



# ***III - INTRODUÇÃO AO MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS***

DR<sup>a</sup> SUELY SCHUARTZ PACHECO MESTRINHO  
QUALI\_água Consultores Associados Ltda.



# POR QUE Monitorar as Águas Subterrâneas

- ❑ A água subterrânea é o recurso de maior valor natural na terra e estratégico para abastecimento humano
- ❑ As informações do monitoramento subsidiam as ações preventivas e proativas para manutenção da qualidade e quantidade, gerenciamento da disponibilidade e garantia ao atendimento das funções de uso social, econômico e ecológico
- ❑ Os dados norteiam a tomada de decisões para exploração, desenvolvimento e gerenciamento do recurso, bem como para o desencadeamento de ações mitigatórias, nos casos de poluição/contaminação
- ❑ É ferramenta (essencial) da gestão integrada dos recursos hídricos
- ❑ O monitoramento quali-quantitativo é um dos instrumentos mais importantes de suporte a estratégias e políticas de uso, proteção e conservação do recurso hídrico subterrâneo;

# ASPECTOS LEGAIS PERTINENTES

- É um instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH instituídos pela Lei 9.433/1997, para apoiar os planos de recursos hídricos, a outorga de direitos de uso e o enquadramento dos corpos d'água em classes
- A Resolução CNRH 15/2001 estabelece que na implementação dos instrumentos da PNRH sejam incorporadas medidas que assegurem a promoção da gestão integrada das águas superficiais, subterrâneas e meteórica;
- A Resolução CNRH 22/2002 do CNRH prevê o monitoramento para a formulação dos Planos Diretores das Bacias Hidrográficas;
- É previsto no Programa Nacional de Águas Subterrânea - Programa Regional VIII do Plano Nacional de Recursos Hídricos e na Agenda de águas subterrâneas da ANA ;
- É exigência da resolução 396/2008 do CONAMA que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

# DEFINIÇÃO E OBJETIVOS PRINCIPAIS DO MONITORAMENTO DAS AS

**DEFINIÇÃO:** medição ou verificação de parâmetros de qualidade ou quantidade das águas subterrâneas, em frequência definida (396/2008)

M/QUANTITATIVO: Detectar os rebaixamentos de nível da água nos aquíferos, identificar problemas de superexploração, coletar dados para modelagem, etc



Considerar a inter-relação com águas superficiais, clima e UOS

M/QUALITATIVO: Verificar a variação espacial e temporal da **QAS** ( $\neq$  objetivos definem as respectivas escalas, métodos de coleta e os parâmetros de controle)

M /BÁSICO: Informa a variação temporal e espacial da reserva, dos recursos e da qualidade da água do aquífero em estudo, ao longo da sua exploração.

# TIPOS DE MONITORAMENTO X OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- (a) Monitoramento de Detecção (ofensivo): para identificar o comprometimento do sistema
- (b) Monitoramento de Prevenção (defensivo): para investigar o áreas de risco (poluição e superexploração)
- (c) Monitoramento de Avaliação: estudos em escala piloto para caracterização dos sistemas
- (d) Monitoramento de Vigilância para água potável ou de salinização de aquíferos costeiros

# PRESSUPOSTOS

- Os objetivos do monitoramento podem ser bem definidos a partir de um modelo conceitual preliminar do sistema aquífero, que caracterize de forma consistente o estágio de conhecimento da circulação das suas águas subterrâneas, da sua hidrogeoquímica e das águas superficiais da área.
- O modelo conceitual inicial é aperfeiçoado, através de um processo de calibração e validação, baseado em observações, na medida que a informação do monitoramento evolui.

