

# ÁGUA: GESTÃO ESTRATÉGICA E QUALIDADE DE VIDA PARA TODOS

Experiência do Ceará



**Francisco de Assis de Souza Filho**  
**Universidade Federal do Ceará**

Fortaleza  
11/10/2017

# ÁGUA

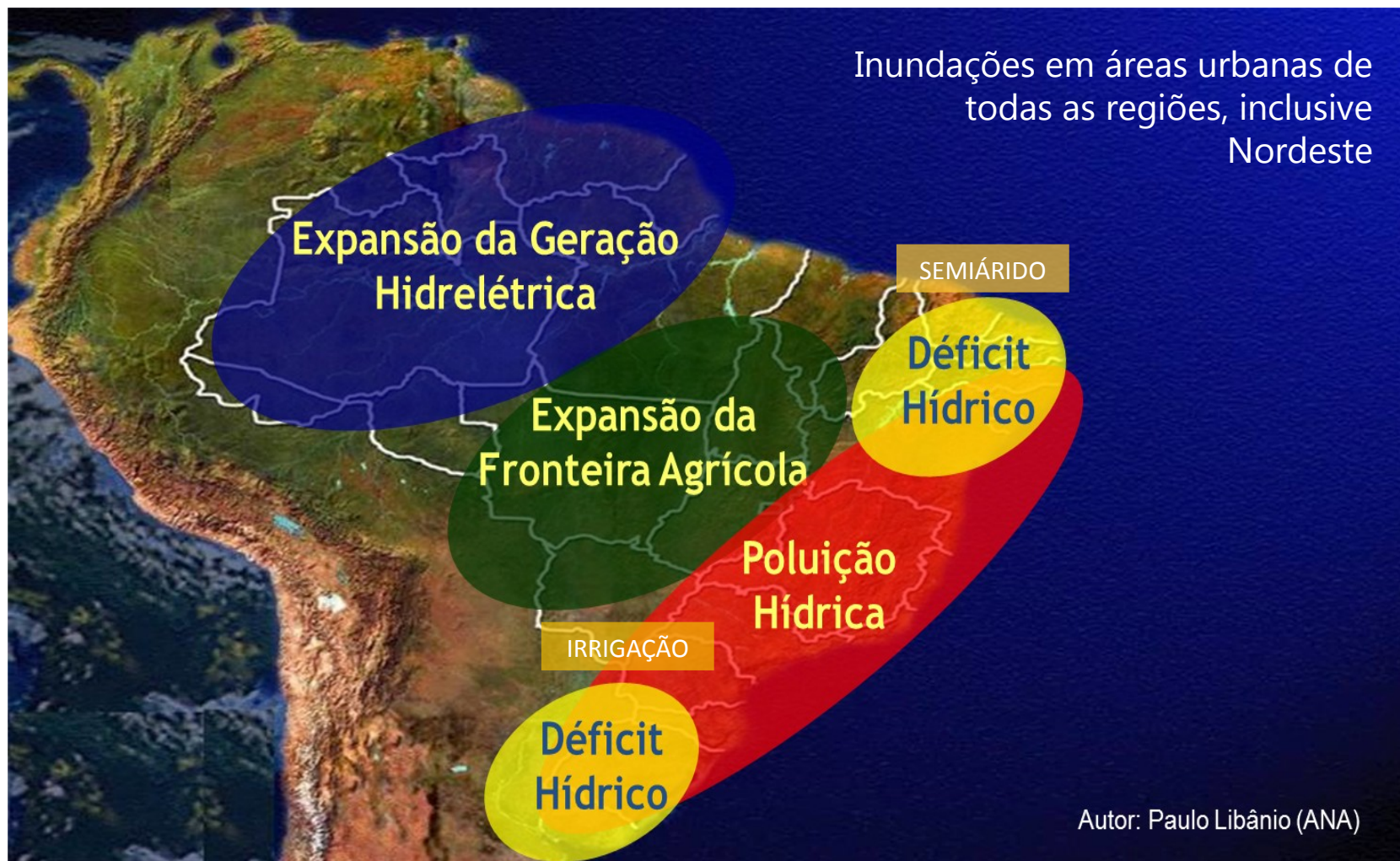
TANTA

TÃO POUCA

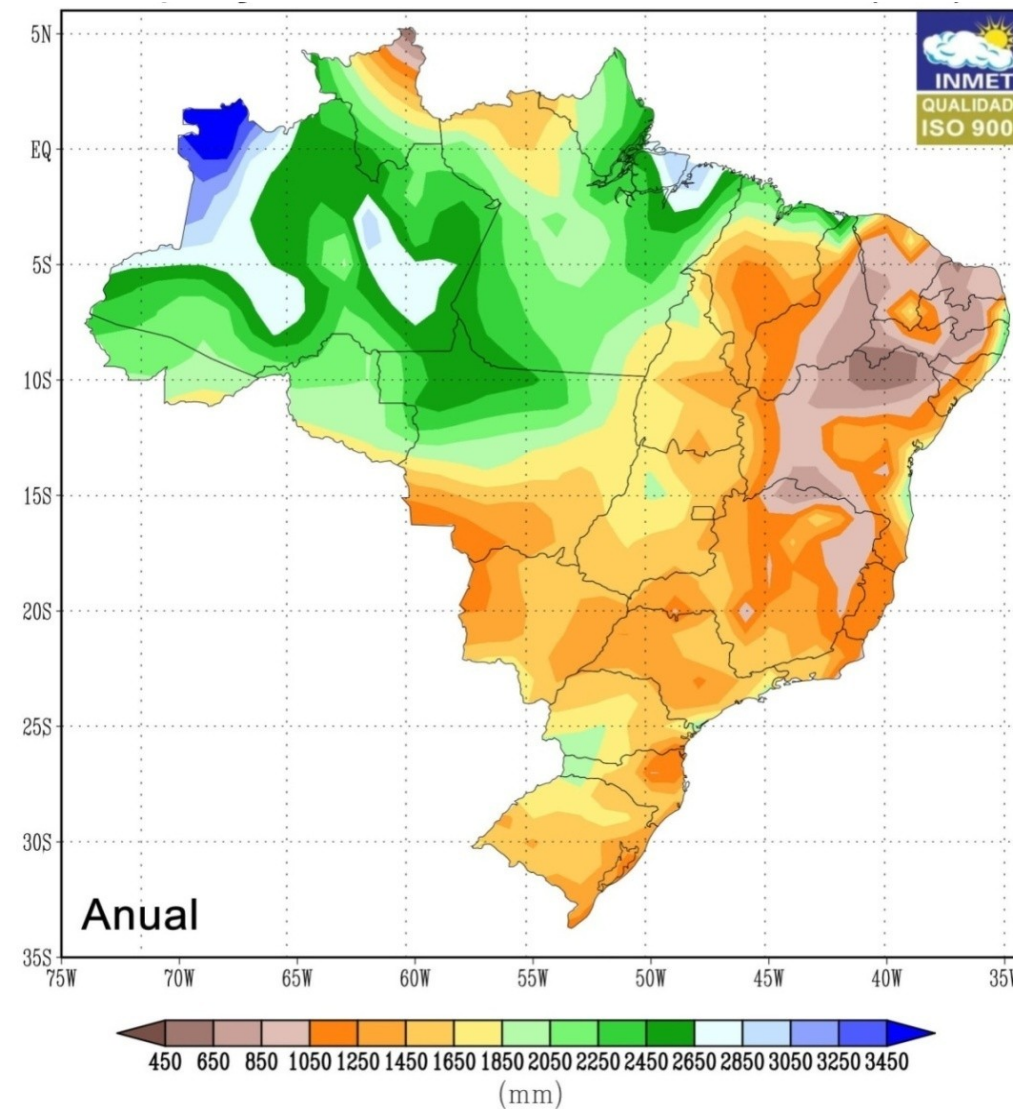
TÃO SUJA

TÃO CARA

# PRINCIPAIS DESAFIOS NO BRASIL POR REGIÃO

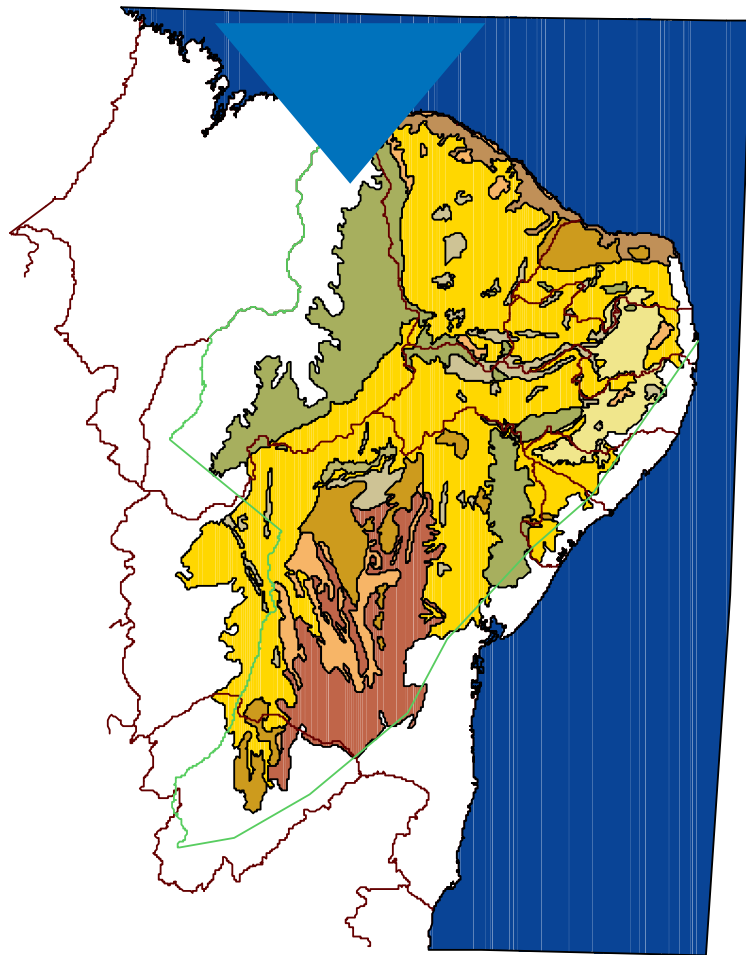


# DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS PRECIPITAÇÕES NO BRASIL

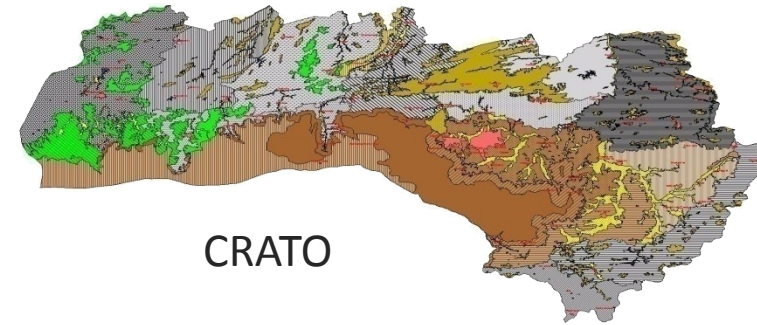


Região Semi-árida  
Baixa Precipitação

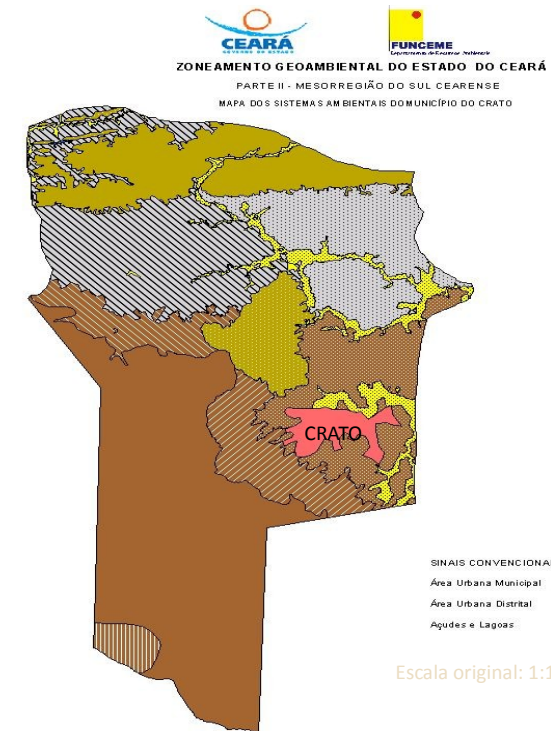
# HETEROGENEIDADE DO ESPAÇO FÍSICO E SOCIAL



- Polig\_secas.shp
- Oceano\_ne\_pol.s
- Limite\_estadual.s
- Semiaridone.shp
- Chapada Diama
- Depressão Sert
- açudes
- Áreas Sub-Úmid
- Maciços Residua
- Planalto com Col
- Planalto da Borb
- Planalto Sedimer
- Planície Costeira



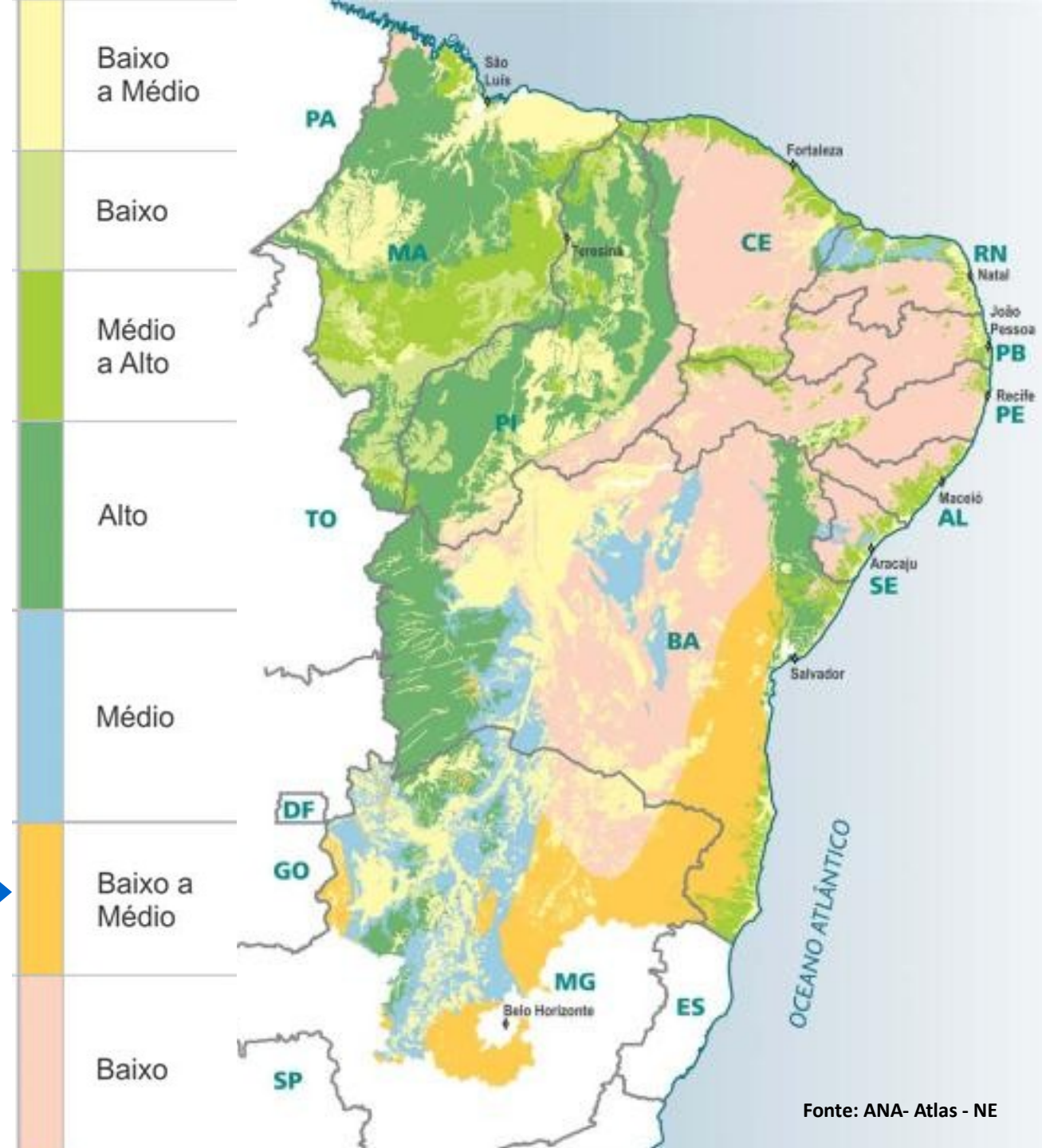
CRATO



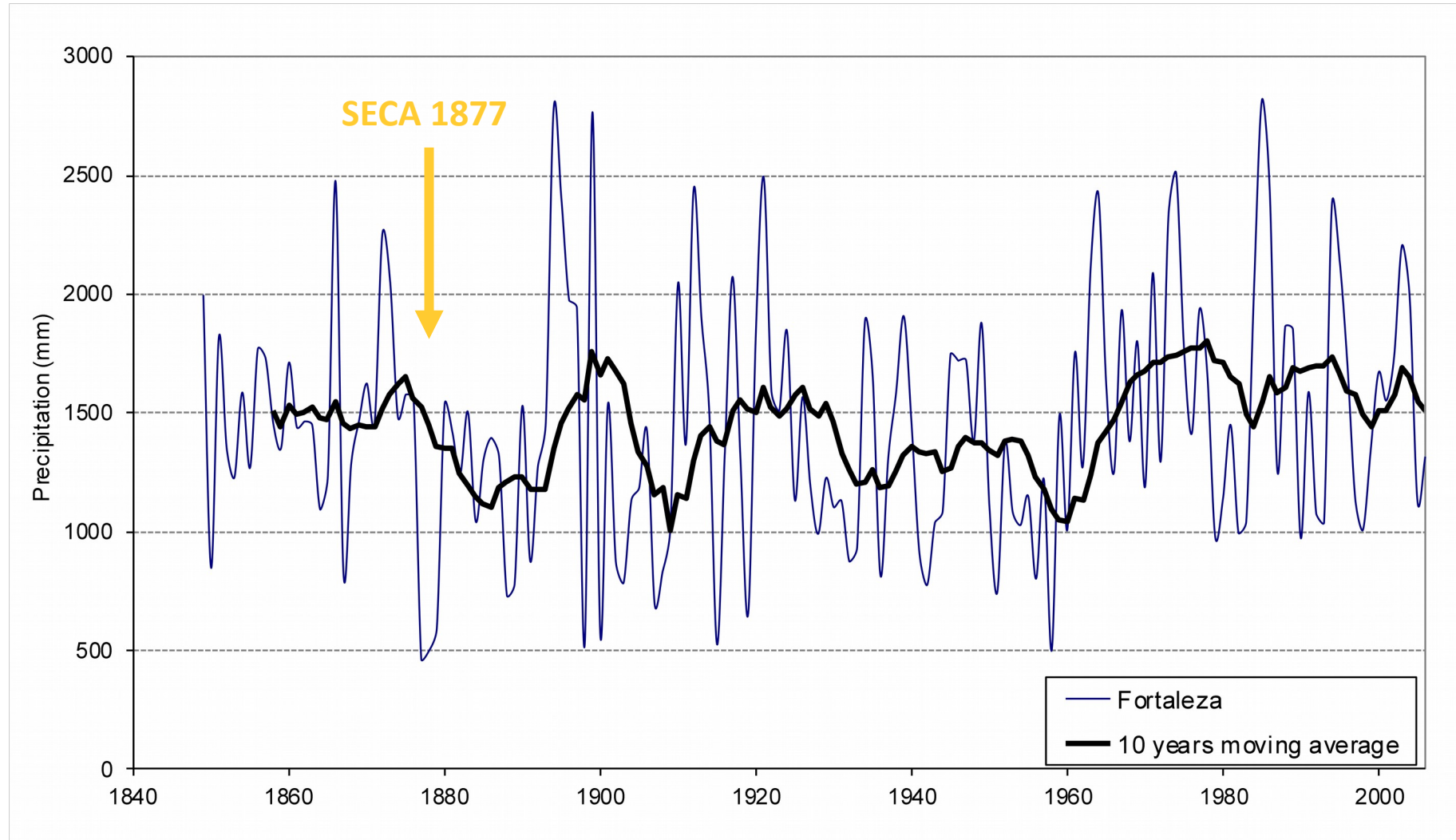
- SINAIS CONVENCIONAIS
- Área Urbana Municipal
- Área Urbana Distrital
- Açudes e Lagos

