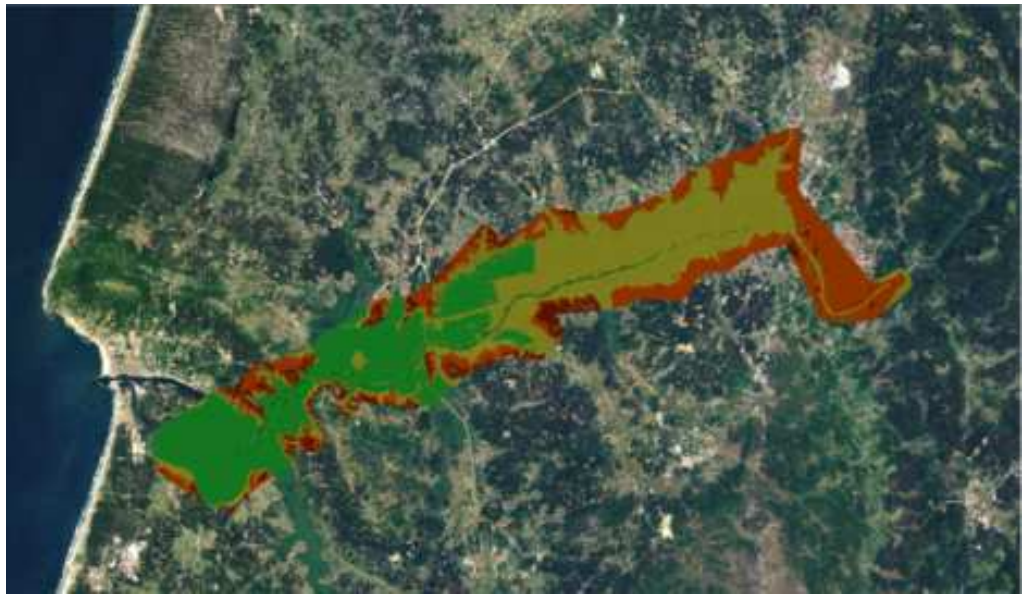
APLICAÇÃO – Informação Base

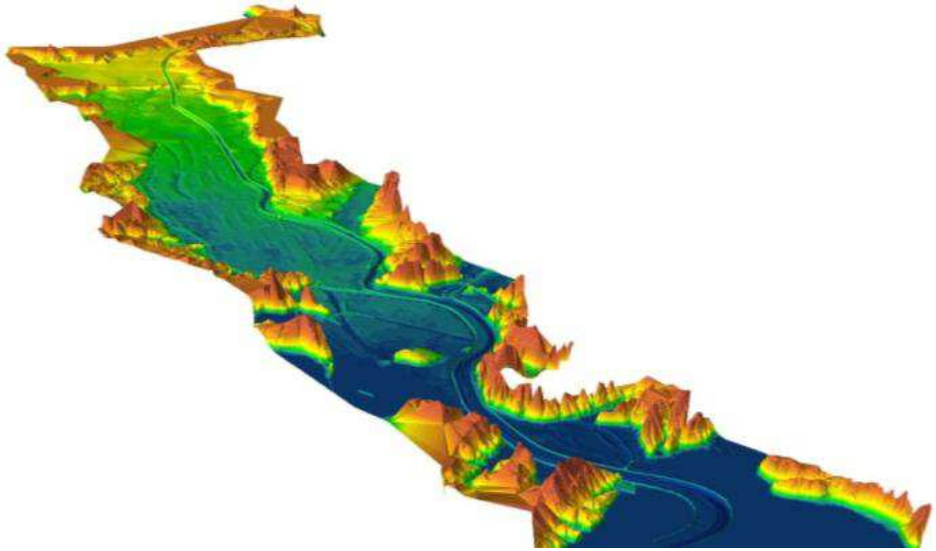
- Quais as fontes?
  - **Observação em campo**
  - **Levantamentos**
  - **Organismos públicos locais e centrais**
  - **Projetos/estudos anteriores**
  - **Publicações científicas nacionais e internacionais**

- **Tratamento** da informação
  - Análise da qualidade
  - Verificação com outras fontes
  - Adaptação para o estudo

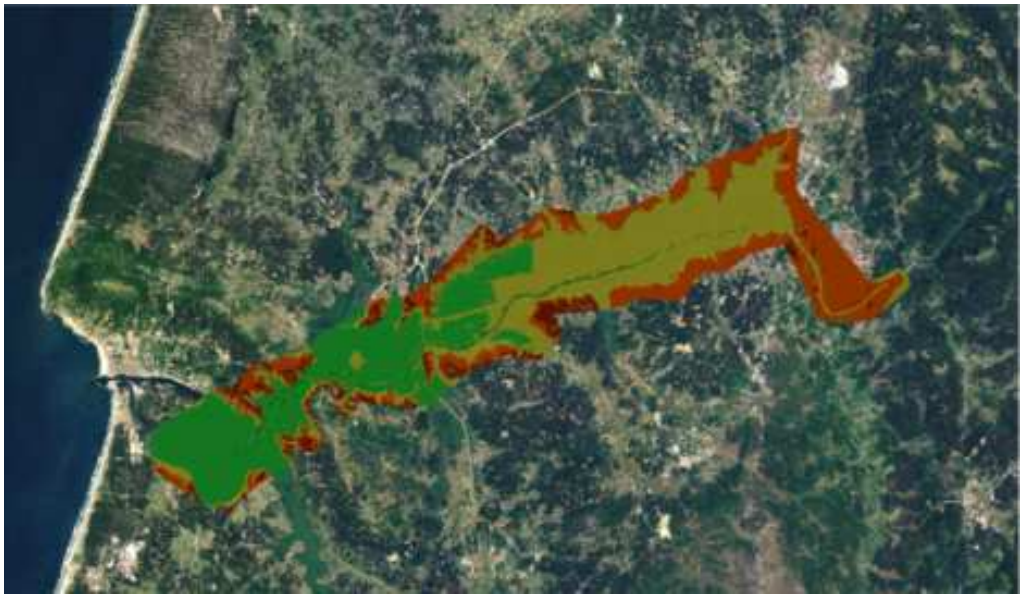
- **Sistema de referência único** para **todos** os dados:
  - Ex: SIRGAS2000