# PLANEJANDO O MONITORAMENTO...

**O QUE (WHAT)?** *Poço? Aquífero (s)? Sistemas de aquíferos? Zona não saturada? Bacia hidrográfica? Província hidrológica?*

**COMO (HOW)?** *Escala, parâmetros, frequência, tipo de monitoramento, rede de pontos*

**QUANDO (WHEN)?** *Escalas e frequências*

**ONDE (WHERE)?** *O tipo da rede (local, nacional, regional, estadual)*

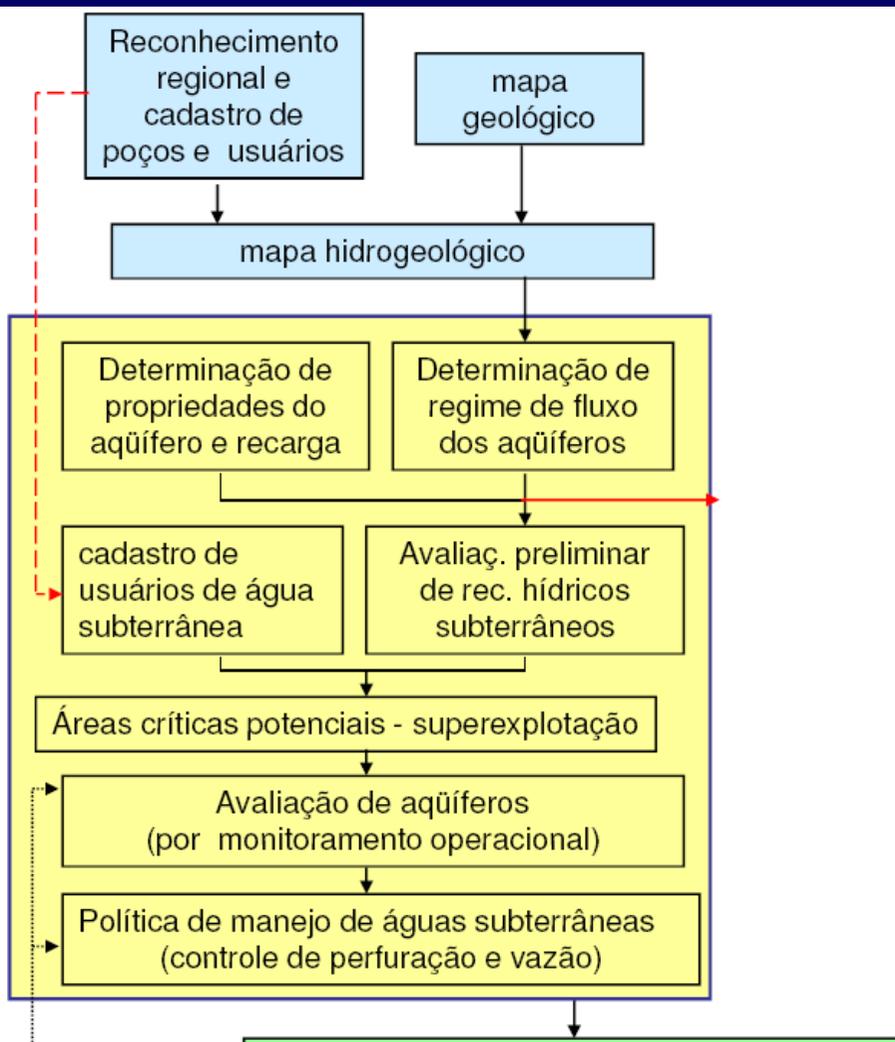
**QUEM (WHO)?** *Competência? OGS, ONGS, USUÁRIOS?*

**COM QUAL TECNOLOGIA (WHICH)?** *Métodos de Coleta, Análise química e de consistência e compartilhamentos das informações*

# LIMITAÇÕES NO PLANEJAMENTO:

- ❑ INDISPONIBILIDADE E/OU ESCASSEZ DE DADOS SOBRE: AQUÍFEROS, CADASTRO DE POÇOS, HISTÓRICO **UOS E FONTES DE IMPACTO**
- ❑ DESCONHECIMENTO SOBRE A DEPENDÊNCIA DOS ECOSISTEMAS CONTINENTAIS
- ❑ A ESCALA DOS MAPAS HIDROGEOLÓGICOS NÃO É ADEQUADA
- ❑ SIG E BD HIDROGEOQUÍMICOS SÃO (AINDA) SEPARADOS
- ❑ CUSTO, TEMPO E RECURSOS HUMANOS ENVOLVIDOS
- ❑ DIFICULDADES DE SE DETECTAR ALTERAÇÕES EM TEMPO REAL E/OU REPRESENTATIVIDADE DAS AMOSTRAS