Escala original: 1:100.000

# POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO

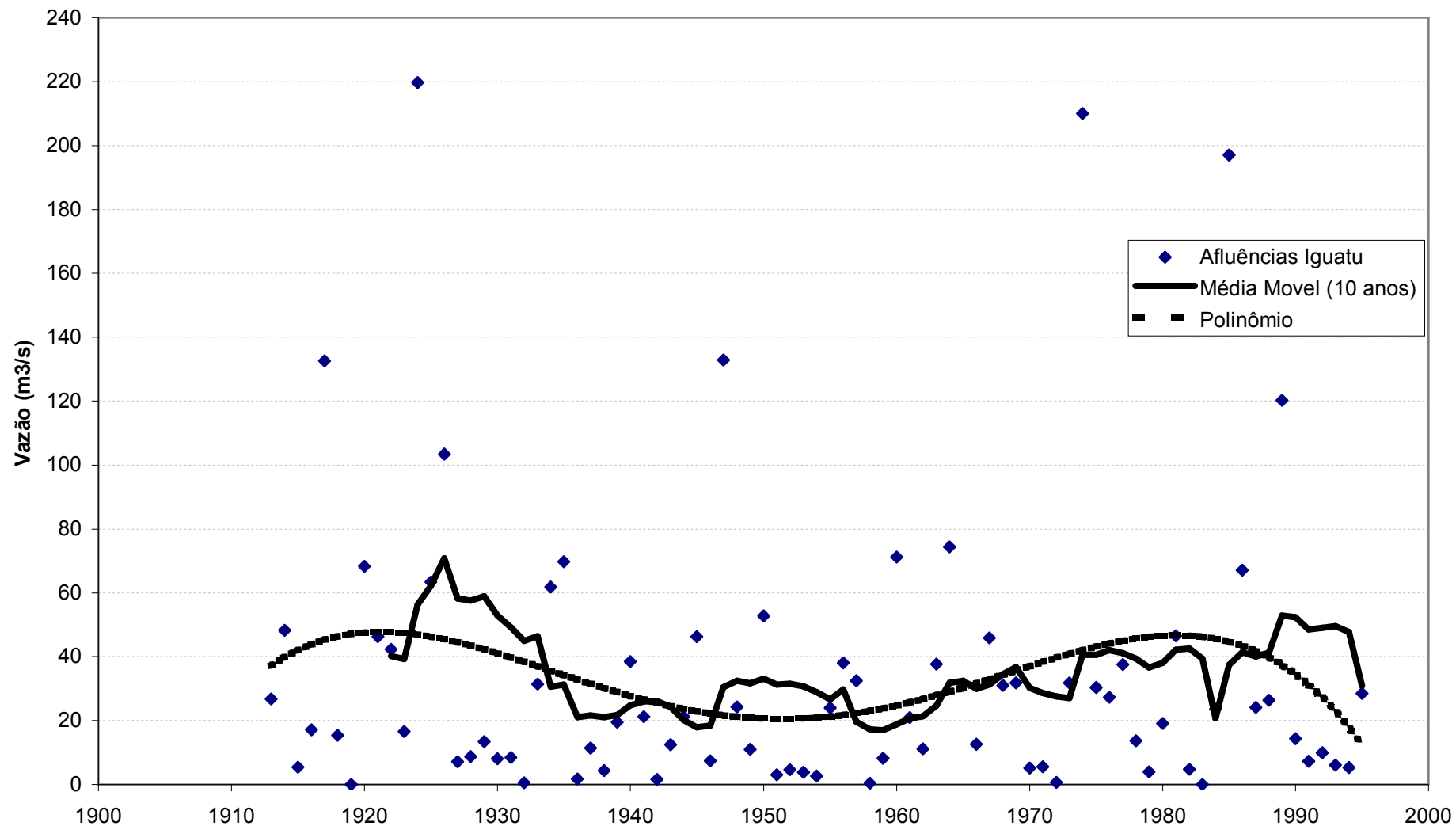


# VARIABILIDADE CLIMÁTICA EM MÚLTIPLAS ESCALAS TEMPORAIS

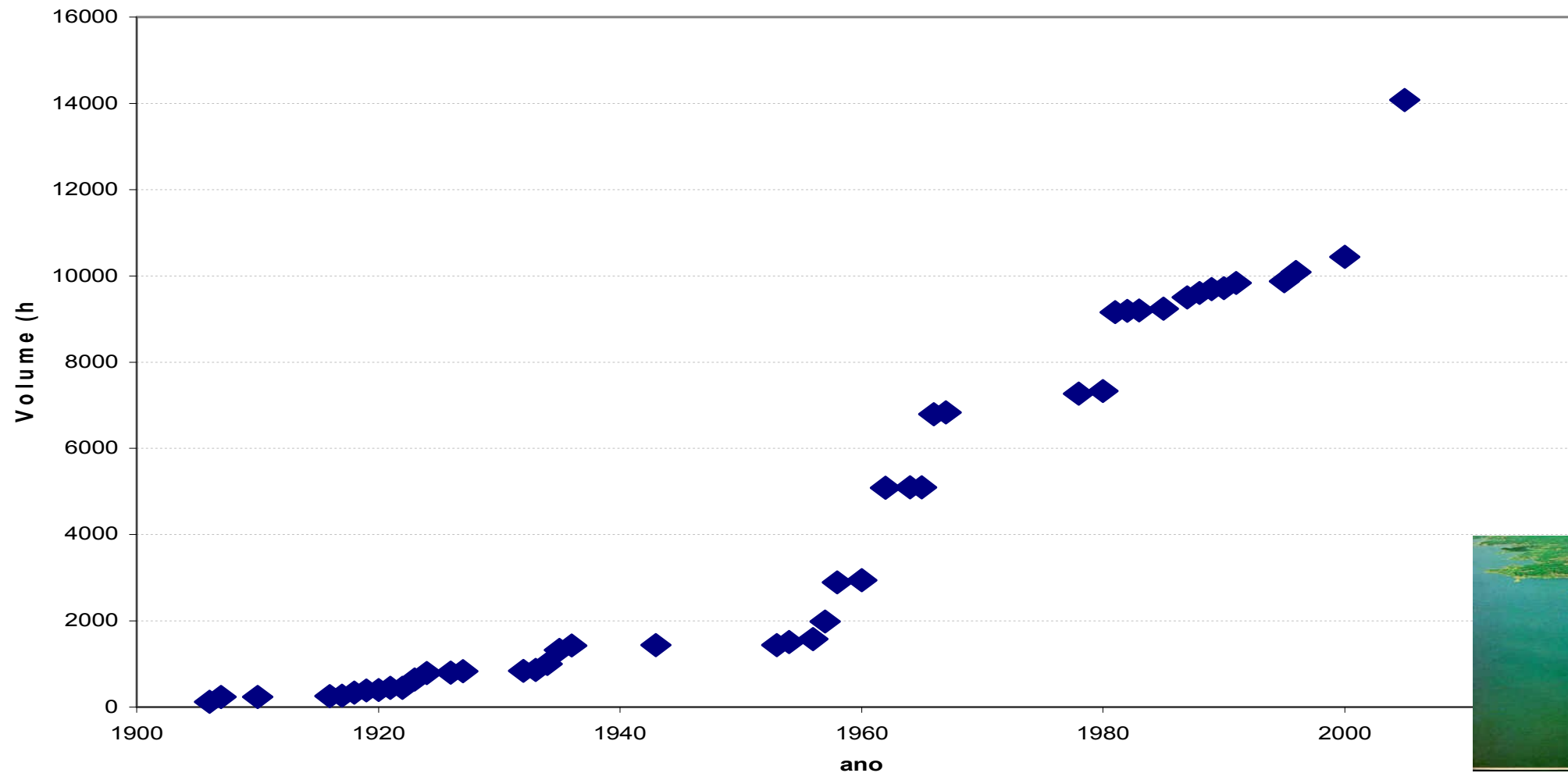


# RISCO CLIMÁTICO E SEGURANÇA HÍDRICA

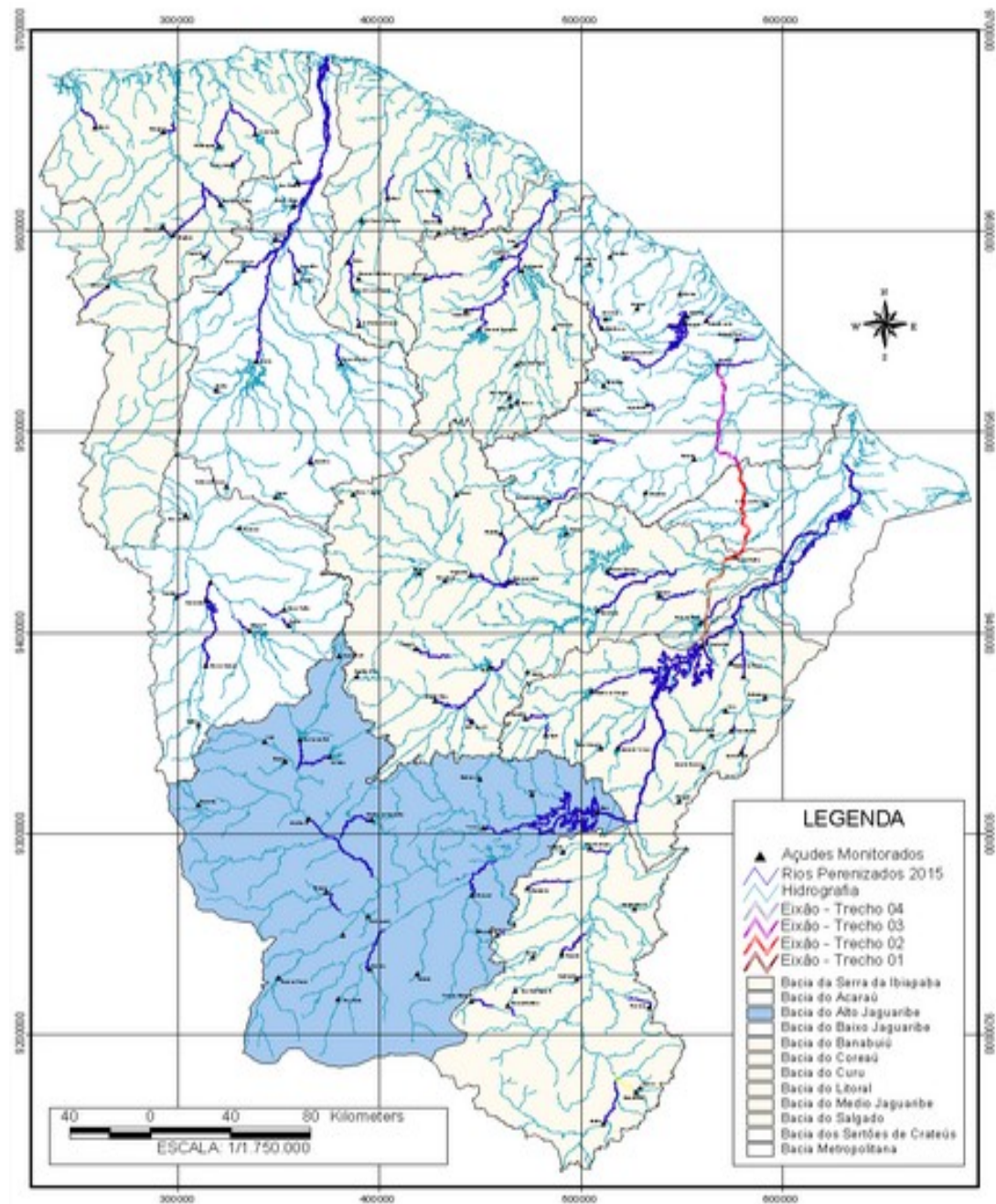
Alta variabilidade temporal das precipitações e vazões



# EVOLUÇÃO DOS ESTOQUES DE ÁGUA NO CEARÁ



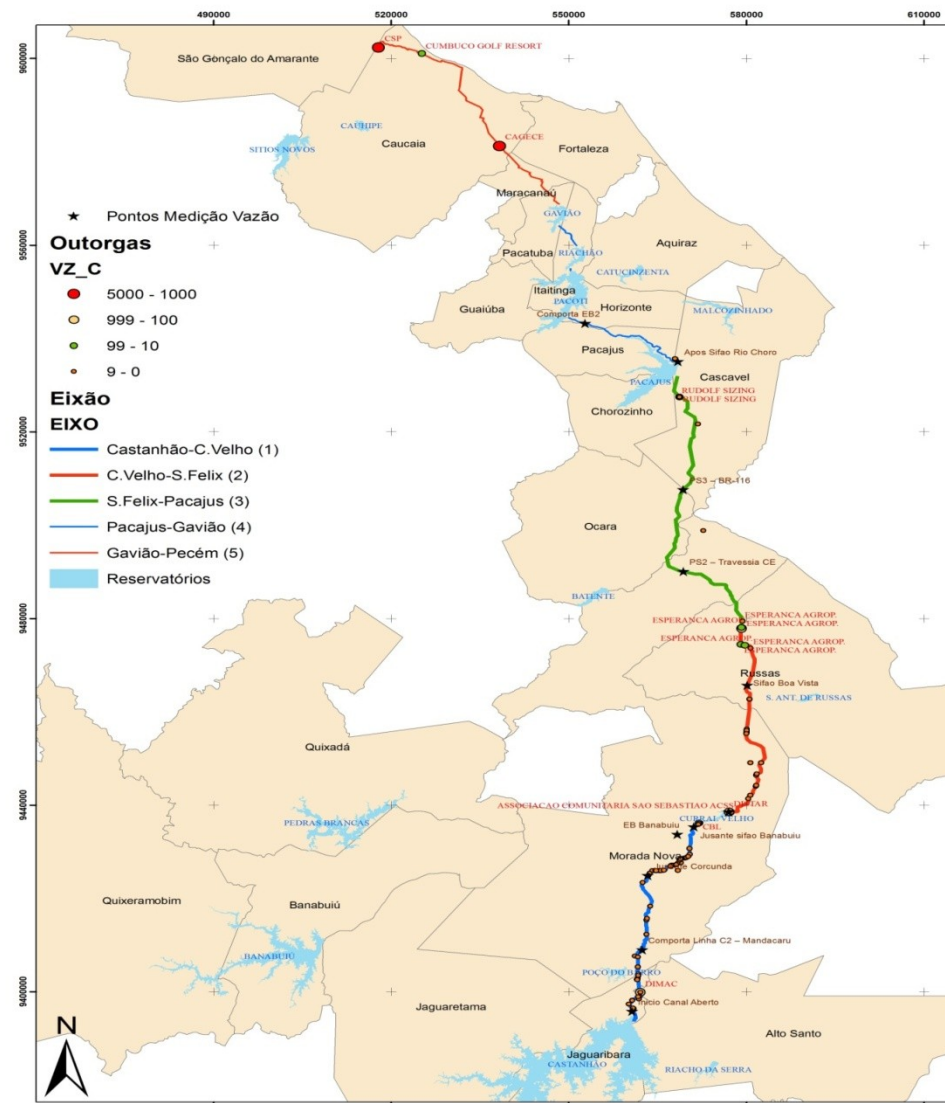
# RIOS PERENIZADOS DO CEARÁ



# SISTEMA JAGUARIBE-METROPOLITANO

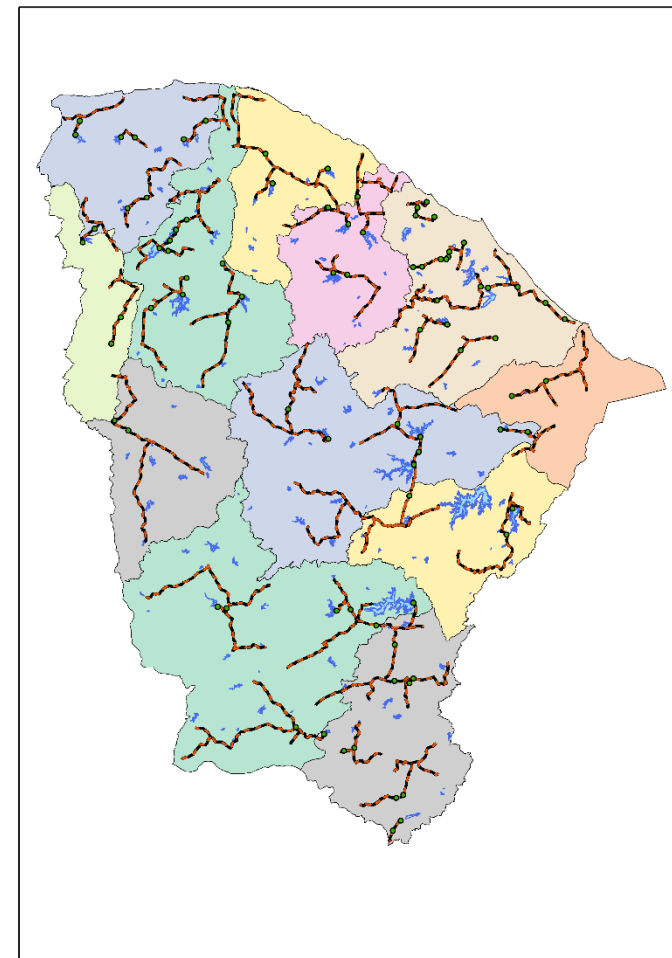
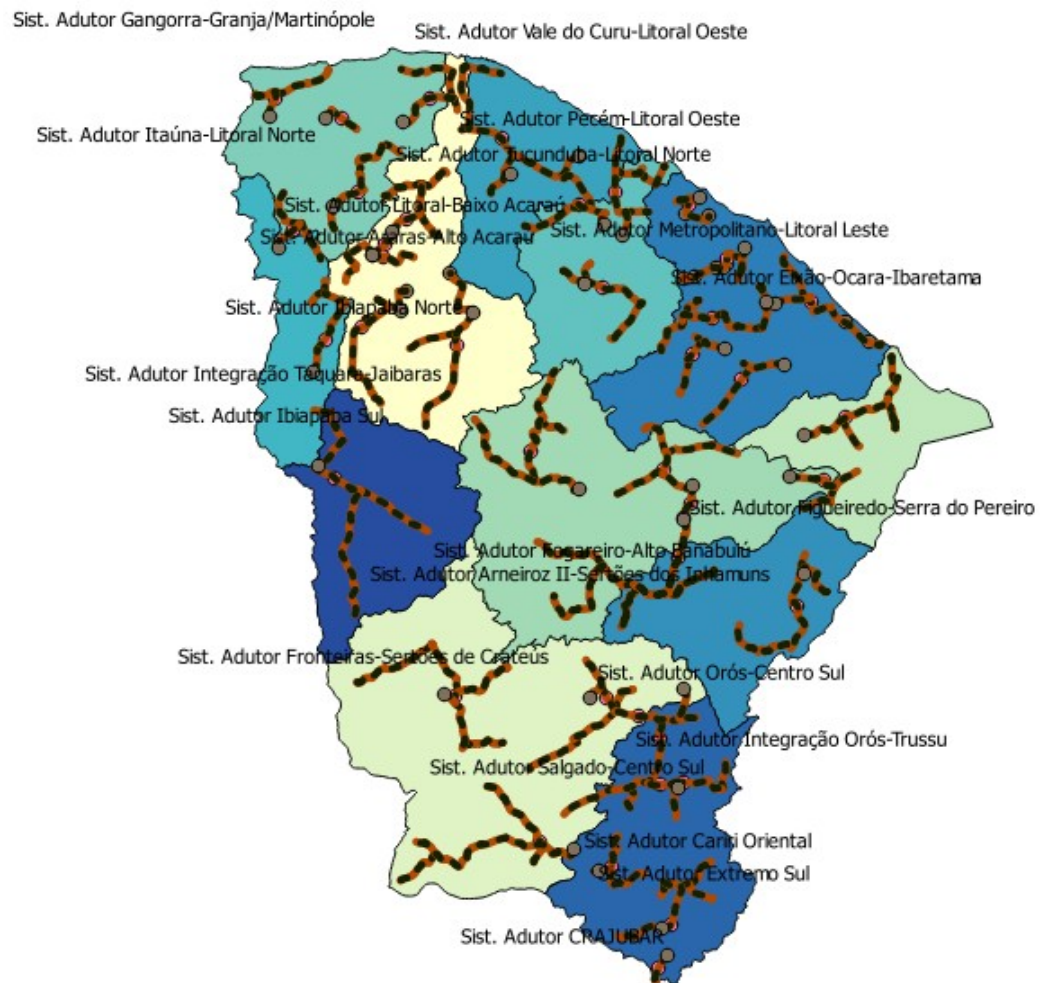


Fonte: SRH, 2013





# MALHA D'ÁGUA



# GESTÃO DE ÁGUA NO CEARÁ

## ESTADO DO CEARÁ



8.8 milhões de pessoas



148.000 km<sup>2</sup>



11 Regiões Hidrográficas

## GESTÃO DAS ÁGUAS



COGERH  
SRH  
ANA

## ABASTECIMENTO



154 reservatórios (>2hm<sup>3</sup>)

## DEMANDA



População urbana  
6.3 milhões de pessoas



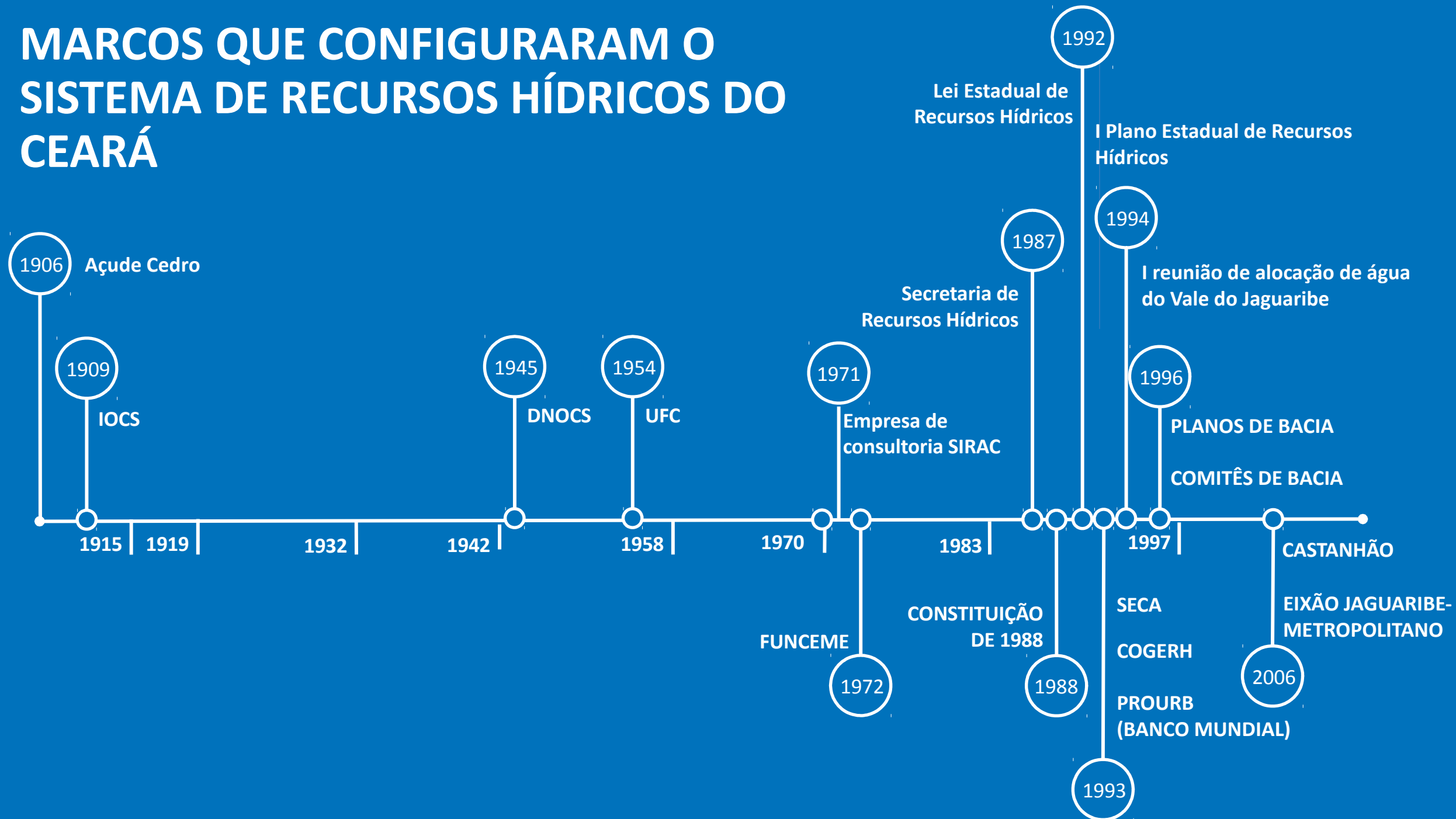
Região Metropolitana de Fortaleza  
3.6 milhões de pessoas



Irrigação  
Área: 72000 hectares



# MARCOS QUE CONFIGURARAM O SISTEMA DE RECURSOS HÍDRICOS DO CEARÁ



# DIMENSÕES DA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

- Gestão da Oferta
- Gestão da Demanda
- Gestão de Conflitos

# MACRO ALOCAÇÃO NEGOCIADA DE ÁGUA

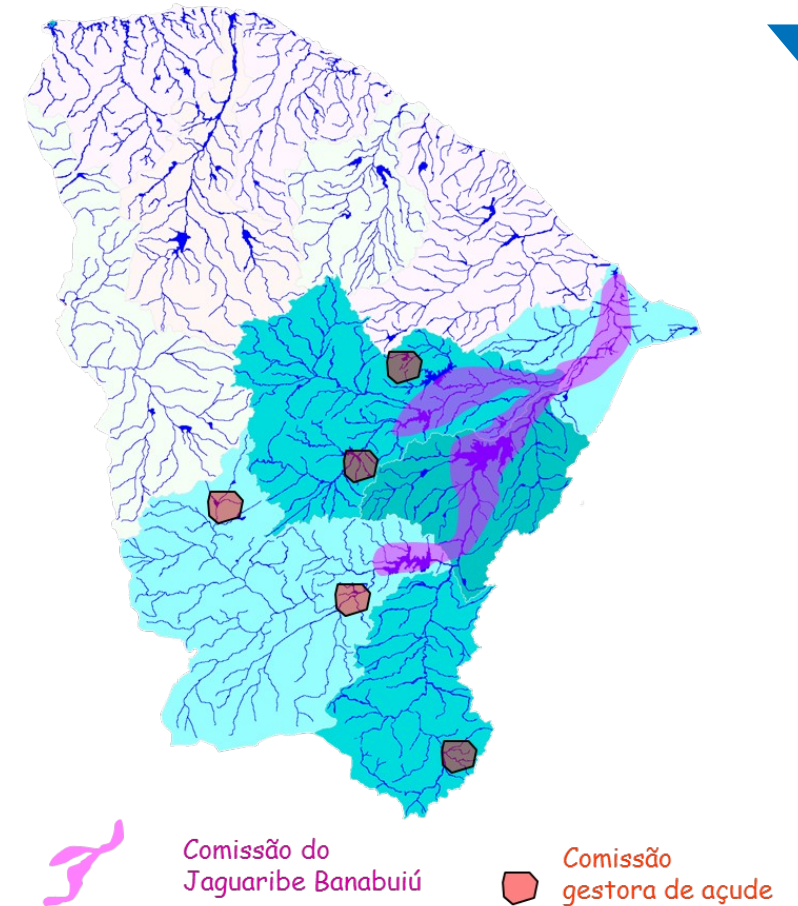
## Processo participativo



Reunião de Alocação de água na bacia do Curu (16 Jun 2011)



Bacia do rio Jaguaribe (1995)