APLICAÇÃO – MDT

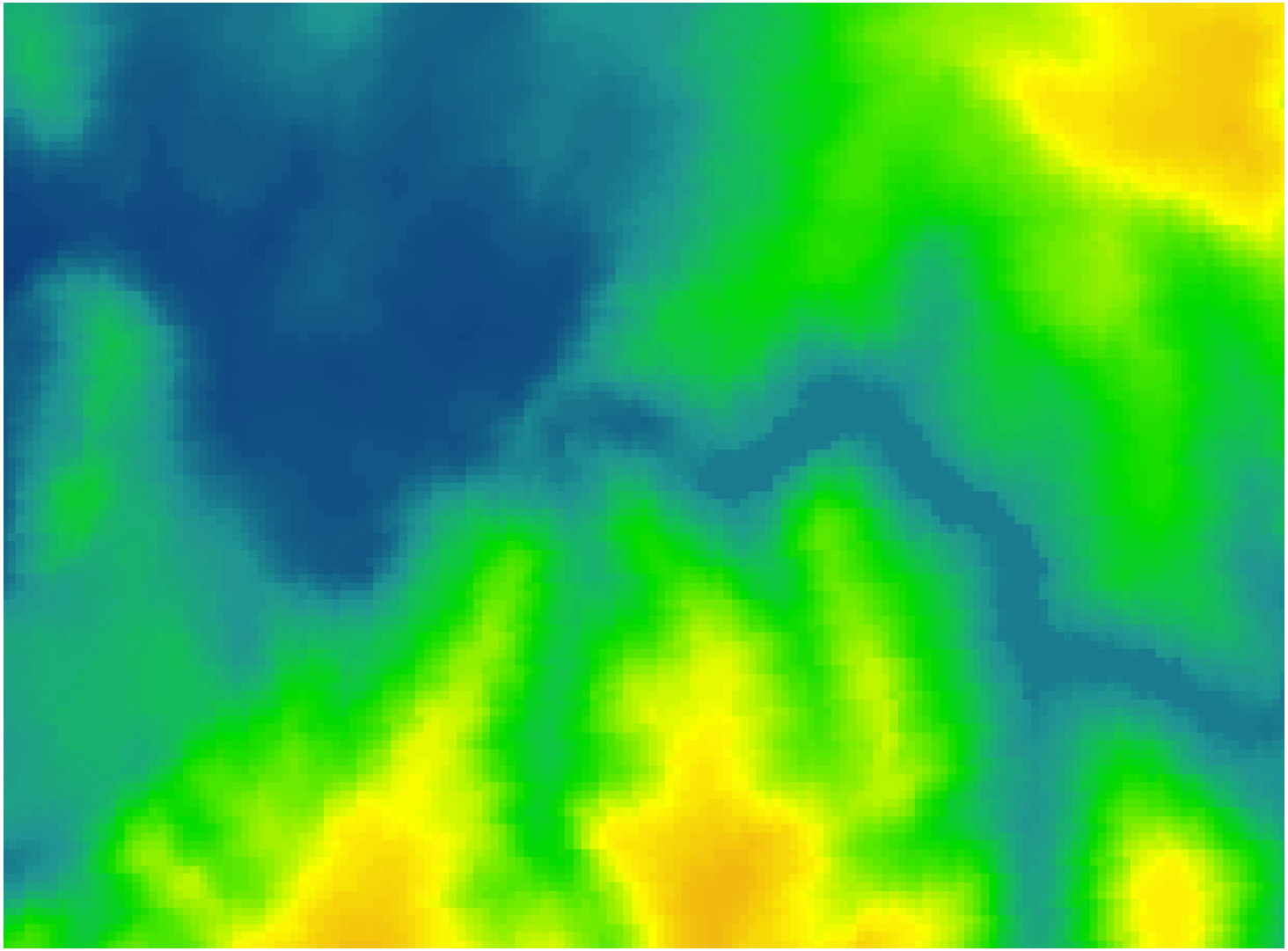




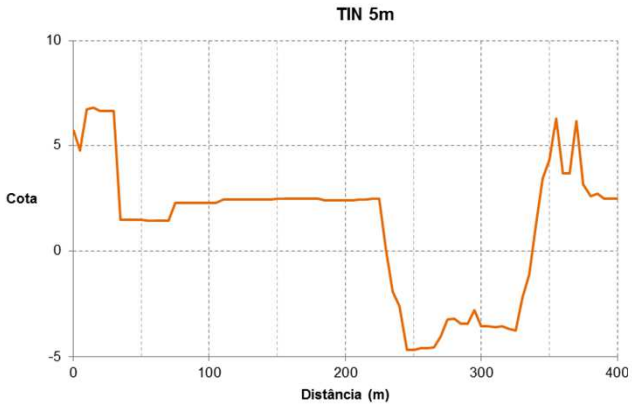
APLICAÇÃO – MDT: TIN

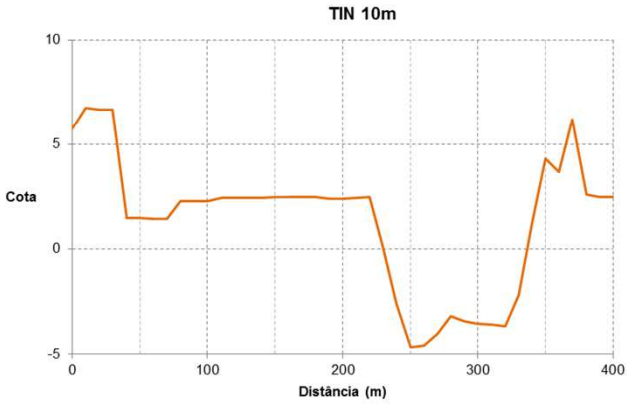


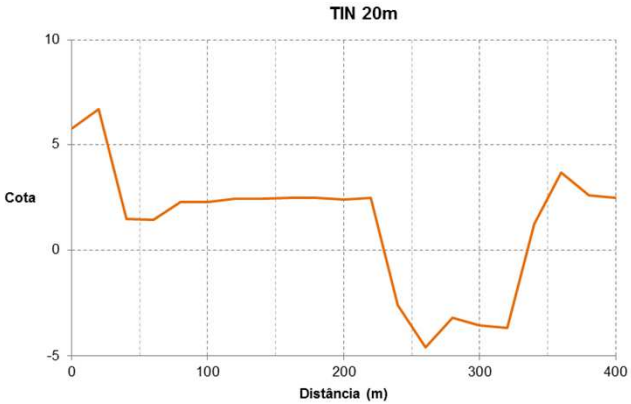
APLICAÇÃO – MDT: RASTER



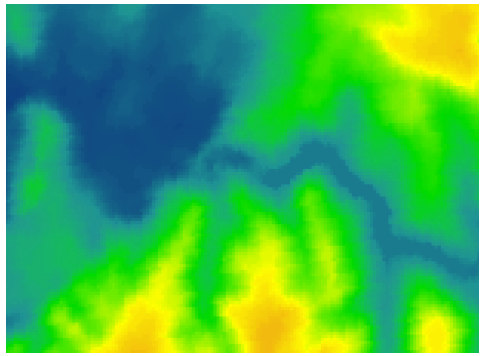
APLICAÇÃO – MDT: TIN - Escala

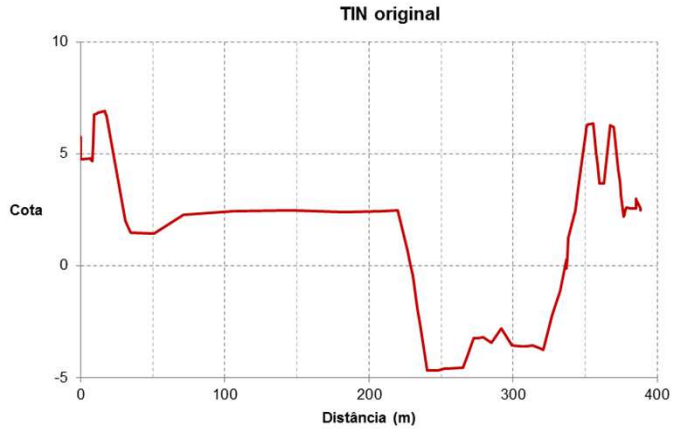


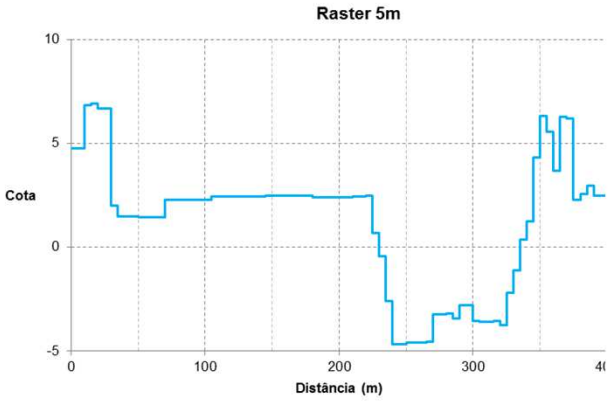


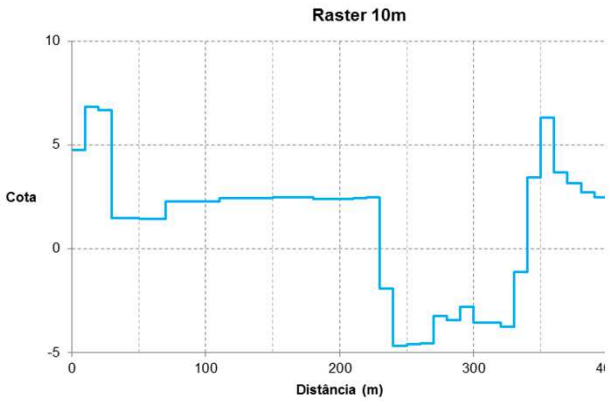


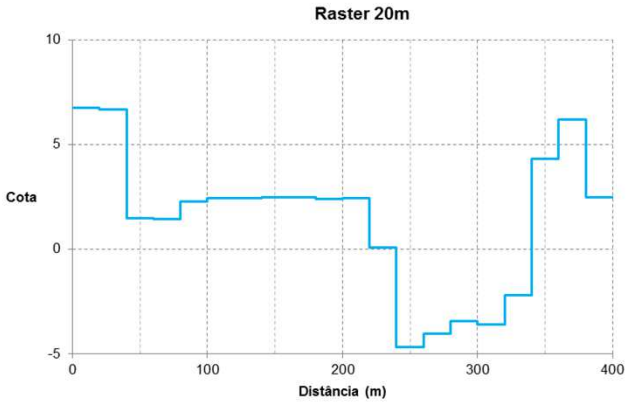
APLICAÇÃO – MDT: RASTER - Escala



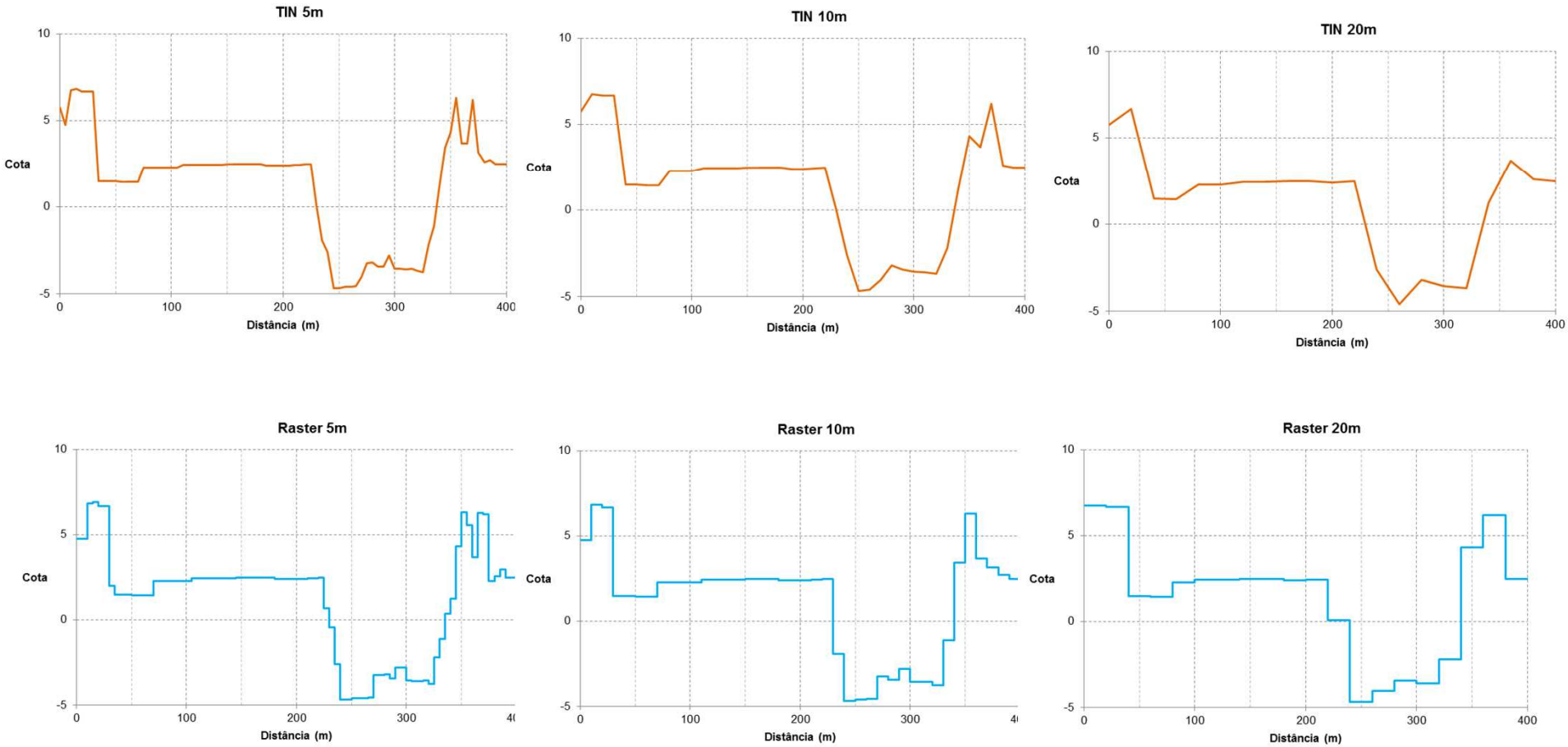






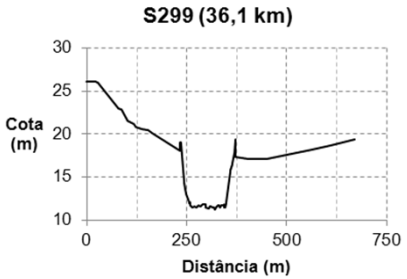


APLICAÇÃO – MDT: TIN vs RASTER - Escala



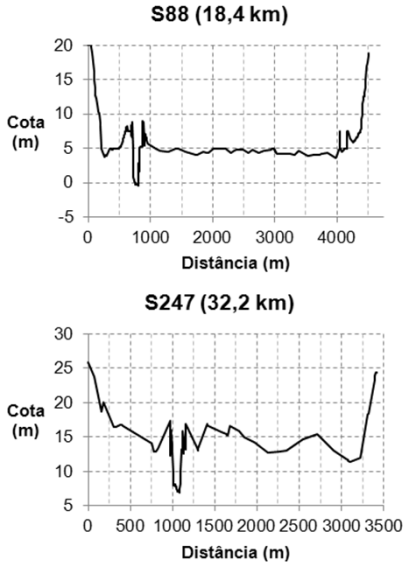
APLICAÇÃO – Secções tipo

