



**Laboratório de Geotecnologias Aplicadas,
Modelagens Costeira e Oceânica – GNOMO
Universidade Federal do Rio Grande do Norte**



HYDROLOGICAL MODELLING FOR FLOODING PREVENTION IN NATAL, RN

Dr. VENERANDO E. AMARO

FULL PROFESSOR

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

venerandoamaro@gmail.com

Collaborators:

MSc. Caio Cortez de Lima (IFRN)

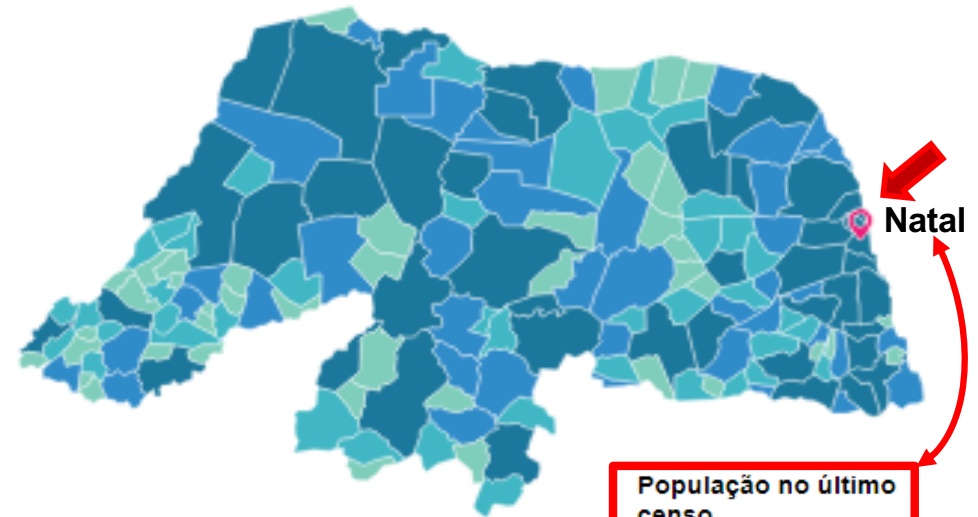
MSc. Paulo Victor do N. Araújo (IFRN)

Dr. Leonlene de Sousa Aguiar (IDEMA)

MSc. Ana Maria Teixeira Marcelino (IDEMA)

Third KLIMAPOLIS Workshop, 21 – 24 May 2019 – IAG / USP

Cities with over 20,000 inhabitants (Census 2010)



População no último censo
803739 pessoas

Legenda

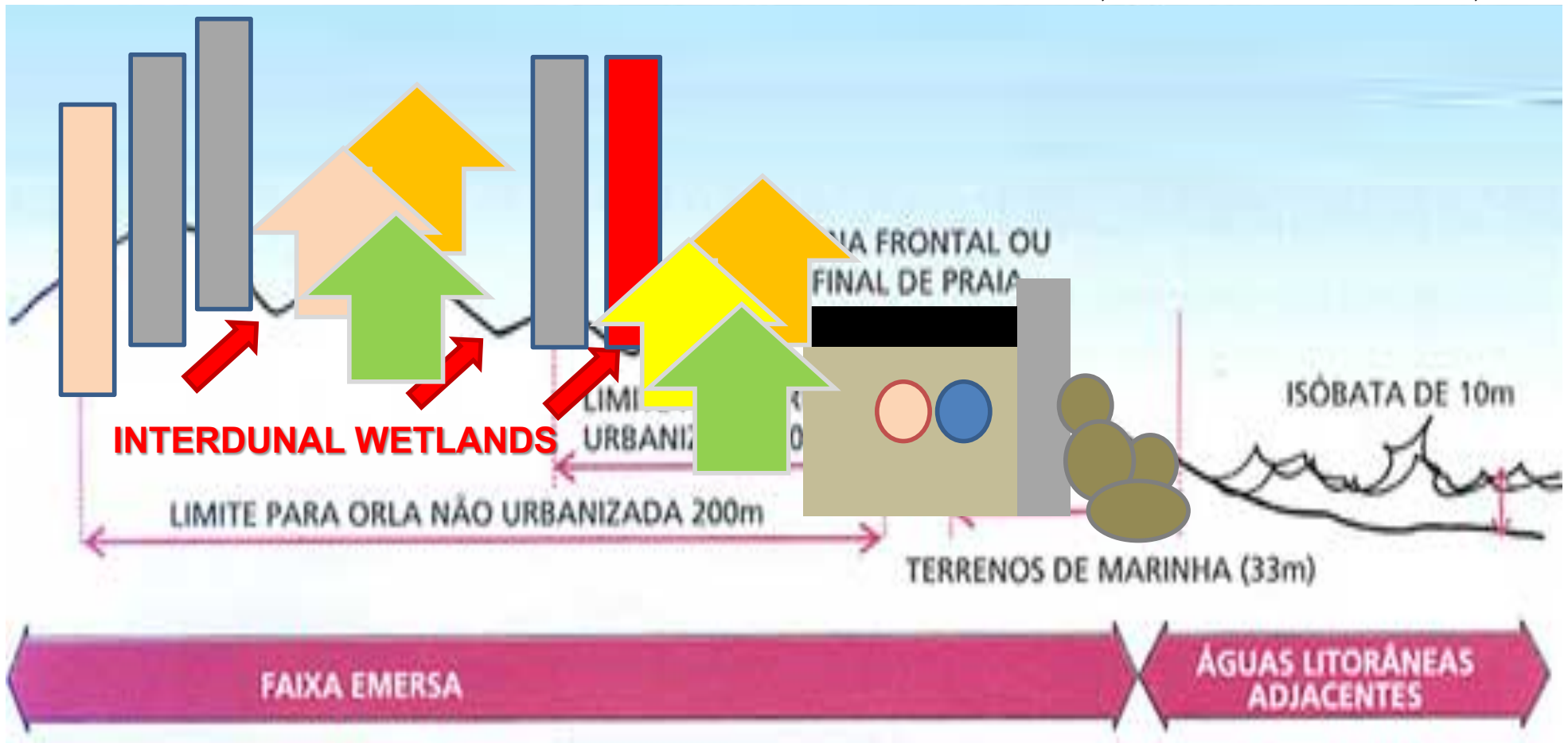
até 4.418 pessoas	até 7.925 pessoas	até 12.924 pessoas	mais que 12.924 pessoas
----------------------	----------------------	-----------------------	-------------------------------

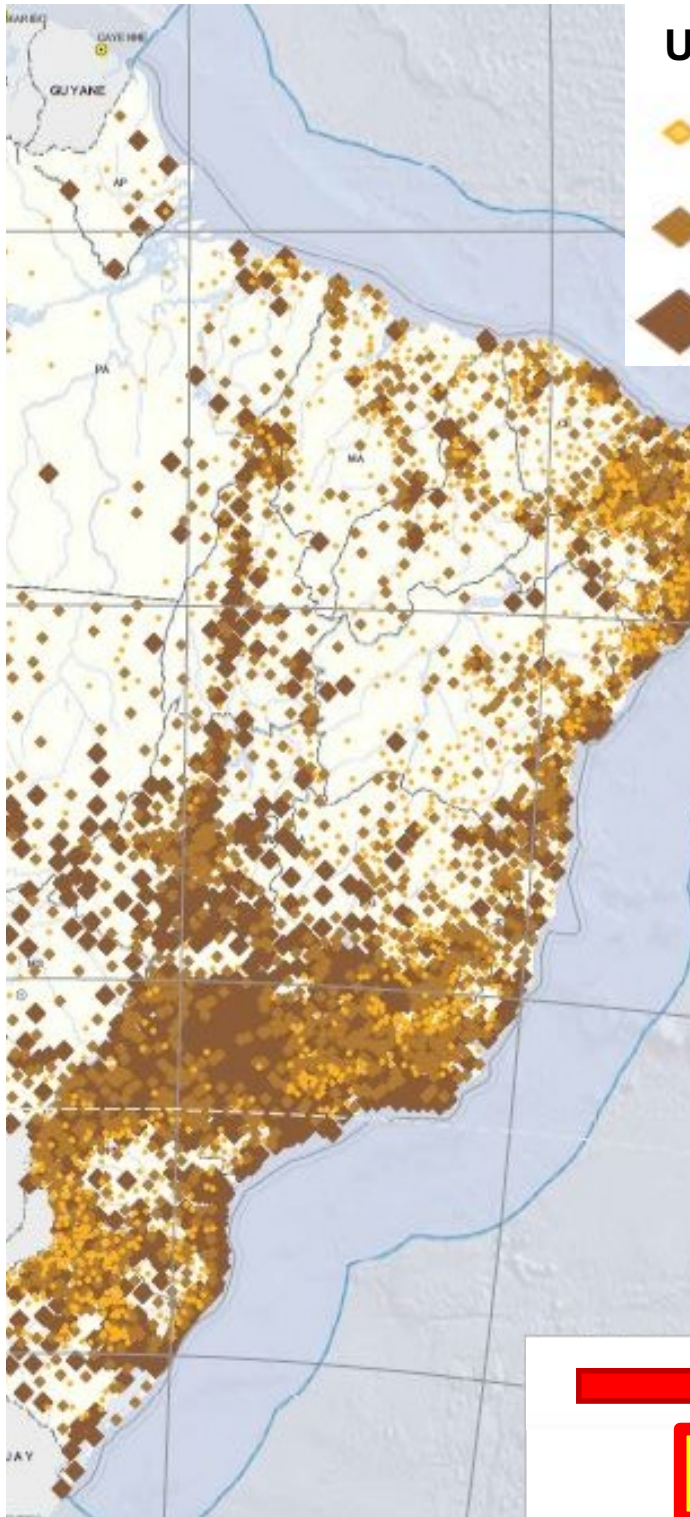
26.6% of the Brazilian population lives in the Coastal Zone
50.0% of the RN population lives in the Coastal Zone

About 40% of the World's population lives within 100km of the Coast
Around 10% of the World's population live in coastal areas that are less than 10m above Sea level

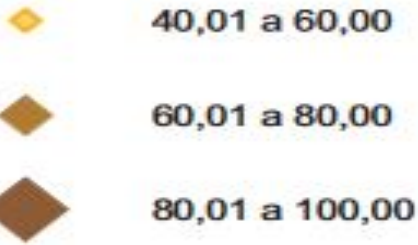
COASTAL ZONE is defined as “the geographic **space of interaction of air, sea and land**, including its resources, renewable or not, covering maritime and terrestrial zones, which will be defined by the Plan”.

Decreto Federal nº 5300 de 2004, que regulamenta a Lei Federal no 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro; Limites no Decreto nº 5300/2004, Art. 23

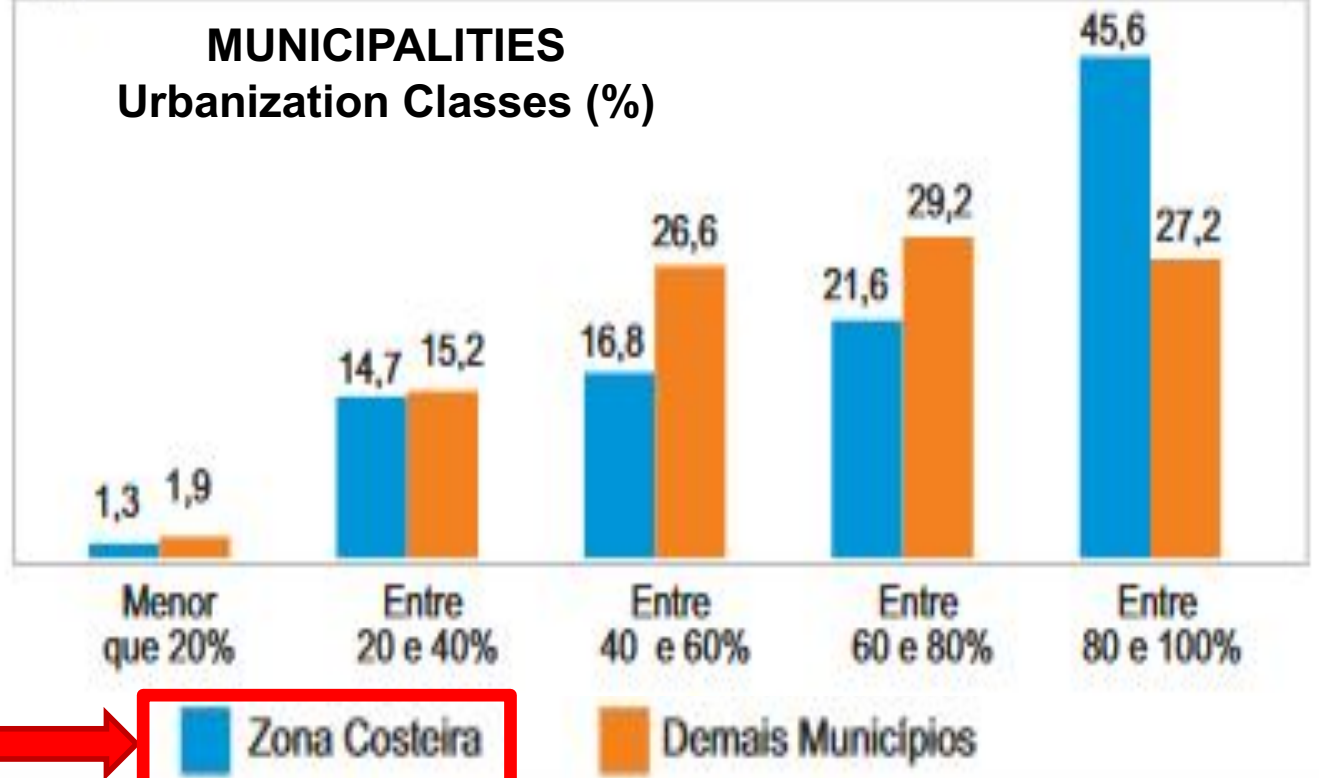




URBANIZATION (%)