# ESTRUTURAÇÃO DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO



(FONTE: Hirata, 2008)

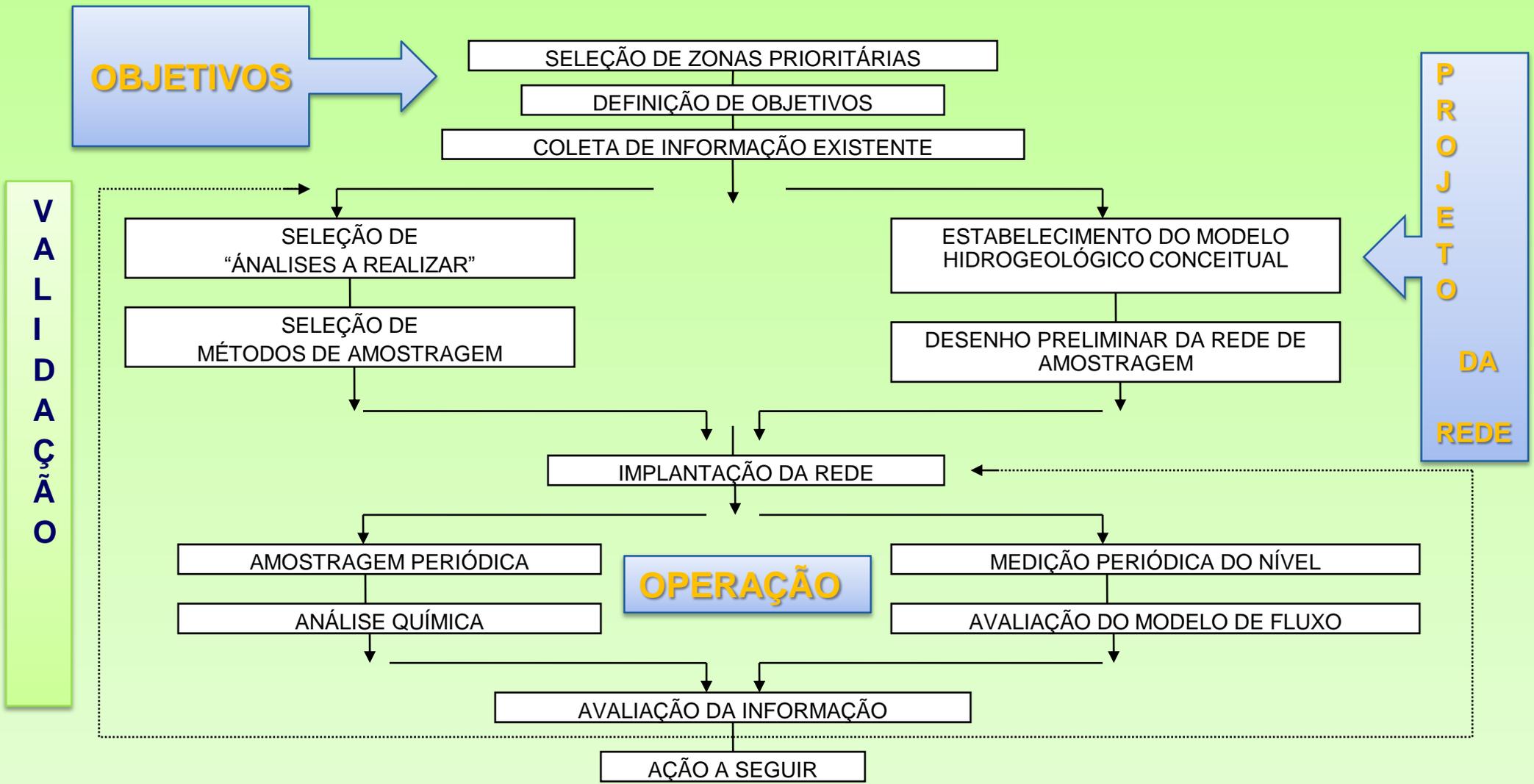
# COLETA DE INFORMAÇÕES



(FONTE: MESTRINHO 2008)