Montante



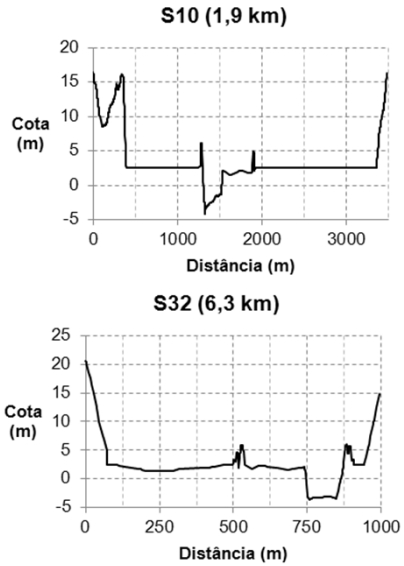
- ✓ Secção mais curta
- ✓ Leito central encaixado
- ✓ Margens curtas

Jusante



- ✓ Secção larga
- ✓ Leito de cheia com grande capacidade
- ✓ Diques no leito central

Estuário

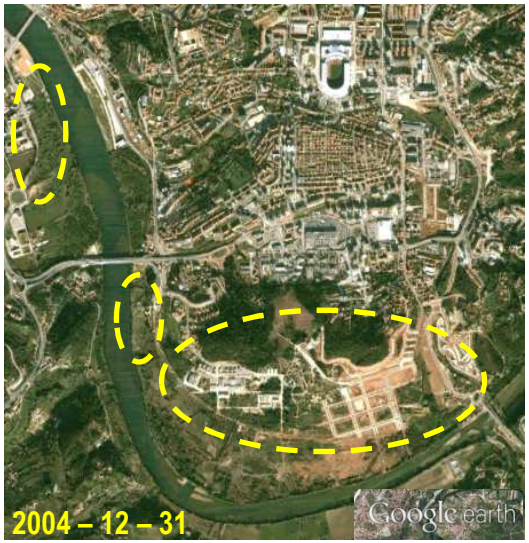


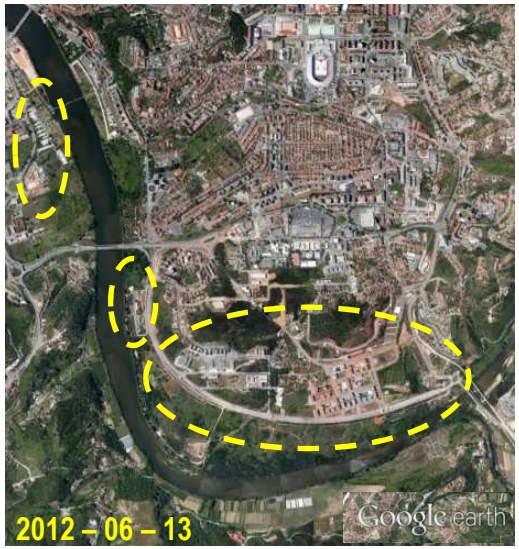
- ✓ Secção larga
- ✓ Leito de cheia com grande capacidade
- ✓ Termina sem diques

APLICAÇÃO – Ocupação do solo

VEGETAÇÃO

CONSTRUÇÃO





APLICAÇÃO – Ocupação do solo

- **Fontes:**
  - Carta de Ocupação do Solo
  - Fotografia aérea (Microsoft BING,Google,etc)
  - Observação no local

- **Análise das rugosidades**
  - Escolha do número de classes
  - Definição das áreas