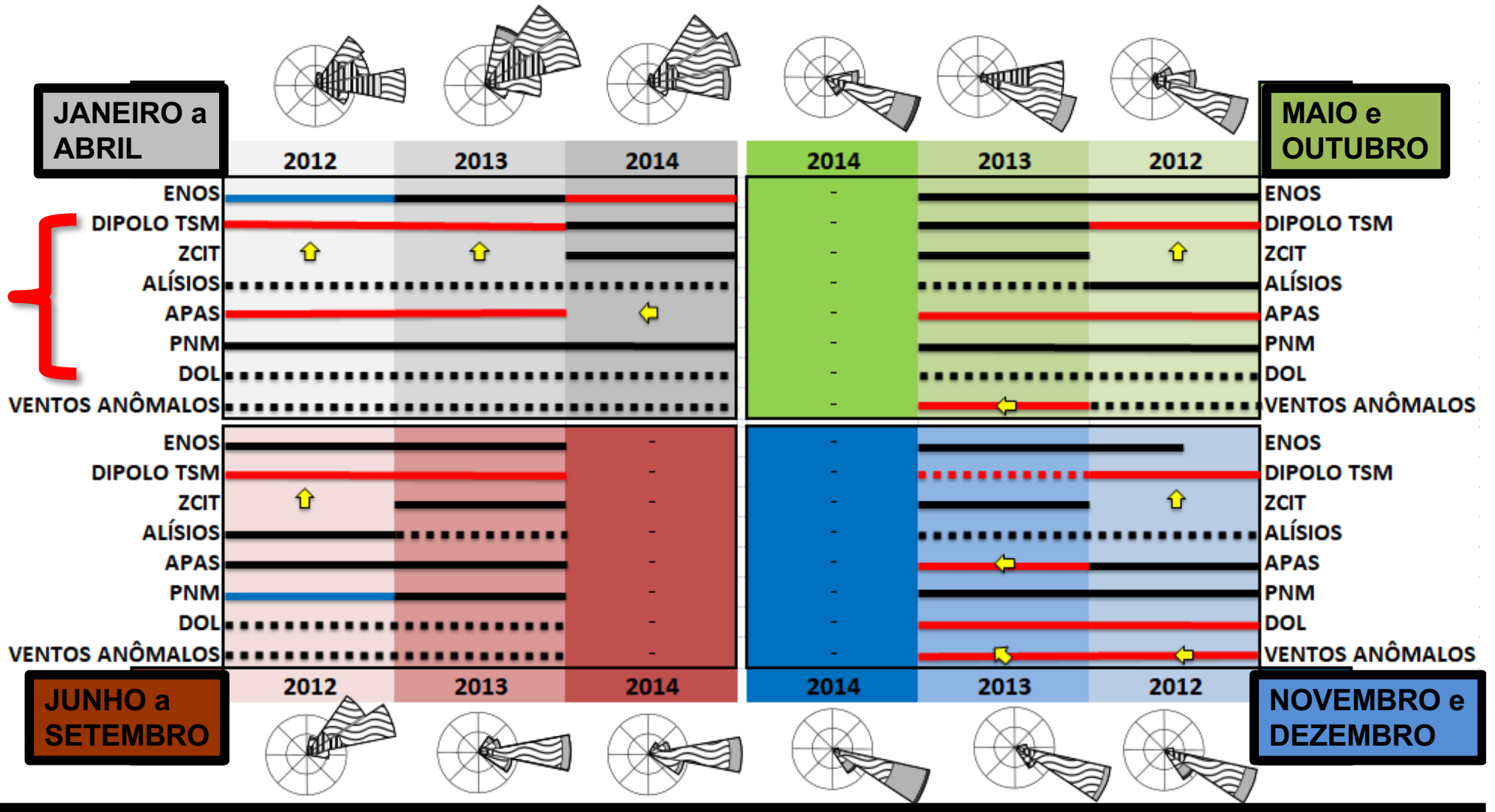
MUNICIPALITIES Urbanization Classes (%)



RAPID URBANIZATION & SOIL SEALING

METEOCEANOGRAPHIC SETTING

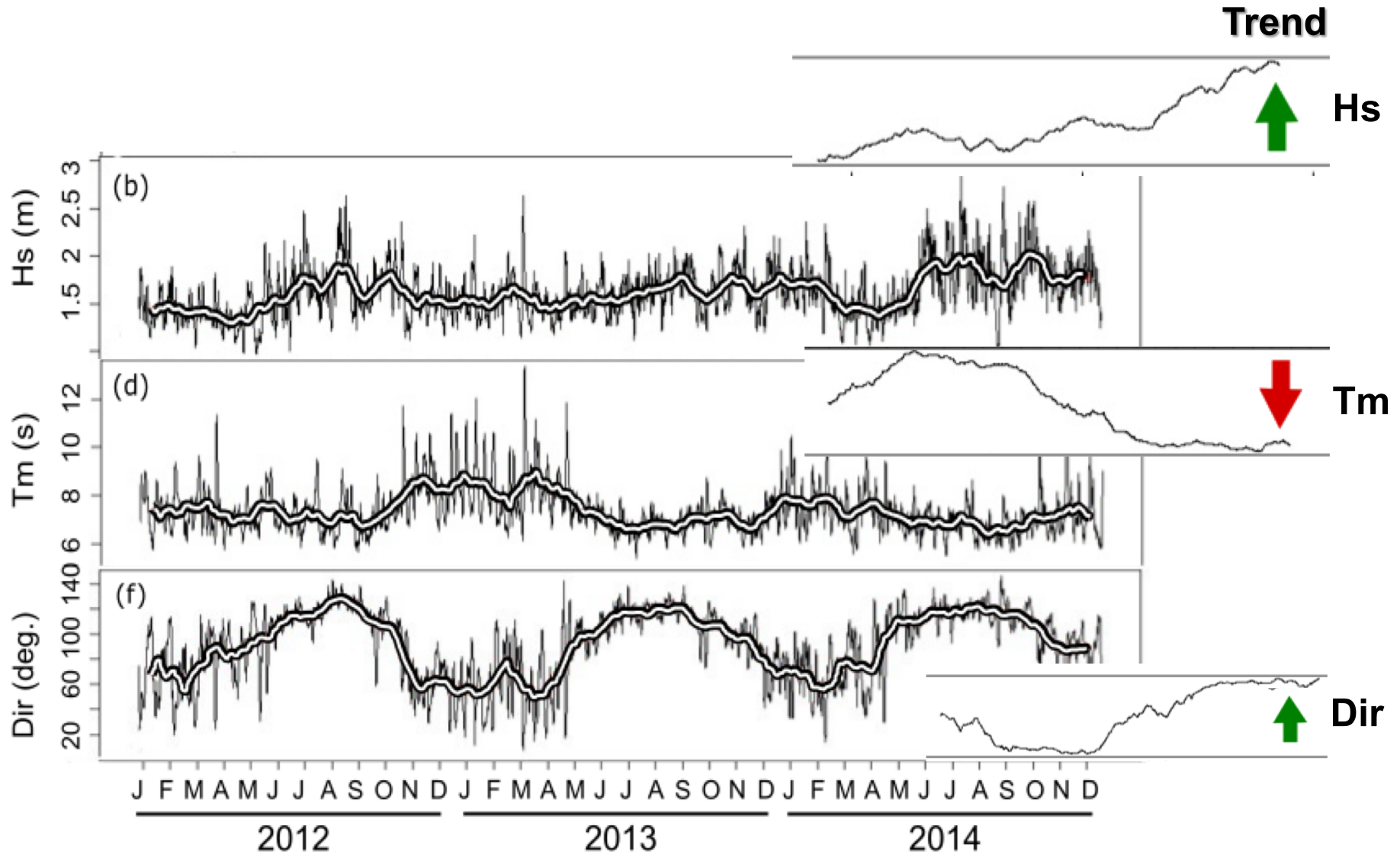
ATMOSPHERIC SYSTEMS



Normal ou neutro
 Negativo
 Fraco ou ausente
 Positivo ou intensificado
 Deslocamento ou fluxo

Hs (m): 1.0 - 1.5
 1.5 - 2.0
 2.0 - 2.5
 >= 2.5

OCEAN WAVE TIME SERIES – *WW-III Reanalysis*



= Média móvel 30 dias
(2012 a 2014)

URBANIZATION INTERCONNECTED ISSUES EROSION + SLR + SOIL/WATER SALINIZATION



Desastre em Mãe Luíza e Areia Preta

A cratera aberta tem aproximadamente 100 metros de largura e 100 metros de comprimento. A profundidade é de 30 metros

Edifícios evacuados

Edifício Infinity

20 andares
33 apartamentos
Duas famílias estavam morando no prédio e deixaram seus apartamentos.

Edifício Aldebaran

20 andares
20 apartamentos
20 famílias ocupavam o prédio e deixaram os imóveis.

Av. Governador Sívio Pedrosa

Com o deslizamento, o material que desceu provocou a interdição de aproximadamente 100 metros na avenida Governador Sívio Pedrosa. Parte da via foi liberada ontem à noite.

A cratera

10 mil metros quadrados é a área estimada da cratera, o que equivale a um espaço maior que um campo de futebol.

70 mil toneladas

foi a quantidade de material que descolou morro abaixo. Quantidade suficiente para encher 3,500 carretas.

Ruas Guanabara e Atalaia

30 casas desabaram
78 famílias foram atingidas
30 famílias desabrigadas
2 famílias alojadas em abrigo

GABRIEL AZEVEDO/ROVI MÍDIA



O deslizamento

1 Moradores relatam que há aproximadamente 15 dias, foram registrados alguns vazamentos na tubulação de esgoto na região. Apesar de comunicarem às autoridades, nada foi feito;

2 Sem reparos e com chuva intensa, o primeiro deslizamento de terra ocorreu na sexta-feira, dia 13, por volta das 14h30. De acordo com engenheiros civis, nesse primeiro episódio, aproximadamente cinco mil metros cúbicos ou dez mil toneladas de material foram deslocados;

3 O material que desceu com a água, interditou a avenida Governador Sívio Pedrosa. Cinco carros foram atingidos;

4 A chuva continuou a cair durante toda a sexta-feira e sábado, dia 14. Na noite do sábado, por volta das 20h30, um novo deslizamento de terra foi registrado.

Por que a terra deslizou?

Intensidade das chuvas: geólogos e engenheiros civis ouvidos pela TRIBUNA DO NORTE, explicaram que o principal fator para o desastre na rua Guanabara foi a quantidade de chuva que caiu no pequeno espaço de tempo - 313 milímetros em 50 horas.
Área de risco: além do grande volume de água, a ocupação irregular do solo, acúmulo de lixo em galerias e, possivelmente, problemas nas tubulações, contribuíram para o desastre.

URBANIZATION INTERCONNECTED ISSUES

URBAN FLOODING

08/05/2019
70.0 mm/h



- Flood risk map
- Flood prevention map (scenarios)
- To approach the Governance with an appropriate database (to a more responsive and responsible decisions...)
- Check out the ***data accuracy*** for tactical & local approach:
 - ***HIGH PERFORMANCE:***