# ETAPAS DO PLANEJAMENTO

- 1. Definição dos objetivos do monitoramento**
- 2. Projeto de rede (seleção de pontos de monitoramento, parâmetros a serem determinados, frequência de amostragem)**
- 3. Operação do monitoramento (coleta, análise, interpretação, controle de qualidade)**
- 4. Avaliação dos resultados – validação do monitoramento**



## ESTRUTURA DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO

(Adaptado de Hirata & Fernandes, 2006)

# Seleção de Zonas Prioritárias

As zonas para implantação de redes de monitoramento são priorizadas em função dos seguintes critérios:

- modelo conceitual do regime de fluxo e sua interconexão com as águas ou ecossistemas superficiais;
- vulnerabilidade natural dos aquíferos à poluição;
- fontes potenciais de poluição;
- densidade de poços de abastecimento;
- passivos e ativos do uso e ocupação da terra;
- anomalias nas condições naturais.

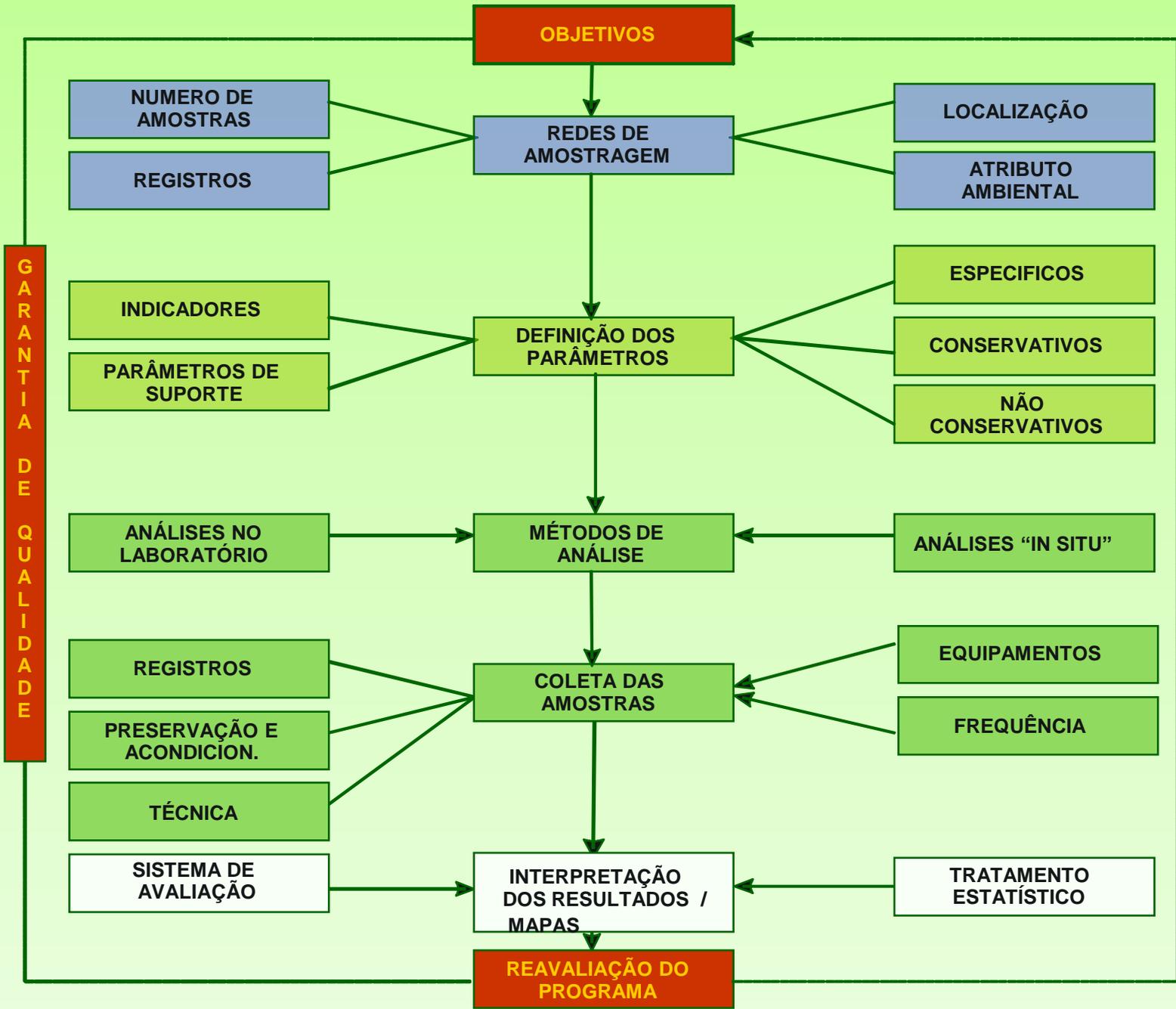
# MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