Comissão do  
Jaguaribe Banabuiú

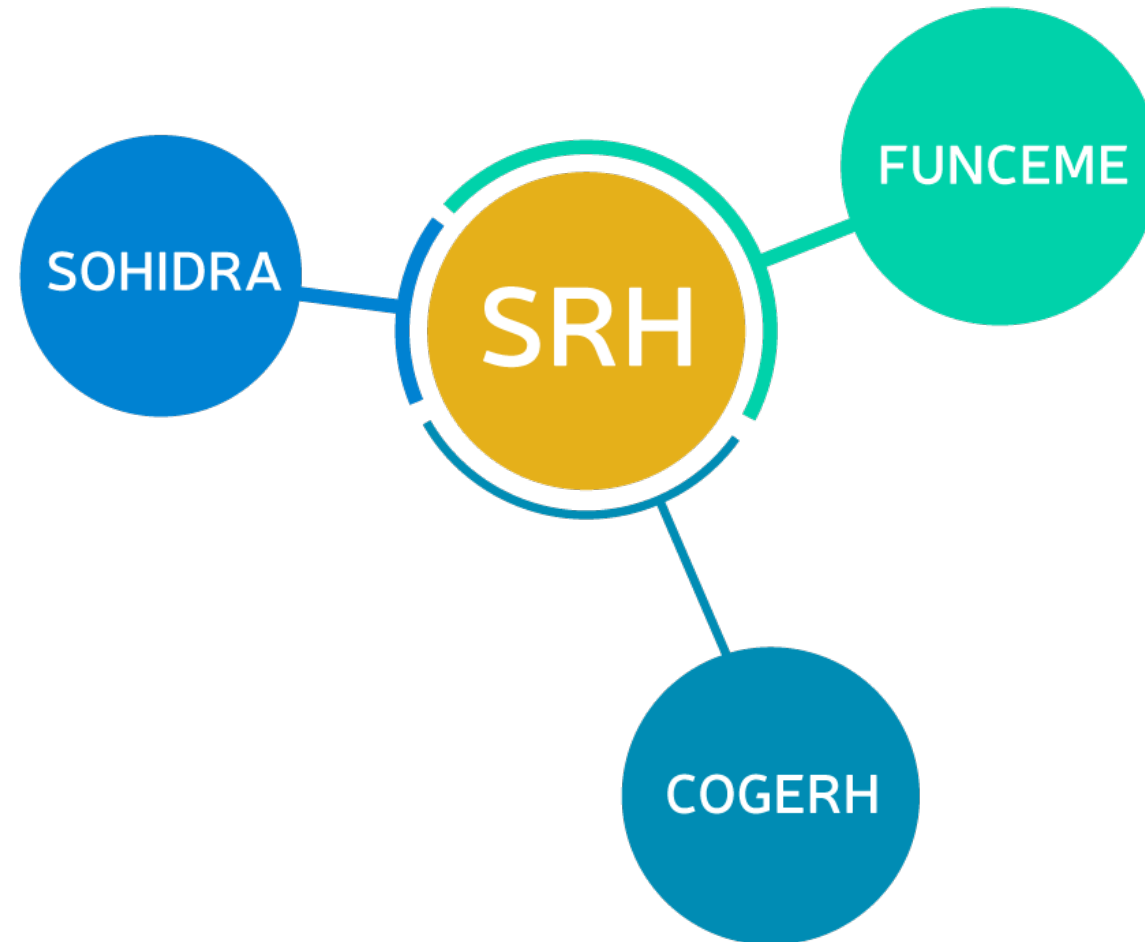


Comissão  
gestora de açude

# TRIPÉ ESTRATÉGICO DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO CEARÁ



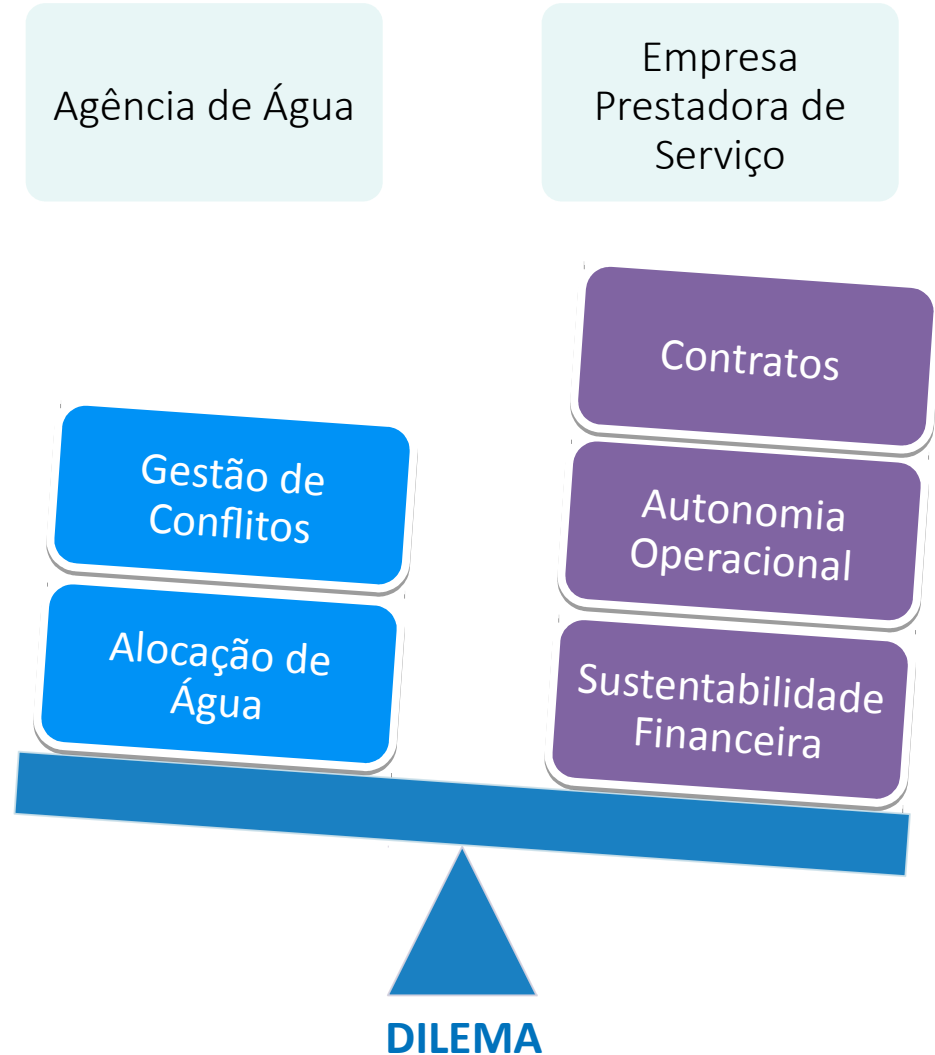
# BASE OPERACIONAL DA POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS NO CEARÁ



# QUADRILÁTERO DA COGERH



# COGERH



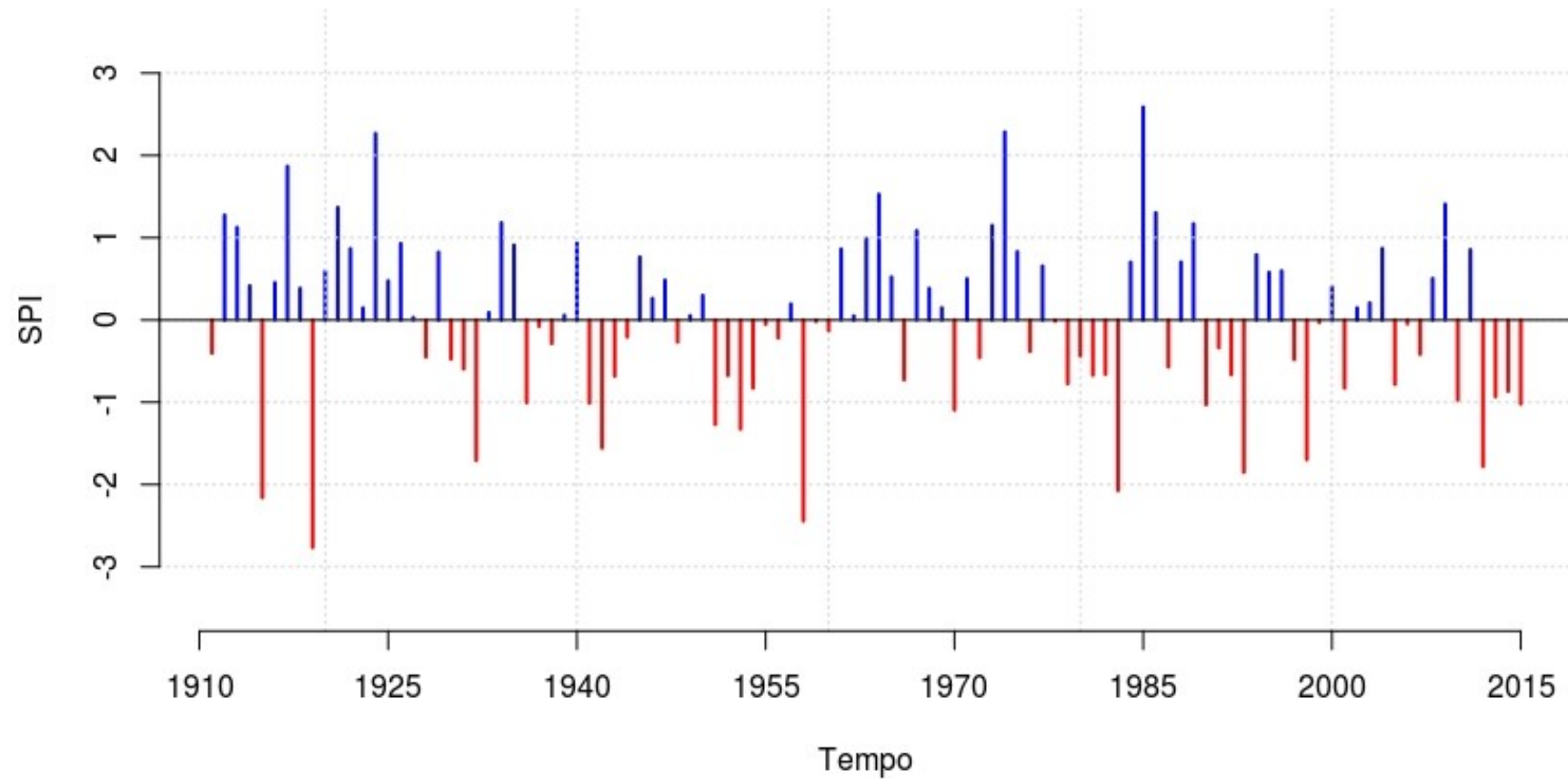
# DESAFIOS



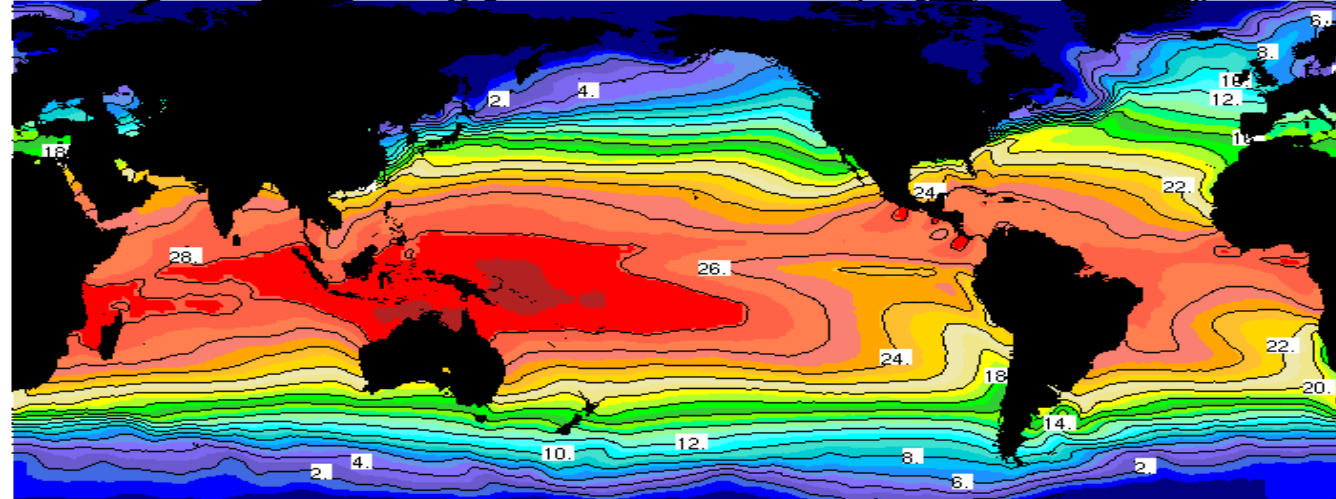
# Risco Climático: Variabilidade e Mudança Climática



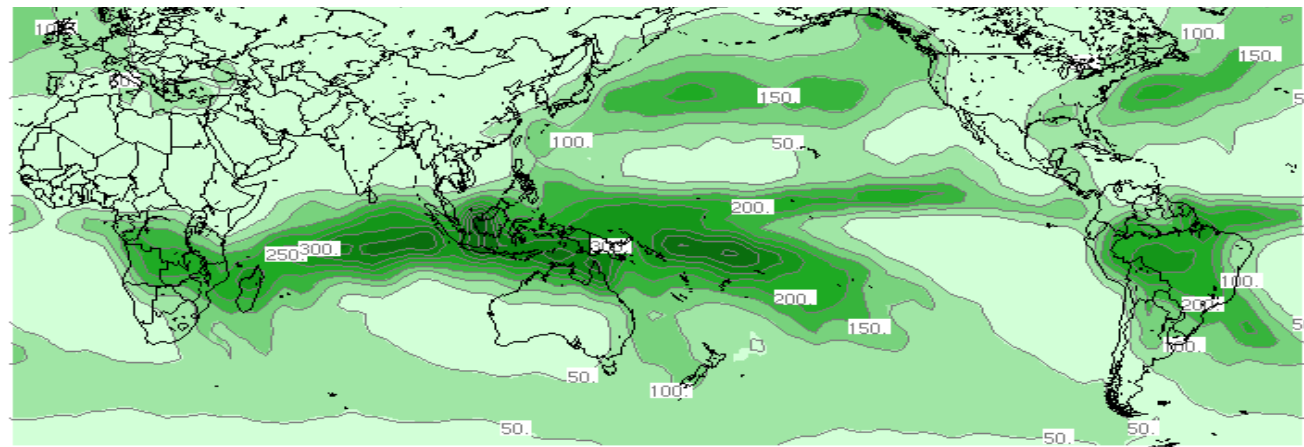
# SPI – CEARÁ (1910 – 2015)



# Posicionamento da ZCIT e TSM

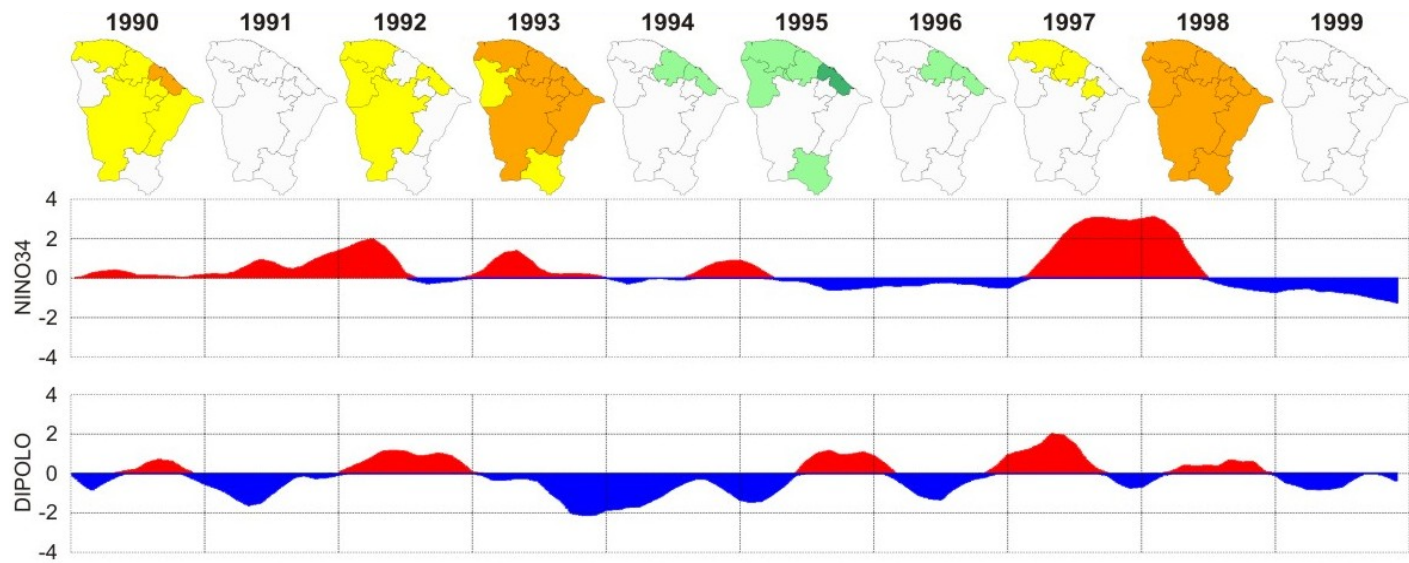


Jan

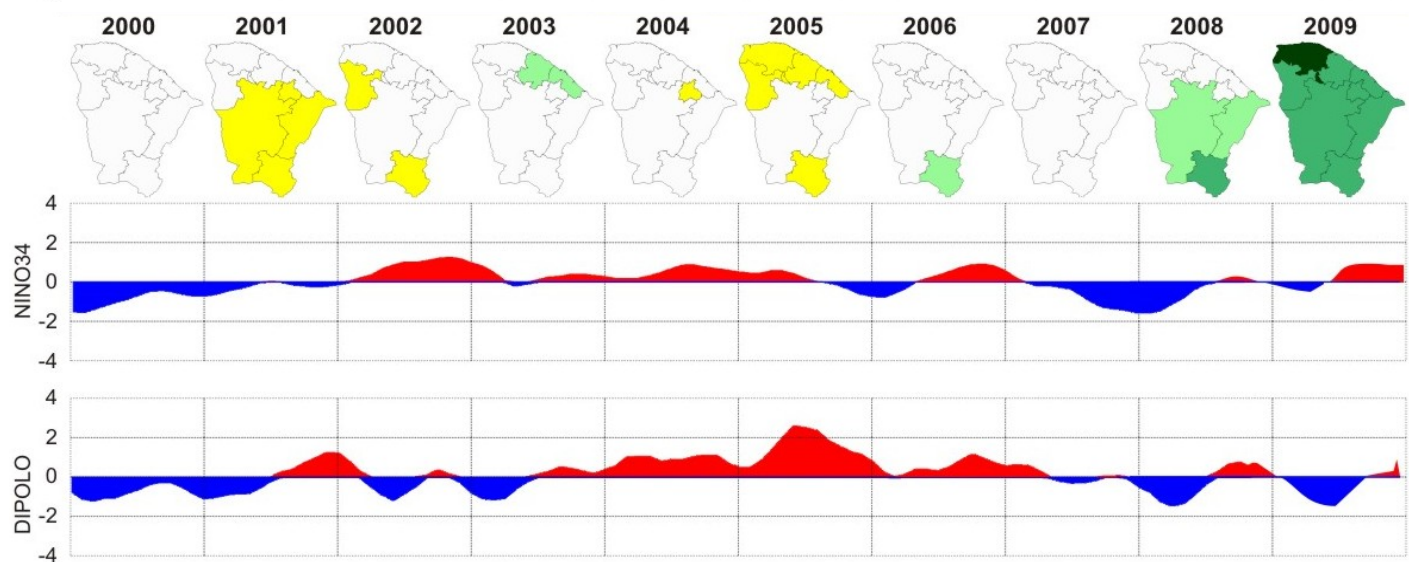


# Variabilidade do Regime de Chuvas e Índices Climáticos

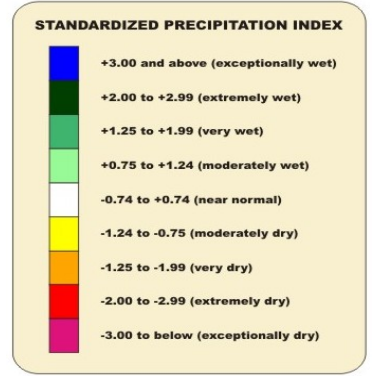
De 1990 a 1999



De 2000 a 2009

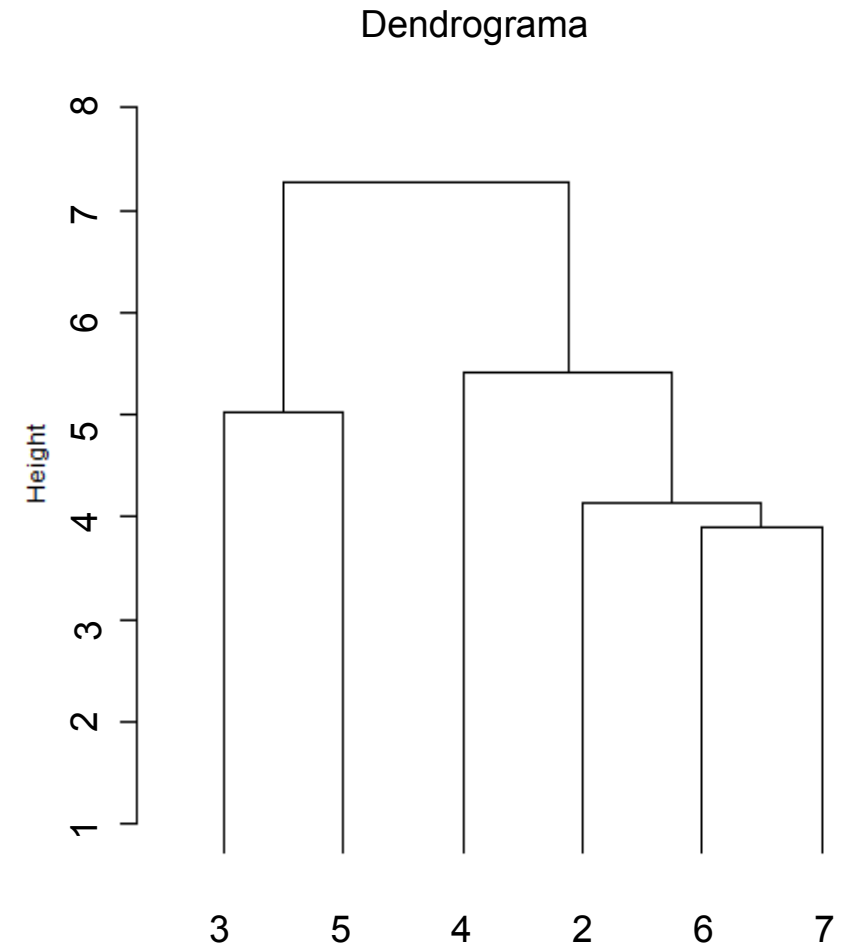
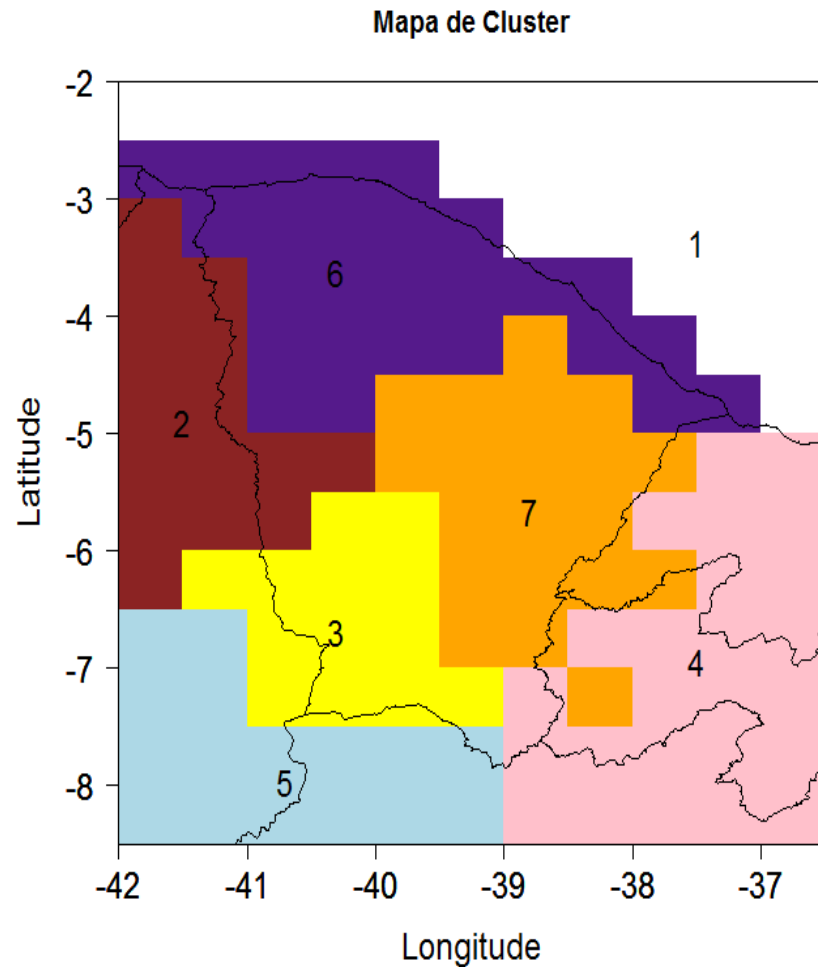