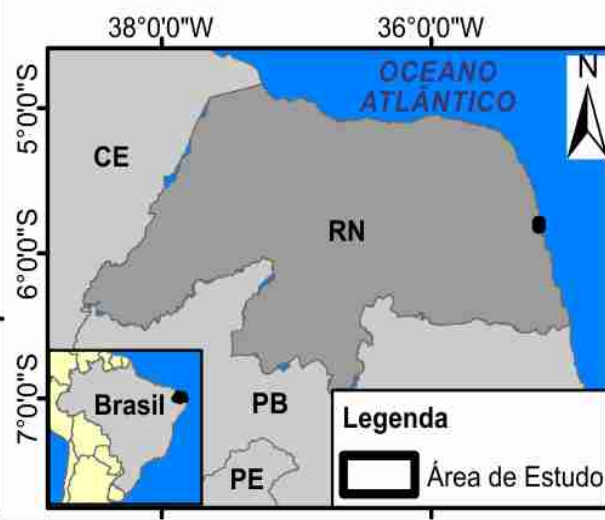
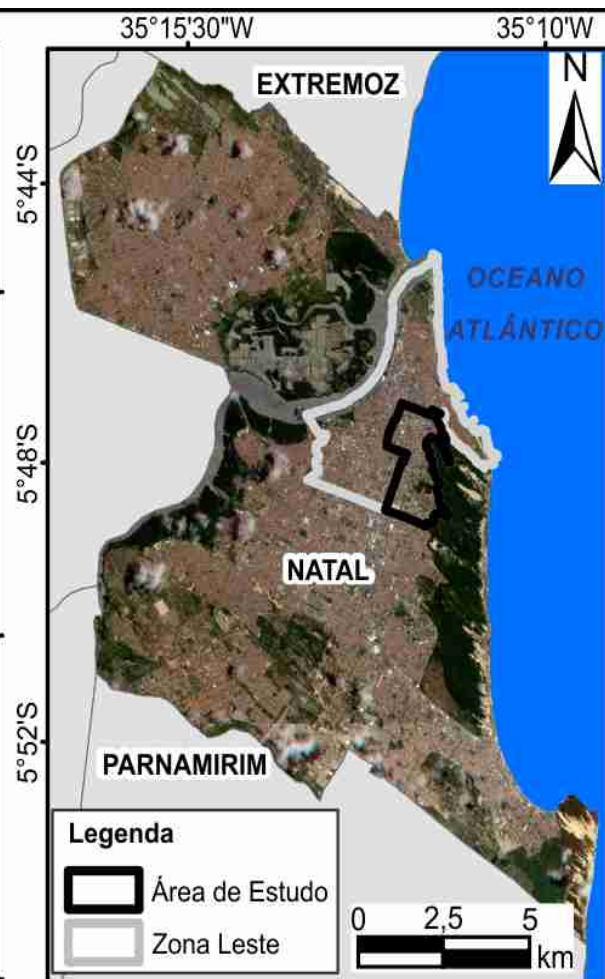
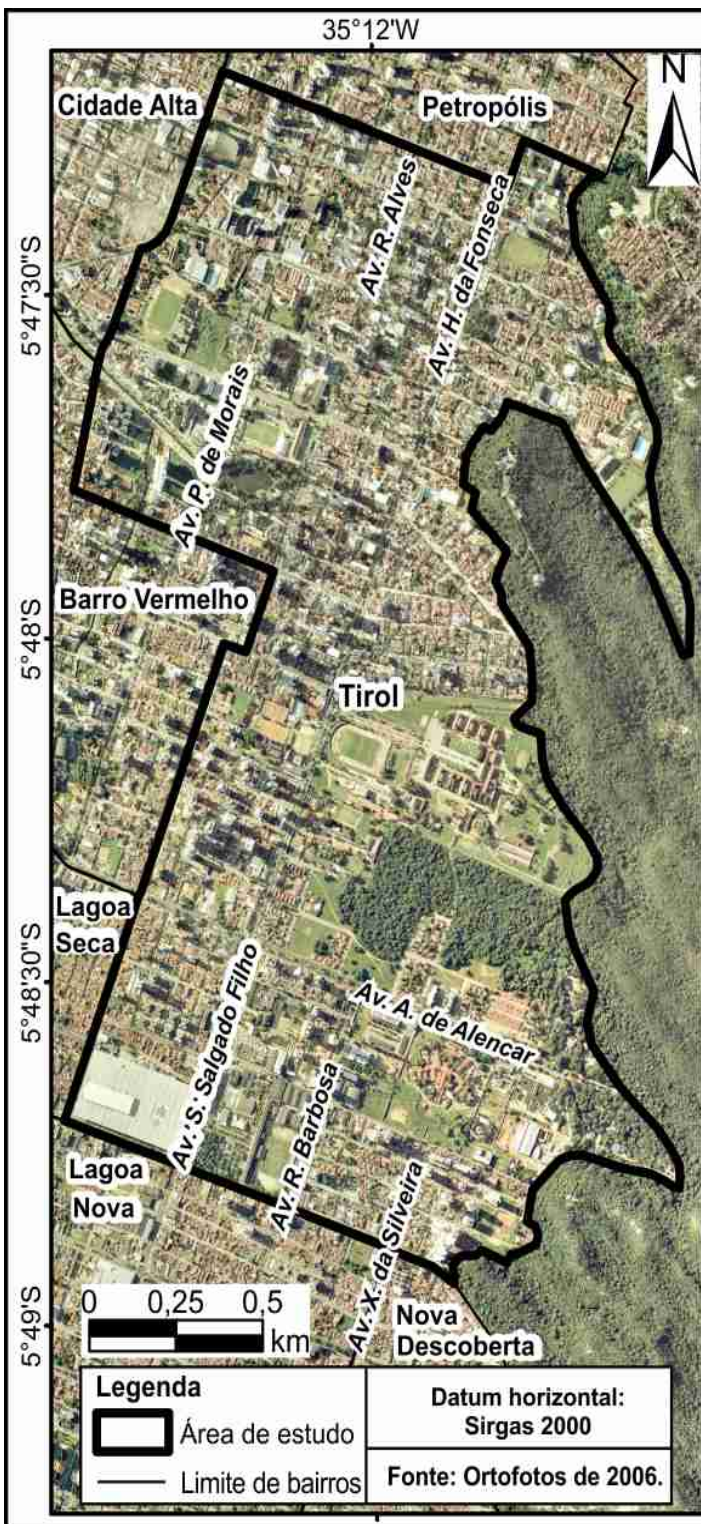
→ ***LOW COST***

→ ***EASILY ASSIMILATED AND APPROPRIATED***

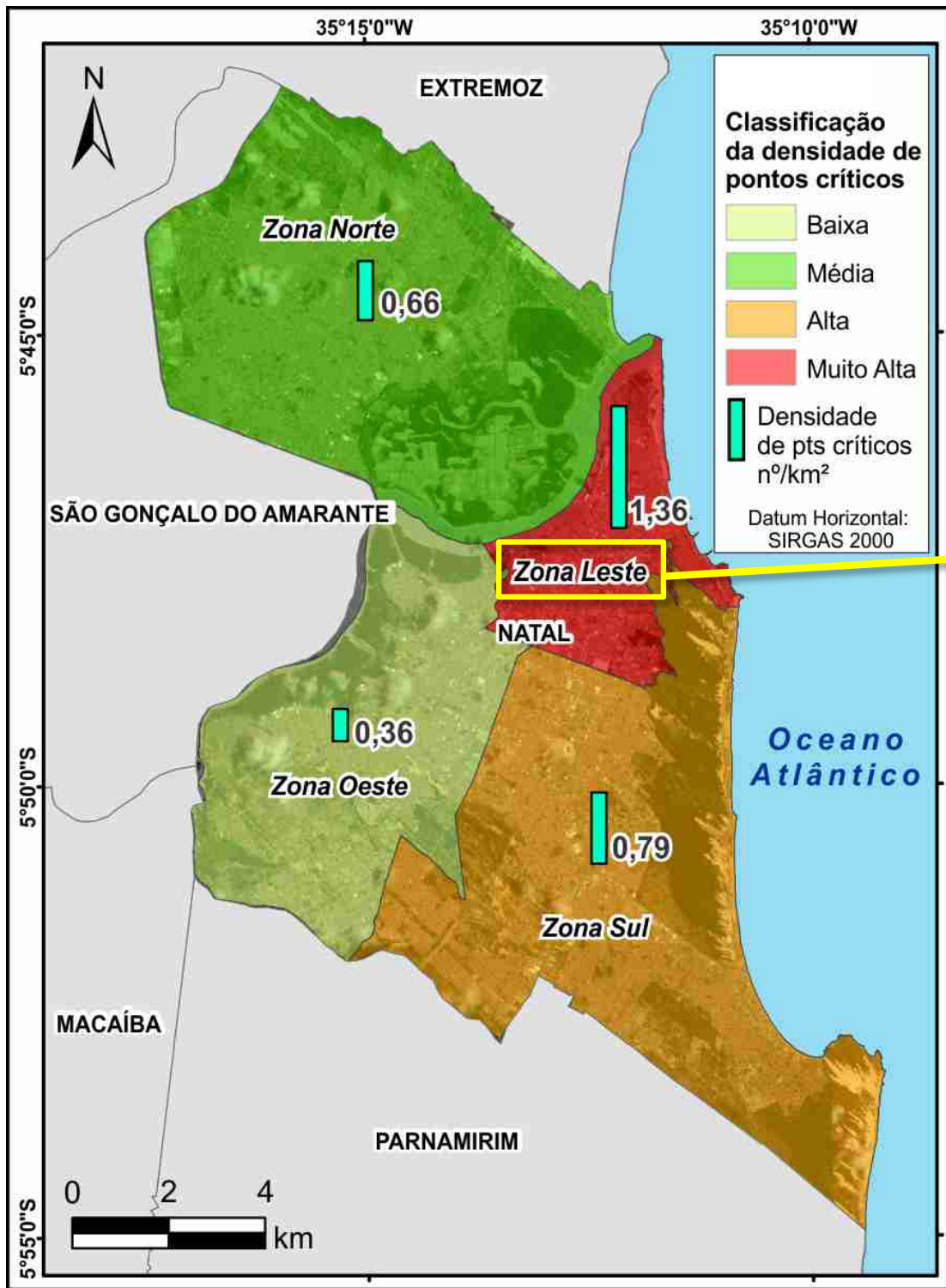
STUDY SITE

TIROL NEIGHBORHOOD

- Area 3.6 km²
 - 17,099 inhabitants
 - Apartment: 67.67%
 - House: 28.71%
- v
e
r
t
i
c
a
l
- Household Trash: 22ton daily
 - Monthly Income > 6 MW
 - Sanitary Sewage System ~ 98%



FLOODING CRITICAL POINTS AND RAINWATER DRAINAGE SYSTEM DISTRIBUTION

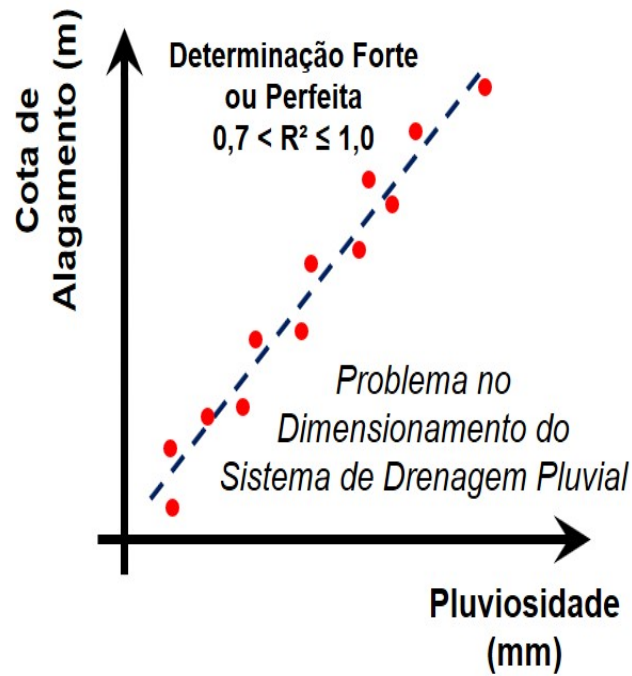


TIROL = 1,36 CP/km²

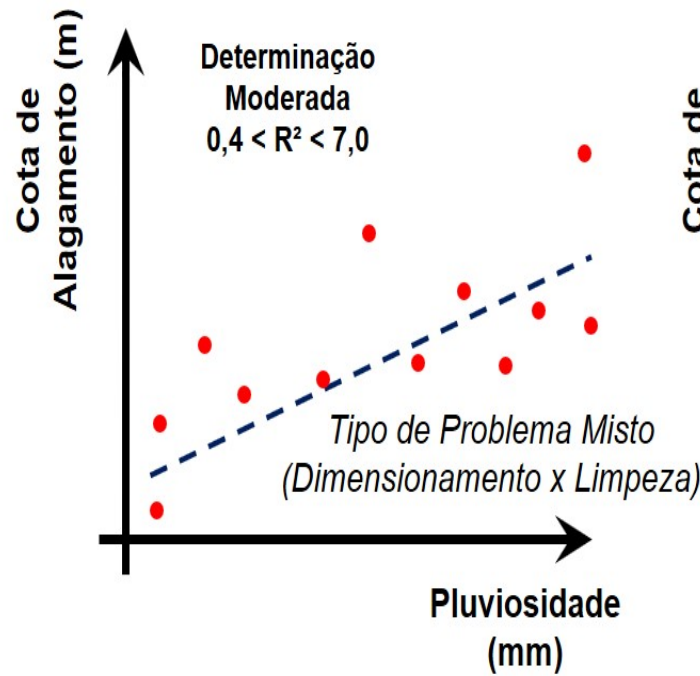
ADMINISTRATIVE AREA	RDS (%)
Norte	41
Oeste	78
Sul	76
Leste	98