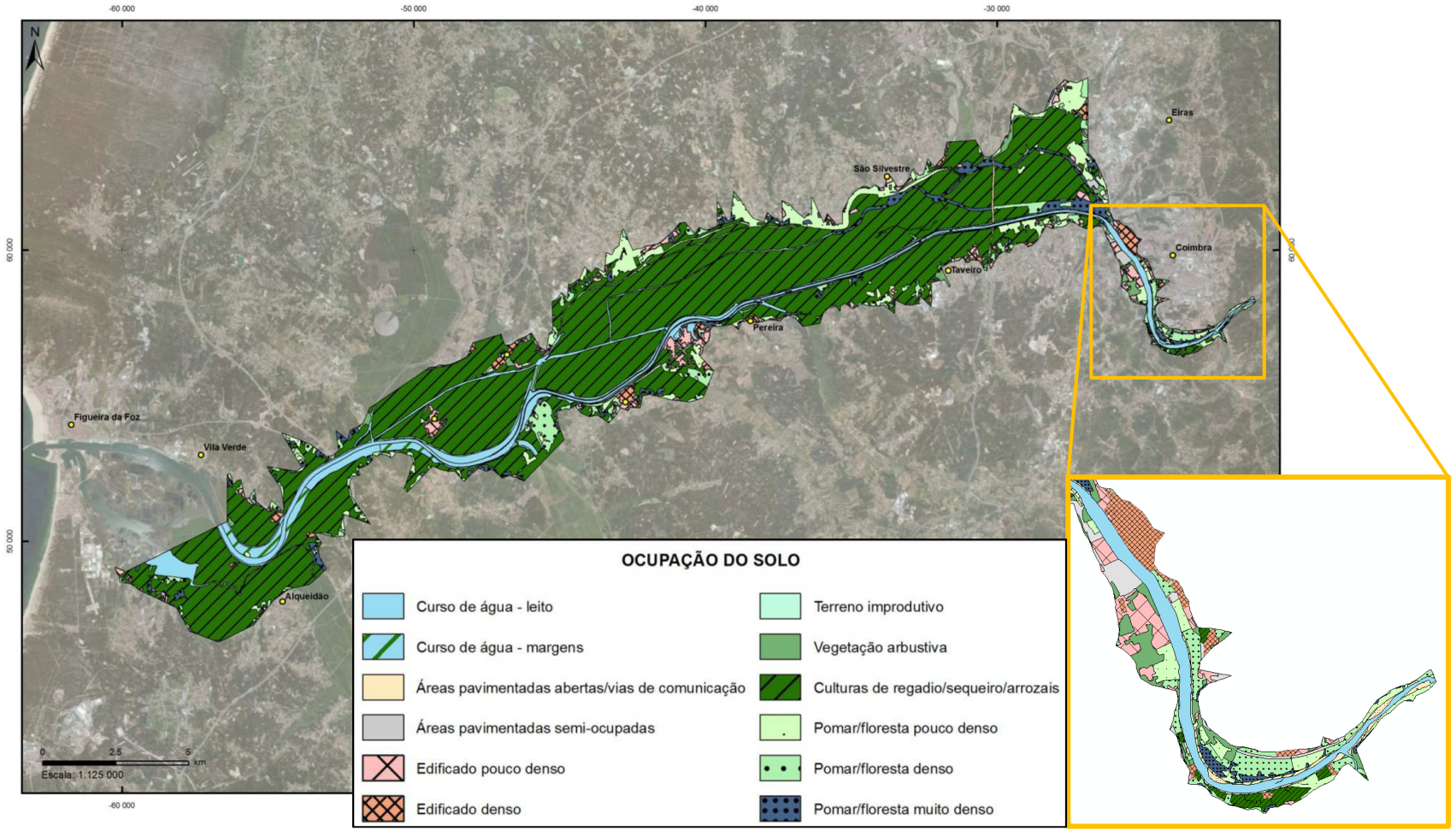
Carta de ocupação de solos

Fotografia aérea

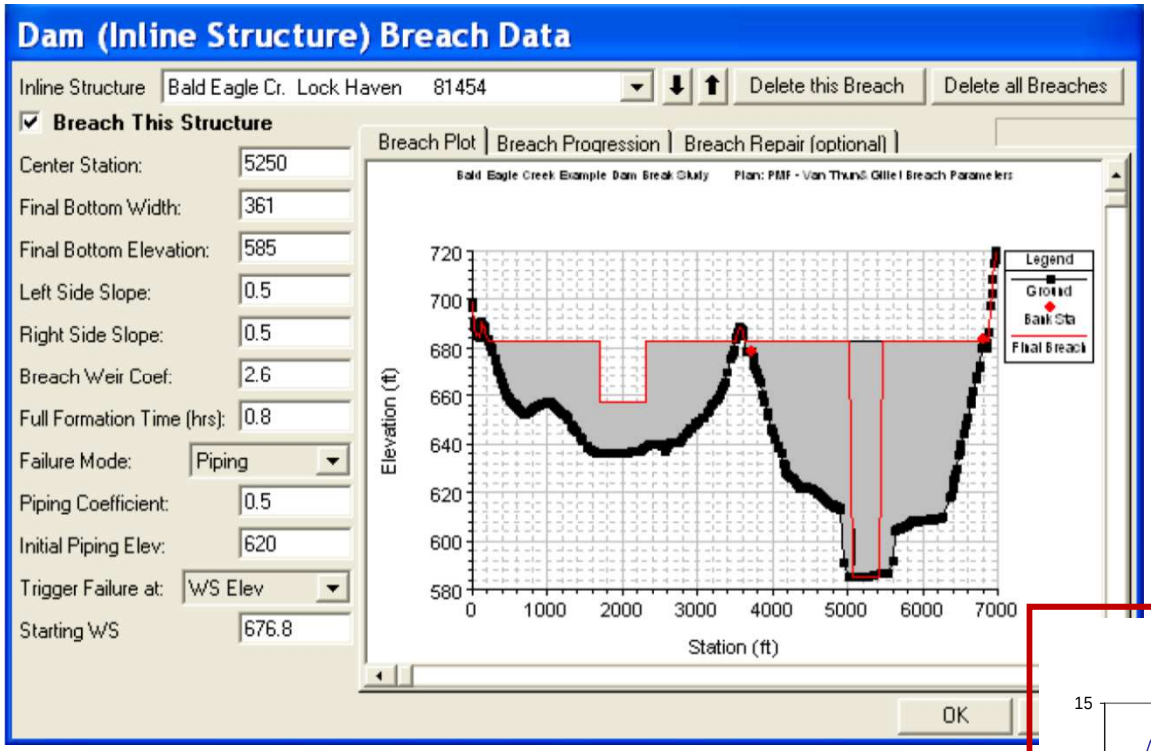
Observação do local

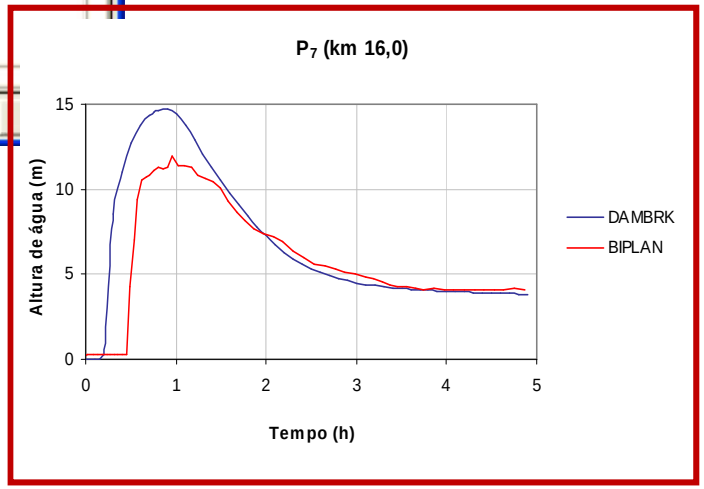
http://jcduarte.net

APLICAÇÃO – Ocupação do solo

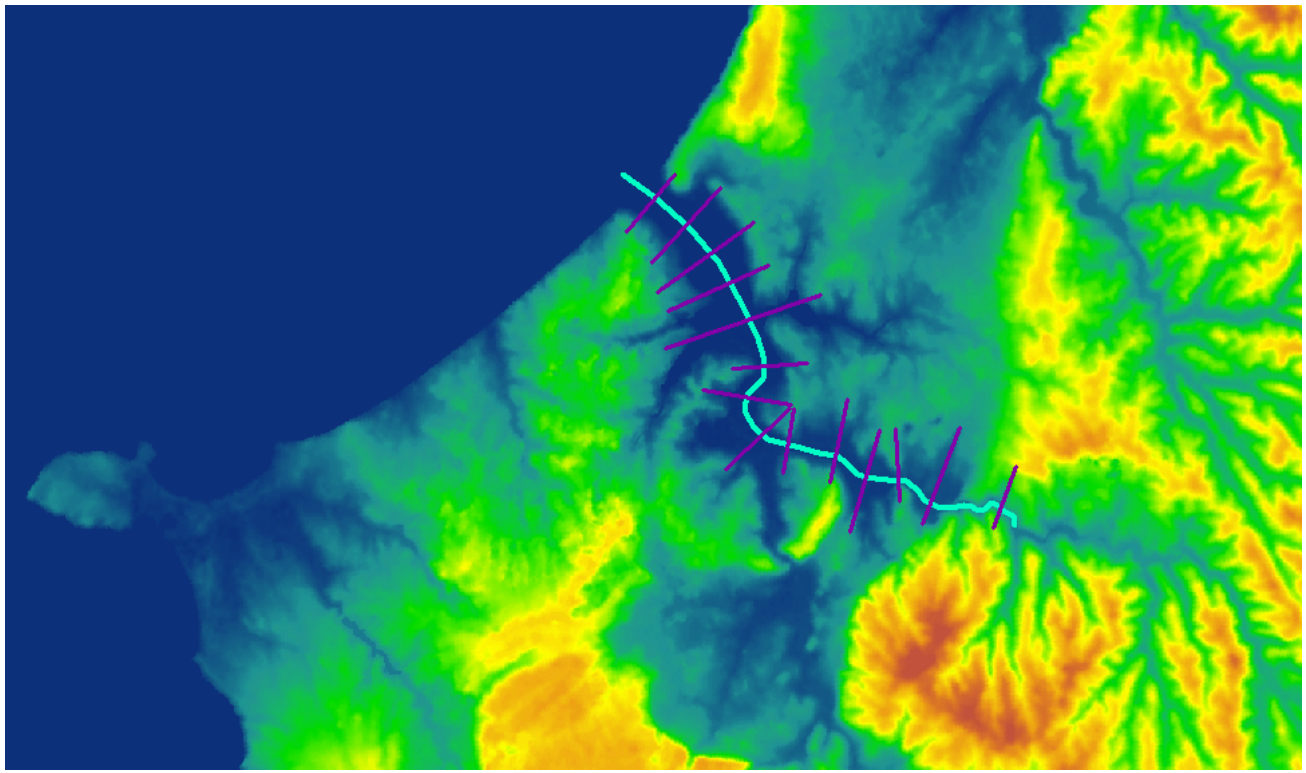


APLICAÇÃO – HIDROGRAMA DA RUPTURA DA BRECHA



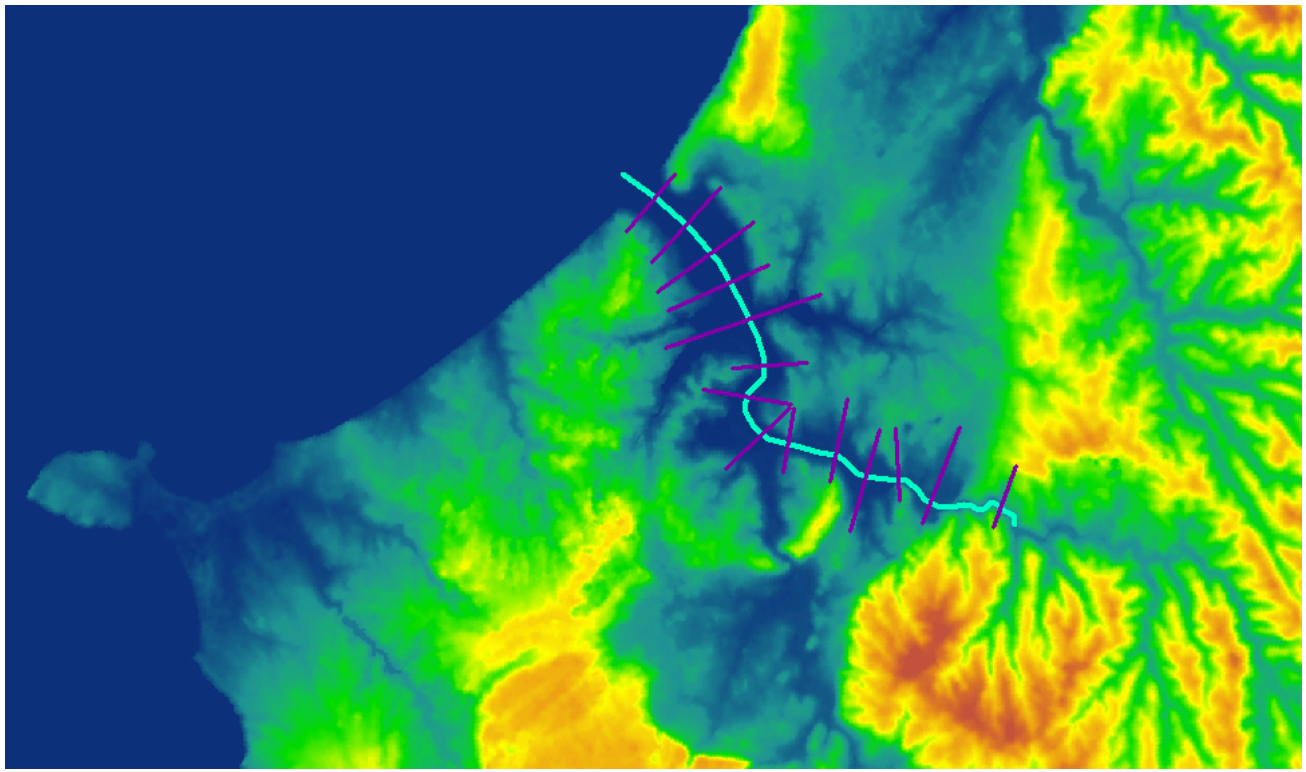


EXERCÍCIO EM HEC-RAS
HIDROGRAMA DA RUPTURA DA BRECHA

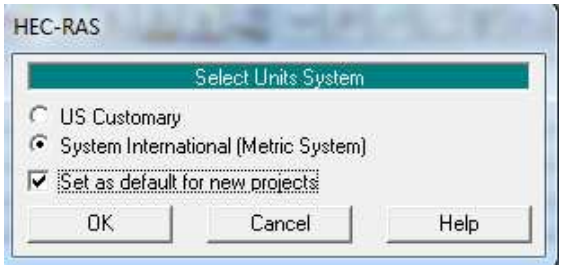


EXERCÍCIO EM HEC-RAS
HIDROGRAMA DA RUPTURA DA BRECHA

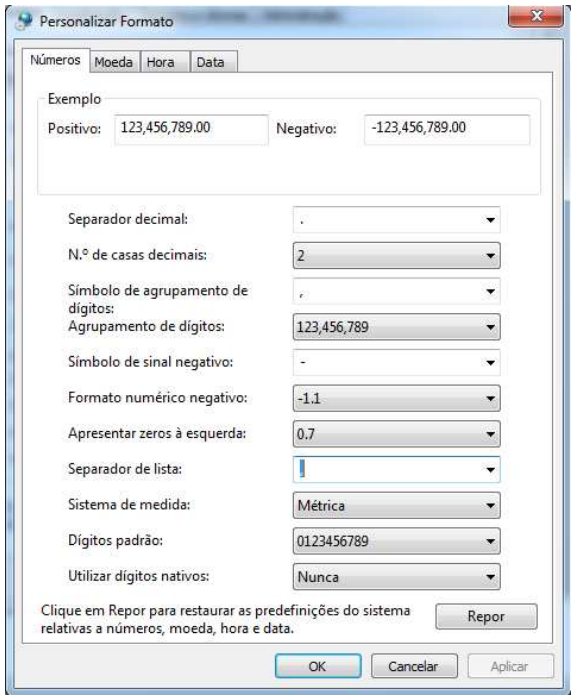
- **Projecto: Óbidos**
  - HEC-RAS: *File > Open Project > "Obidos01.prj"*
  - Pasta: *CursoPAE_modulo2*