## REGIÕES

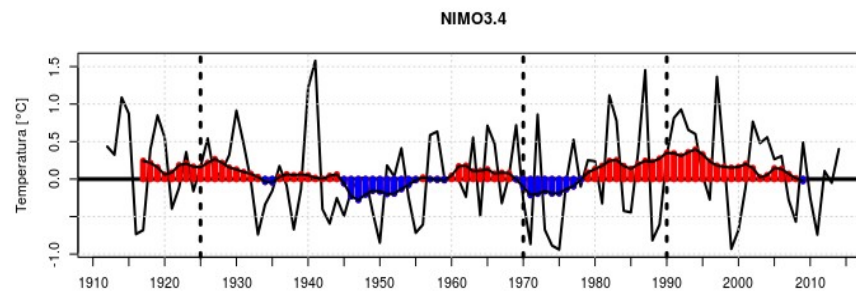
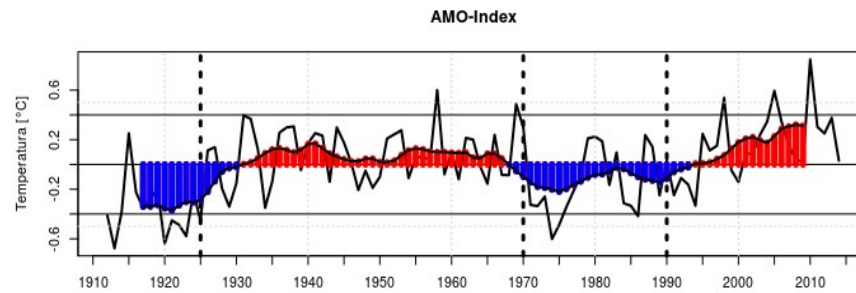
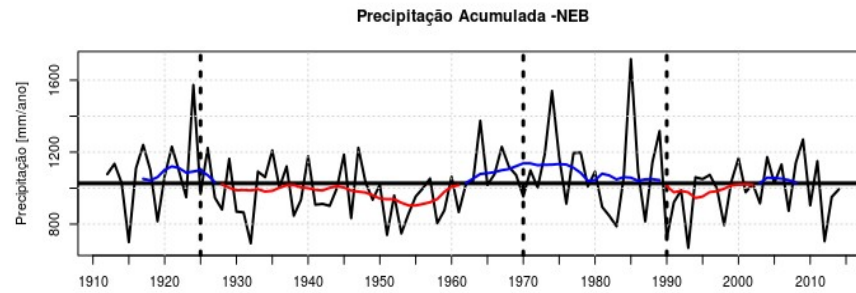
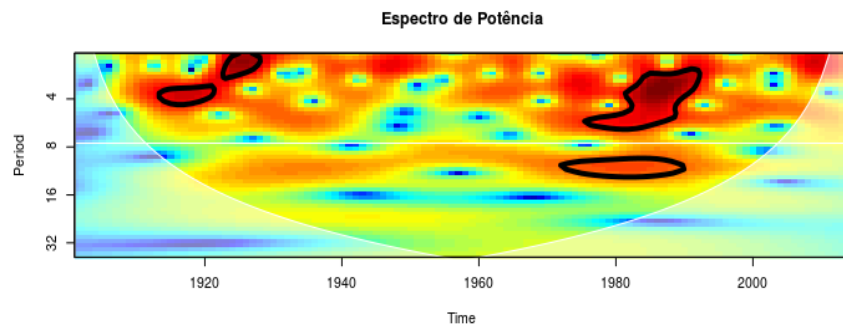
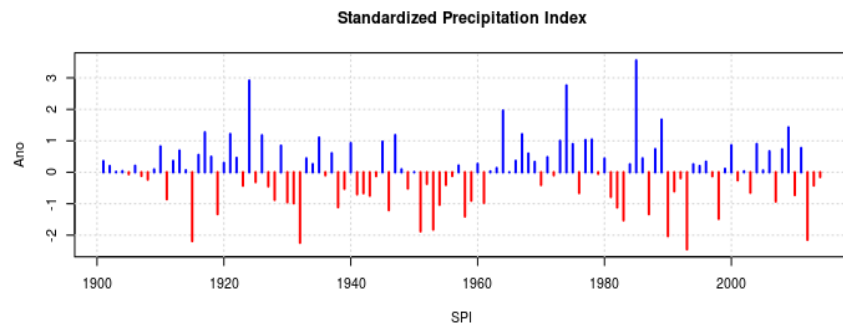
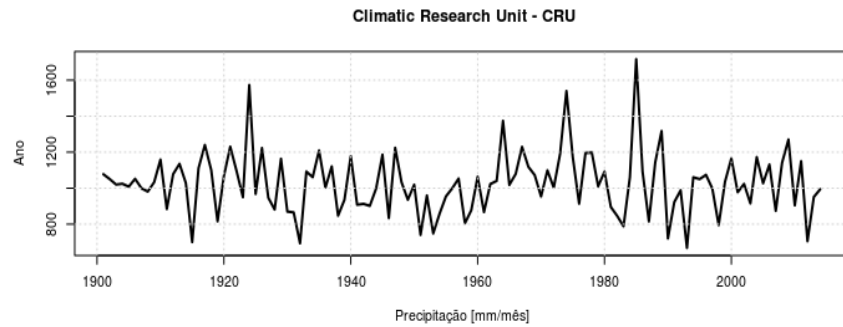


# MODOS DE VARIAÇÃO

SPI: CLUSTERS  
CEARÁ

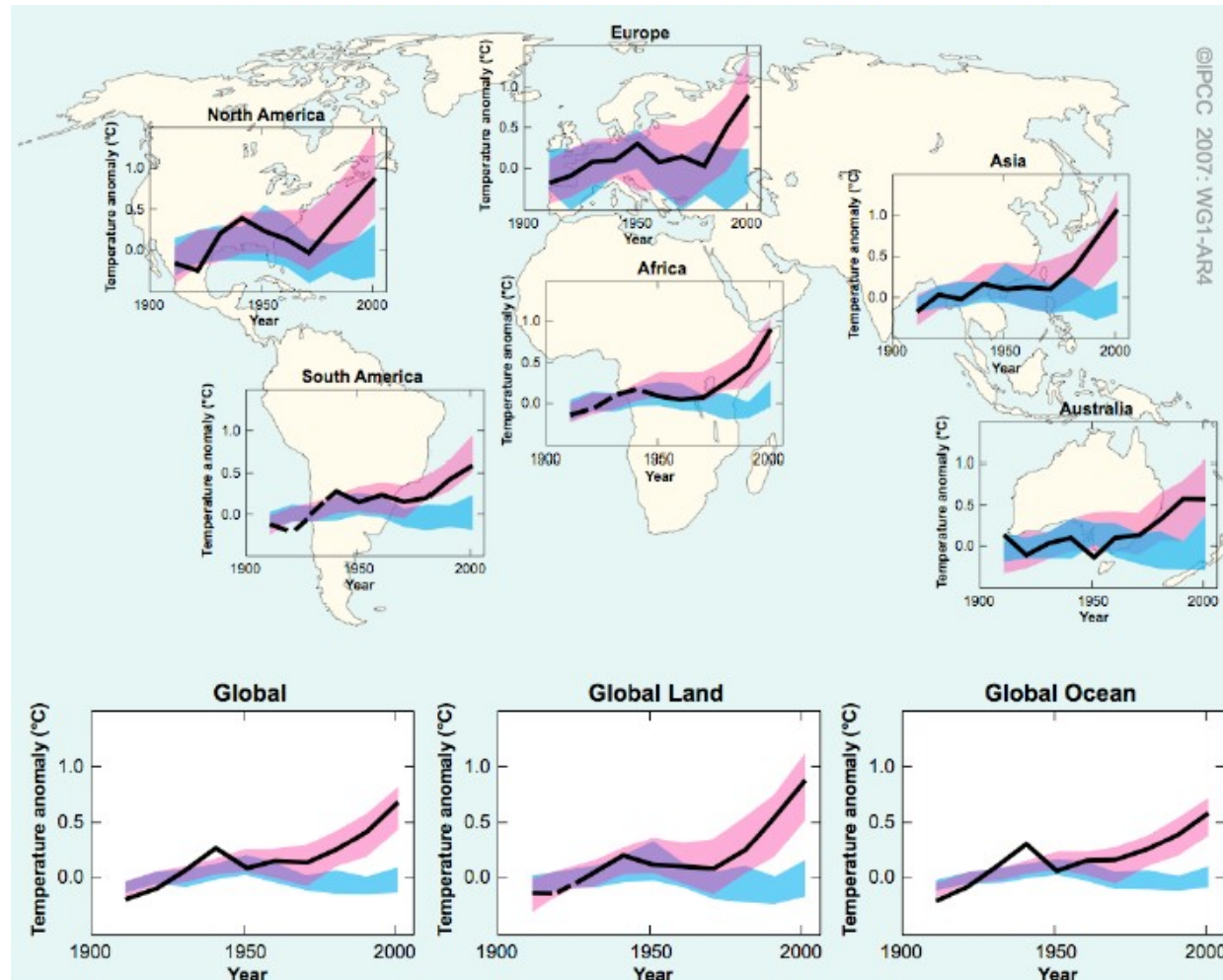


# MODOS DE VARIAÇÃO



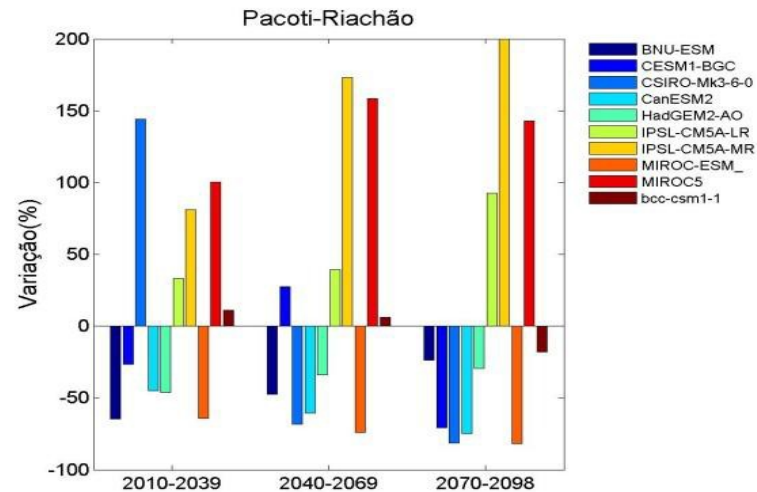
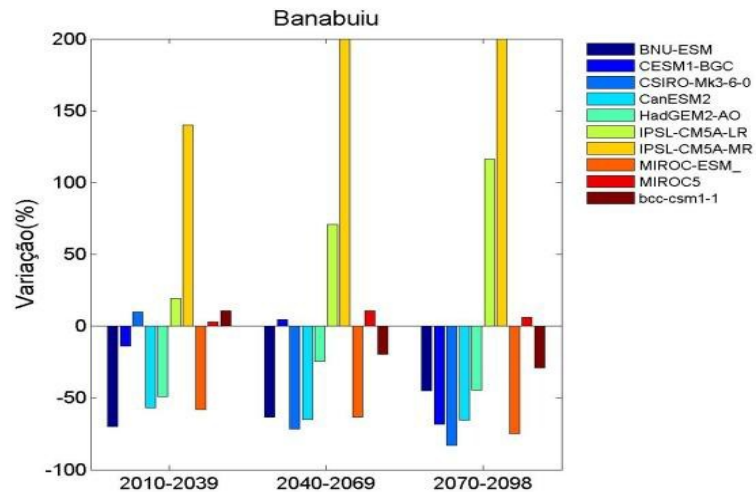
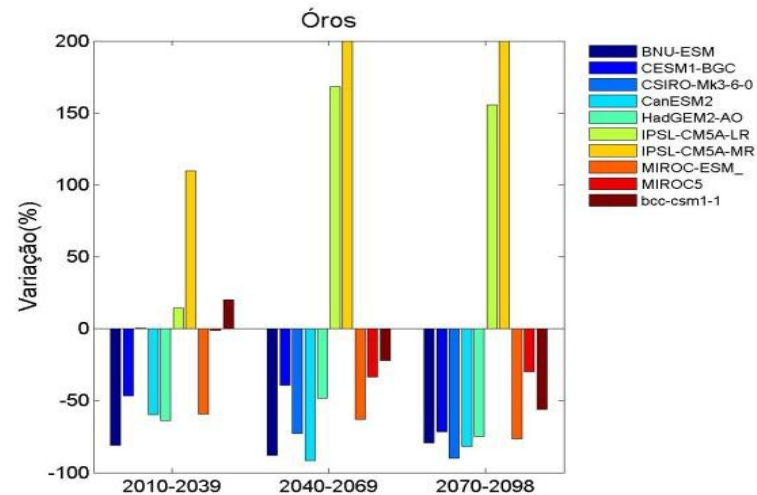
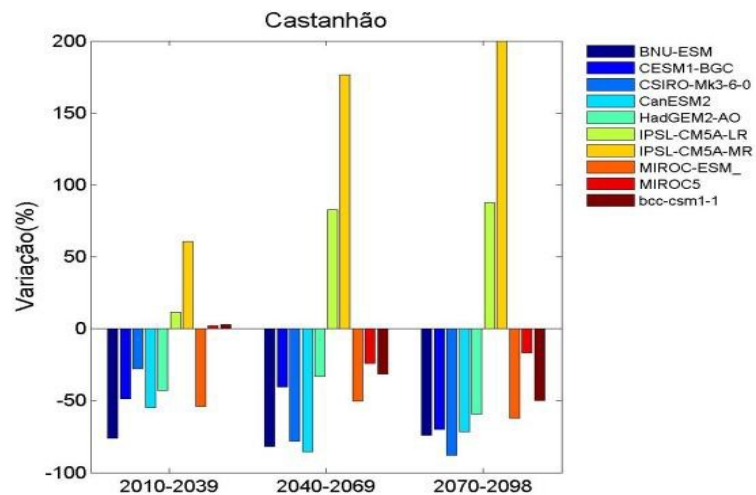
Análise de Baixa Frequência

# MUDANÇAS CLIMÁTICAS



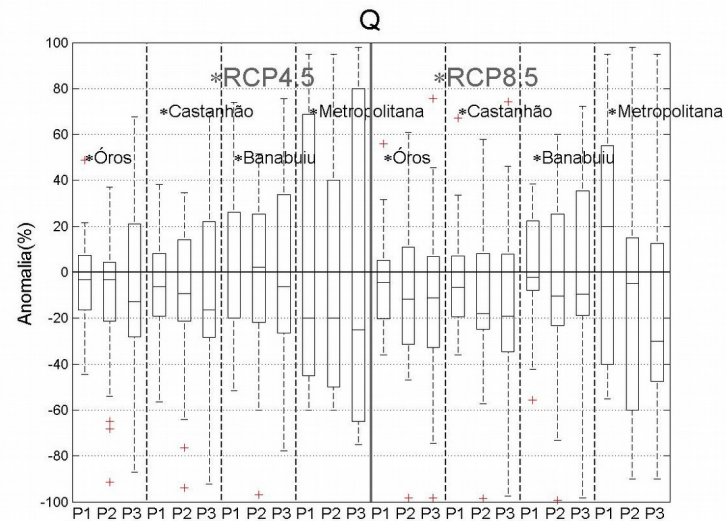
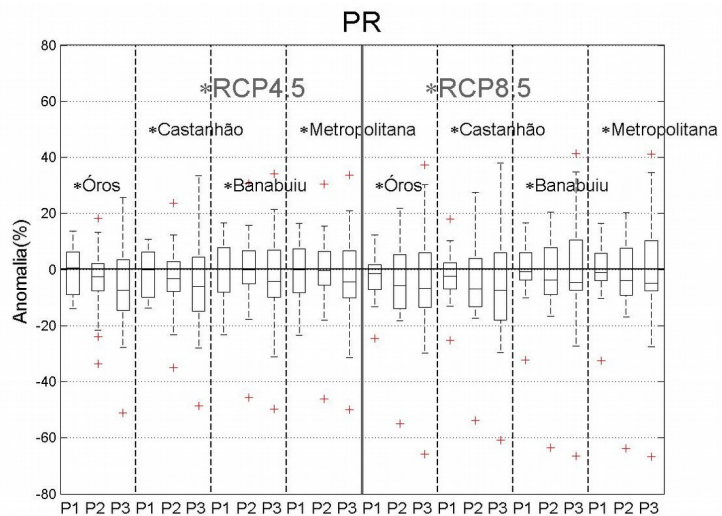
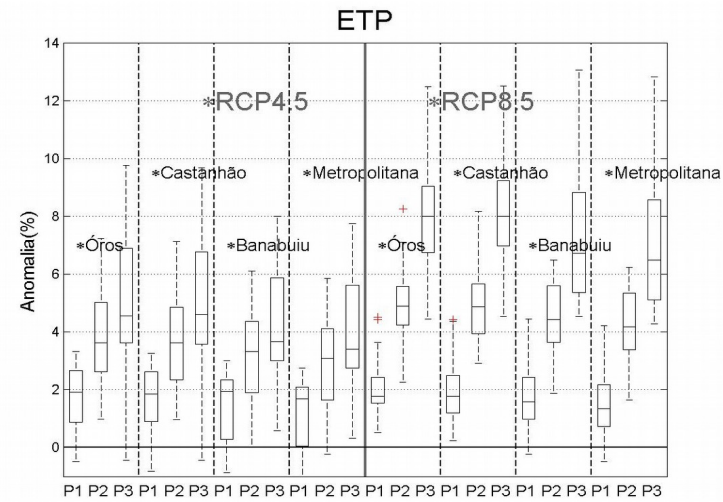
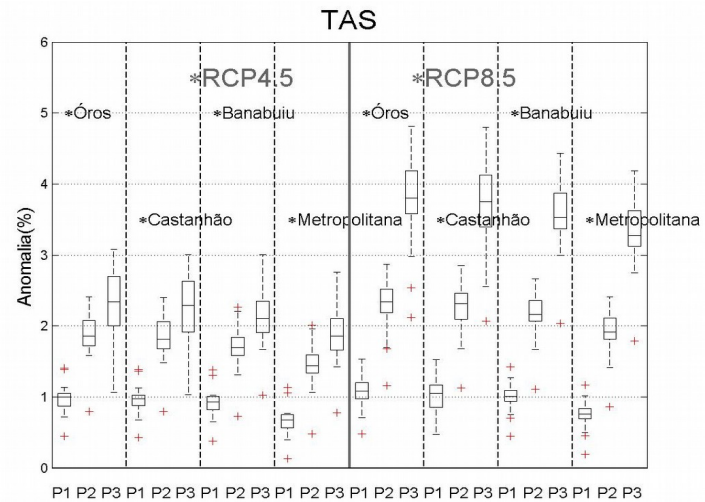
Mudança na temperatura global e continental

# MUDANÇAS CLIMÁTICAS E NÃO ESTACIONARIEDADE DAS SÉRIES DE VAZÕES



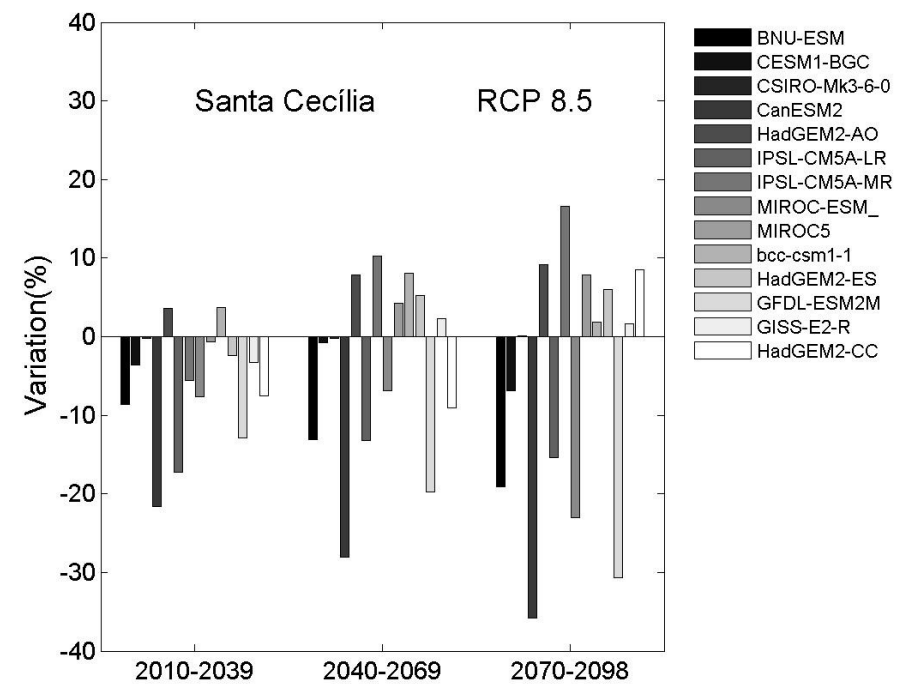
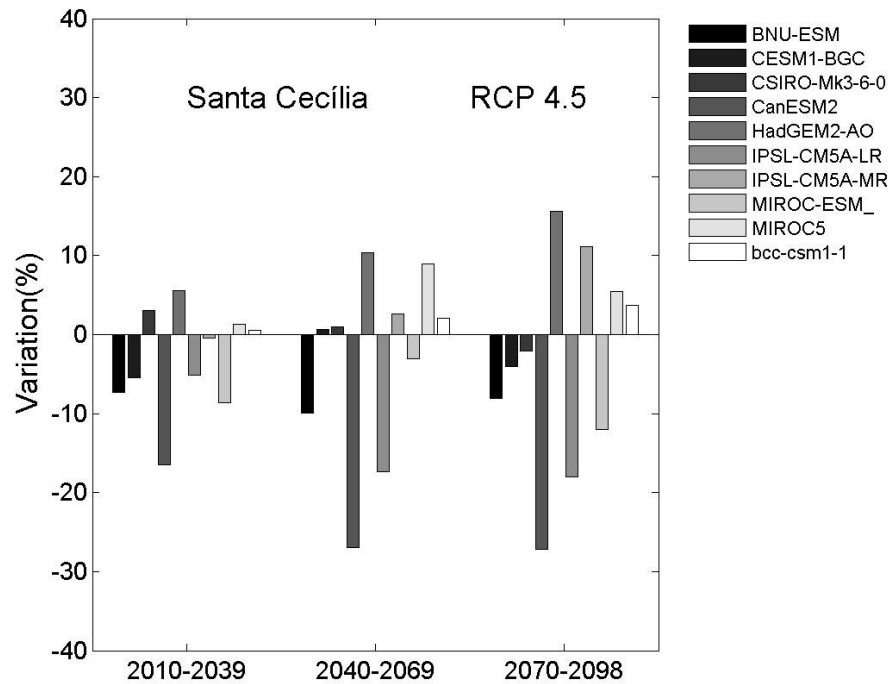
Variação percentual na média anual de vazões no século XXI para os modelos do CMIP5 para o cenário RCP4.5

# MODOS DE VARIAÇÃO



MUDANÇA  
CLIMÁTICA:  
CEARÁ (SISTEMA  
JAGUARIBE-  
METROPOLITANO)

# MODOS DE VARIAÇÃO

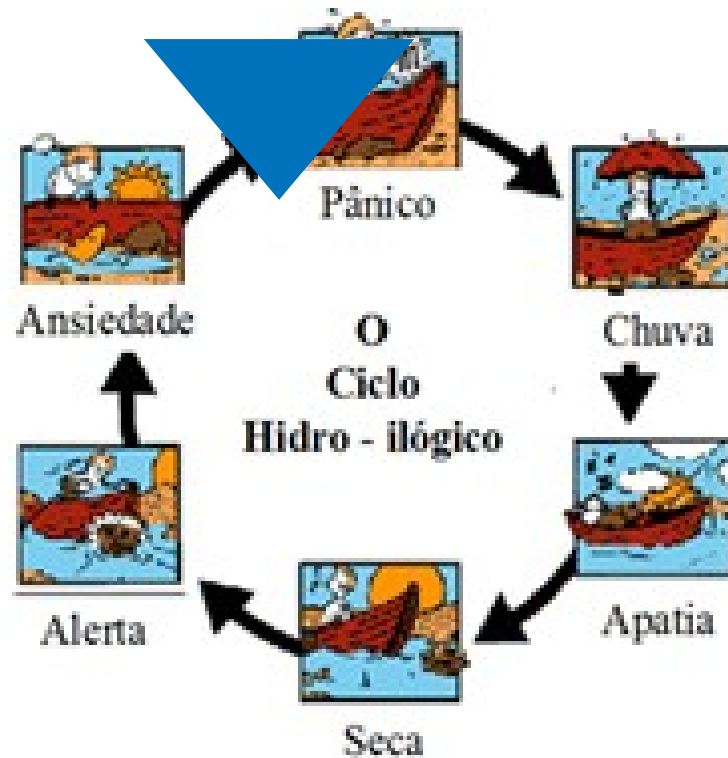


MUDANÇA CLIMÁTICA: PARAÍBA DO SUL (SANTA CECÍLIA)