*RDS = *Rainwater Drainage System*

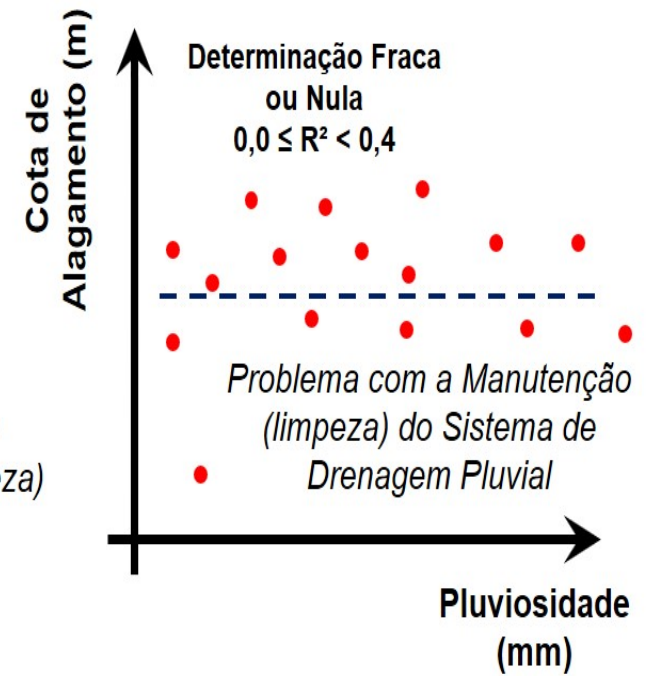
Situação do Tipo I



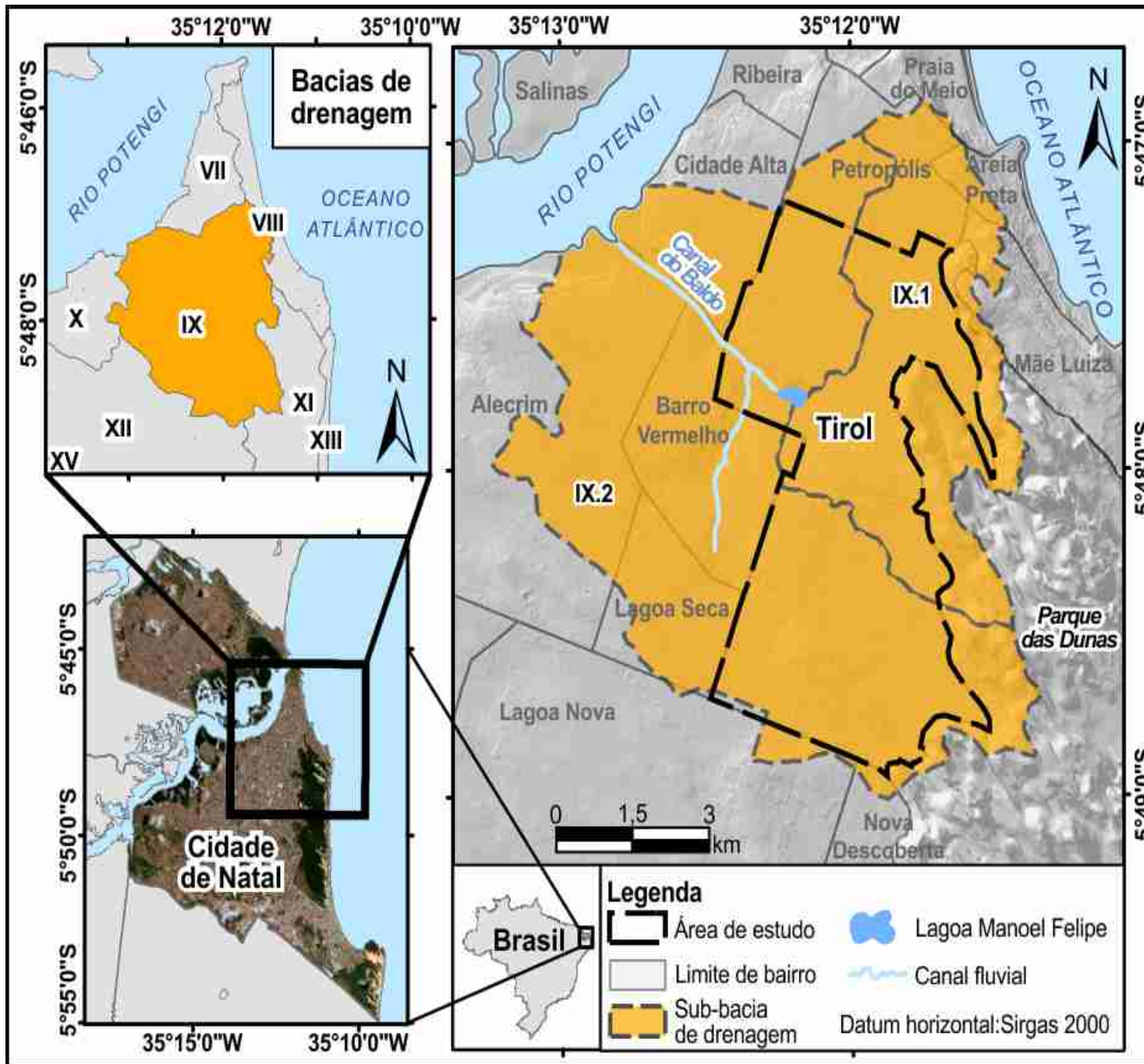
Situação do Tipo II



Situação do Tipo III







SUB-BASIN
Riacho do Baldo
(IX.1;IX.2)

Geomorphology
Drainage System
- Elongate, Trelis
- Centripetal



RapidEye



Orthophoto



Orthomosaic

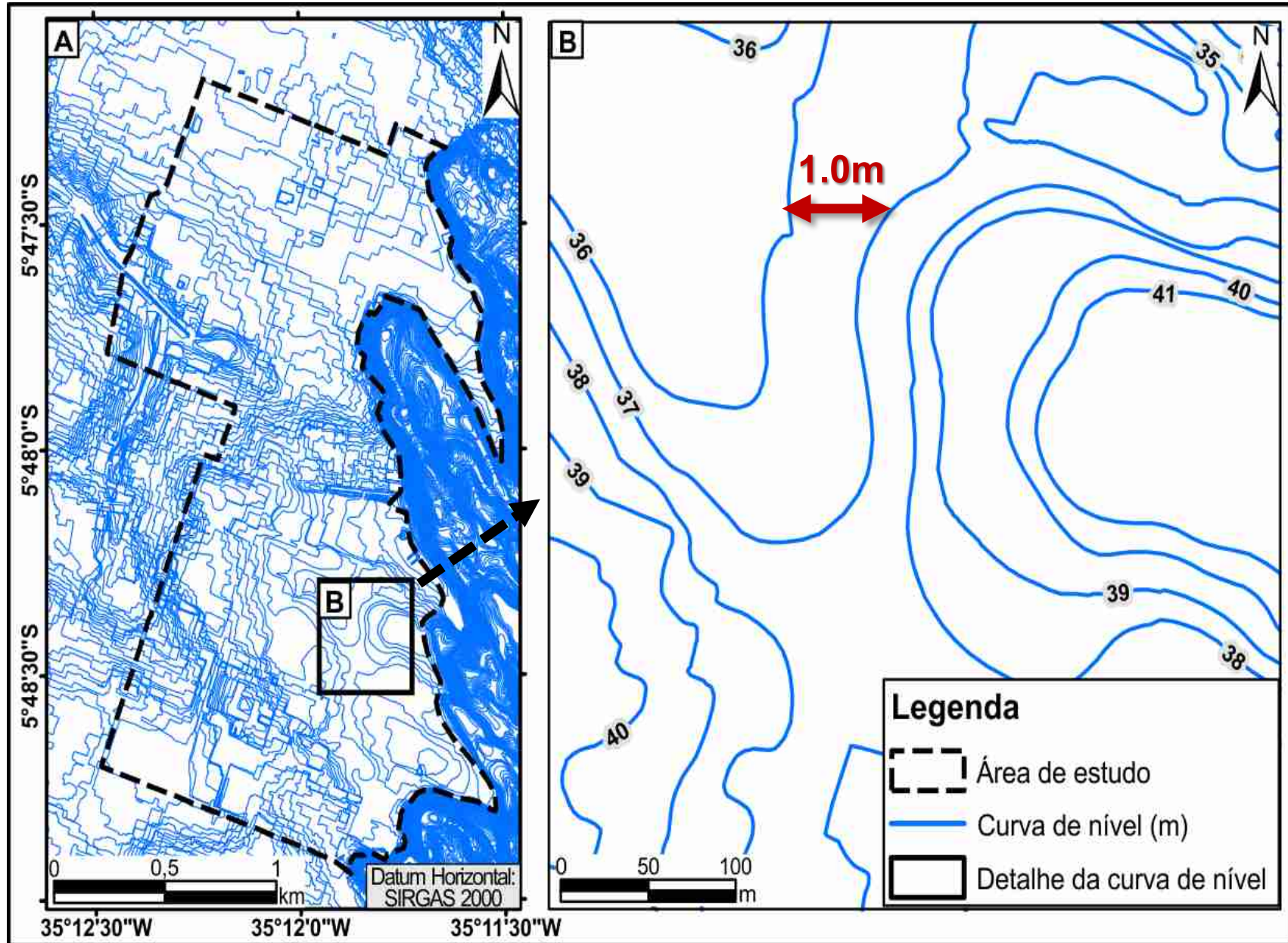
IMAGERY	SPECTRAL BANDS	SOURCE	SPATIAL RESOLUTION	AQUISITION DATE
RapidEye	Bands 1 to 5	MMA	6,5	15/09/2015
	Bands 1 to 5	MMA	6,5	31/05/2014
	Bands 1 to 5	MMA	6,5	27/09/2013
	Bands 1 to 5	MMA	6,5	11/09/2013
Orthophoto	Bands 1 to 3	SETUR	2	09/2006
Orthomosaic	Bands 1 to 3	SEMURB	0,16	22/01/2013

REMOTELY PILOTED AIRCRAFT



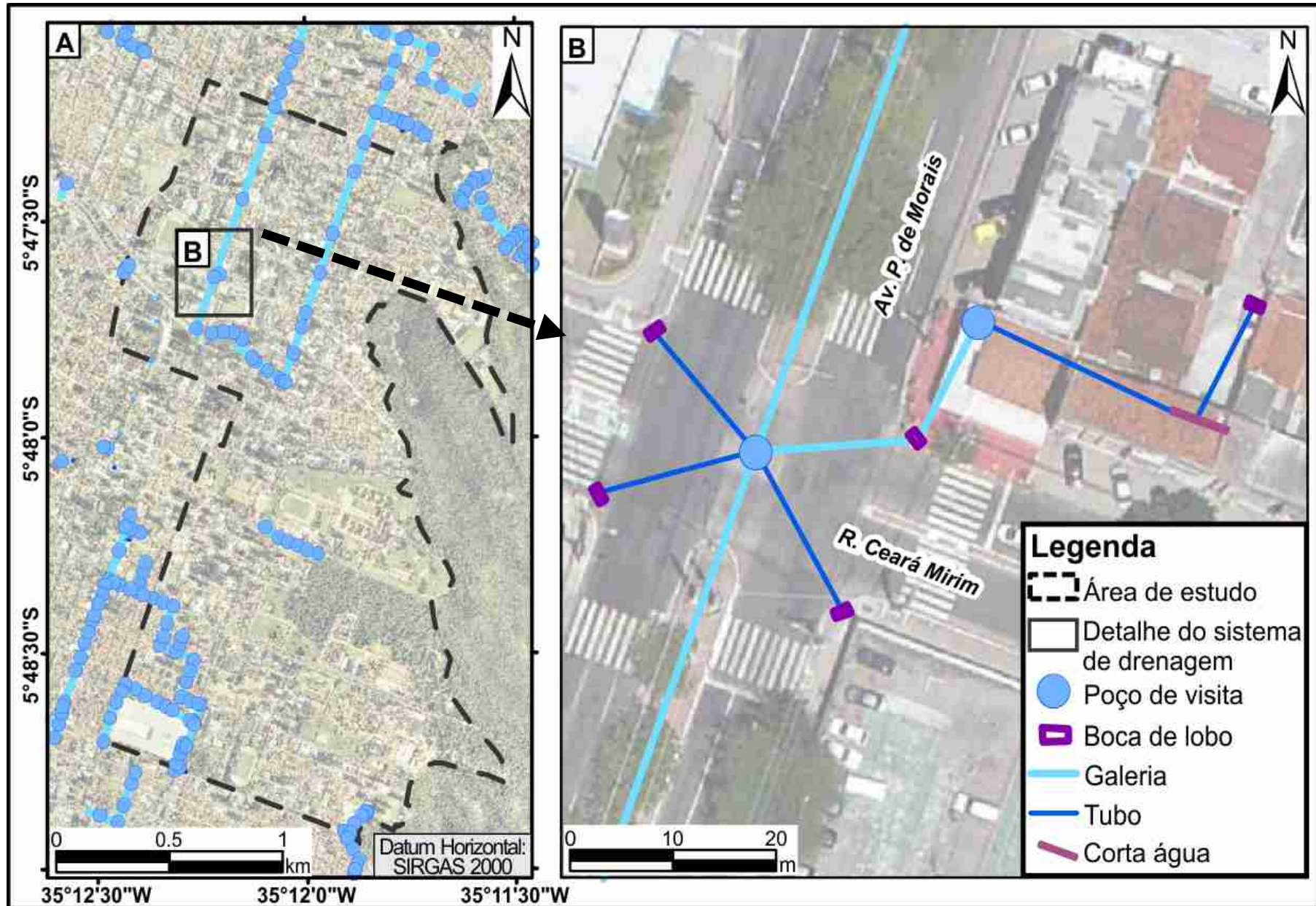
ACCURACY? Vertically?