- OBJETIVOS PRINCIPAIS: A avaliação da qualidade natural; O controle, diagnóstico e prognóstico do risco de contaminação (escalas e frequência depende dos objetivos)
- OBJETIVOS ESPECÍFICOS:
  - Avaliar a distribuição espacial da qualidade natural da água e/ou relacionada à presença de contaminantes ou decorrente de intrusão salina costeira;
  - Identificar o início da contaminação e/ou a extensão de eventuais danos ou plumas de contaminação;
  - Fazer prognósticos sobre a chegada de águas contaminadas a fontes importantes de abastecimento;
  - Diagnosticar e controlar a qualidade de águas subterrâneas para classificação e enquadramento conforme usos preponderantes
  - Fornecer subsídios para orientar a responsabilidade legal dos incidentes de contaminação.

# POR QUE Monitorar a Qualidade?

- A característica hidroquímica da água subterrânea é o ponto de partida para uma classificação.
- O monitoramento da qualidade é previsto na 396/08 que propõe classes independentes de qualidade para substâncias de ocorrência natural e de origem antropogênica, a fim de possibilitar ações diferenciadas para a sua gestão.
- É possível implementar ações, nos casos de desconformidade da condição de qualidade da água subterrânea para substâncias naturais, definindo o tipo de tratamento necessário.
- As ações a serem implementadas em casos de desconformidade da condição de qualidade das águas subterrâneas para substâncias antropogênicas são ações de prevenção e controle (licença, fiscalização) das fontes de poluição
- As redes de monitoramento representam o principal recurso para o conhecimento da qualidade natural da água subterrânea.

C  
D  
O  
A  
N  
C  
R  
E  
P  
D  
Ç  
Ã  
O



G  
A  
R  
A  
N  
T  
I  
A  
D  
E  
Q  
U  
A  
L  
I  
D  
A  
D  
E

P  
L  
A  
N  
E  
J  
A  
M  
E  
N  
T  
O  
  
I  
M  
P  
L  
A  
N  
T  
A  
Ç  
Ã  
O

**Etapas do Monitoramento**

# O PROGRAMA DE MONITORAMENTO DEVE CONSIDERAR...

- O controle preventivo da dinâmica e evolução química natural da água ZNS e ZS, em escalas particulares.
- O controle das fontes potenciais de contaminação nas duas zonas, incluindo o histórico no passado, presente e sua previsível evolução.
- O controle da qualidade da água considerando as características específicas dos domínios hidrogeológico, bio-hidrogeoquímico, climático e das fontes de contaminação.

# O MONITORAMENTO DA ZNS (escala pontual)

## OBJETIVOS:

- ❑ Estabelecer as condições de *background* local.
- ❑ Identificar o transporte, caminho, extensão e grau de uma fonte de contaminação.
- ❑ Fixar bases para o programa.
- ❑ Eleger os parâmetros indicadores do risco.
- ❑ Detectar a migração em direção a ZS.
- ❑ Monitorar as condições de atenuação natural da ZNS.