# PLANEJAMENTO DE SECAS



# ARCABOUÇO CONCEITUAL

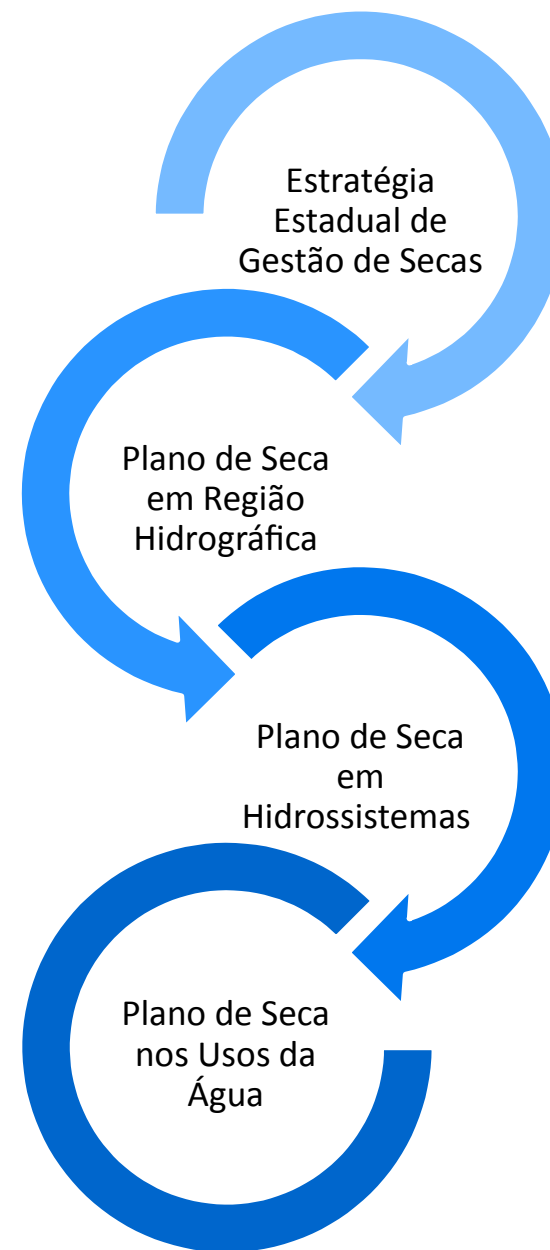


Fonte: Adaptado de Wilhite *et al.* (2005)



Fonte: Adaptado de Wilhite *et al.* (2000)

# ESTRATÉGIA GERAL

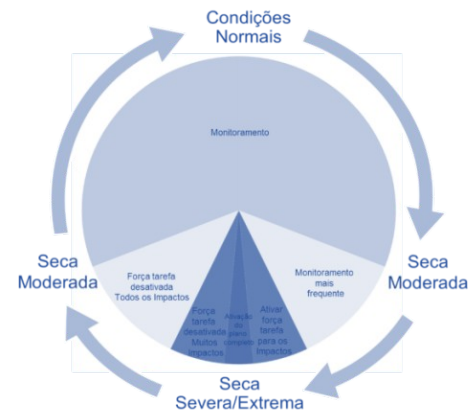


# Plano operacional de gestão de secas em Regiões Hidrográficas

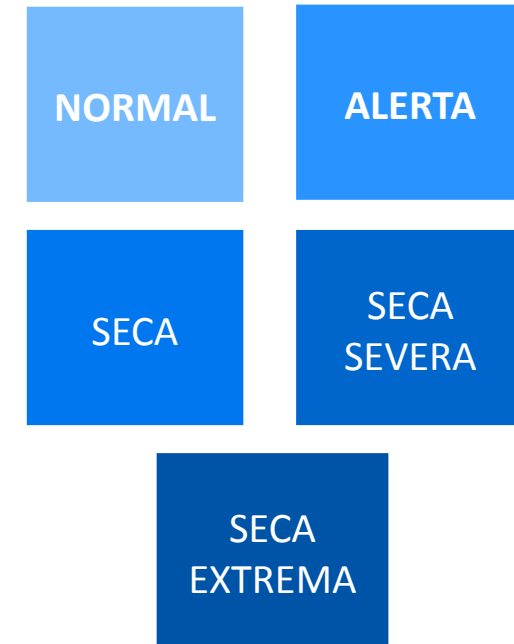
## REUNIÃO DE ALOCAÇÃO



## ESTADOS DE SECA



## MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

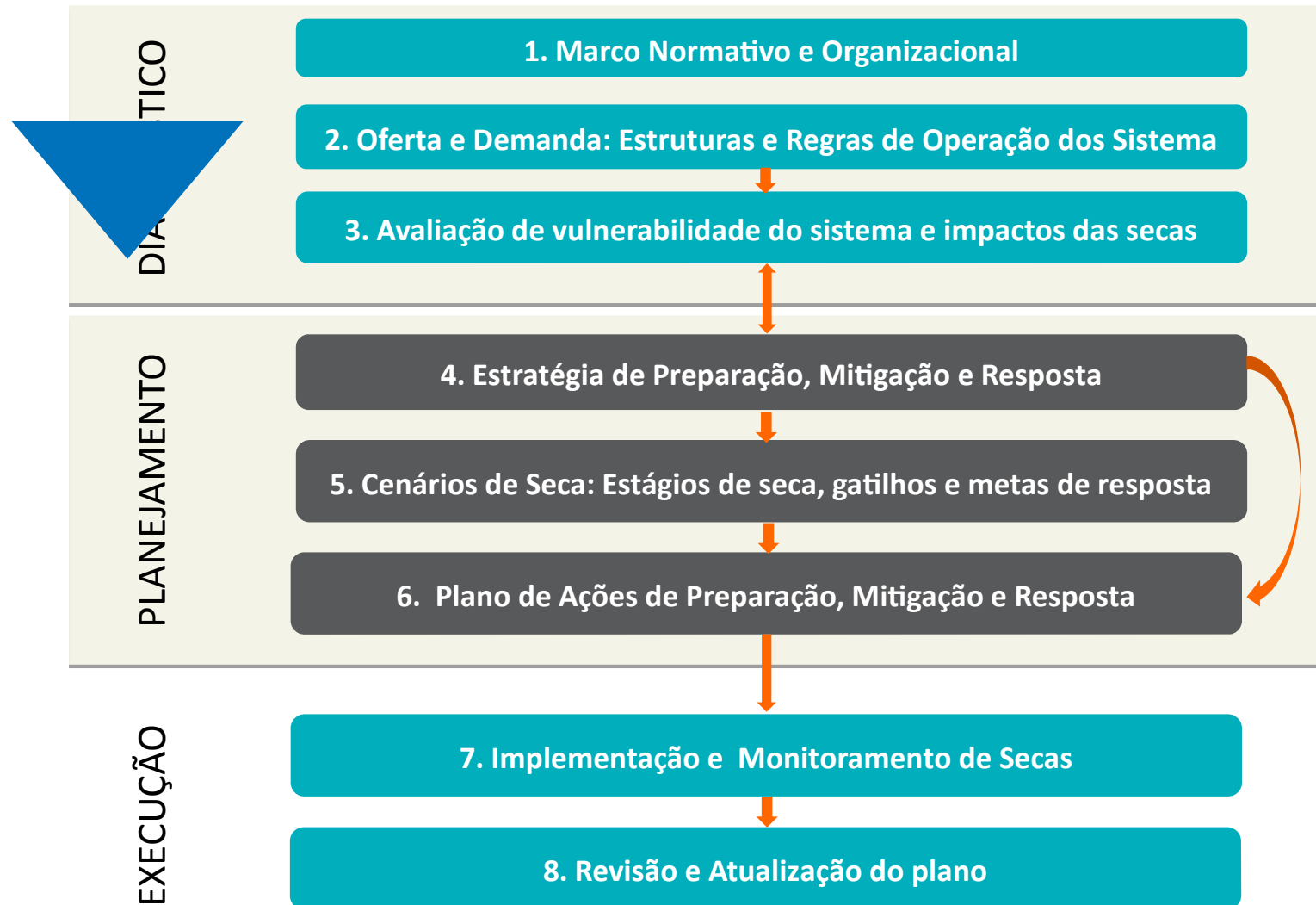


# Plano operacional de gestão de secas em Regiões Hidrográficas

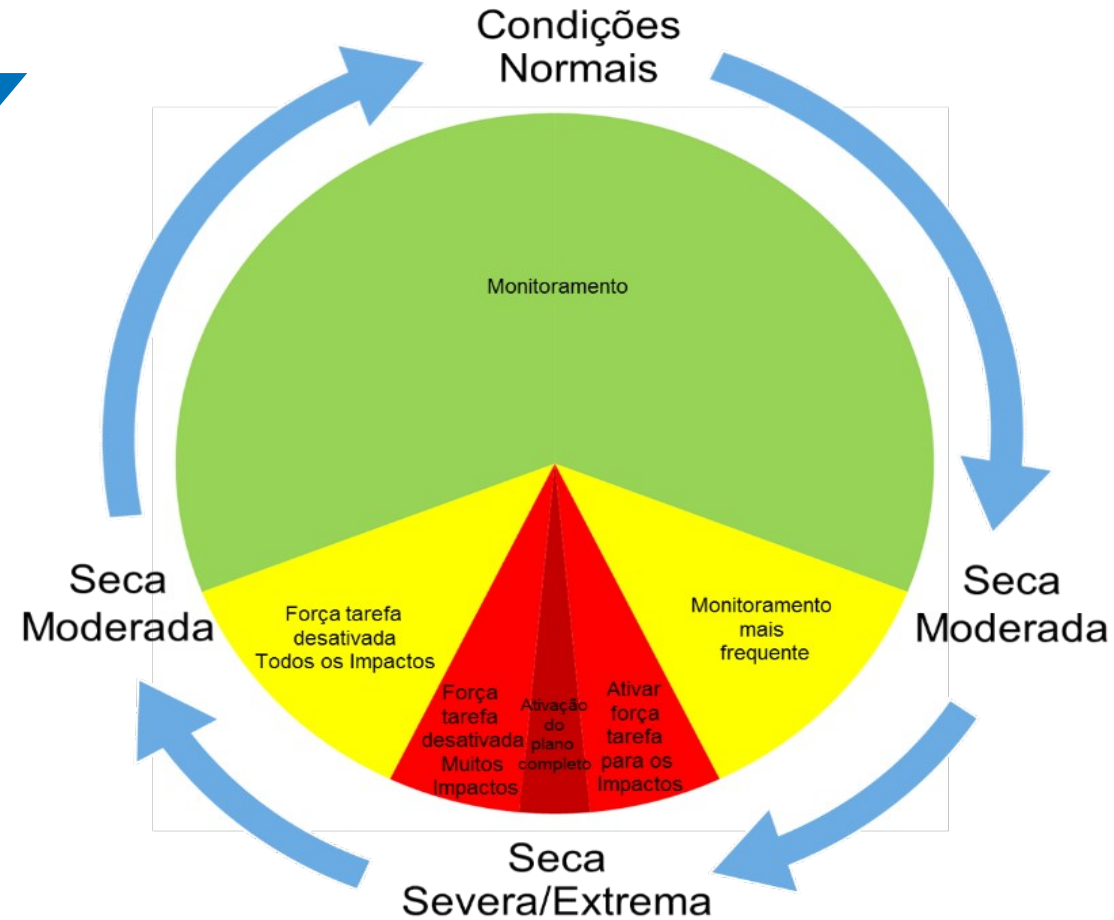


1. Definição e Alocação de Água no Período Seca entre os diversos Usos
2. Regras de operação do sistema no período seco
3. Estabelecimento de Mecanismos de Gerenciamento de Conflito
4. Mecanismo de fiscalização e sanção para Infratores
5. Ações de resposta para reduzir impacto das secas
6. Plano de Mitigação do impacto das secas que reduzam as vulnerabilidades e riscos do sistema (PLANO DE SEGURANÇA HÍDRICA – PLANO DE BACIA)

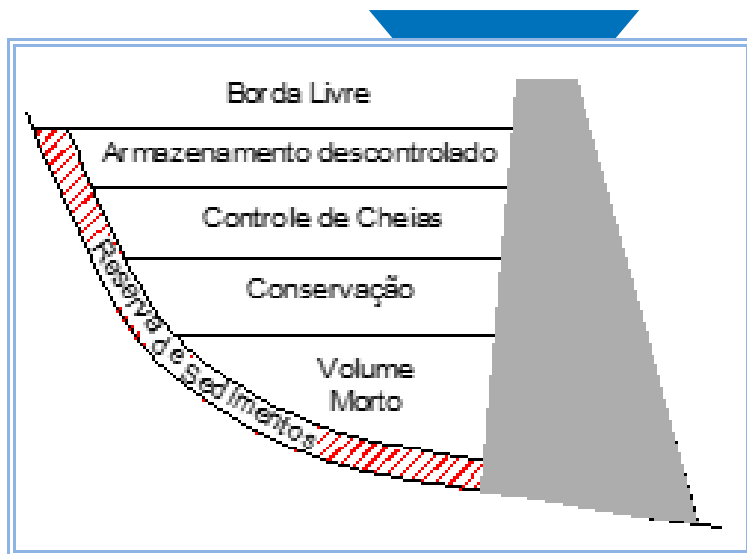
# ETAPAS METODOLÓGICAS DO PLANEJAMENTO



# MONITORAMENTO E ALERTA PRECOCE



# OPERAÇÃO DE RESERVATÓRIOS



Modelo Operação Reservatórios

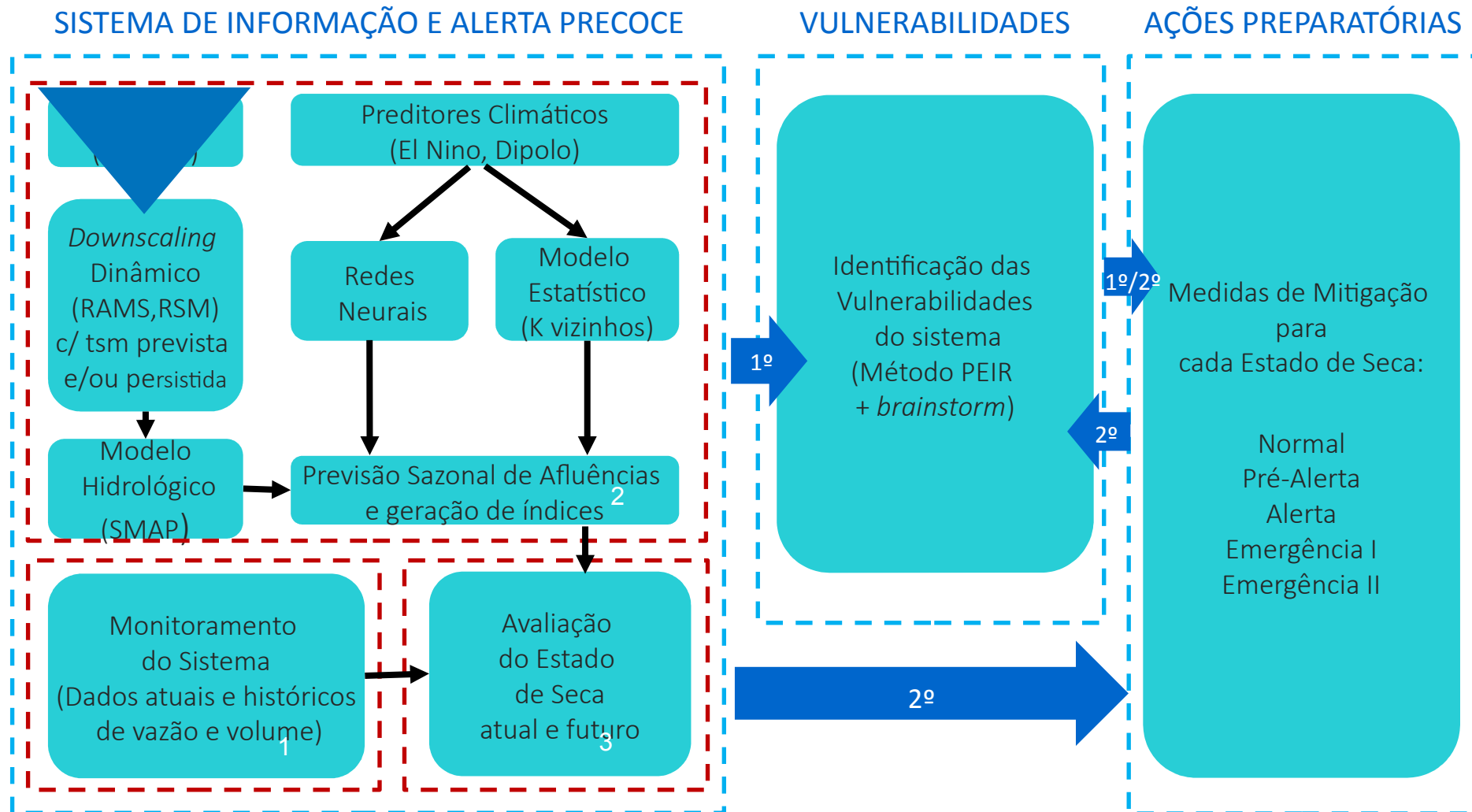
Transferência entre sistemas 5 Níveis

Modelo Agregado  
Operação com salvaguarda

		Metropolitano				
		Normal	Alerta	Seca	Seca Severa	Seca Extrema
Jaguaripe	Normal	T0	T2	T3	T4	T5
	Alerta	T0	T2	T3	T4	T4
	Seca	T0	T2	T3	T3	T3
	T0	T2	T2	T2	T2	
	T0	T1	T1	T1	T1	

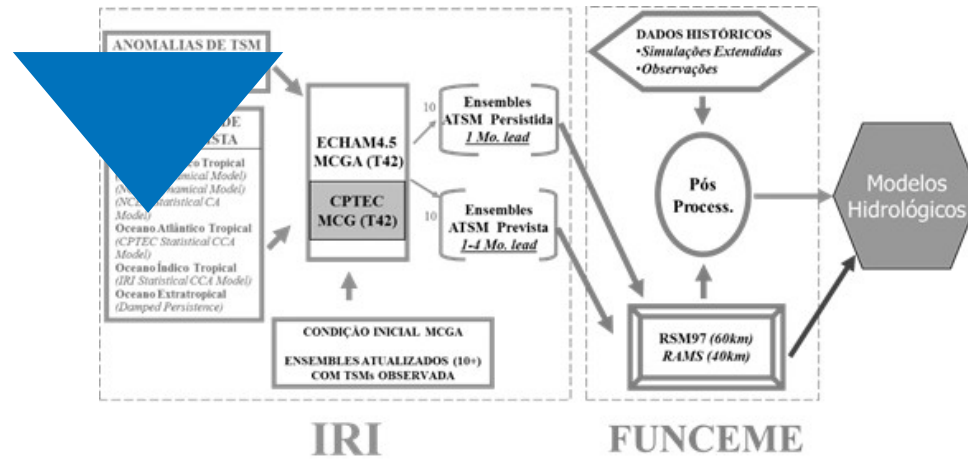
T0 = 0 m<sup>3</sup>/s; T1 = 3 m<sup>3</sup>/s; T2 = 6 m<sup>3</sup>/s; T3 = 9 m<sup>3</sup>/s; T4 = 12 m<sup>3</sup>/s; T5 = 15 m<sup>3</sup>/s

# Sistema de Gerenciamento de Secas

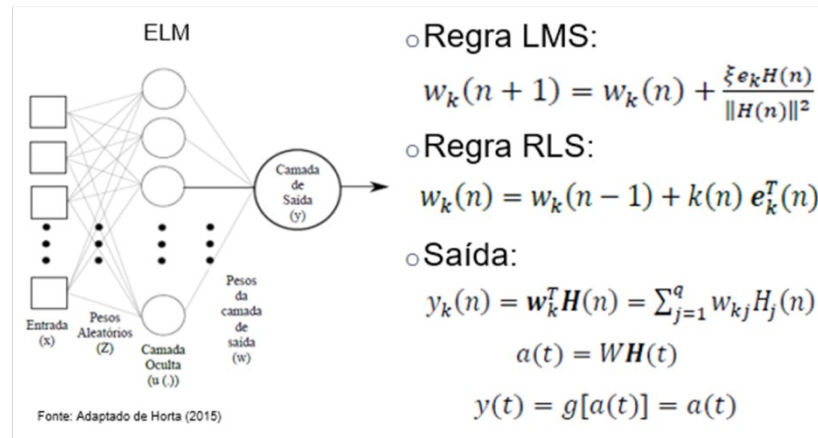


# Sistema de Gerenciamento de Secas

Downscaling dinâmico acoplado a um modelo chuva-vazão



Método de RNN-MISO:



Método dos k-vizinhos(Souza Filho e Lall, 2003):

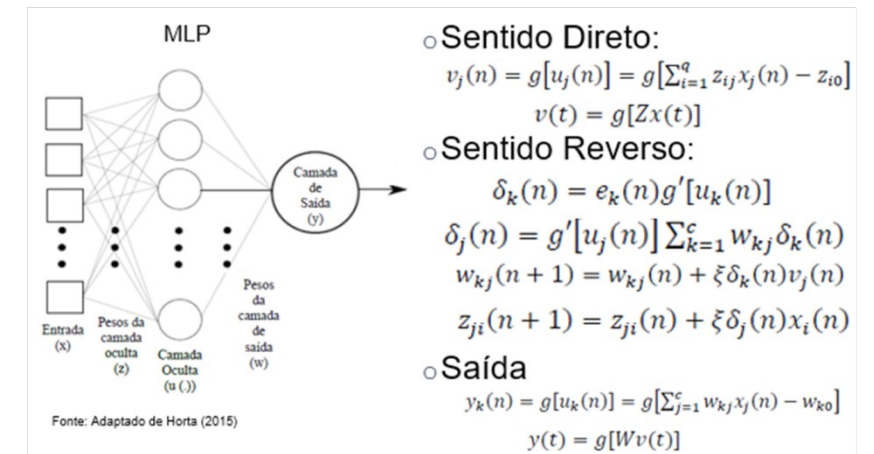
- Esquema de reamostragem condicional:

$$Q = X_1\beta_1 + X_2\beta_2 + X_3\beta_3 + \xi$$

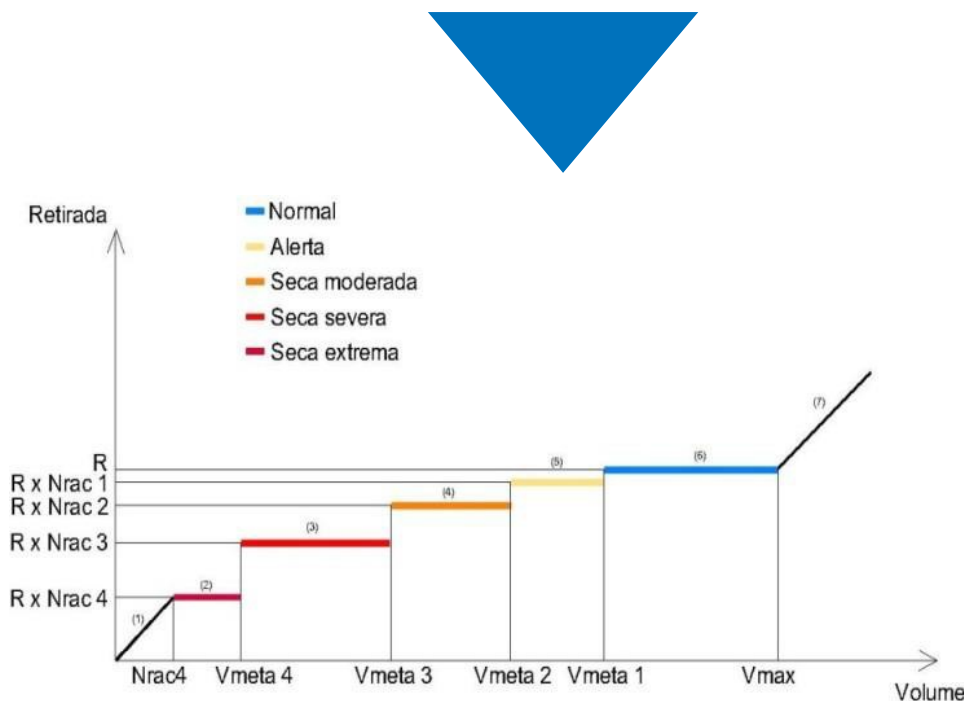
- Obtenção dos coeficientes da regressão pela técnica *pooled regression*;
- Usada na identificação do peso do cálculo da distância entre o ano de previsão e o ano da série histórica

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^3 [(x_i^* - x_{i,j})\beta_j]^2}$$

Método de RNN-MISO:



# APLICAÇÃO



Gatilhos

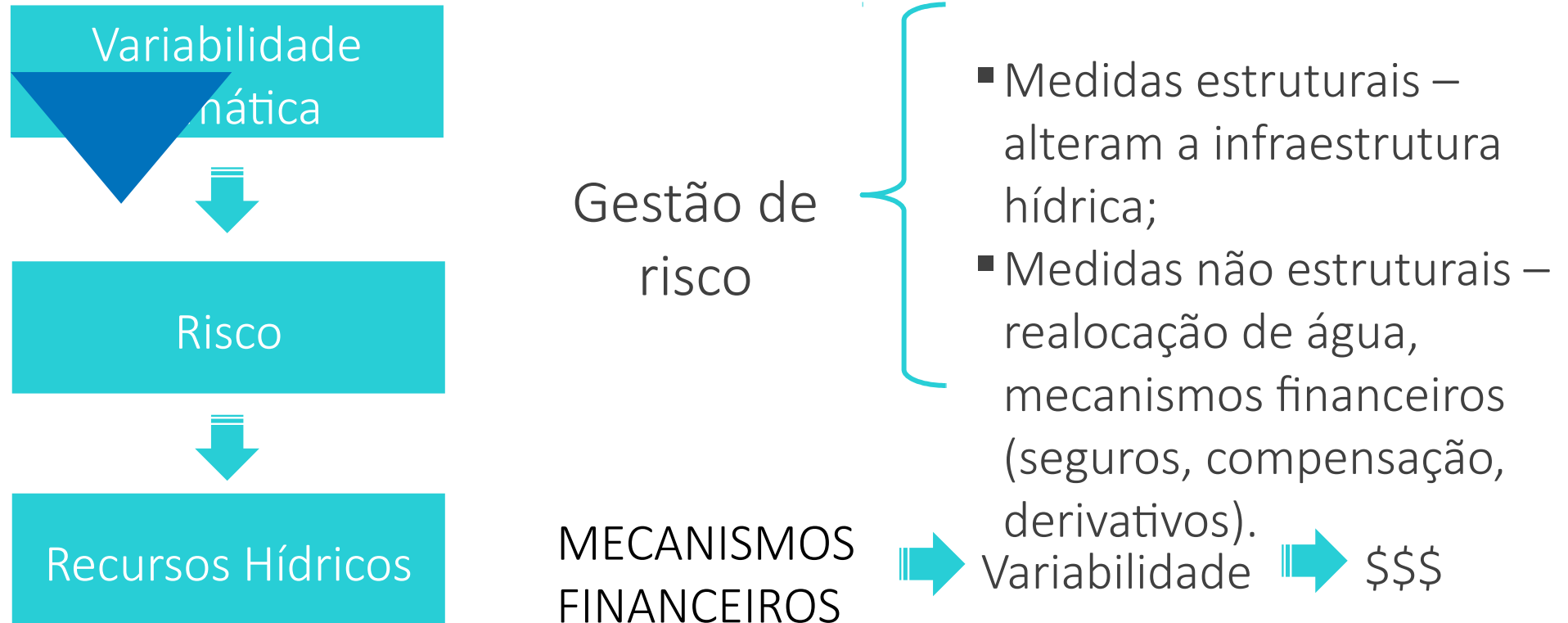
Estado	Classe	Tipo de Ação	Descrição	Responsável	Prioridade
ALERTA	Medidas de Monitoramento e preventivas	Avaliação periódica do consumo das localidades: disponibilidade quantitativa e qualitativa	Avaliar o problema do consumo em cada localidade inter-relacionando a disponibilidade hídrica com suas peculiaridades socioeconômicas e geambientais (aumento/redução tarifária e racionamento).	CAGECE/COGERH	1
		Monitoramento da qualidade de água bruta	A ação de monitoramento é uma intensa atividade para acompanhar, vigiar e simultaneamente avaliar o ambiente com vistas a estabelecer diagnóstico de situação.	COGERH	1
		Monitoramento da qualidade de água tratada	Esta ação visa monitorar constantemente a qualidade da água e avaliar o seu uso para consumo humano evitando a disseminação de doenças de veiculação hídrica.	CAGECE	1
		Monitoramento dos parâmetros hidrometeorológicos	Esta ação é necessária para avaliar a recarga dos reservatórios	COGERH/FUNCEME	1
		Inventário das fontes alternativas de abastecimento	O levantamento dessas fontes é significativo para o suprimento hídrico da população bem como para maximizar a eficiência do sistema hídrico.	SRHC/COGERH	2
	Medidas de gestão e operação do sistema	Medidas para melhorar a eficiência da operação do sistema com redução de perdas aparentes e reais no sistema de água bruta e tratada	Essas medidas podem estar relacionadas com a redução de perdas no transporte e distribuição e com a implementação de hidrômetros. As perdas aparentes estão relacionadas com o consumo não autorizado (fraudes e filhas de cadastro) e imprecisão dos hidrômetros. Enquanto que, as perdas reais estão associadas a vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição, vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetros bem como, vazamentos e extravazamentos nos aquedutos e reservatórios de distribuição.	CAGECE/COGERH	1
		Funcionamento integrado e equilibrado das várias fontes de abastecimento	A integração deve cobrir todos os corpos de água doce, incluindo tanto águas de superfície como subterâneas considerando os aspectos quantitativos e qualitativos. Nesta ação inclui a manutenção de fontes alternativas de abastecimento.	SRHC/COGERH	2
		Interrupções Noturnas	Essa é uma das formas de reduzir o consumo de água e evitar a utilização de novas fontes de abastecimento que, muitas vezes, pode gerar prejuízos ambientais de grande alcance.	CAGECE	1
		Racionamento/Reajuste de tarifa/Transposição de bacias (Depende do sistema).	Tendo em vista o possível colapso no sistema abastecimento de água das cidades, o racionamento/reajuste de tarifa/transposição de bacias é uma medida essencial para a manter a disponibilidade hídrica.	CAGECE	1

Ações de mitigação e resposta

# INSTRUMENTOS ECONÔMICOS

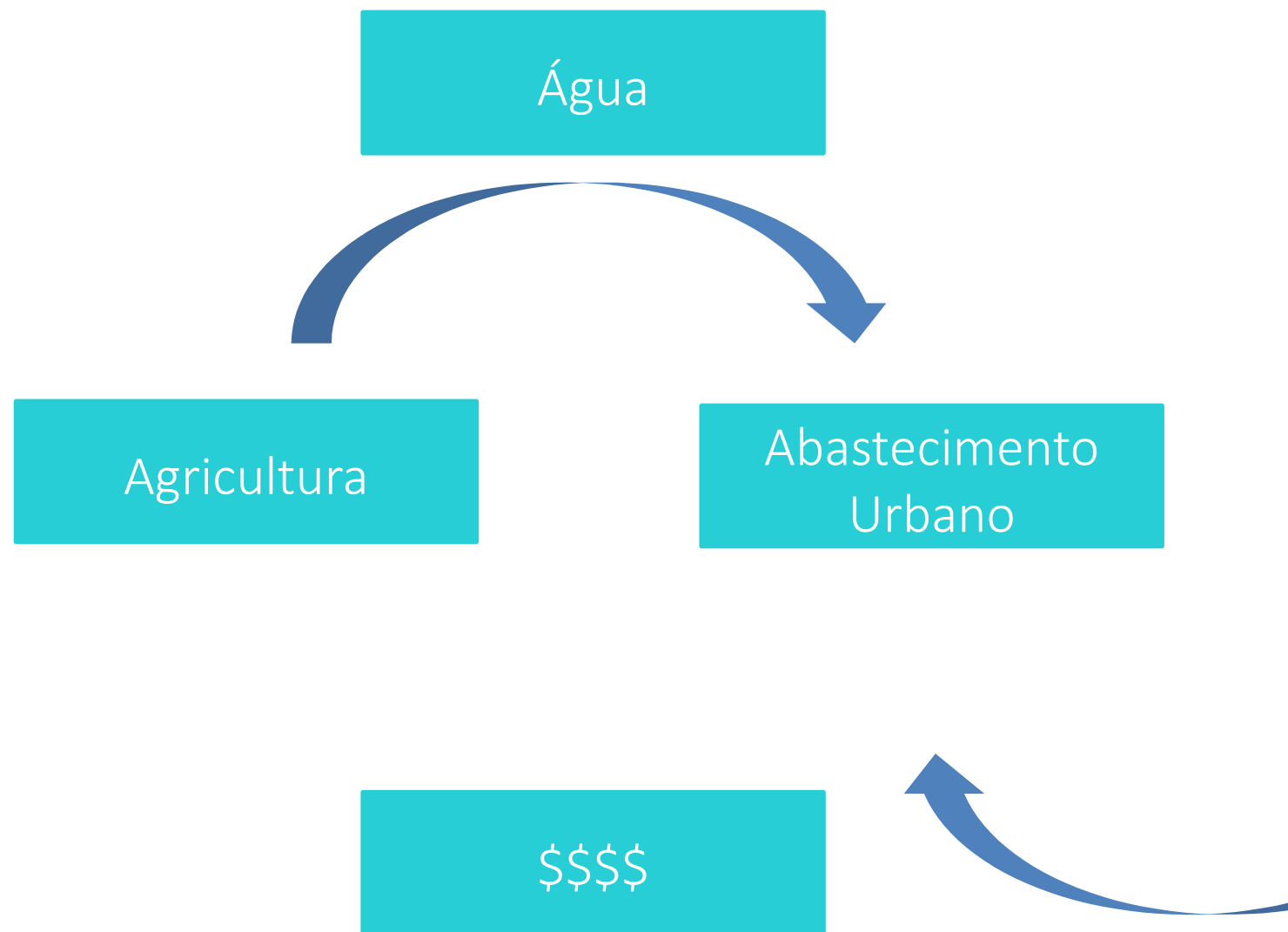


# INTRODUÇÃO

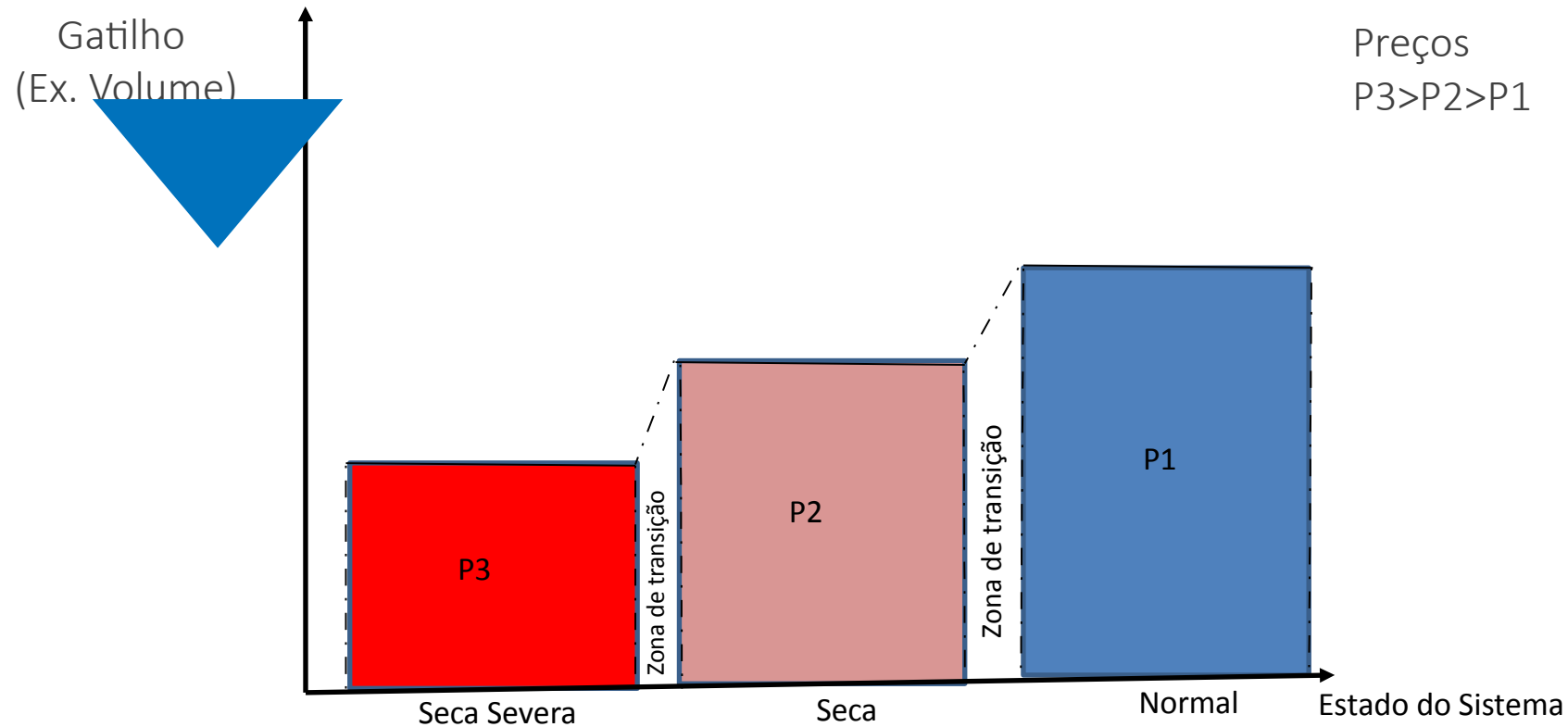


- Reconhecidos internacionalmente. No entanto, mais investigados para riscos de inundações.

# Modelo Conceitual da Compensação Financeira



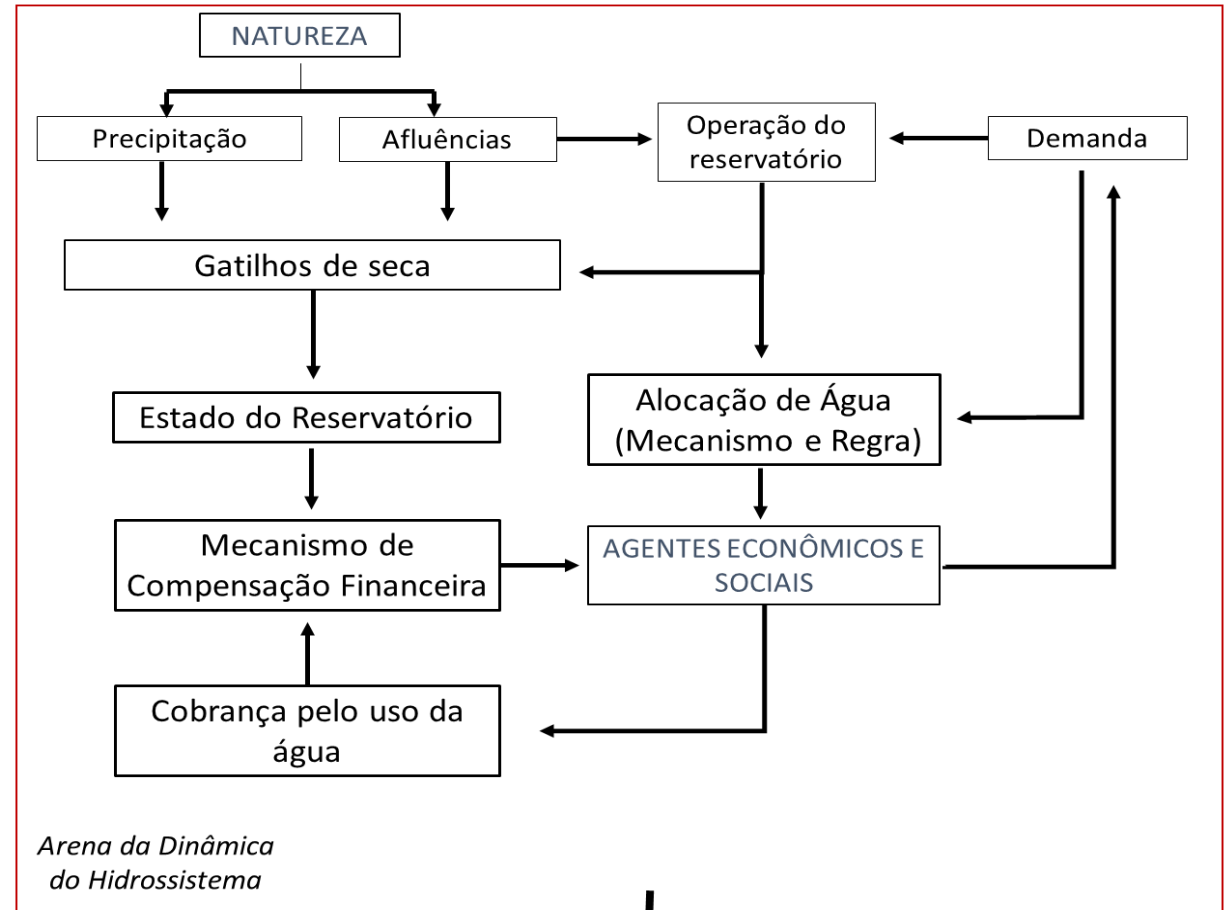
# SISTEMA DE TRÊS TARIFAS



Zona de Transição: Indicativo que o preço da água irá aumentar  
Alerta aos usuários (Ação: Comunicação)

# ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

- i) Situação de aplicação
- ii) Modelo de alocação de água
- iii) Análise da Transferência de Risco
- iv) Construção do Mecanismo de Compensação Financeira
- v) Avaliação do Desempenho do Sistema Hídrico
- vi) Elaboração do modelo de integração Cobrança-Compensação

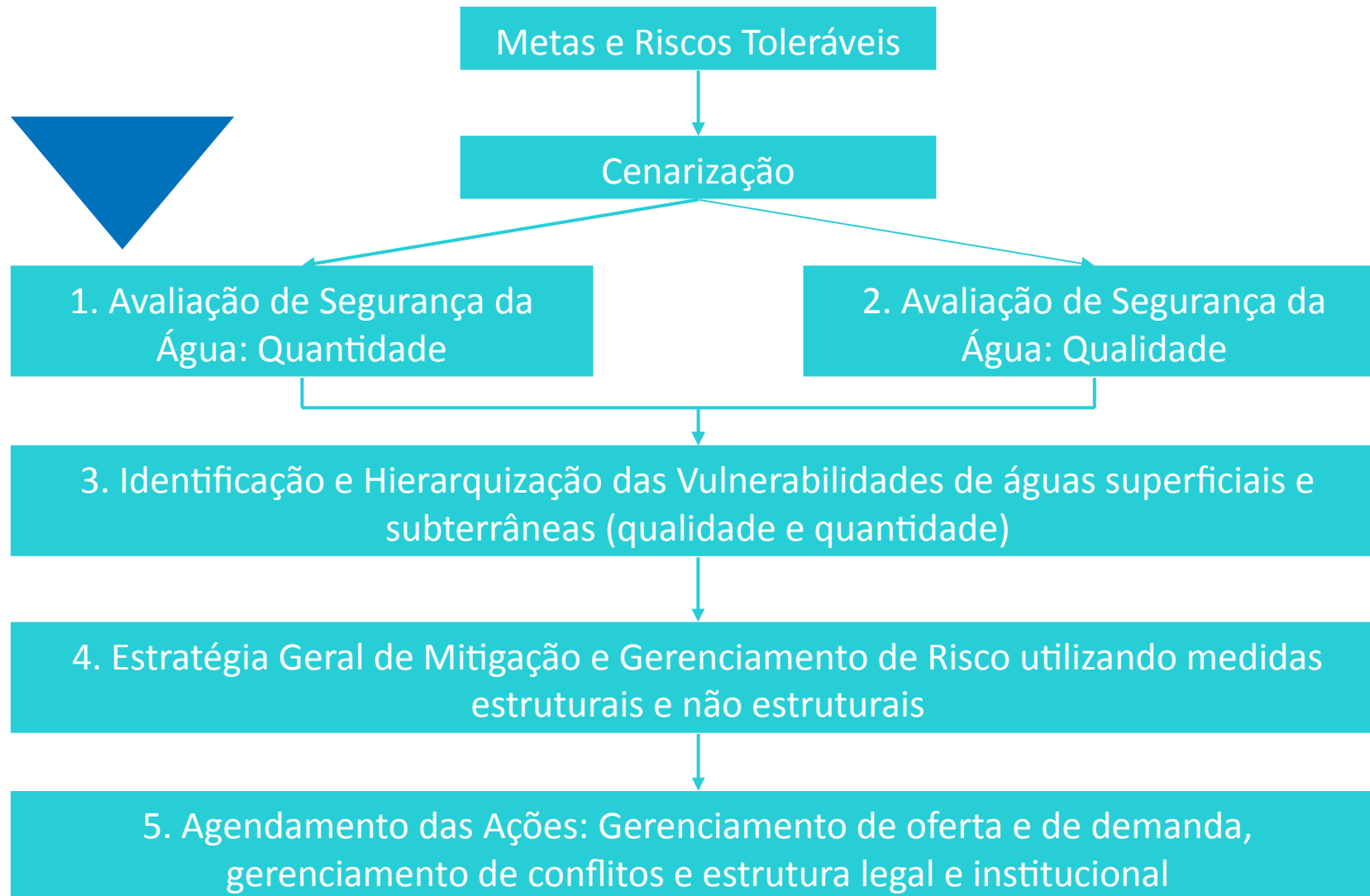


DESEMPENHO DO MECANISMO FINANCEIRO:  
Eficiência econômica  
Equidade (Justiça Alocativa)