Source: SEMURB



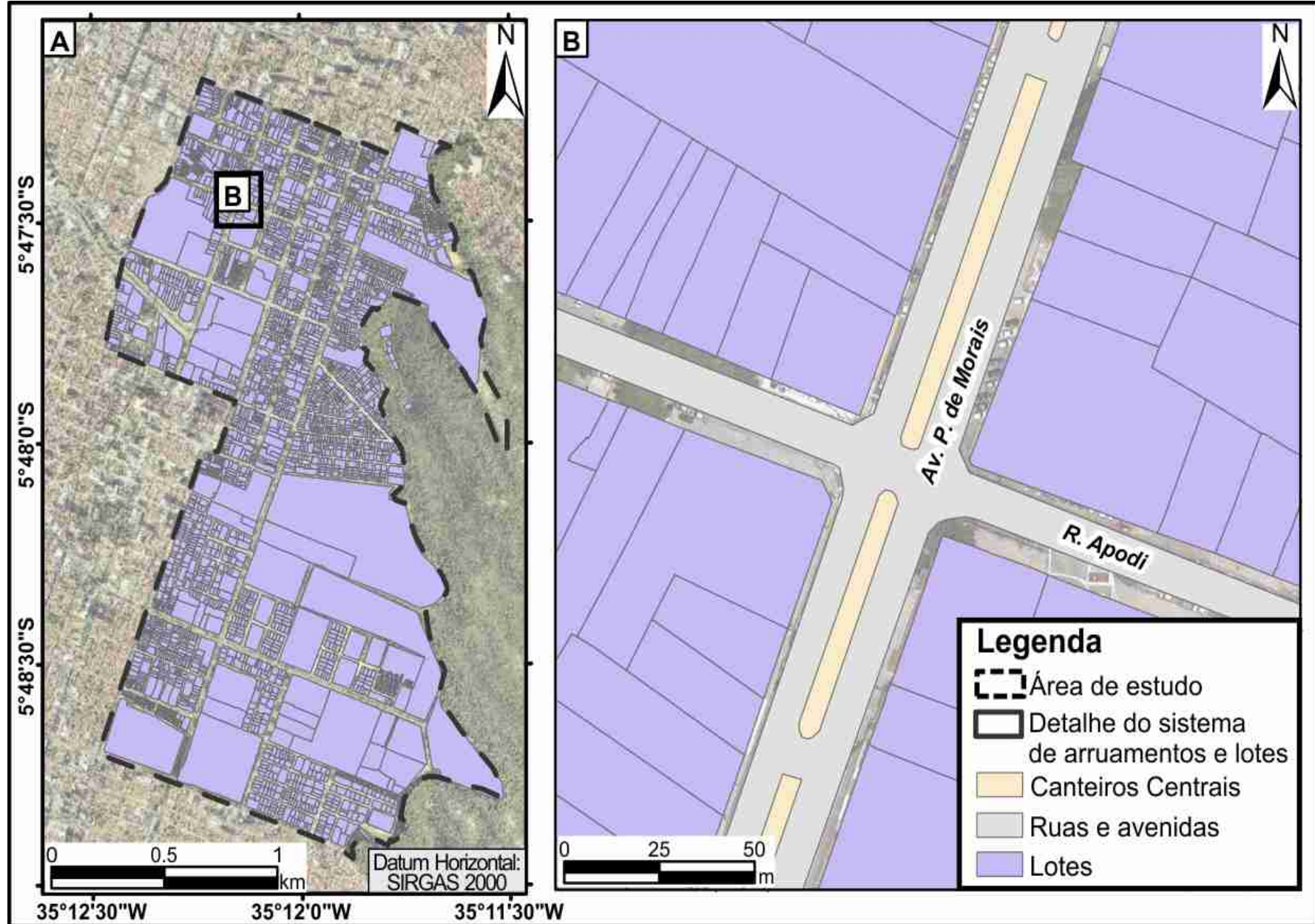
RAINWATER DRAINAGE NETWORK

Source: SEMOPI

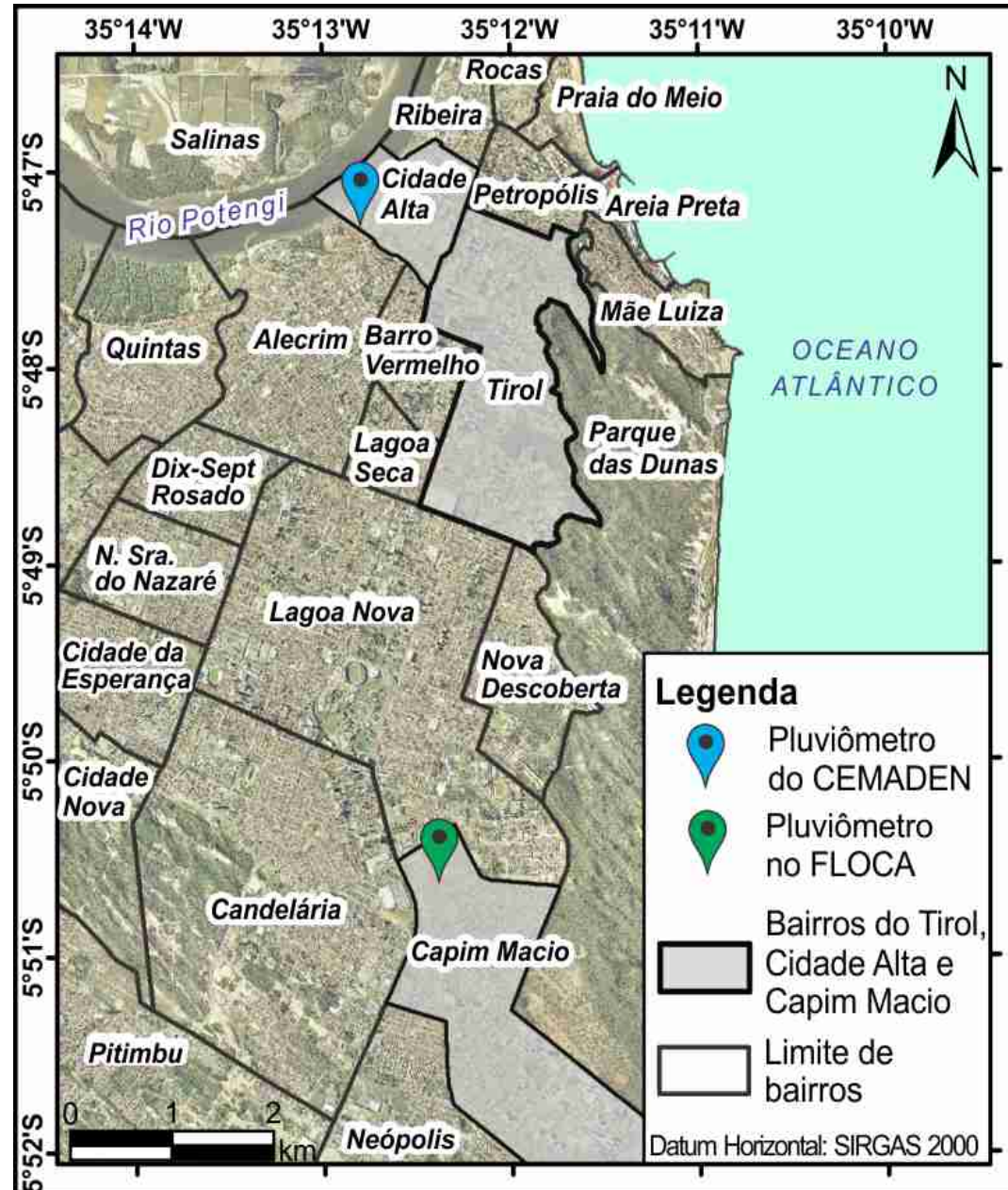


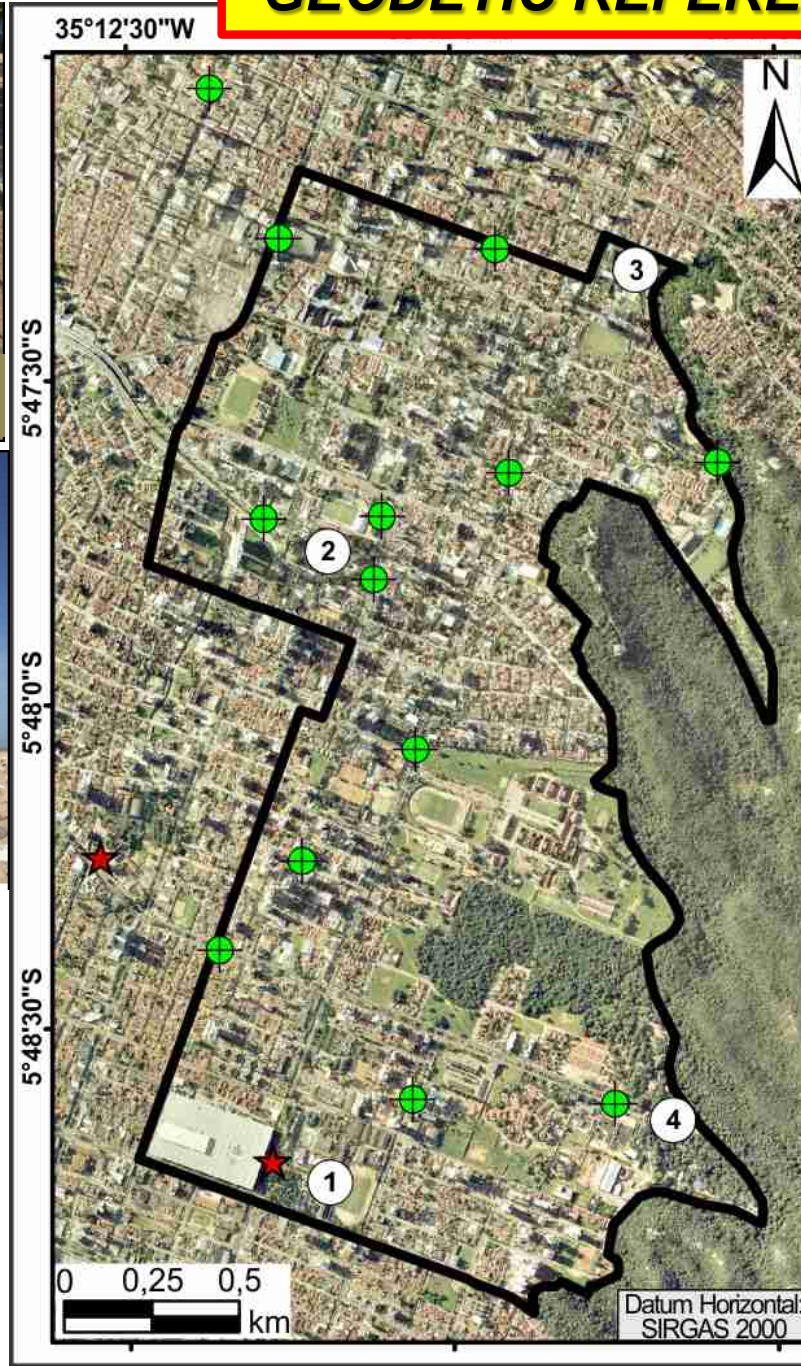
URBAN INFRASTRUCTURE

Source: SEMURB E SEMOPI



PRECIPITATION TIME SERIES





Legenda

Área de estudo

Bases de referência

Pontos de controle

RRNN

Locais de referência

- ① IFRN
- ② Parque Cidade da Criança
- ③ Escola Maria Auxiliadora
- ④ Entrada do Parque das Dunas