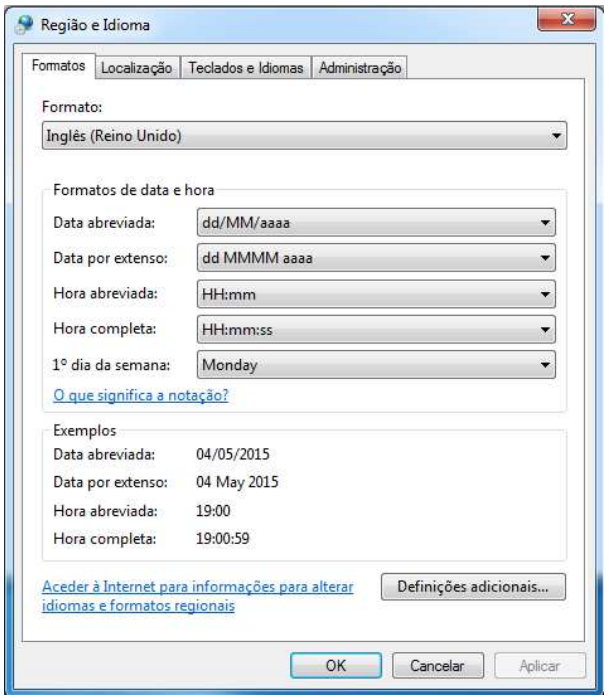


EXERCÍCIO EM HEC-RAS
CUIDADOS COM O HEC-RAS



- **Confirmar o sistema de unidades**
- **O separador decimal do Windows deve ser o “.”**
- **O formato de data do Windows deve ser em inglês**

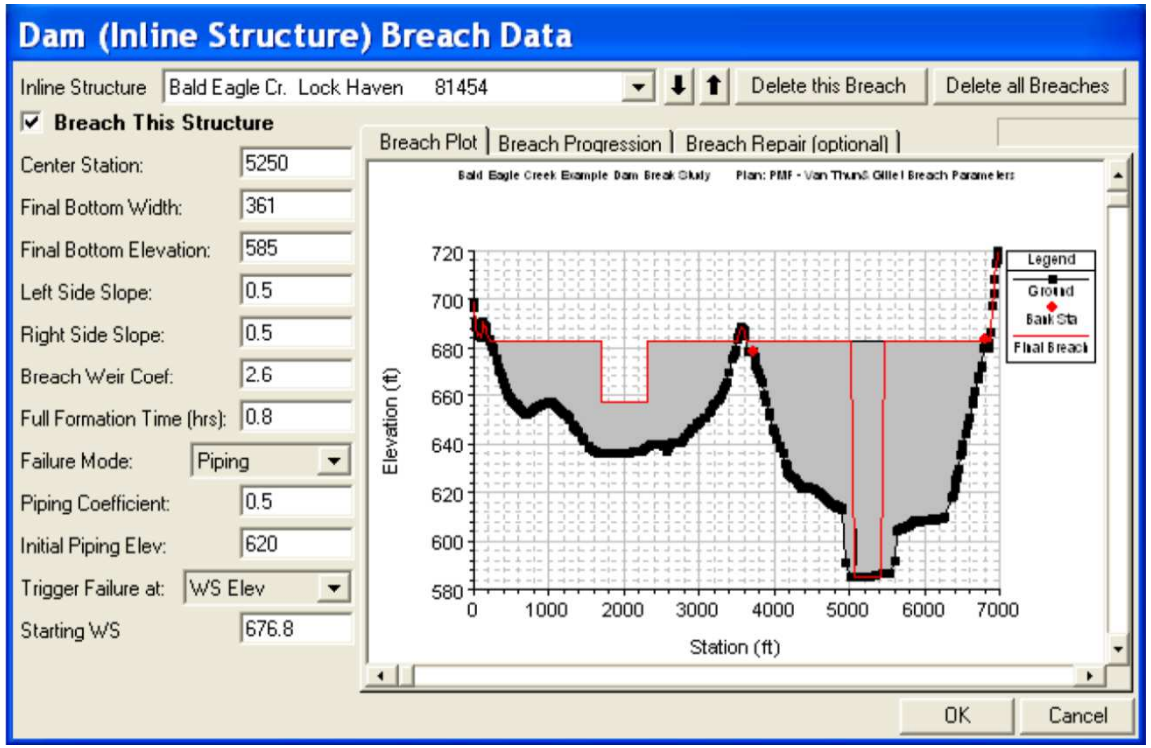




EXERCÍCIO EM HEC-RAS
HIDROGRAMA DA RUPTURA DA BRECHA

- **Hidrograma da ruptura da brecha**
  - HEC-RAS: *Geometric Data* > *Inline Structure* > *Breach (Plan Data)*

- Eixo central da brecha
- Largura final da base da brecha
- Cota final da base da brecha
- Declive dos taludes laterais da brecha
- Coeficiente de vazão da brecha
- Tempo de formação total da brecha
- Modo de ruptura: galgamento ou erosão interna
- Coeficiente de "*piping*"
- Cota inicial de "*piping*"
- Condição para o início da rotura
- Valor de cota da superfície da água



EXERCÍCIO EM HEC-RAS
HIDROGRAMA DA RUPTURA DA BRECHA

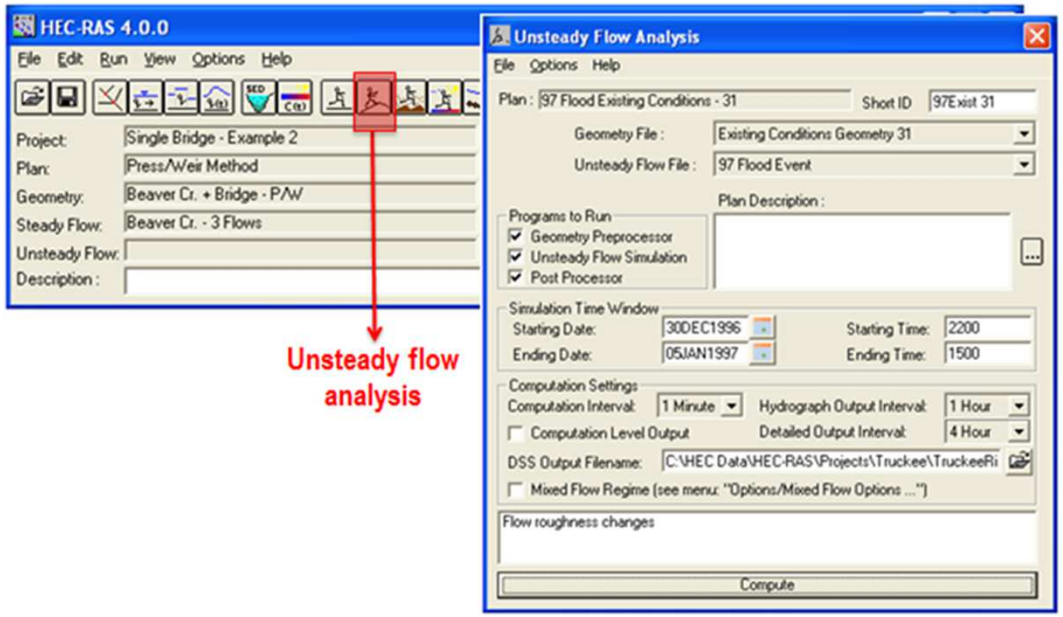
- **Hidrograma da ruptura da brecha**
  - HEC-RAS: *Geometric Data* > *Inline Structure* > *Breach (Plan Data)*

Dam Type	Average Breach Width (B_{ave})	Horizontal Component of Breach Side Slope (H) (H:V)	Failure Time, t_f (hours)	Agency
Earthen/Rockfill	(0.5 to 3.0) x HD	0 to 1.0	0.5 to 4.0	USACE 1980
	(1.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0	0.1 to 1.0	FERC
	(2.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0 (slightly larger)	0.1 to 1.0	NWS
	(0.5 to 5.0) x HD*	0 to 1.0	0.1 to 4.0*	USACE 2007
Concrete Gravity	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	USACE 1980
	Usually ≤ 0.5 L	Vertical	0.1 to 0.3	FERC
	Usually ≤ 0.5 L	Vertical	0.1 to 0.2	NWS
	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	USACE 2007
Concrete Arch	Entire Dam	Valley wall slope	≤ 0.1	USACE 1980
	Entire Dam	0 to valley walls	≤ 0.1	FERC
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	NWS
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	USACE 2007
Slag/Refuse	(0.8 x L) to L	1.0 to 2.0	0.1 to 0.3	FERC
	(0.8 x L) to L		≤ 0.1	NWS

***Note:** Dams that have very large volumes of water, and have long dam crest lengths, will continue to erode for long durations (i.e., as long as a significant amount of water is flowing through the breach), and may therefore have longer breach widths and times than what is shown in Table 3. HD = height of the dam; L = length of the dam crest; FERC - Federal Energy Regulatory Commission; NWS - National Weather Service