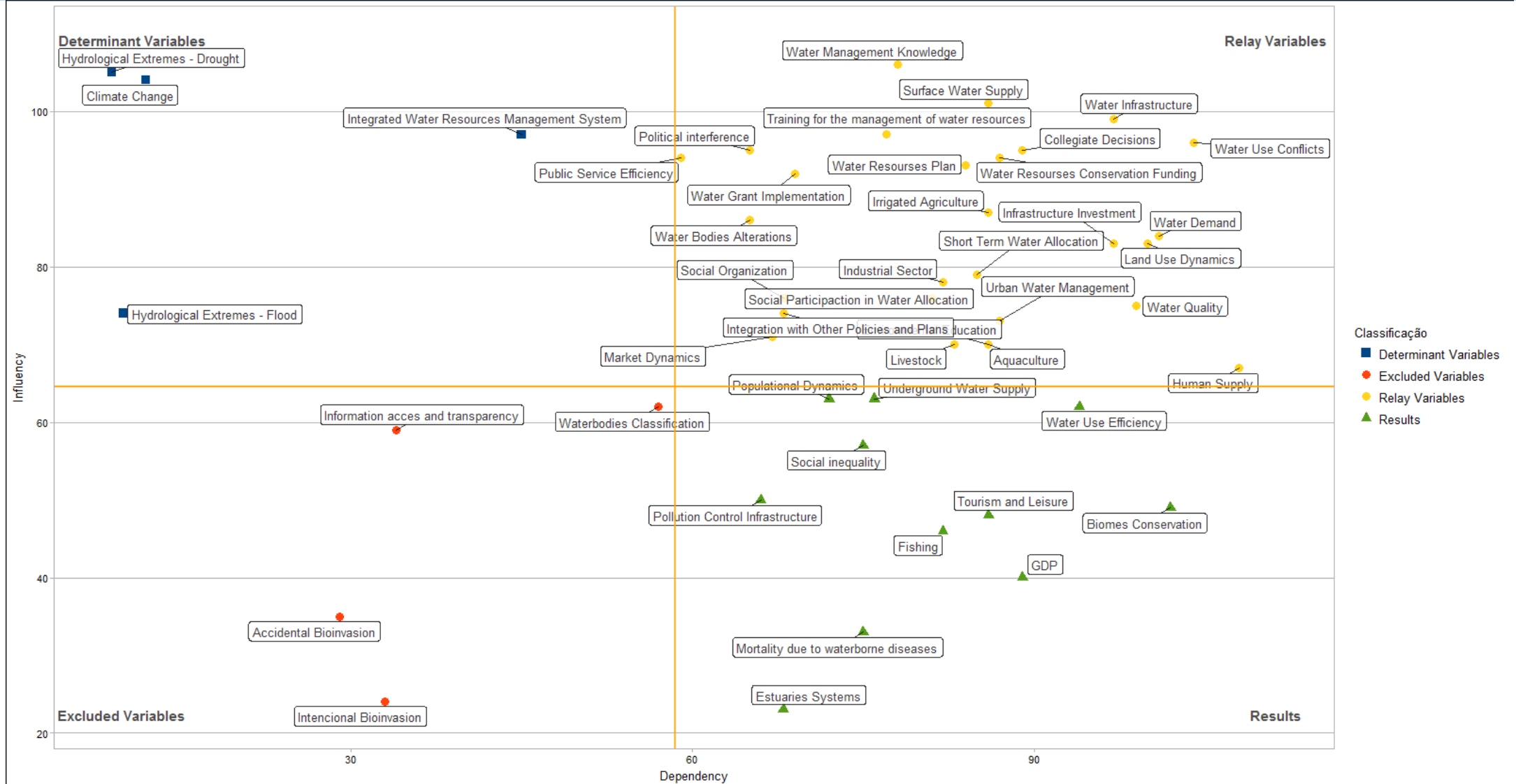
# PLANO DE SEGURANÇA HÍDRICA



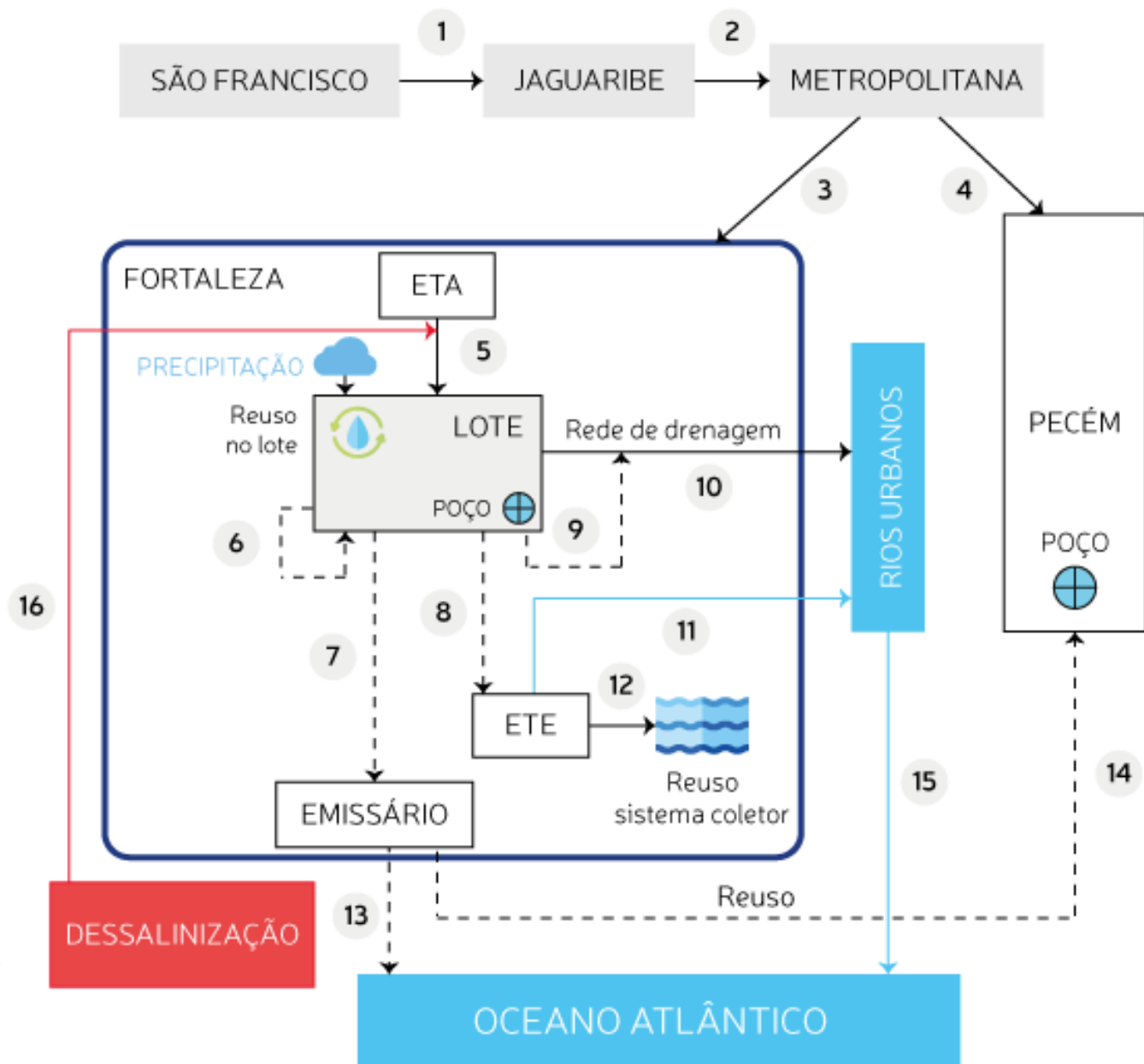
# PLANO DE SEGURANÇA HÍDRICA



# Escolha das Variáveis Chave (MICMAC)



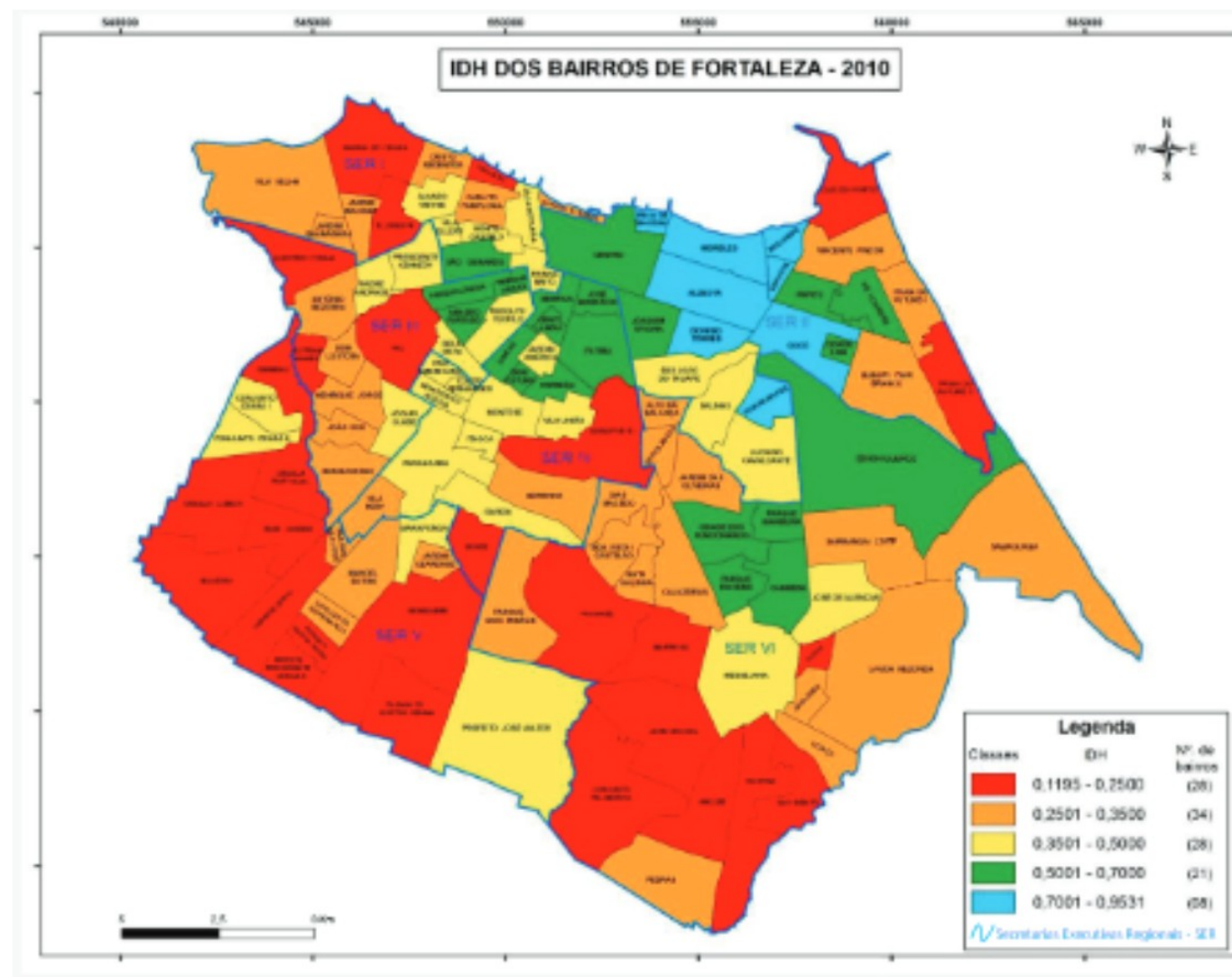
# SEGURANÇA HÍDRICA E ÁGUAS URBANAS



# ÁGUAS URBANAS



# DESIGUALDADE SOCIAL



# ÁGUAS EM AMBIENTE URBANO



# USO DA TERRA



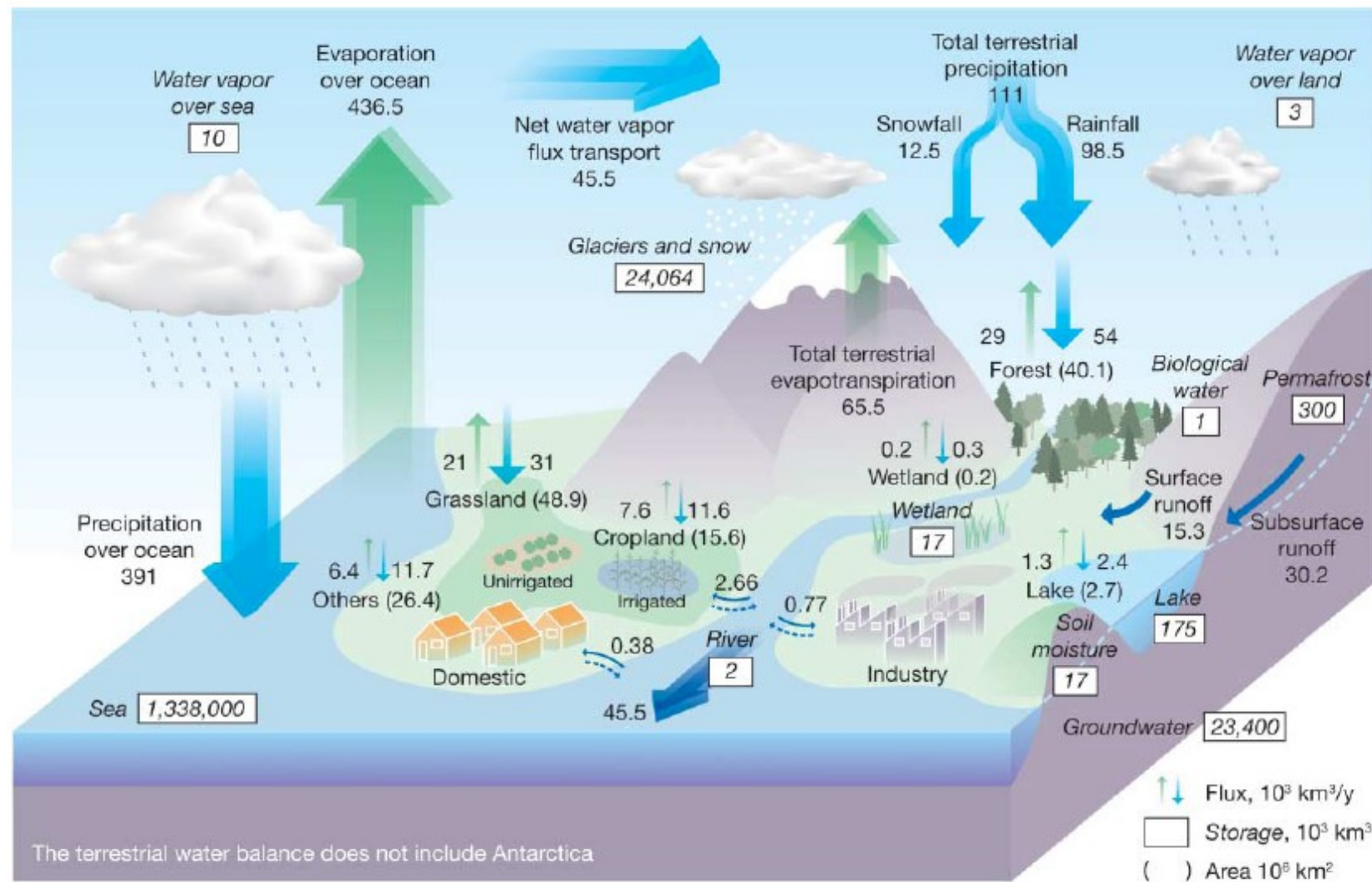
# USOS DA TERRA E PADRÕES DE ESCOAMENTO



# LIMITES NATURAIS



# CICLO HIDROLÓGICO GLOBAL



Tempo de Residência

25 AUGUST 2006 VOL 313 SCIENCE

Global Hydrological Cycles and World Water Resources

Taikan Oki<sup>1,2,3\*</sup> and Shinjiro Kanae<sup>4\*</sup>

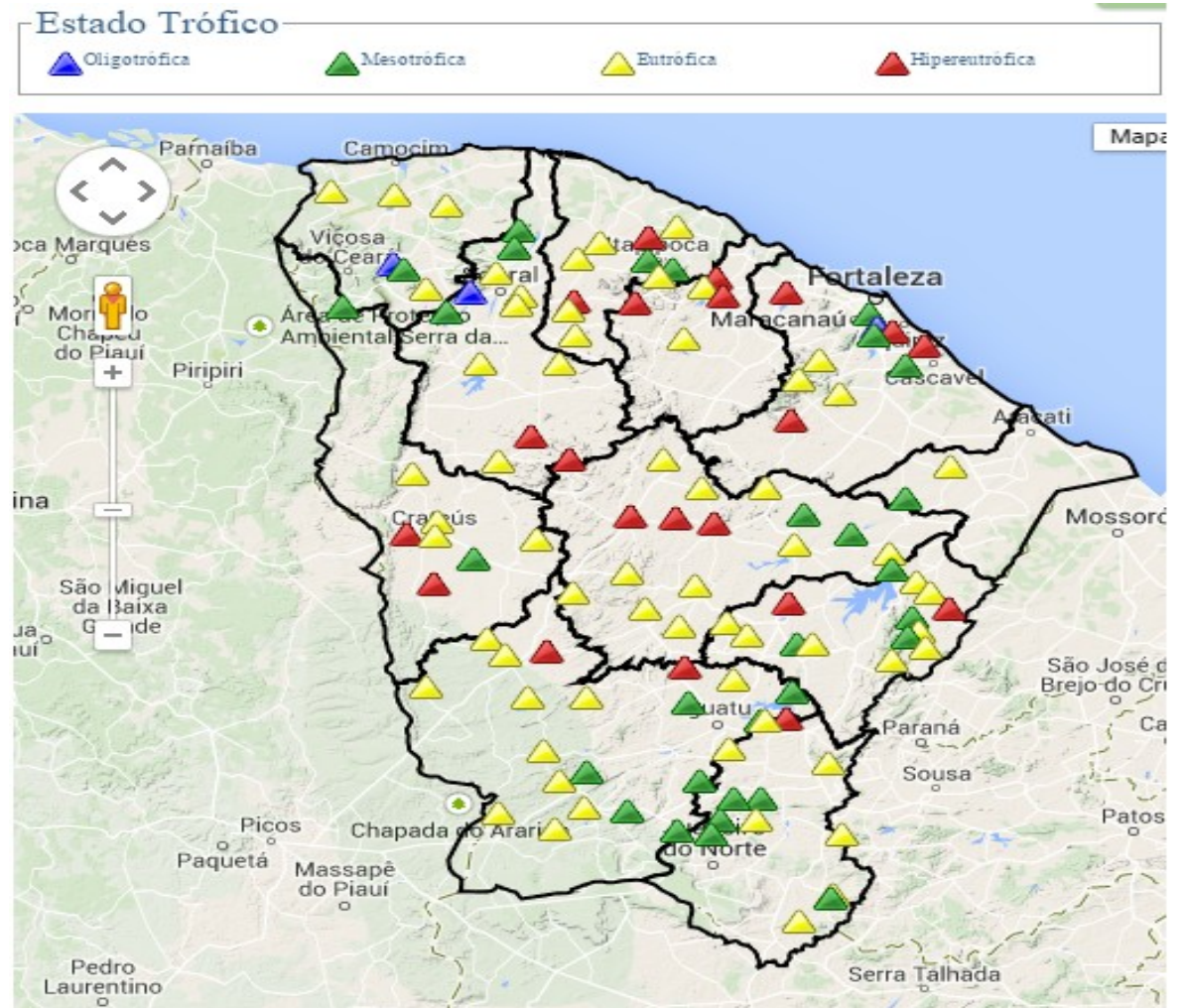
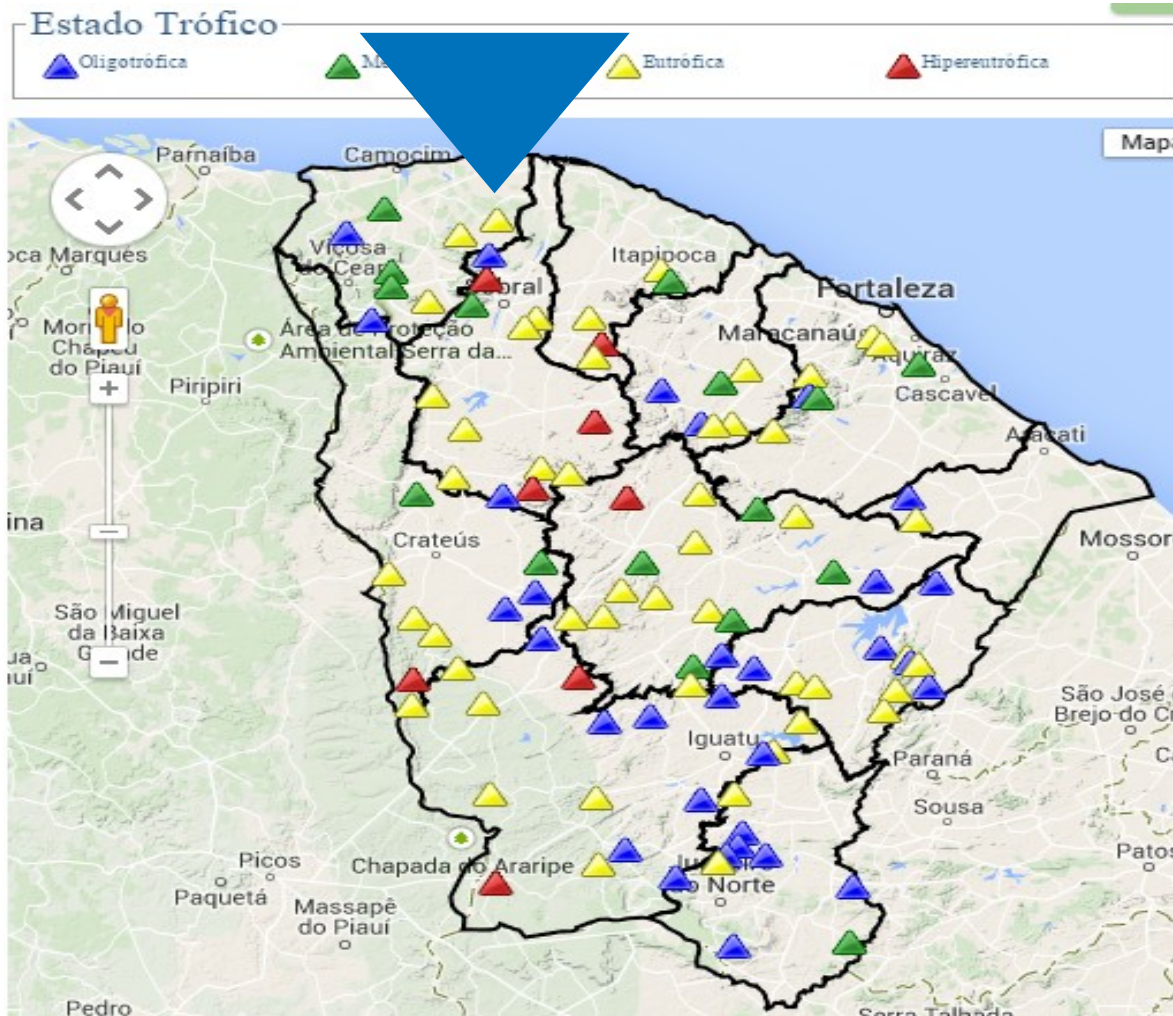
# QUALIDADE DA ÁGUA



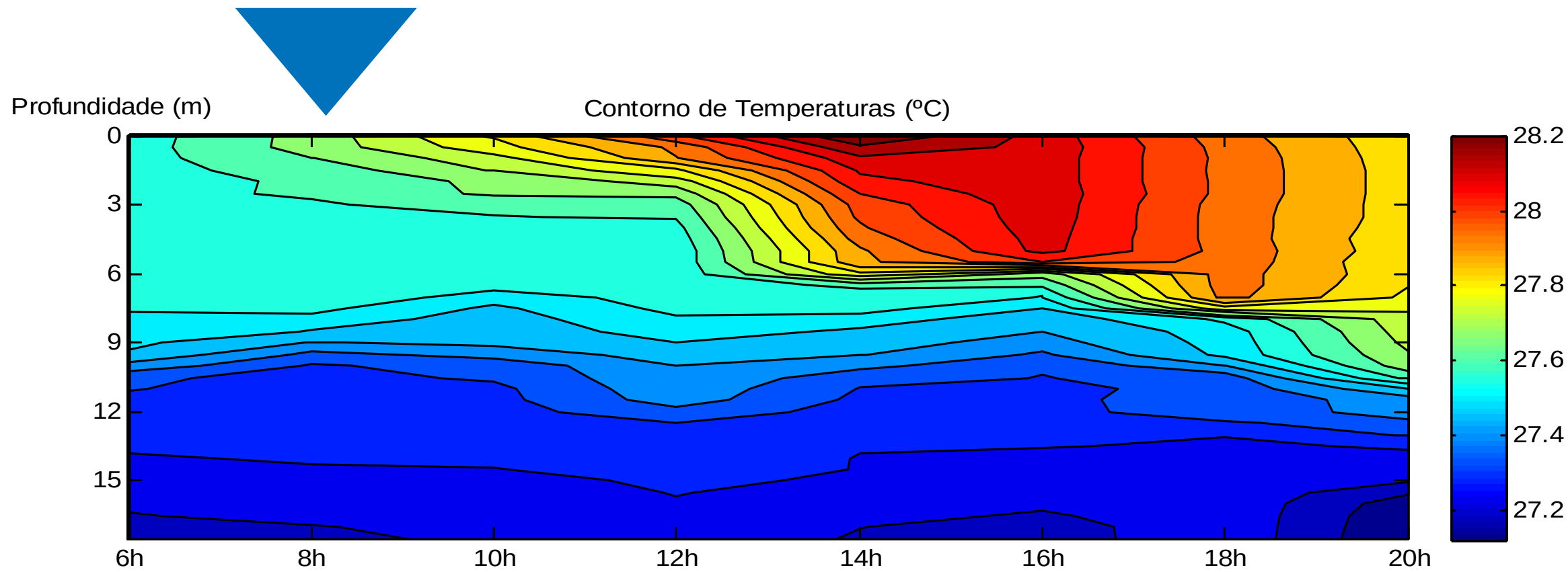


# Estudo de caso: Eutrofização em reservatórios

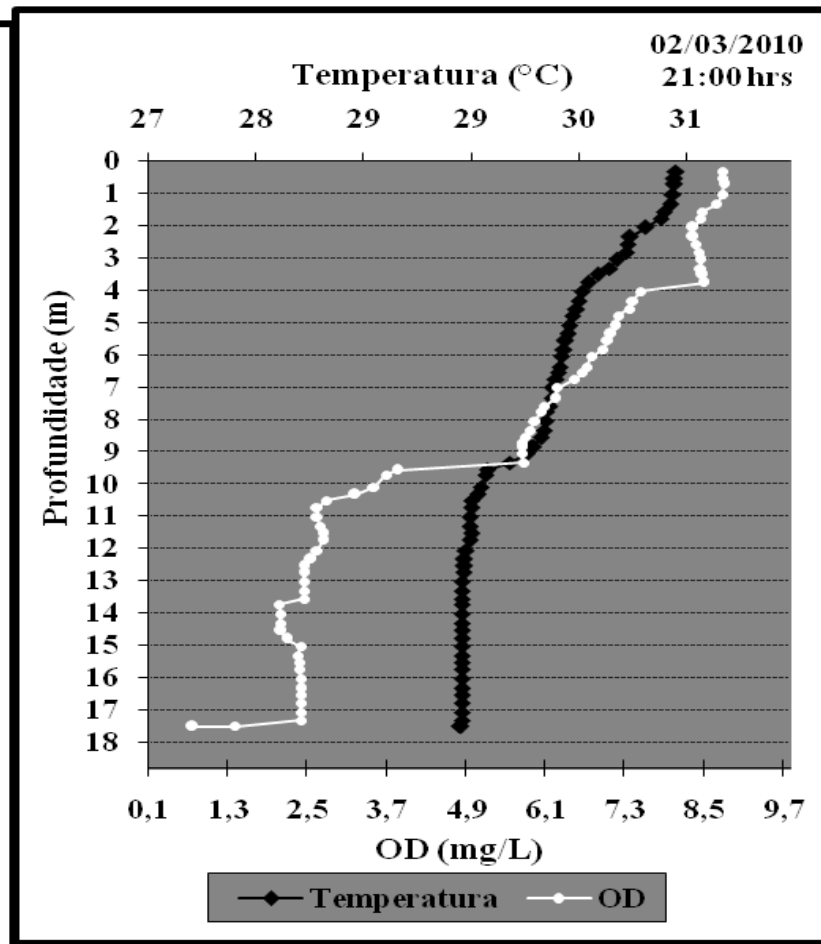
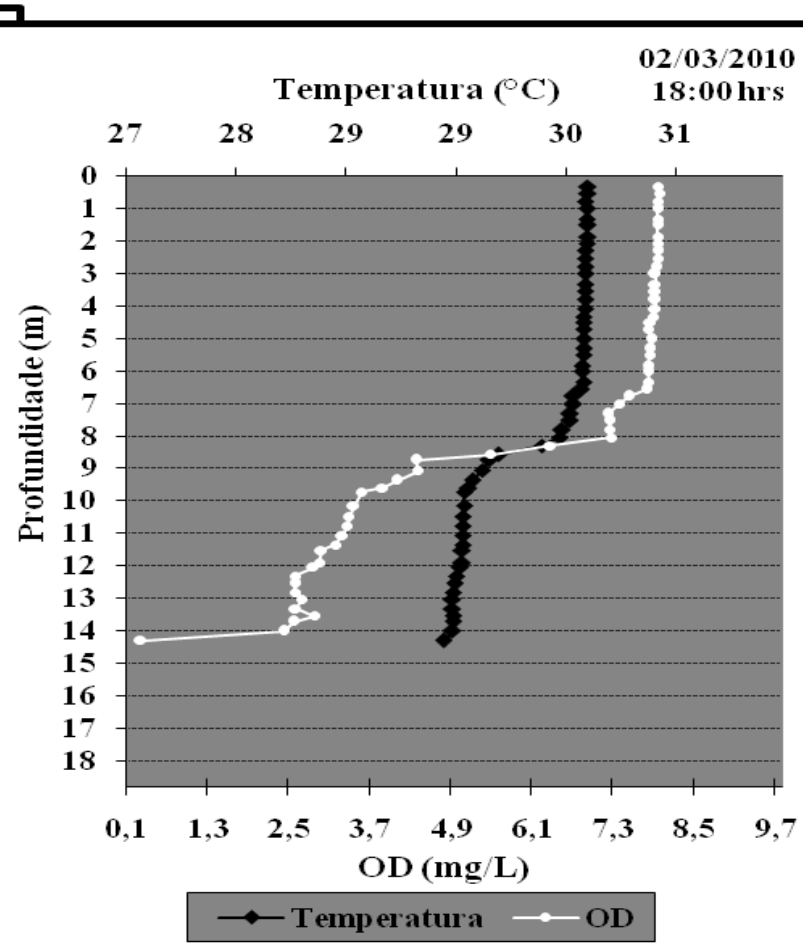
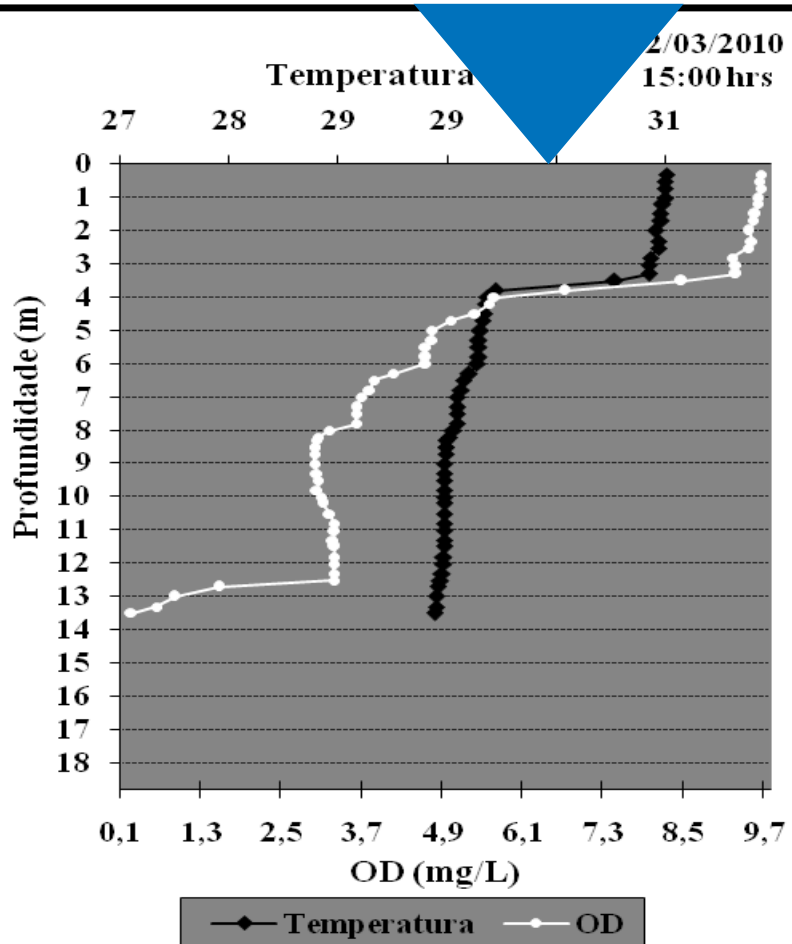
$$t_d = \frac{V_L}{Q_o}$$