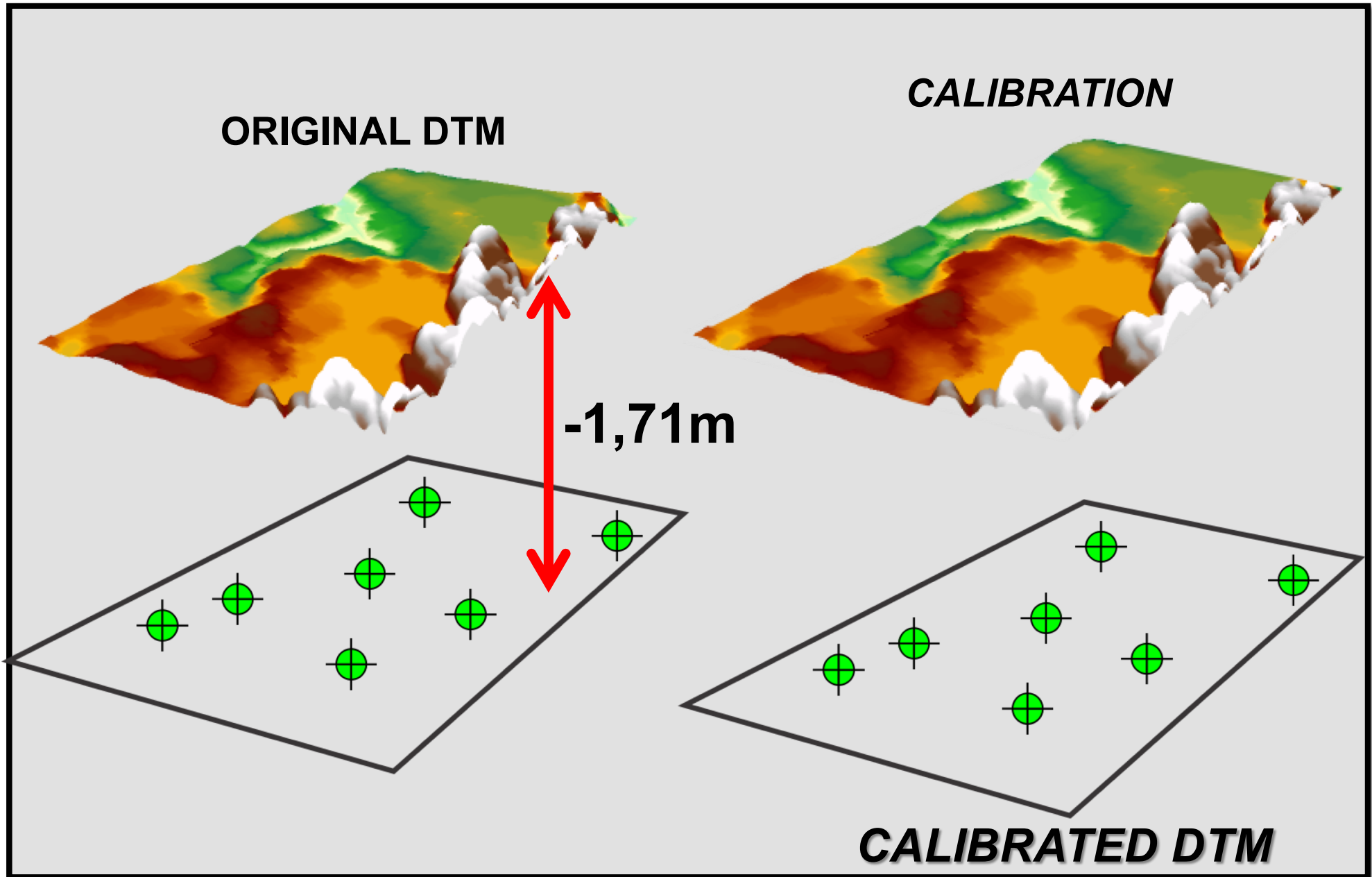


ORIGINAL DTM

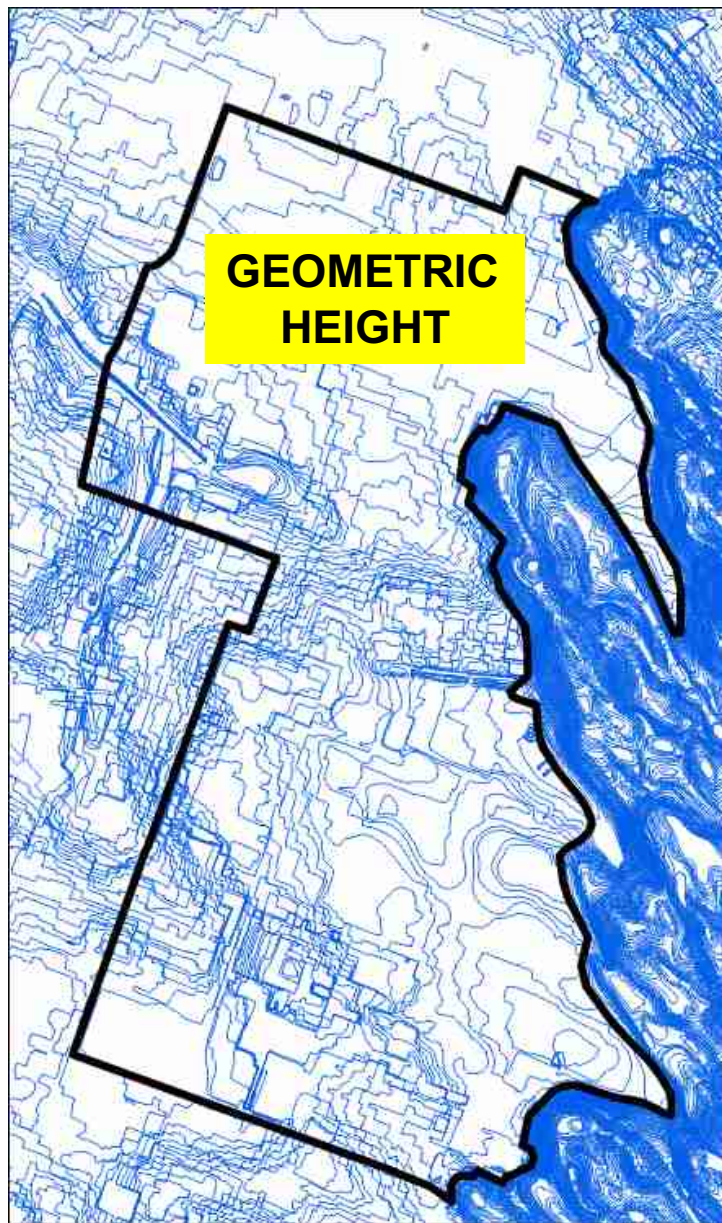
CALIBRATION

-1,71m

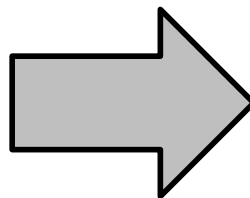
CALIBRATED DTM



ELEVATION ISOLINES

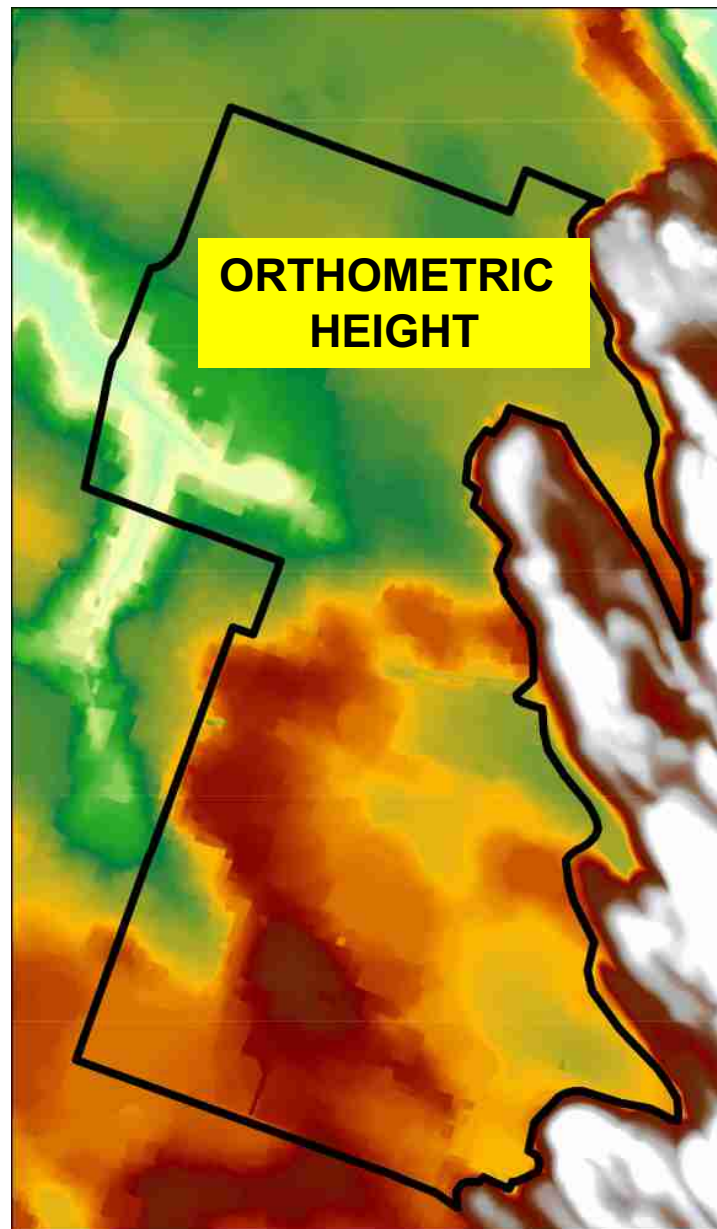


INTERPOLATION



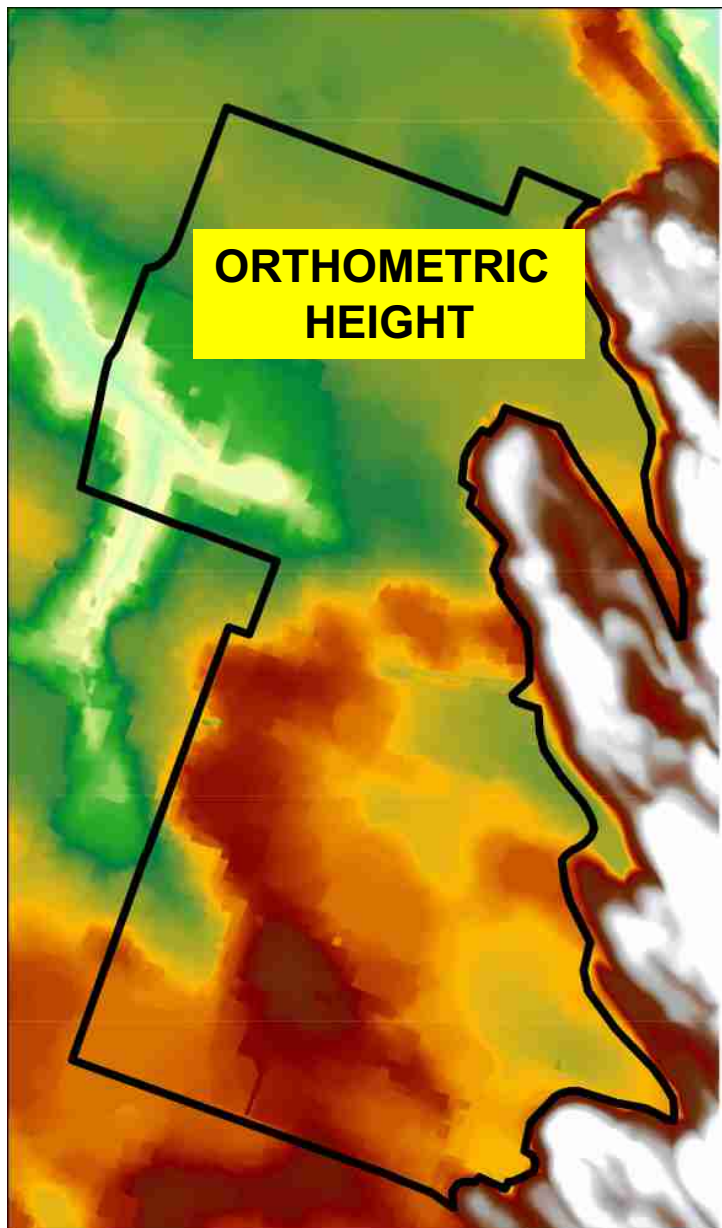
TIN Method

DIGITAL TERRAIN MODEL



**DIGITAL SURFACE MODEL WITH
GEODETIC REFERENCE SYSTEM**