# O MONITORAMENTO DA ZNS (escala pontual)

## RECOMENDAÇÕES:

- ❑ Fixar pontos de controle próximos as fontes impactantes, respeitando as condições hidrogeológicas da ZNS e ZS.
- ❑ Monitorar pontos topográficos distintos, instalando tensiômetros e lisímetros em diferentes profundidades.
- ❑ Controlar a água de recarga, textura e química do material da ZNS.
- ❑ Considerar as reações de biotransformação em condições aeróbicas e anaeróbicas.

## **O MONITORAMENTO DA ZS (escalas semi-detalhe ou regional)**

- ❑ Definir o modelo conceitual do sistema, com base no mapa hidrogeológico, sistemas de fluxos e estudos hidrogeoquímicos e isotópicos preliminares
- ❑ Para instalação dos PM(s) e interpretação dos dados considerar as propriedades dos contaminantes no ambiente hidrogeoquímico particular e os processos físicos de transporte no fluxo (advecção, dispersão, retardamento, filtração)
- ❑ Respeitar os limites dos dados para o(s) poço(s) e/ou aquífero(s)

# DIFICULDADES NA DEFINIÇÃO DAS REDES DE M/ DO ESTADO QUALITATIVO

- ❑ Características hidráulicas do aquífero: falta o MC adequado dos fluxos subterrâneos que controlam o trajeto da pluma (se desconhece geologia, estratigrafia, recarga).
- ❑ Posicionamento adequado do PM conforme o fluxo subterrâneo: áreas de recarga e descarga, fluxo vertical no poço, mistura de água, etc.
- ❑ Aspectos construtivos do poço: mal vedação/contaminação superficial
- ❑ Técnicas de coleta e preservação, e de controle de qualidade: purga e tempo de bombeamento da amostra no poço (ou variação do aquífero).

# CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DOS PARÂMETROS

- Considerar a caracterização hidrogeoquímica natural (elementos maiores e traços), a qualidade da água para uso, as fontes de poluição e a superexploração
- Para caracterizar a contaminação, entre os indicadores devem estar incluídos o pH, STD, turbidez, condutividade, nitratos e coliformes termotolerantes.
- No controle da potabilidade são analisados os parâmetros estabelecidos na legislação pertinente, os quais devem ser investigados, ao menos, de modo ocasional.
- O incremento de parâmetros como cloreto, nitrato, condutividade e pH já podem indicar início de comprometimento da água.
- Para o diagnóstico e prognósticos de danos são investigados os indicadores relacionados às fontes de poluentes e UOS, considerando a disponibilidade de referências para comparação ou os valores de background local

# RESOLUÇÃO CONAMA 396/08

**PARÂMETROS MÍNIMOS** (Parágrafo único): dentre os selecionados, devem ser considerados, no mínimo, STD, nitratos, Coliformes termotolerantes

**COMPETÊNCIA** (Art 13): os órgãos competentes deverão monitorar os parâmetros selecionados para o enquadramento, escolhidos em função do uso preponderante e características do sistema de água subterrânea (Art.12), bem como pH, Turbidez, CE e NA

**POLUIÇÃO** (Art 14): independente dos VMP das Classes 3 e 4, qualquer aumento de concentração deve ser monitorado, identificada sua origem e adotadas medidas de prevenção e controle

# PROCEDIMENTOS PARA AMOSTRAGEM E ANÁLISE NA CONAMA 396/08

Art 15 e 16: Serão realizadas pelo órgão competente, utilizando laboratório próprio, conveniado ou contratado, com critérios e procedimentos de qualidades reconhecidos pelos órgãos de monitoramento

Art 17: Procedimentos mínimos a serem adotados

I - Os métodos devem ser padronizados e a coleta em pontos representativos da área

II - Os poços tubulares e de monitoramento devem ser construídos conforme normas técnicas ABNT (???)