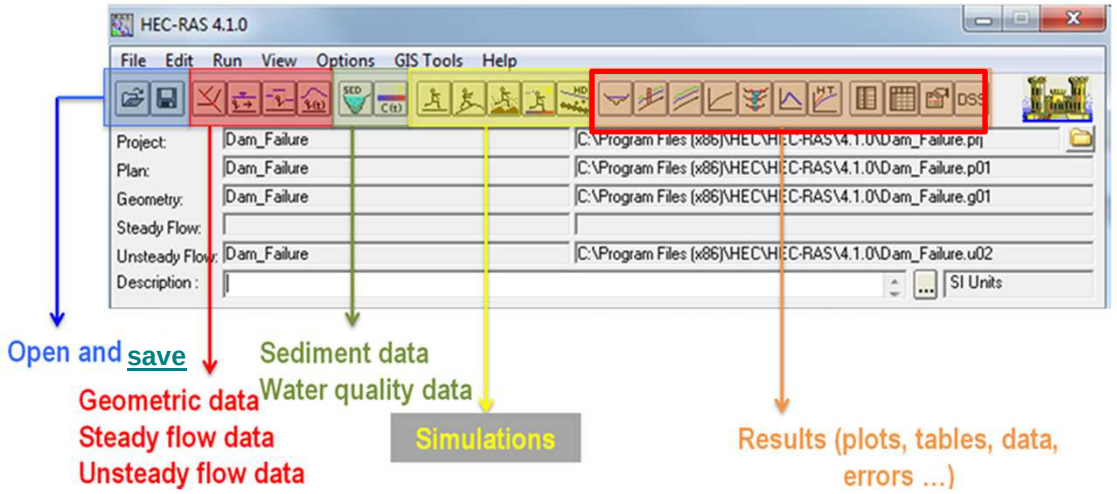
EXERCÍCIO EM HEC-RAS
HIDROGRAMA DA RUPTURA DA BRECHA

- **Simulação de regime não permanente**
  - HEC-RAS: *Run > Unsteady Flow Analysis > Compute*



EXERCÍCIO EM HEC-RAS
HIDROGRAMA DA RUPTURA DA BRECHA

- **Visualizar resultados**

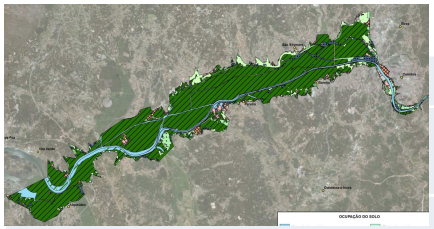


APLICAÇÃO - Calibração do Modelo Numérico

- **Análise das corridas do modelo**
  - Altura de escoamento / cota da superfície de água
  - Velocidades
  - Número de Froude –> regime rápido / lento
  - Velocidade de propagação & atenuação do hidrograma

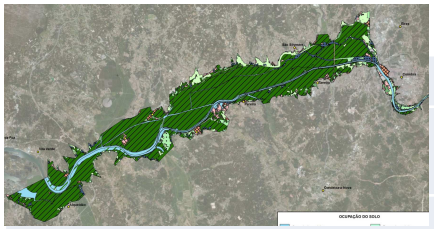
- **Calibração do modelo**
  - Hidrograma da brecha de ruptura
  - Rugosidade – coeficientes de Manning
  - Intervalo de tempo de cálculo - Δt
  - Número de Courant
  - Outros parâmetros característicos do modelo

CALIBRAÇÃO - Rugosidades



observações	A valores de referência	B variação -20%	C variação +20%	D valores mínimos	E valores mínimos	F valores mínimos
Leito principal						
Leito principal - talvegue	0.040	0.032	0.048	0.025	0.030	0.028
Leito principal - margens	0.045	0.036	0.054	0.035		
Leito principal - margens com arvores espaçadas	0.060	0.048	0.072	0.045	0.050	0.045
Leito principal - margens com arvores densas	0.120	0.096	0.144	0.055		
Áreas artificiais						
Áreas pavimentadas abertas + estradas + parques de estacionamento	0.013	0.010	0.016	0.013	0.013	0.013
Áreas pavimentadas semi-ocupadas	0.040	0.032	0.048	0.040	0.040	0.040
Edificado espaçado	0.200	0.160	0.240	0.100	0.100	0.100
Edificado denso	0.400	0.320	0.480	0.150	0.150	0.150
Campos						
Descampado de areia/terra	0.030	0.024	0.036	0.030	0.030	0.030
Descampado + arbustos	0.050	0.040	0.060	0.050	0.050	0.050
Campo cultivado	0.040	0.032	0.048	0.040	0.040	0.040
Pomar/árvores espaçado	0.060	0.048	0.072	0.060	0.060	0.060
Pomar/árvores denso	0.100	0.080	0.120	0.080	0.080	0.080
Pomar/árvores muito denso	0.120	0.096	0.144	0.100	0.100	0.100

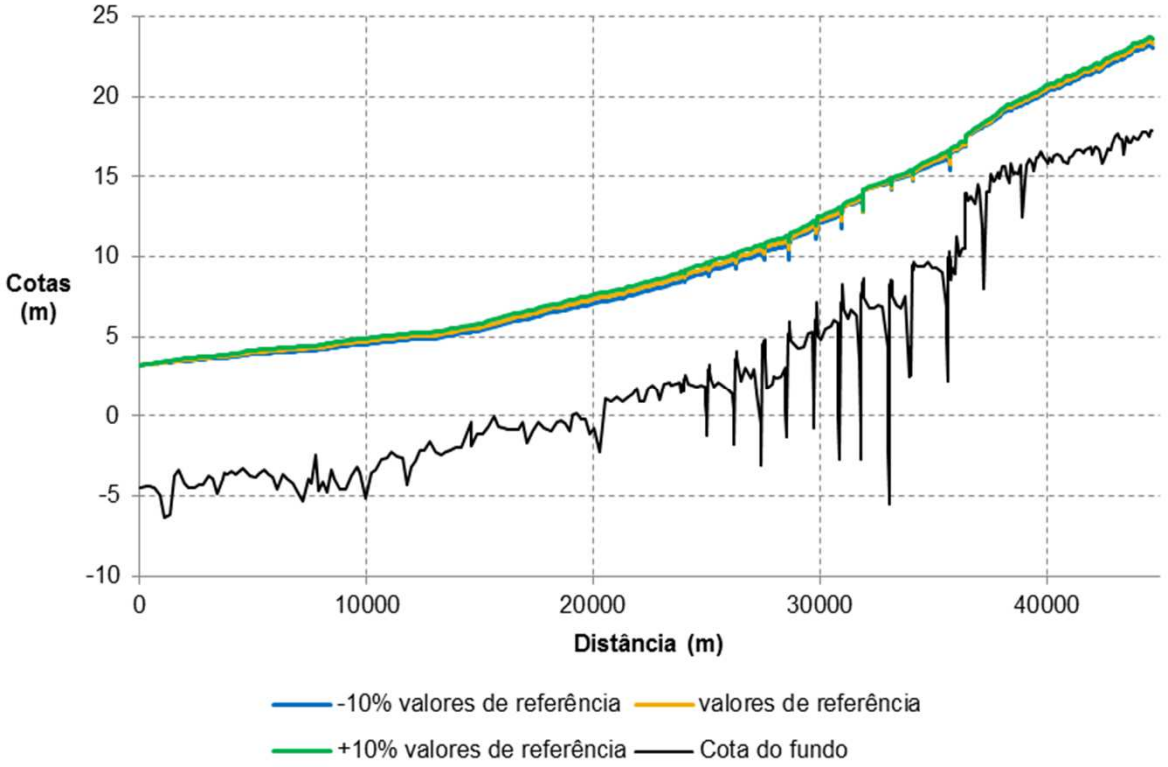
CALIBRAÇÃO - Rugosidades

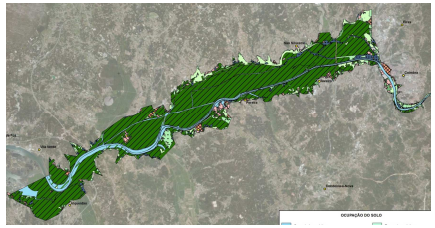


Combinação final

observações	A valores de referência	B variação -20%	C variação +20%	D valores mínimos	E valores mínimos	F valores mínimos
Leito principal						
Leito principal - talvegue	0.040	0.032	0.048	0.025	0.030	0.028
Leito principal - margens	0.045	0.036	0.054	0.035		
Leito principal - margens com arvores espaçadas	0.060	0.048	0.072	0.045	0.050	0.045
Leito principal - margens com arvores densas	0.120	0.096	0.144	0.055		
Áreas artificiais						
Áreas pavimentadas abertas + estradas + parques de estacionamento	0.013	0.010	0.016	0.013	0.013	0.013
Áreas pavimentadas semi-ocupadas	0.040	0.032	0.048	0.040	0.040	0.040
Edificado espaçado	0.200	0.160	0.240	0.100	0.100	0.100
Edificado denso	0.400	0.320	0.480	0.150	0.150	0.150
Campos						
Descampado de areia/terra	0.030	0.024	0.036	0.030	0.030	0.030
Descampado + arbustos	0.050	0.040	0.060	0.050	0.050	0.050
Campo cultivado	0.040	0.032	0.048	0.040	0.040	0.040
Pomar/árvores espaçado	0.060	0.048	0.072	0.060	0.060	0.060
Pomar/árvores denso	0.100	0.080	0.120	0.080	0.080	0.080
Pomar/árvores muito denso	0.120	0.096	0.144	0.100	0.100	0.100

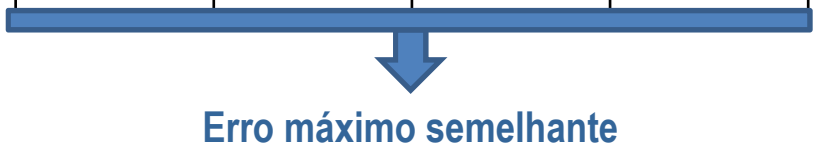
CALIBRAÇÃO - Rugosidades





CALIBRAÇÃO – Intervalo de tempo

	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3	Corrida 4	Corrida 5	Corrida 6	Corrida 7	Corrida 8
Δt	30min	15min	5min	1min	30s	15s	5s	1s
Tempo de corrida (mm:ss)	00:04	00:05	00:12	00:49	01:35	03:08	07:11	12:24
Máximo erro da superfície livre (m)	0.37	0.42	0.36	0.29	0.26	0.29	0.24	0.14