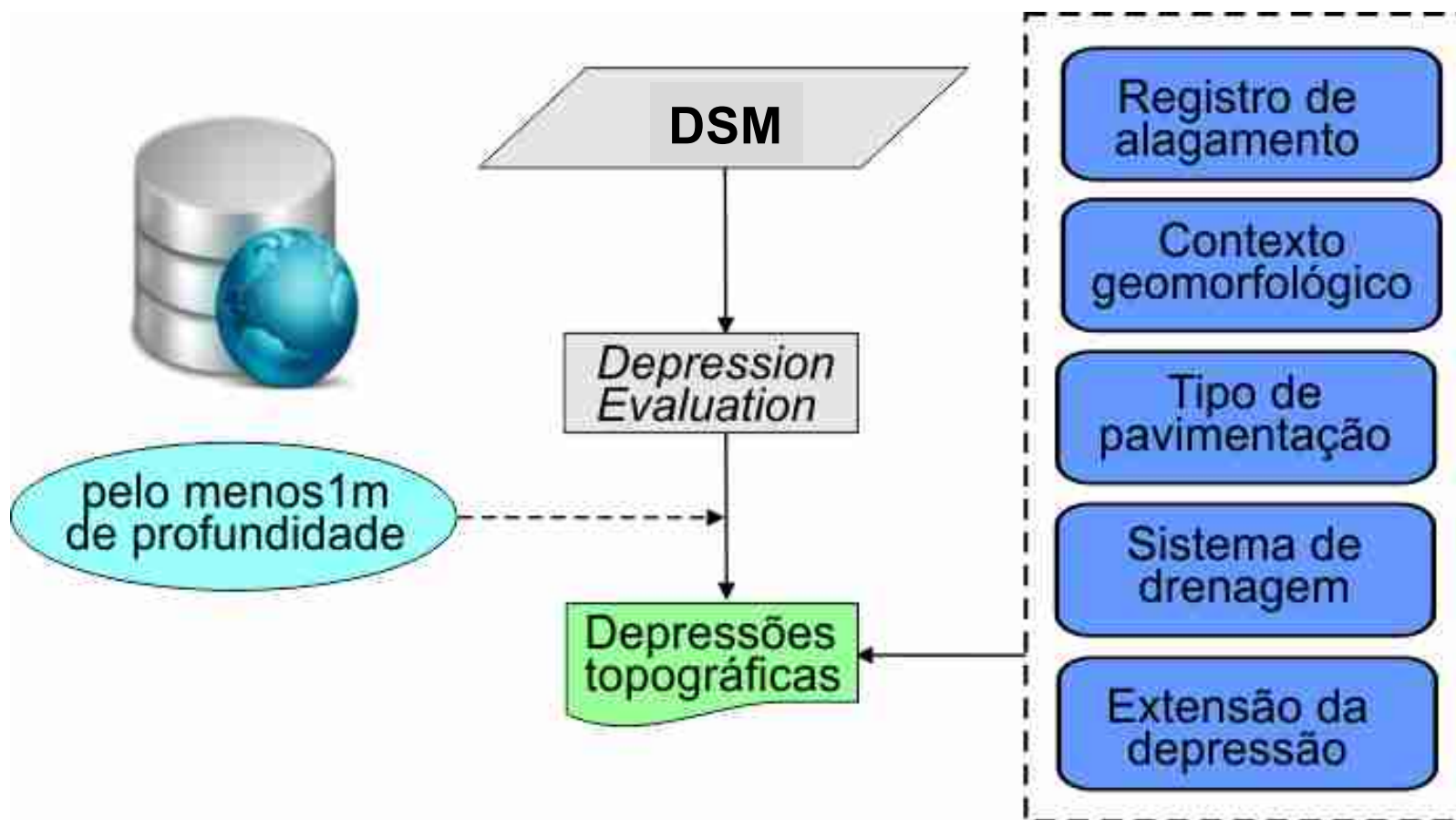
CALIBRATED DTM

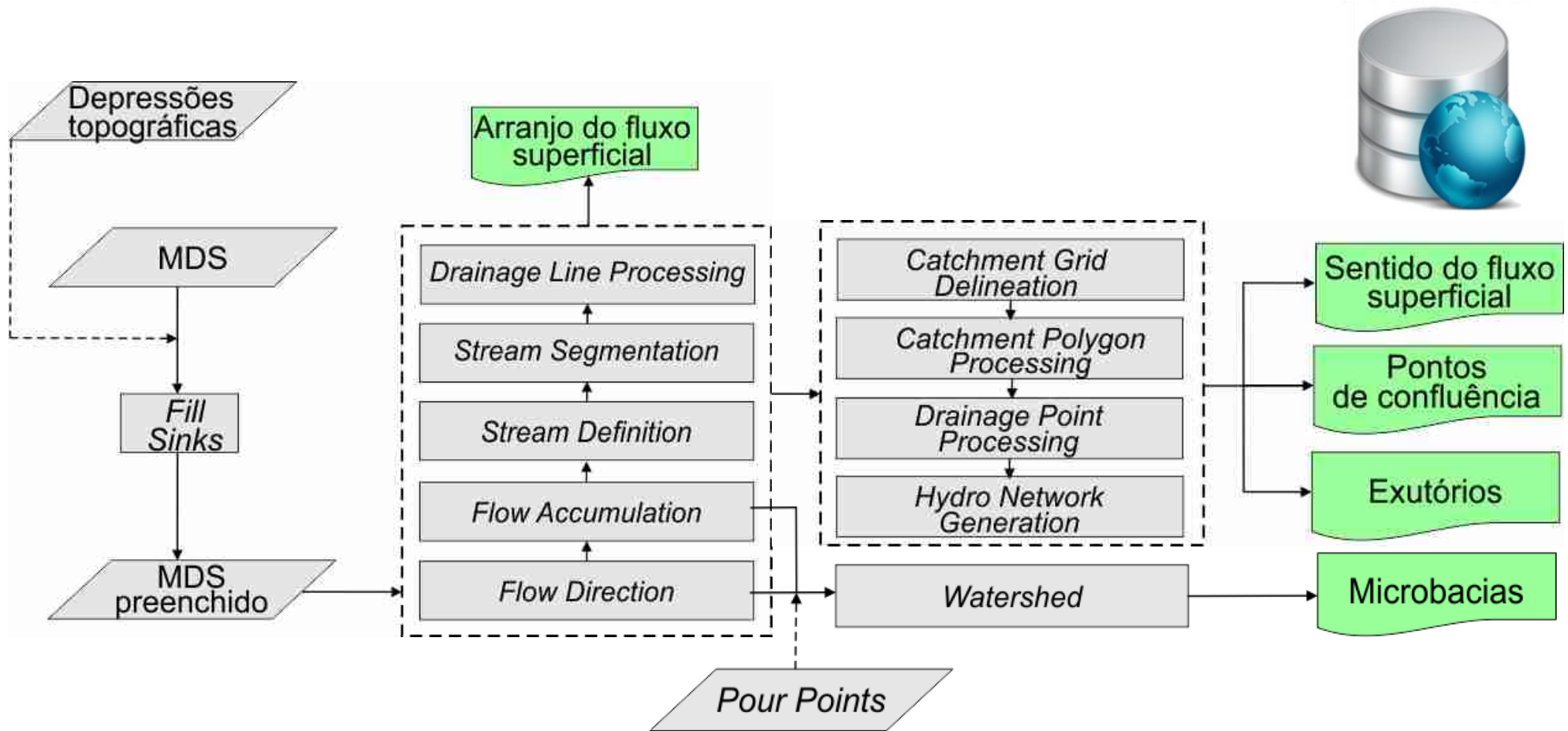


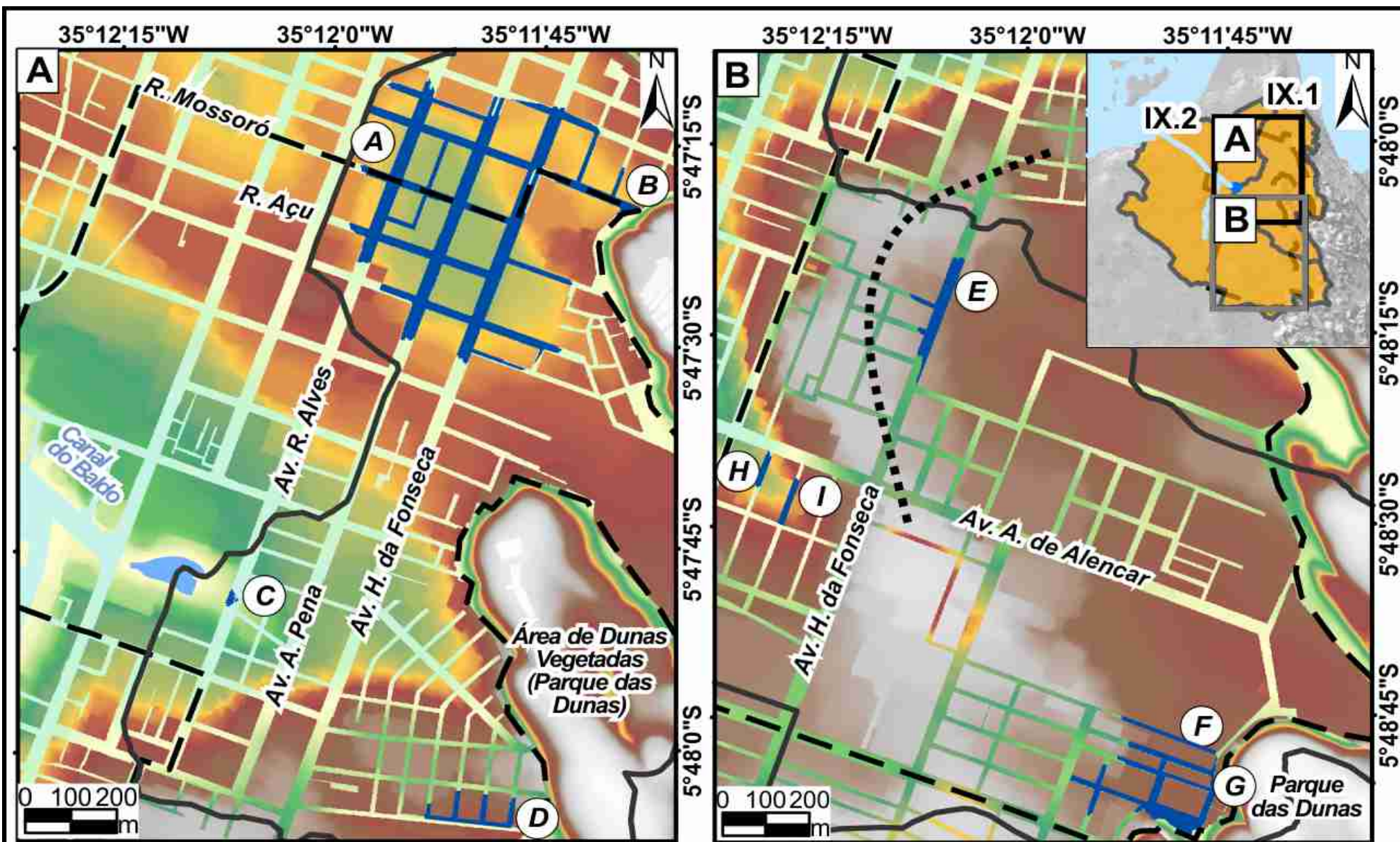
URBAN INFRASTRUCTURE



➤ DTM discretization in 5 orthometric height classes to IDENTIFY GEOMORPHOLOGIC FEATURES:







Legenda



35°12'30"W

052°41'00"W

052°41'00"W

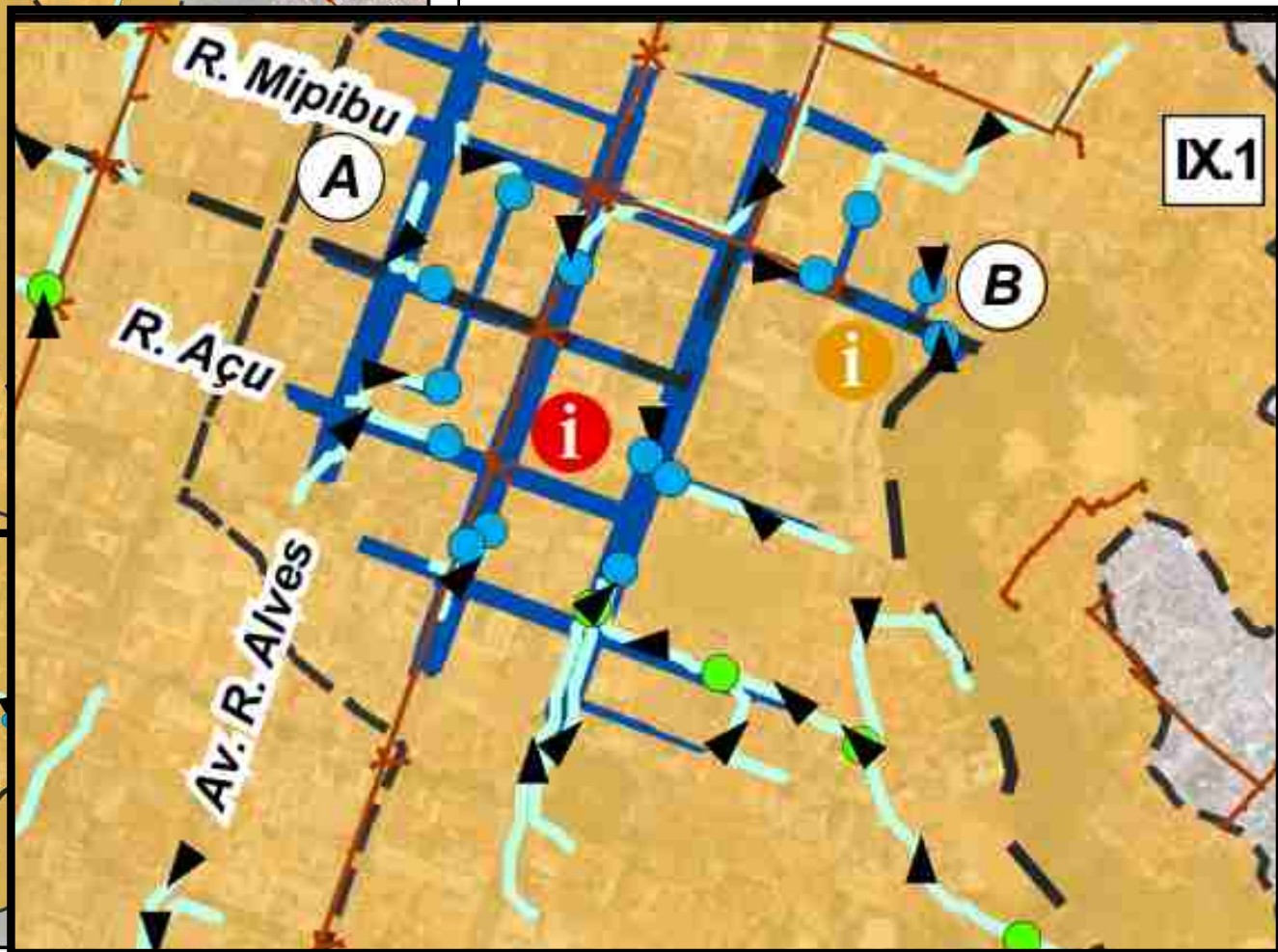
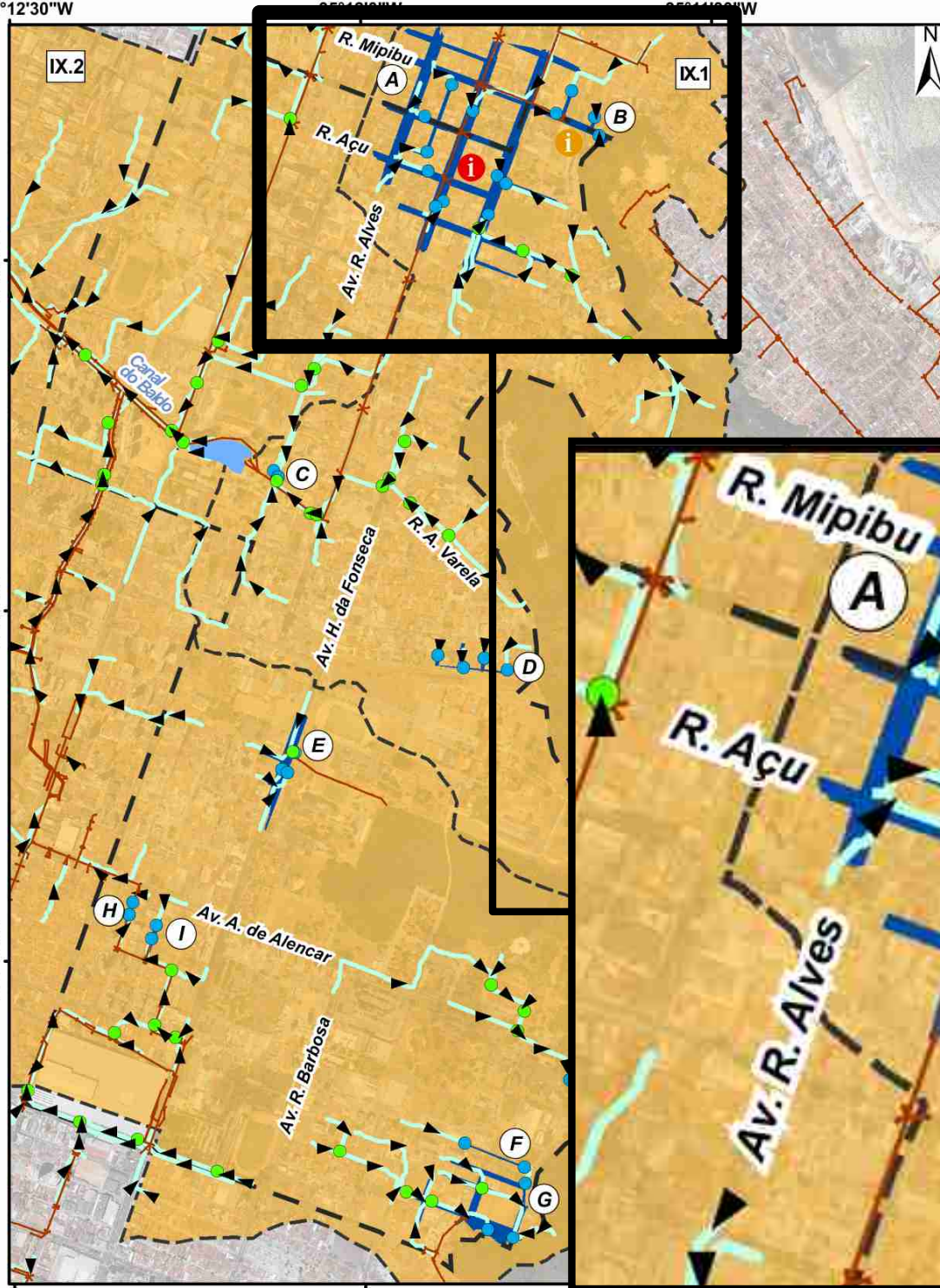