III - As amostras devem ser íntegras, sem filtração ou qualquer alteração, salvo o uso de conservantes conforme normas técnicas vigentes

IV – Quando tecnicamente justificado, estas análises deverão ser realizadas na fração dissolvida

V - As análises físico-químicas deverão ser realizadas segundo métodos padronizados, em laboratórios que atendam aos limites de quantificação praticáveis, listados no Anexo I desta Resolução;

VI - no caso de uma substância ocorrer em concentrações abaixo dos limites de quantificação praticável-LQP, aceitar-se-á o resultado como ausente para fins de atendimento da Resolução;

# Pontos e Frequência de Monitoramento

- Os pontos de monitoramento incluem as nascentes, poços de produção e poços de monitoramento. As cacimbas e poços desativados não tamponados podem ser utilizados para observação do nível d'água.
- A construção dos poços utilizados deve estar em conformidade com os padrões das normas ABNT para poços tubulares profundos (NBR 12.244/92 e NBR 12.212/92) e de monitoramento (NBR – 13.895/1997).
- A densidade da rede depende do tipo e escala de monitoramento. Na definição da rede preliminar é aconselhável a vistoria em campo para avaliar critérios adicionais de acessibilidade, ocupação no entorno etc. As informações obtidas na rede preliminar servirão de suporte para o desenho da rede permanente.

# Pontos e Frequência de Monitoramento

- No M /específico é freqüente a subdivisão da área em quadrículas (25 – 500 km<sup>2</sup>) considerando critérios de vulnerabilidade, presença de fontes poluentes e disponibilidade de recursos. No mínimo, um ponto por quadrícula é alocado.
- No monitoramento regional, para o controle da qualidade se recomenda o mínimo de um ponto / 100 km<sup>2</sup> em massas de água sem comprometimento, e um ponto / 25 km<sup>2</sup> em áreas com anomalias hidroquímicas associadas a fontes difusas.
- A freqüência da coleta depende das características do(s) aquífero(s), das fontes e usos da água. Deve ser suficiente para registrar as tendências nos parâmetros investigados. Em geral, a rede preliminar é reavaliada após um período mínimo de controle (1 ano) e os pontos sem variações significativas poderão ter a freqüência ampliada.

# CRITÉRIOS PARA FREQUÊNCIA DE MONITORAMENTO NA CONAMA 396/08

## Art 13

- § 1º A frequência inicial deve ser no mínimo semestral e definidas em função do sistema aquífero, podendo ser reavaliada após um período representativo
- § 2º Os órgãos competentes deverão realizar a cada 5 anos, uma caracterização da qualidade contemplando todos os parâmetros listados no Anexo I e outros considerados necessários
- § 3º Os resultados devem ser avaliados estatisticamente, considerando as incertezas de medição.

# TRATAMENTO DOS DADOS

- A interpretação exige o conhecimento dos padrões hidroquímicos locais ou naturais nas águas subterrâneas que, na maioria dos casos, não são disponíveis para avaliação do grau de contaminação. No caso dos metais é difícil estabelecer se a concentração é de origem natural ou antrópica.
- A anomalia hidroquímica geralmente é detectada comparando-se dados de séries temporais. Se o contaminante não ocorre de forma natural na água, a sua presença já é indicativa da alteração de qualidade.
- Os resultados são tratados, interpretados estatisticamente e as incertezas de medição consideradas. Os dados de cada parâmetro são sumarizados por ponto de estudo e submetidos à análise estatística básica.
- A distribuição de contaminantes específicos comumente é representada por curvas de isoteores, em mapas e/ou seções transversais, usando-se procedimentos de interpolação linear simples e/ou métodos geoestatísticos de krigagem que permitem avaliar possíveis erros e definir anomalias locais.
- Em qualquer situação, deve-se relacionar as interpretações com o modelo conceitual hidrogeológico do fluxo das águas subterrâneas.