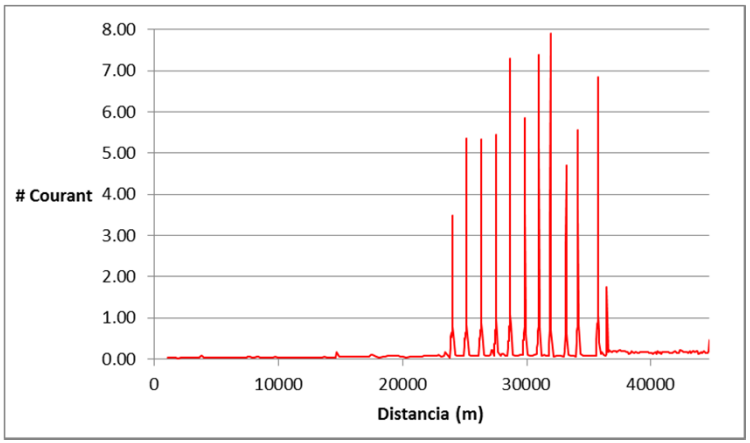


Erro máximo semelhante

CALIBRAÇÃO – Número de Courant

- **Espaçamento entre de secções tem que ser adequado para a estabilização do modelo**

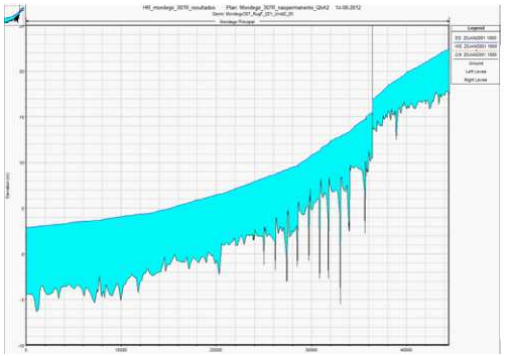
- **Problemas**
  - Instabilidade dos resultados -> variações bruscas das propriedades do escoamento
  - Números de Courant > 1
  - Algumas **secções estavam demasiado próximas/longe**

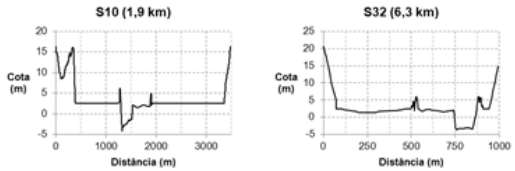


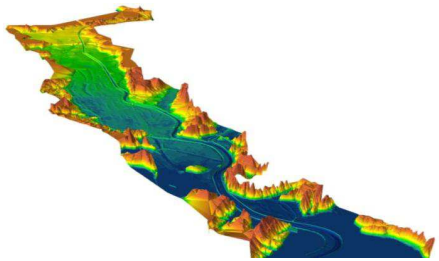
CALIBRAÇÃO – Número de Courant

- **Como resolver?**
  - Homogeneizar / regularizar as distâncias entre secções para atingir número de Courant < 1
  - Eliminar algumas secções
  - Manter as secções mais críticas