SURFACE RUNOFF







5°47'30"S

5°48'0"S

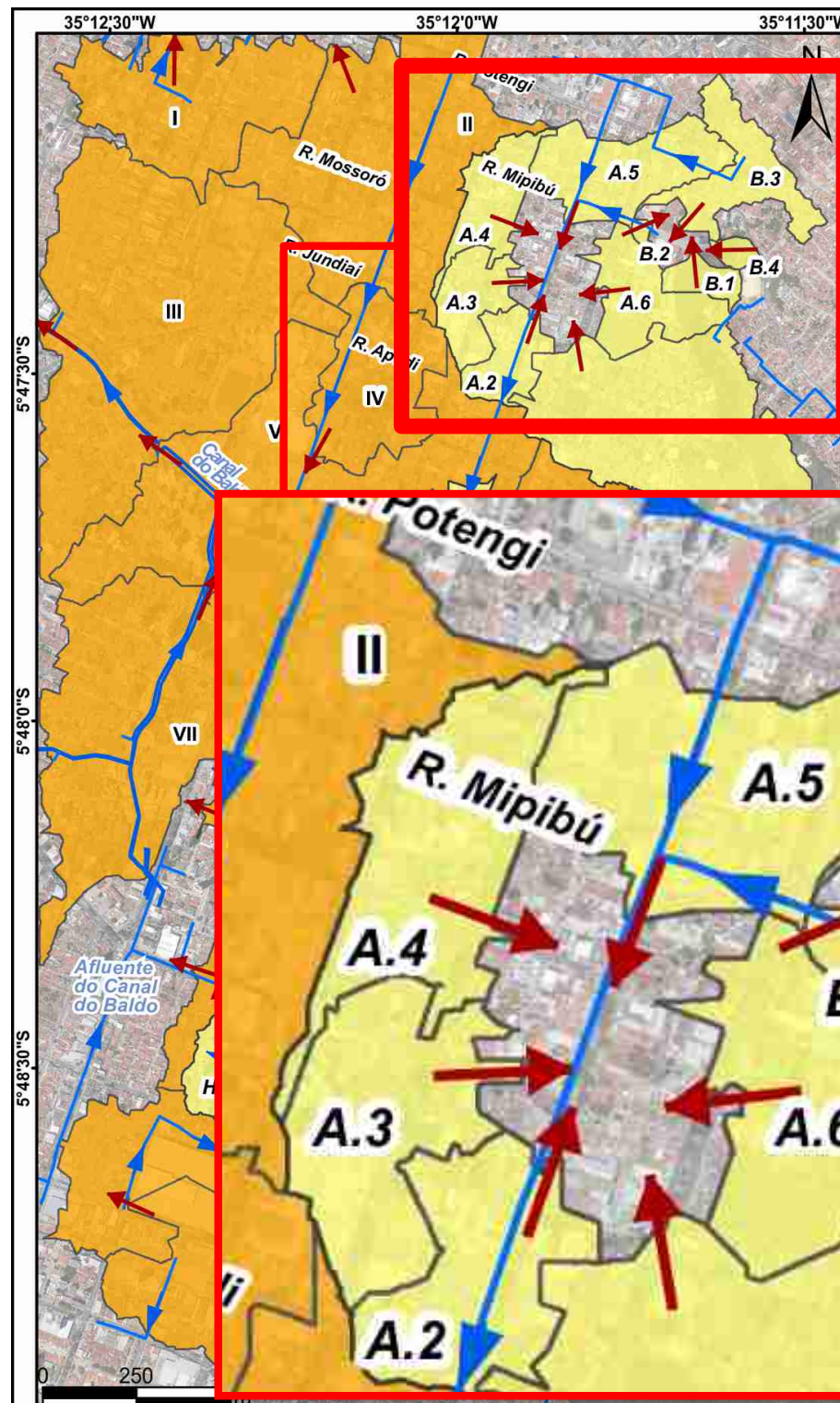
5°48'30"S



Legenda

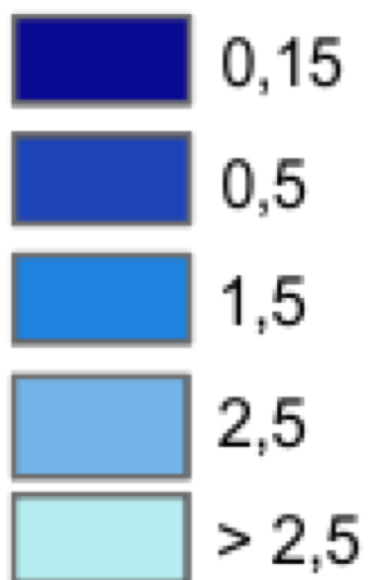
-  Microbacias das depressões
-  Microbacias secundárias
-  Galeria de drenagem
-  Sentido do fluxo nos exultórios das microbacias
-  Sentido do fluxo nas galerias
-  Lagoa Manoel Felipe

Datum Horizontal:
SIRGAS 2000



**30 microbasins:
17 geomorphological
depressions**

Altura da lâmina de água em relação ao ponto mais baixo da depressão (m)



Perigo a alagamento










➤ Land use mapping (parcel), **Scale 1:5,000 → LOCAL**

Critérios	Classes de ocupação de lote urbano						
	Área Comercial	Área médica/estética	Área residencial	Escola	Igreja	Posto de combustível	Prédio público
1º Condições de saúde	Boa	Ruim	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa
1º Maior facilidade de explosão ou incêndio	Não	/	Não	Não	Não	Sim	Não
2º Faixa etária	Adultos		Crianças; adultos; idosos	Crianças	Crianças; adultos; idosos	/	Adultos
2º Frequência de uso	Horário comercial	24H	Horário comercial	Horário comercial	Horário comercial		
Vulnerabilidade final	Baixa	Alta	Alta	Média	Média	Alta	Baixa

➤ **Mapping Scale: 1:5,000.**

$$R = PV$$

(CEPAL, 2011; WISNER *et al.*, 2012; MENDES, 2018)

Perigo a alagamento		Vulnerabilidade a alagamento
 Muito alto (5)		 Alto (3)
 Alto (4)		 Média (2)
 Moderado (3)	X	 Baixa (1)
 Baixo (2)		
 Muito baixo (1)		

Risco a alagamento	Valores representativos dos produtos entre as variações de perigo e vulnerabilidade
Alto	15; 12; 10; 9; 8
Moderado	6; 5; 4
Baixo	3; 2; 1

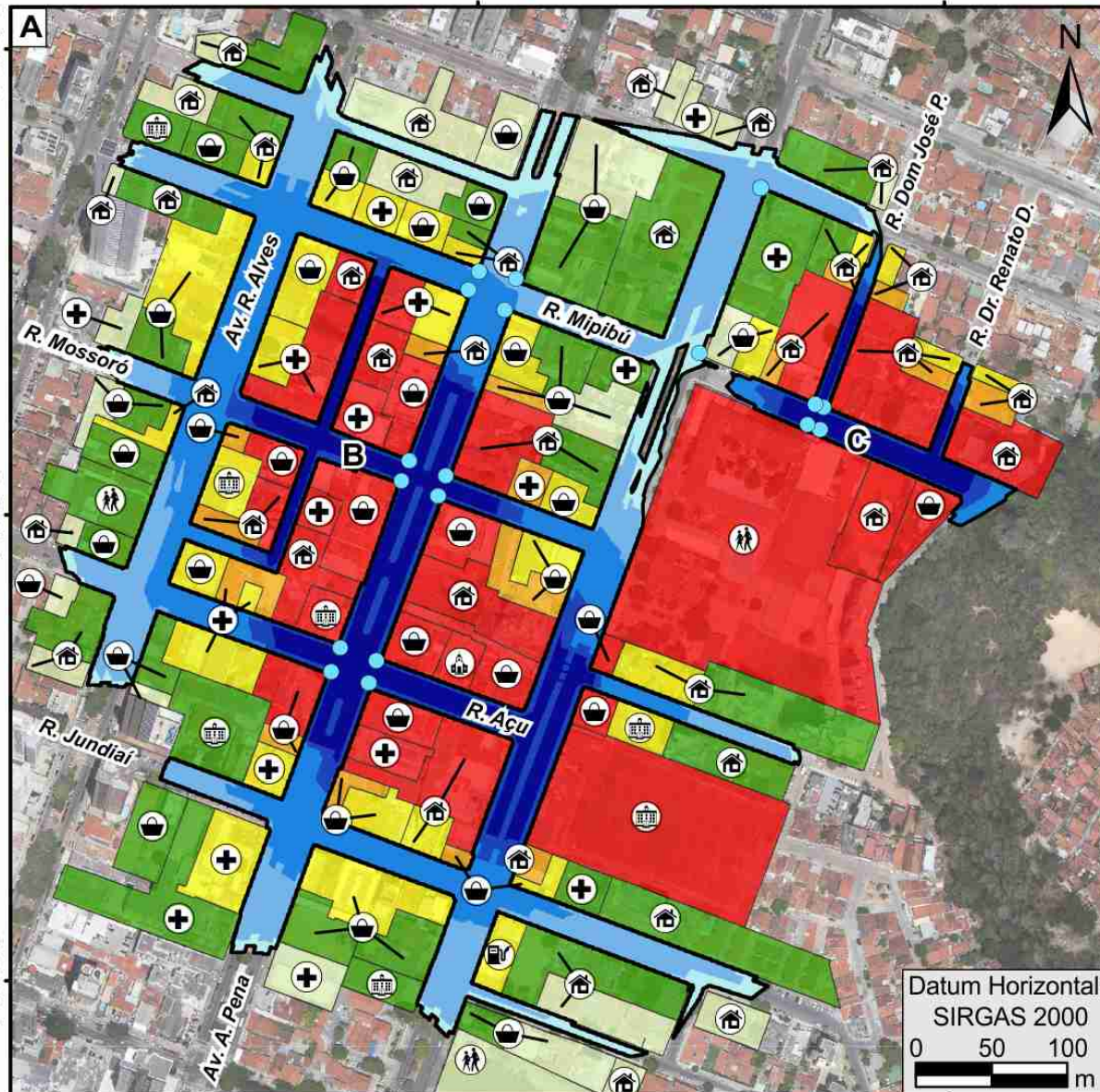
35°11'50"W

35°11'40"W

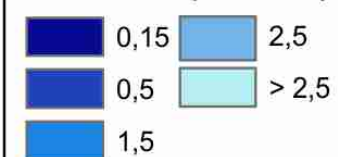
5°47'10"S

5°47'20"S

5°47'30"S

**Legenda**

Altura da lâmina de água em relação ao ponto mais baixo da depressão (m)

**Perigo a alagamento****Elementos expostos**

Posto de combustível

Prédio público

Demais elementos

Limite das depressões

Setores com bocas de lobo



FLOOD HAZARD	CUMULATE PRECIPITATION (mm/h)
MUITO ALTO	10,80 – 31,22
ALTO	31,23 – 44,63
MODERADO	44,64 – 88,69
BAIXO	88,70 – 125,09
MUITO BAIXO	125,10 – 140,04



M.Sc. LÍVIAN R. GOMES

Dr. MARIA DE FÁTIMA A. MATOS

Dr. ADA CRISTINA SCUDELARI

Photos { **Sr. Canindé Soares**
Tribuna do Norte
SOS Ponta Negra

KLIMAPOLIS *Project*