# Contorno de temperaturas observado no reservatório Pereira de Miranda no dia 8 de Dezembro de 2009



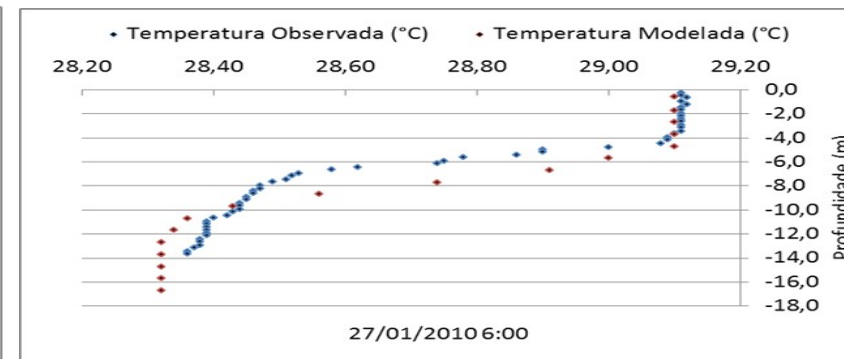
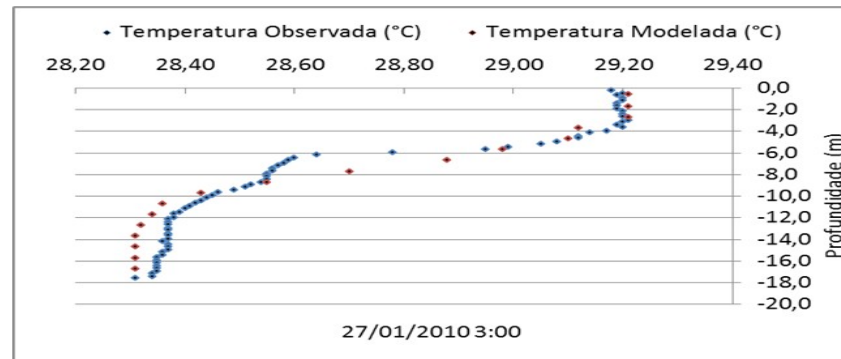
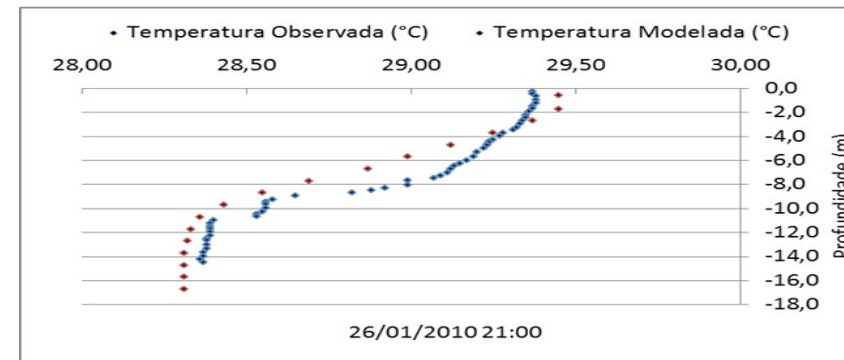
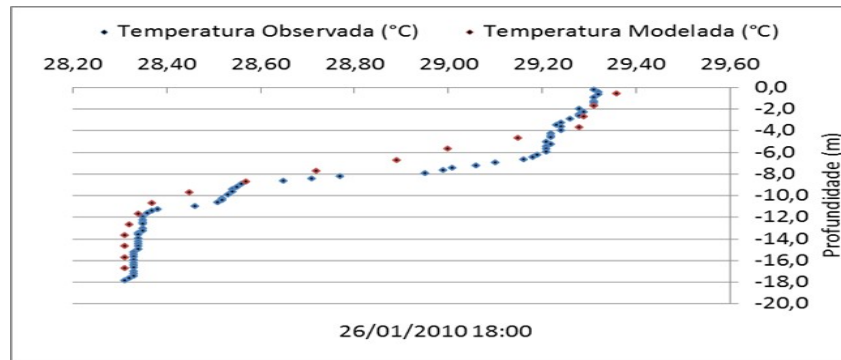
# Perfis de temperatura e oxigênio monitorados no dia 02 de março de 2010, às 15, 18 e 21 horas, no reservatório Pereira de Miranda



# Resultados: Pré-processamento, calibração e validação do modelo CE-QUAL-W2

Calibração da hidrodinâmica do modelo CE-QUAL-W2 :

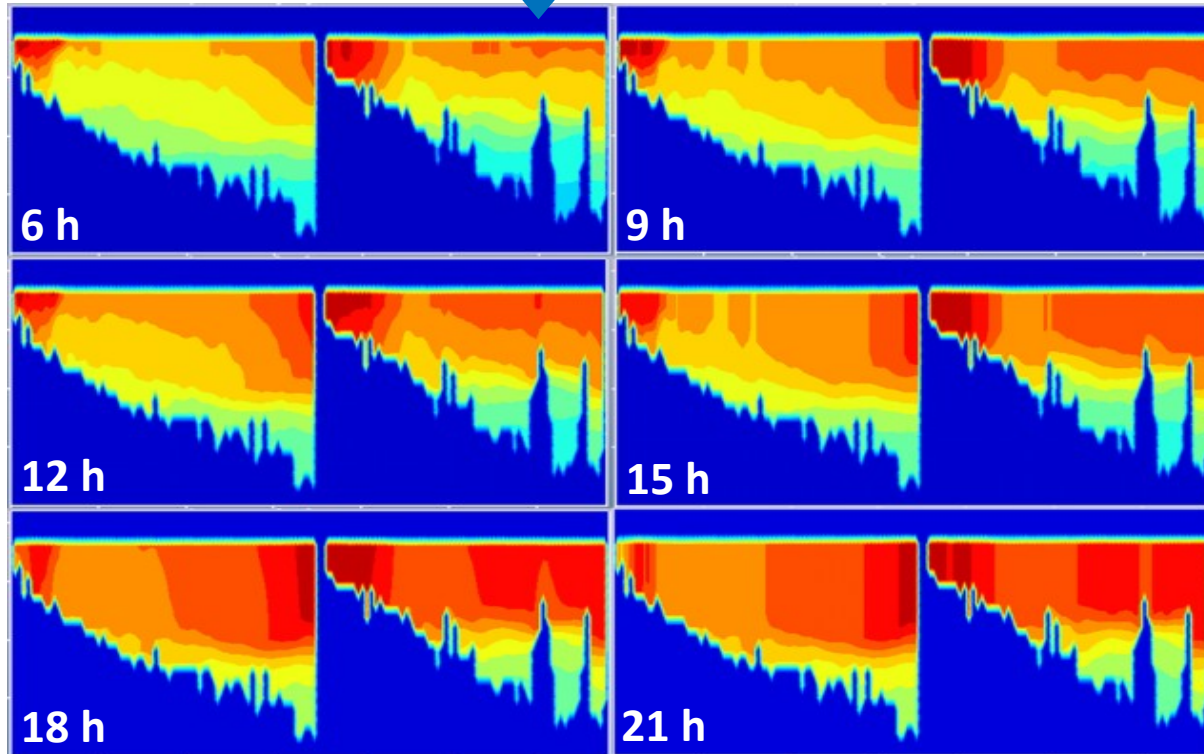
	AME (°C)	
Calibração	Dezembro	Janeiro
	0,124	0,283
Validação	Março	Abril
	0,227	0,498



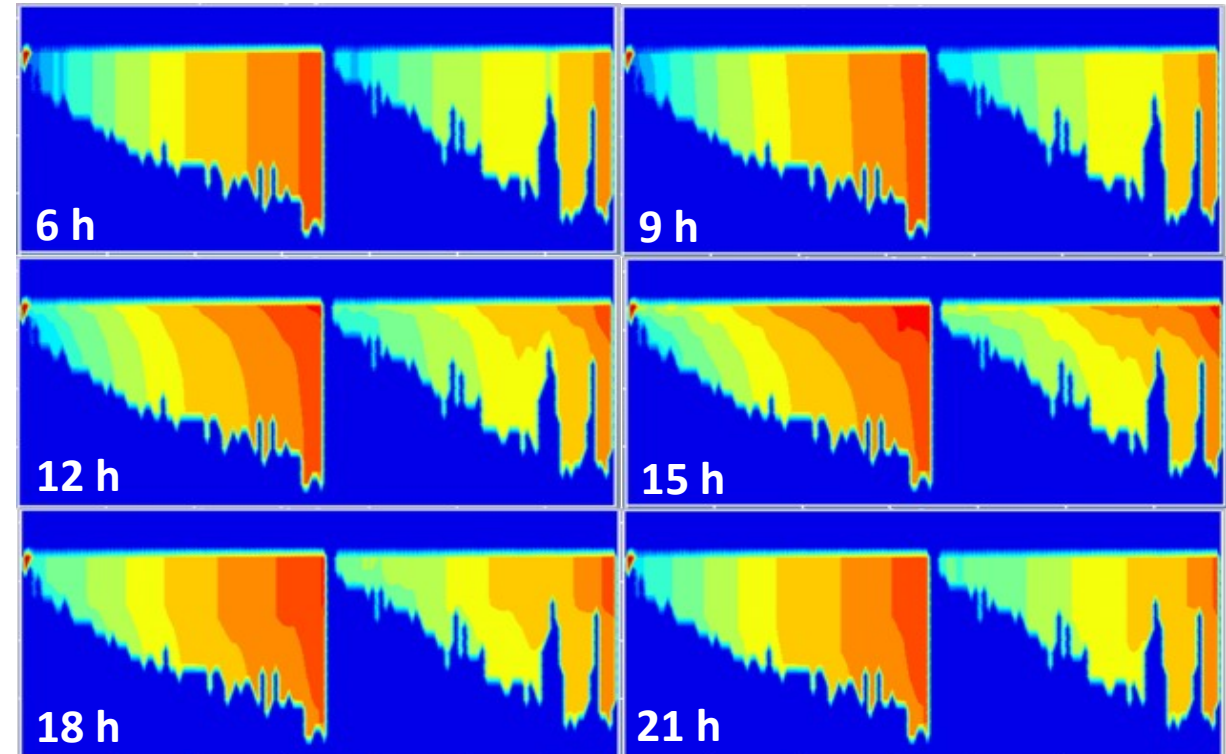
# Resultados: Previsão da hidrodinâmica do reservatório Pereira de Miranda

Aplicação do sistema de previsão sazonal para o período monitorado

5 de Março de 2010



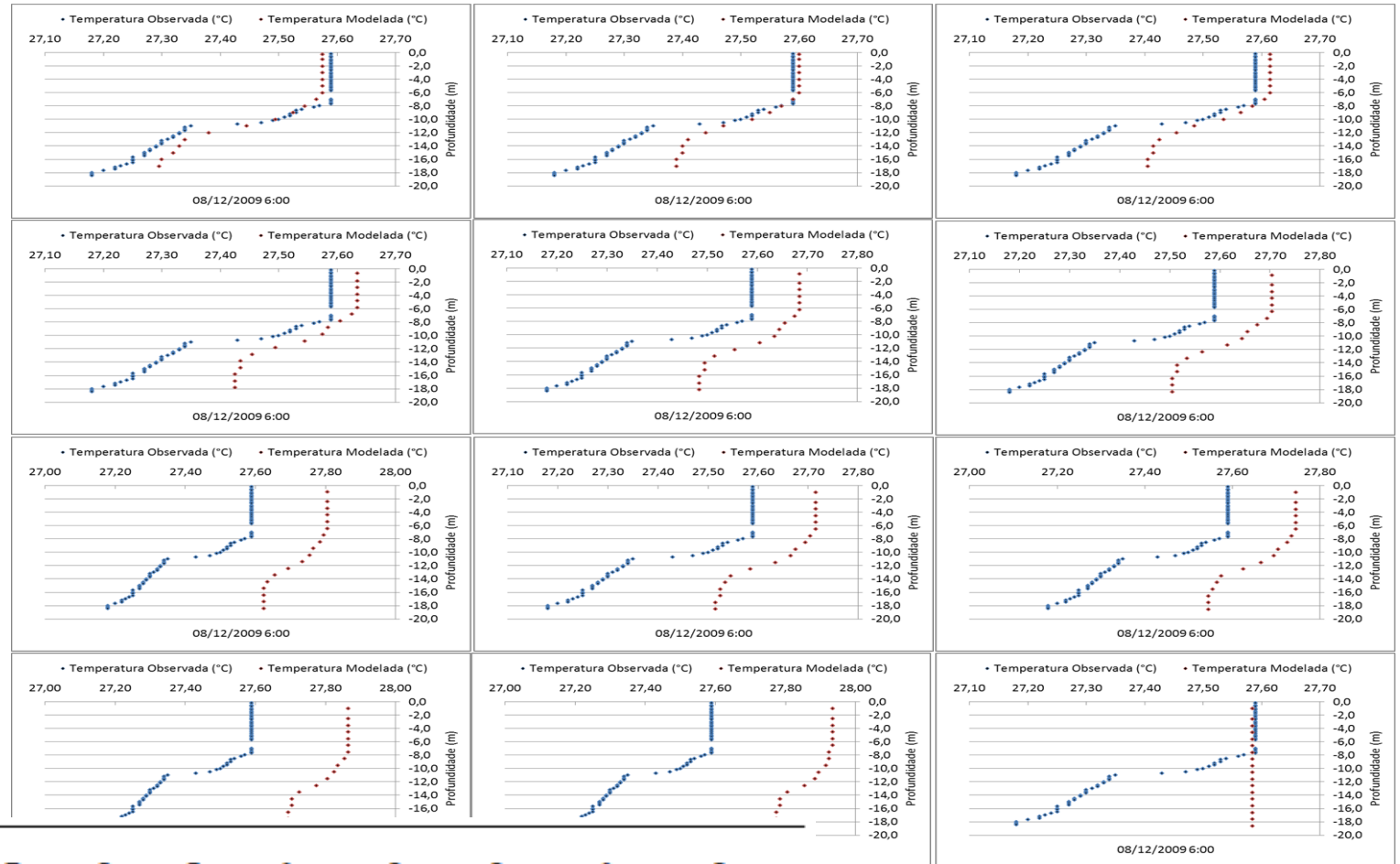
5 de Abril de 2010



# Resultados: Pré-processamento, calibração e validação do modelo CE-QUAL-W2

## Aquecimento do modelo CE-QUAL-W2:

- AME (modelo calibrado) para diferentes tempos de simulação
- Série hidrometeorológica inicial: 150 dias
- Série ótima: 90 dias



Período de aquecimento (dias)	150	120	90	60	30	21	14	7	6	5	4	3	2	1	0
AME (°C)	0,12	0,12	0,12	0,15	0,18	0,20	0,21	0,31	0,35	0,49	0,56	0,49	0,40	0,38	0,27
Diferença (%)	0,0	0,9	2,4	19,6	32,2	37,9	43,5	60,4	65,1	74,7	78,1	74,8	69,7	68,2	55,4

# SISTEMA DE PREVISÃO SAZONAL DA HIDRODINÂMICA EM RESERVATÓRIOS



## QUADRO CONCEITUAL

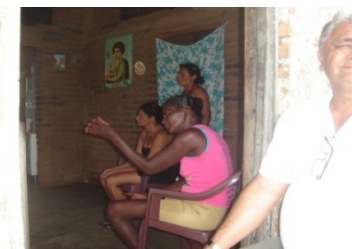


# ABASTECIMENTO DE POPULAÇÕES RURAIS DIFUSAS



# ABASTECIMENTO DE ÁGUA RURAL

## Análise



**IMPACTO NA VIDA  
DAS PESSOAS**



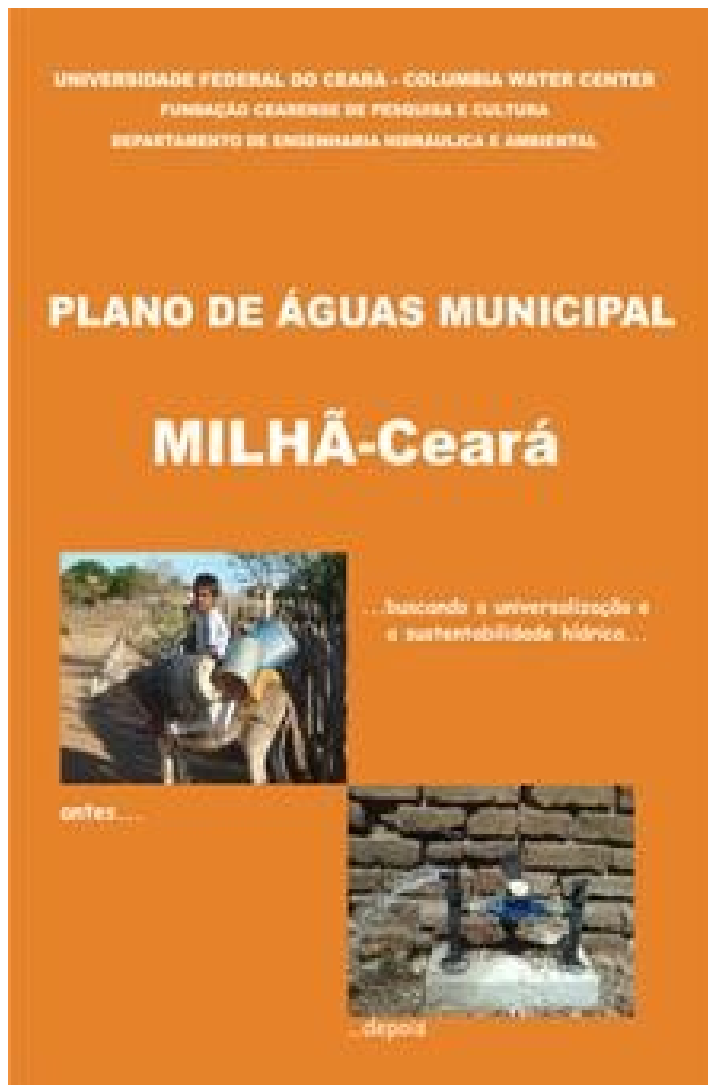
**DIAGNÓSTICO  
MULTIDISCIPLINAR**



**ENVOLVIMENTO DA  
COMUNIDADE DIA E NOITE**

# ABASTECIMENTO DE ÁGUA RURAL

## Plano Municipal de Água(PAM)



# GESTÃO ADAPTATIVA



# ADAPTAÇÃO

## Governança Adaptativa em Sistemas Complexos

- Fornecimento de Informação
- Tratar com Conflitos
- Induzir o cumprimento das regras
- Prover Infraestrutura
- Estar Preparado para Mudanças
- Gerenciar o Risco

Elinor Ostrom



# NOVA ONDA DE MUDANÇA DE CONTEXTO NOVOS DESAFIOS



# AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

**FIM DO SÉCULO 18**

**1.0** 

Produção mecanizada  
com o uso de energia  
hidráulica e a vapor

**FIM DO SÉCULO 19**

**2.0** 

Divisão do trabalho e  
produção em massa com  
o uso da eletricidade

**METADE DO SÉCULO 20**

**3.0** 

Automação da produção  
com o uso da eletrônica e da  
Tecnologia da Informação

**HOJE**

**4.0** 

Fusão do mundo físico e do  
virtual com uso de inteligência  
artificial e outras tecnologias

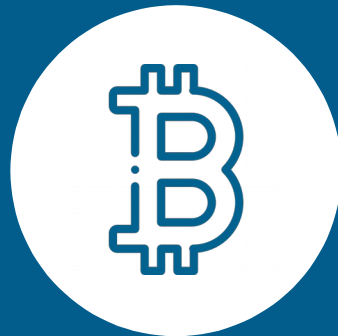
Fonte: "A 4ª Revolução Industrial do Setor Têxtil" e Agência de Inovação da UFABC

# MEGATENDÊNCIAS



## FÍSICA

Veículos autônomos  
Impressão 3D  
Robótica avançada  
Novos materiais



## DIGITAL

Internet das coisas  
Sensores/redes  
Blockchain (Bitcoin)  
Plataformas tecnológicas



## BIOLÓGICA

Genética: sequência,  
Ativação e edição  
de genes  
Biologia sintética  
Neurociências

# IMPULSIONADORES

## EFEITO PLATAFORMA

Compradores x Vendedores



# A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

## Novas regras de competitividade econômica

Empresas e países: fronteira da inovação



Estratégias de  
redução de custos



Oferta de produtos  
e serviços de maneira  
mais inovadora

- Necessidade da construção de ecossistemas próprios de inovação

Industrial são diferentes das regras dos períodos anteriores. Para se manterem competitivas, as empresas e os países devem estar na fronteira da inovação em todas as suas formas, o que significa que as estratégias que incidem principalmente na redução de custos serão menos eficazes do que aquelas que se baseiam na oferta de produtos e serviços de maneira mais inovadora. Tal qual vemos hoje, as empresas estabelecidas estão sob extrema pressão de inovadores e disruptores de outras indústrias e países emergentes. O mesmo pode ser dito sobre os países que não reconhecem a necessidade da construção de seus próprios ecossistemas de inovação.

Em resumo, acredito que a combinação de fatores estruturais (excesso de endividamento e envelhecimento das sociedades) e sistêmicos (a

# FIM

# OBRIGADO!



Francisco de Assis de Souza Filho  
assis@ufc.br



UFC



G·R·C

 **POSDEHA**