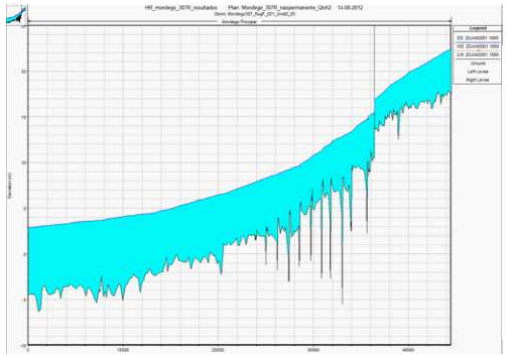
MAPA DE INUNDAÇÃO - Construção

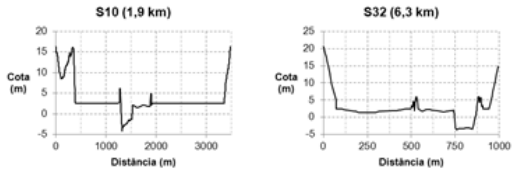


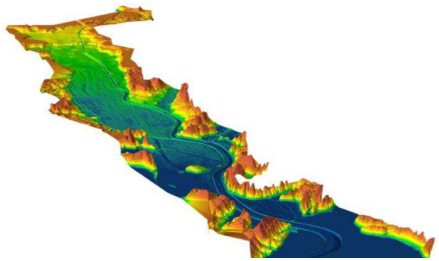




MAPA DE INUNDAÇÃO - Construção

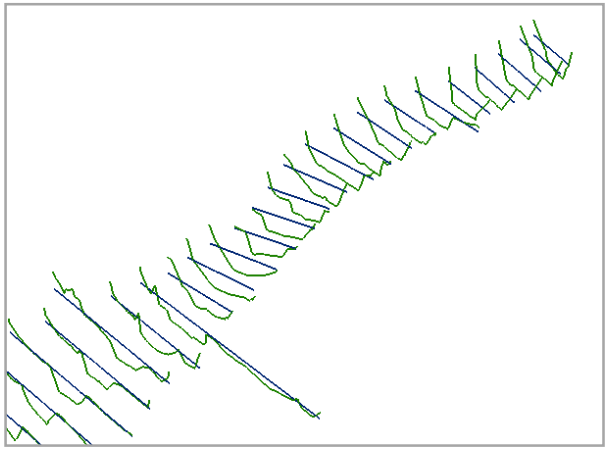




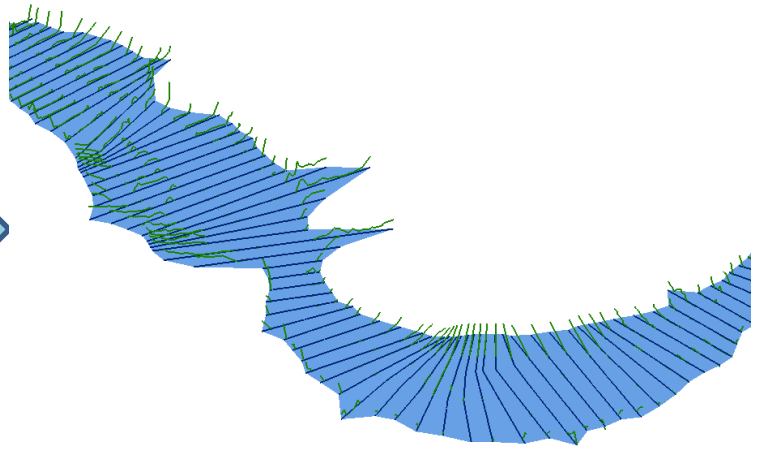


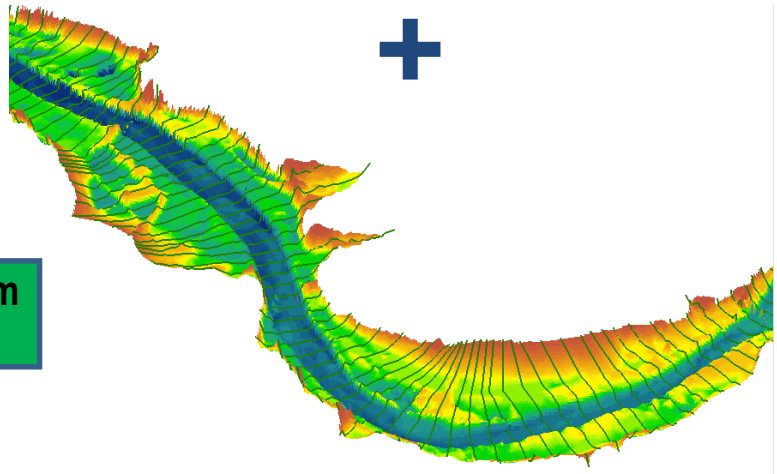
Processamento geográfico

MAPA DE INUNDAÇÃO - Construção

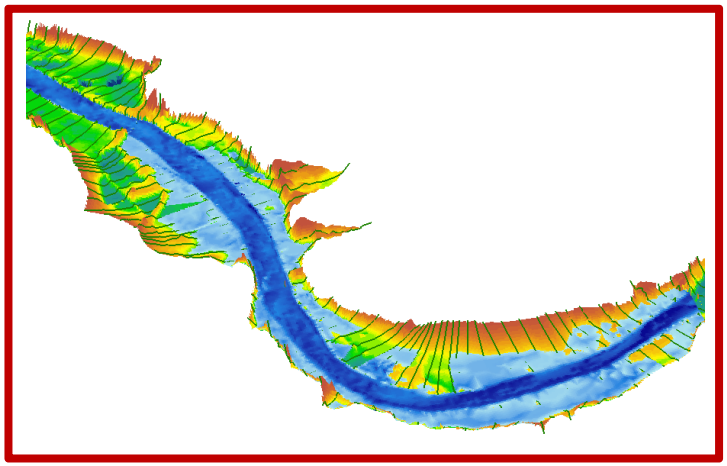


Superfície da água de cada cenário

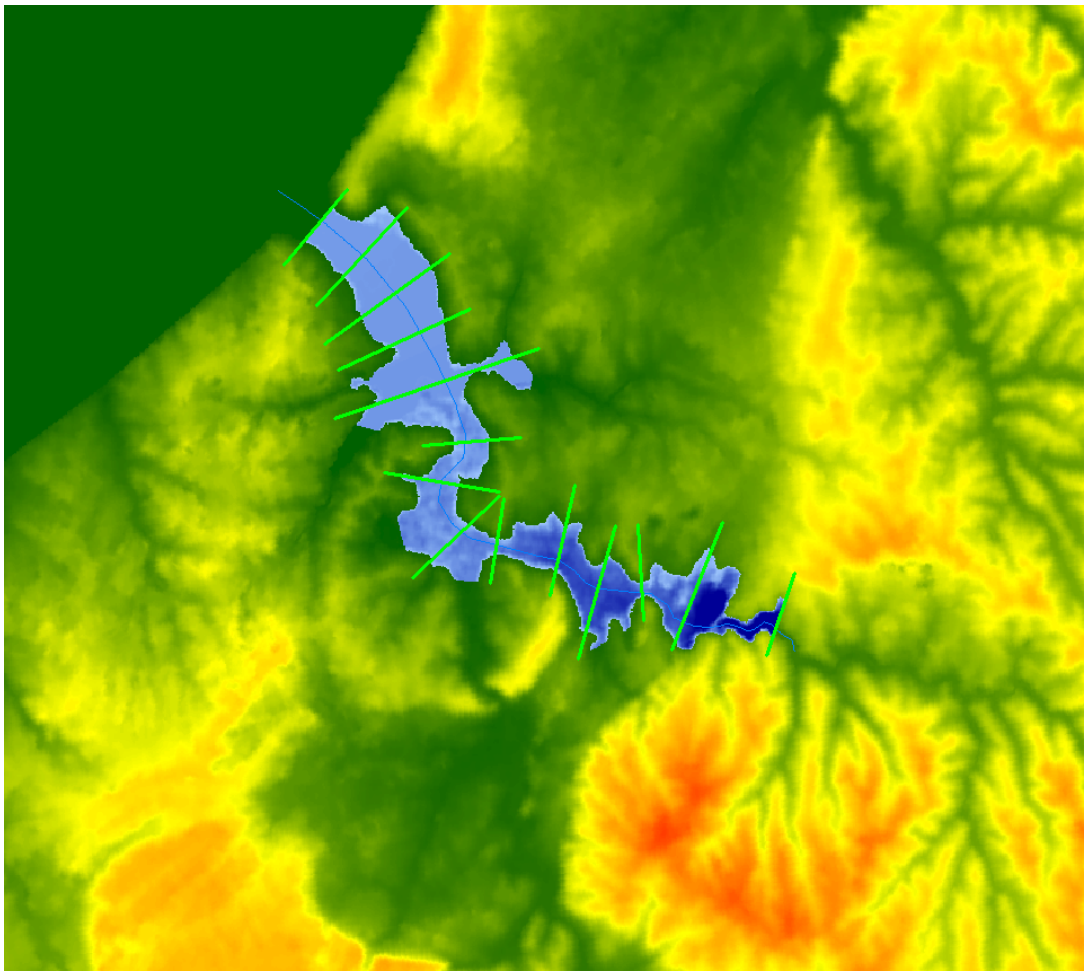




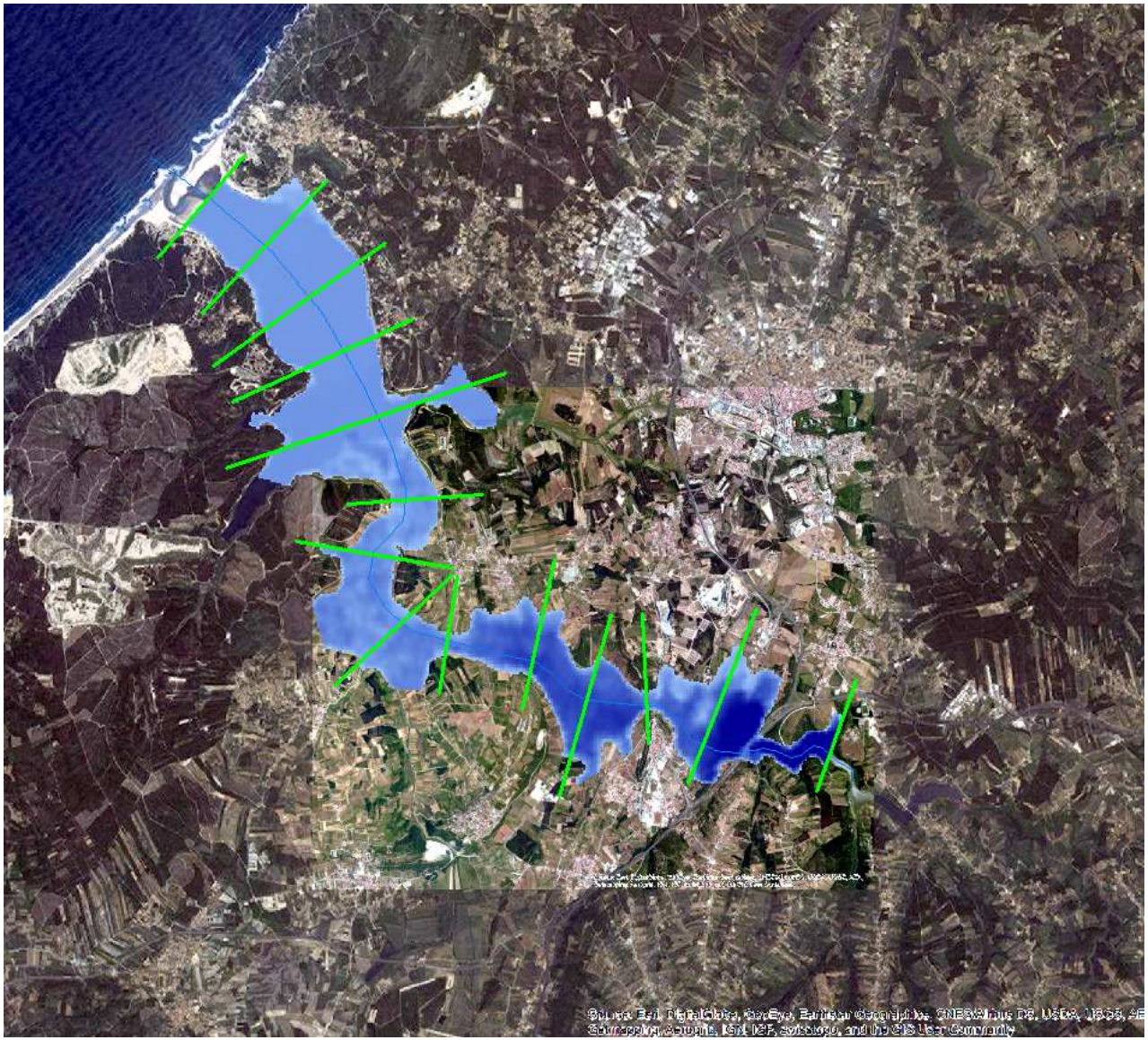
Zona inundável em cada cenário



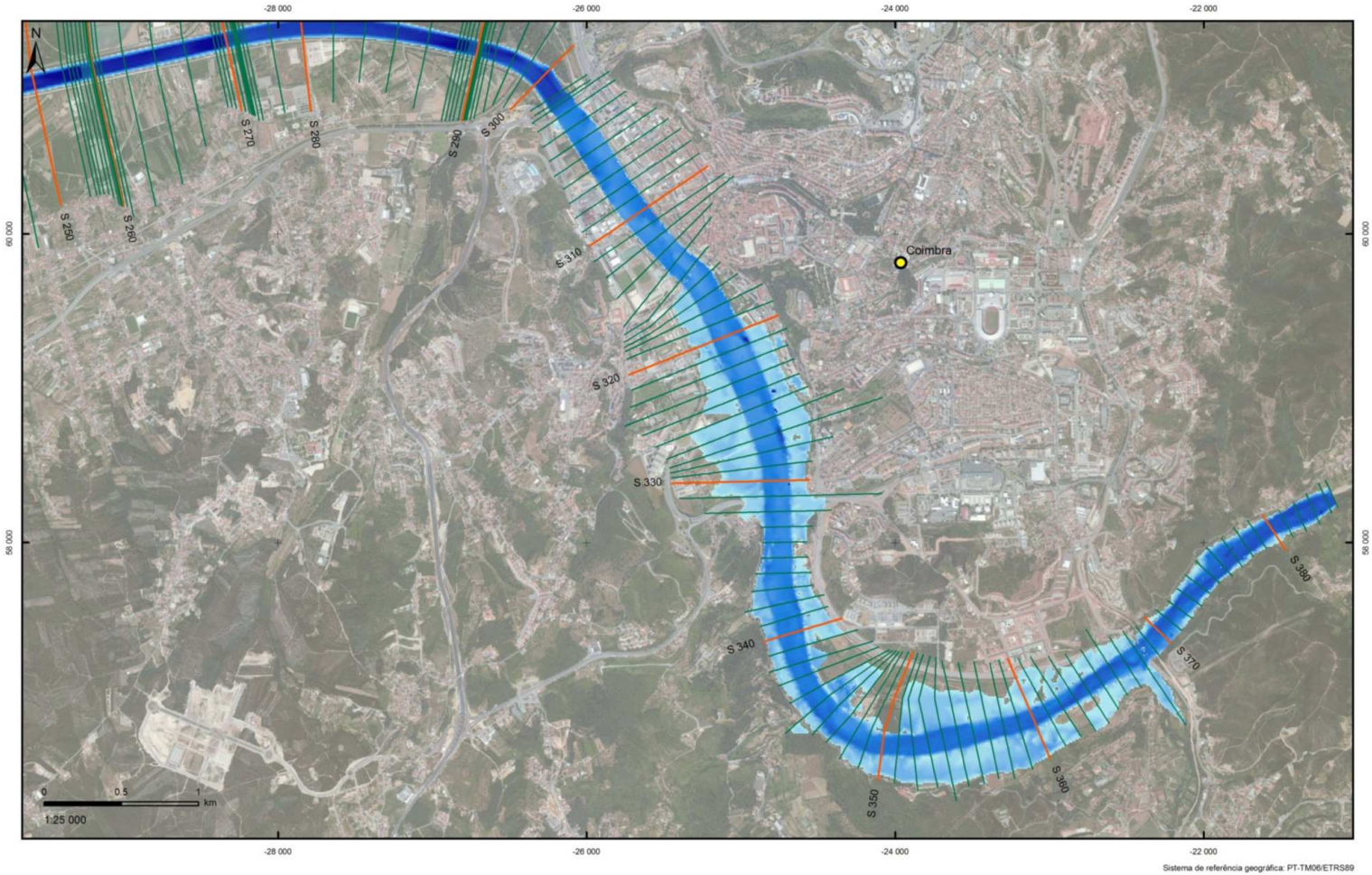
DEMONSTRAÇÃO DE HEC-GeoRAS
MAPA DE INUNDAÇÃO



DEMONSTRAÇÃO DE HEC-GeoRAS
MAPA DE INUNDAÇÃO



MAPA DE INUNDAÇÃO - Exemplo



CONCLUSÕES

1. **HEC-RAS + HEC-GeoRAS são ferramentas MUITO ÚTEIS**

2. **Os resultados dependem da qualidade dos dados:**
   - geometria das secções
   - ocupação do terreno
   - hidrograma da ruptura

3. **Os mapas de inundação devem ser analisados e discutidos com cuidado**

LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
NÚCLEO DE RECURSOS HÍDRICOS E ESTRUTURAS HIDRÁULICAS

Obrigado