# MONITORAMENTO QUANTITATIVO

## OBJETIVOS:

- Avaliar interferência entre poços; rebaixamento dos NE e ND; da vazão de extração; os níveis piezométricos regionais e as flutuações de níveis locais
- Estabelecer condições de exploração sustentável para cada poço em operação
- Atender as condicionantes definidas nas outorgas de uso dos recursos hídricos emitidas pelo órgão gestor

**PARÂMETROS:** NA; ND; VOLUME E TEMPO DE BOMBAMENTO

# MONITORAMENTO QUANTITATIVO (POÇOS EM OPERAÇÃO)

**Nível Dinâmico:** Nível de água de um poço em bombeamento. Podem ser usados medidores manuais e automáticos

**FREQUÊNCIA:** MENSAL; SEMESTRAL; CONTÍNUO

**Vazão:** Volume de água explotado em determinada unidade de tempo. A periodicidade deve diária e contínua.

A vazão e o regime de bombeamento devem ser considerados na emissão de outorga de direito de uso.

Pode indicar interferências entre poços, variações sazonais das recargas de aquíferos e/ou necessidades de manutenção.

# BOAS PERSPECTIVAS...

- Desenvolvimento tecnológico! Estão disponíveis no mercado sondas multiparamétricas, sistemas de amostragem por baixa vazão, automáticos, estações meteorológicas e hidrológicas, medidores de vazão com T e CE e datalogger interno, detectores de gases etc.
- Já existem sistemas de monitoramento da qualidade e do nível d'água com equipamentos integrados por software específicos, tornando a informação mais disponível. Os dados são coletados e transmitidos em tempo real por telemetria ( telefonia, radio ou satélite)
- A ANA apresenta um cenário promissor, estabelecendo ações voltadas para fortalecer o monitoramento de redes integradas no Brasil. A atualização do SIAGAS / CRPM!

# **SOBRE OS RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO NA CONAMA 396/08**

**Art 18:** Reportados em laudos analíticos contendo

I – Local, data, horário de coleta e da entrada no laboratório

II e III – métodos de análise por parâmetro, LQP do laboratório e amostra / parâmetro

IV e V - resultados de brancos, exatidão, e ensaios de adição e recuperação de analitos na matriz, etc.

# CONSIDERAÇÕES

Basicamente, um programa de monitoramento efetivo envolve três etapas:

- (a) Pré-monitoramento para coleta de informações que orientam o planejamento do projeto;
- (b) Monitoramento para caracterização do estado atual físico e químico do sistema aquífero, através de medidas contínuas e padronizadas em locais selecionados;
- (c) Monitoramento específico dos sistemas no qual se esperam consequências em função de explorações significativas, da sua vulnerabilidade e do risco de contaminação.

# CONSIDERAÇÕES...

- A definição de um plano de monitoramento de recursos hídricos subterrâneos depende dos conhecimentos sobre a estrutura, funcionamento e dinâmica dos sistemas aquíferos.
- Na avaliação do estado químico da água o trabalho é realizado em pequena escala e não permite extrapolação para todo sistema ou bacia.
- Para avaliar o grau de contaminação não se dispõe de uma lista concreta de parâmetros indicadores, (com valores limite) para referência.
- A complexidade do tema é grande e deve ser tratada dentro de uma visão sistêmica, com ampla conjunção interdisciplinar de especialistas.

# **PROPOSTAS DE DIRETRIZES CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

- ❑ Implantação de uma política voltada para a caracterização dos aquíferos com ou sem risco de contaminação.
- ❑ Promover iniciativas para avaliação dos pontos de captação e sistemas aquíferos considerados mananciais expressivos, incluindo a construção de mapas hidrogeológicos, hidrogeoquímicos e de vulnerabilidade intrínseca em níveis de semi-detalhe.
- ❑ Nas áreas de grande risco de contaminação acompanhar as inter-relações entre as ZNS e ZS, como medida pró-ativa.

# DESAFIOS

- AMPLIAR OS CONHECIMENTOS SOBRE OS AQUÍFEROS, ZONAS DE RECARGA E DE CIRCULAÇÃO DA ÁGUA, VALENDO-SE DE ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS, HIDROGEOQUÍMICOS, ISOTÓPICOS, INCLUINDO OS CONDICIONANTES CLIMÁTICOS
- FORTALECER O TRABALHO INTERATIVO E MULTIDISCIPLINAR, ENVOLVENDO PESQUISADORES DE DIFERENTES ESPECIALIDADES PARA O ADEQUADO CONTROLE E PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

