

Gestão Integrada de Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos

Fernando Roberto de Oliveira

Coordenador de Águas Subterrâneas SIP/ANA



Photograph by Stanley Leake, U.S.G.S.



Photograph by David Stannard, U.S.G.S.

**Oficina de Capacitação
do Progestão**
Águas Subterrâneas

Brasília, DF- 31 de Outubro de 2016

Estrutura da Apresentação

- Introdução
 - Base Legal
 - Base Técnica
- Algumas metodologias para a avaliação integrada da disponibilidade hídrica subterrânea e superficial;
- Comentários.

Carta Magna de 1988

“TÍTULO III - Da Organização do Estado

CAPÍTULOS II e III

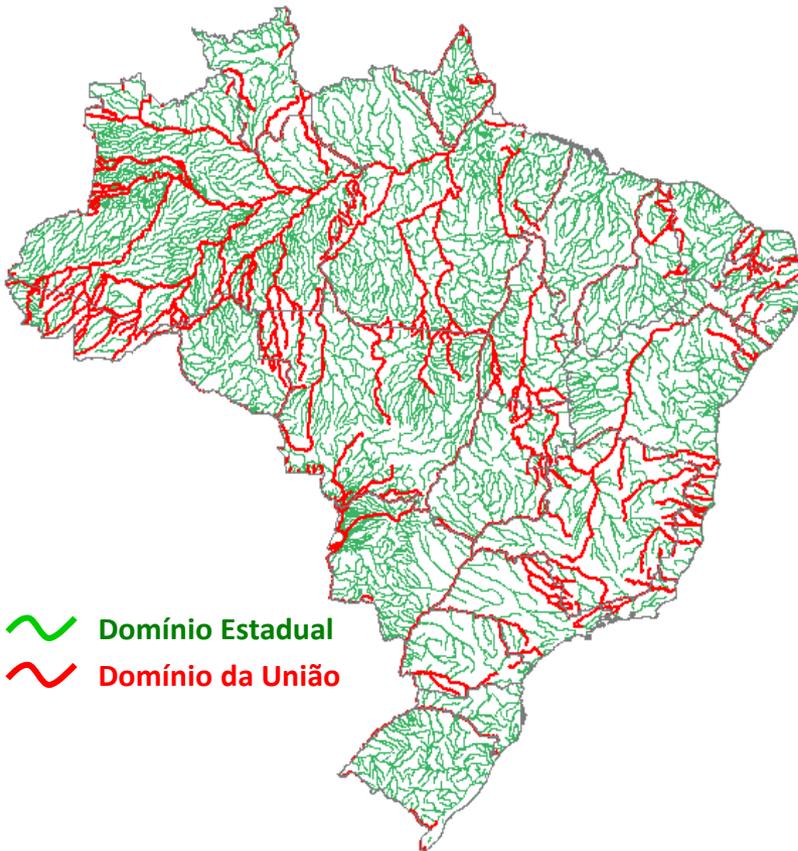
Art. 20. São **bens da União**:

III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham

(...)

Art. 26. Incluem-se entre os **bens dos Estados**:

I - as águas superficiais ou **subterrâneas**, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União;



Política Nacional de Recursos Hídricos - Lei nº 9433/97

- ❑ Art. 2. Inc II. **Objetivos**... a utilização racional e integrada dos recursos hídricos ... com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- ❑ Art. 3. Inc I. **Diretrizes** gerais de ação... "Gestão sistêmica dos recursos hídricos."
- ❑ Art. 4. A União articular-se-á com os Estados tendo em vista o gerenciamento dos recursos hídricos de interesse comum.
- ❑ Bacia hidrográfica é a unidade de gestão.

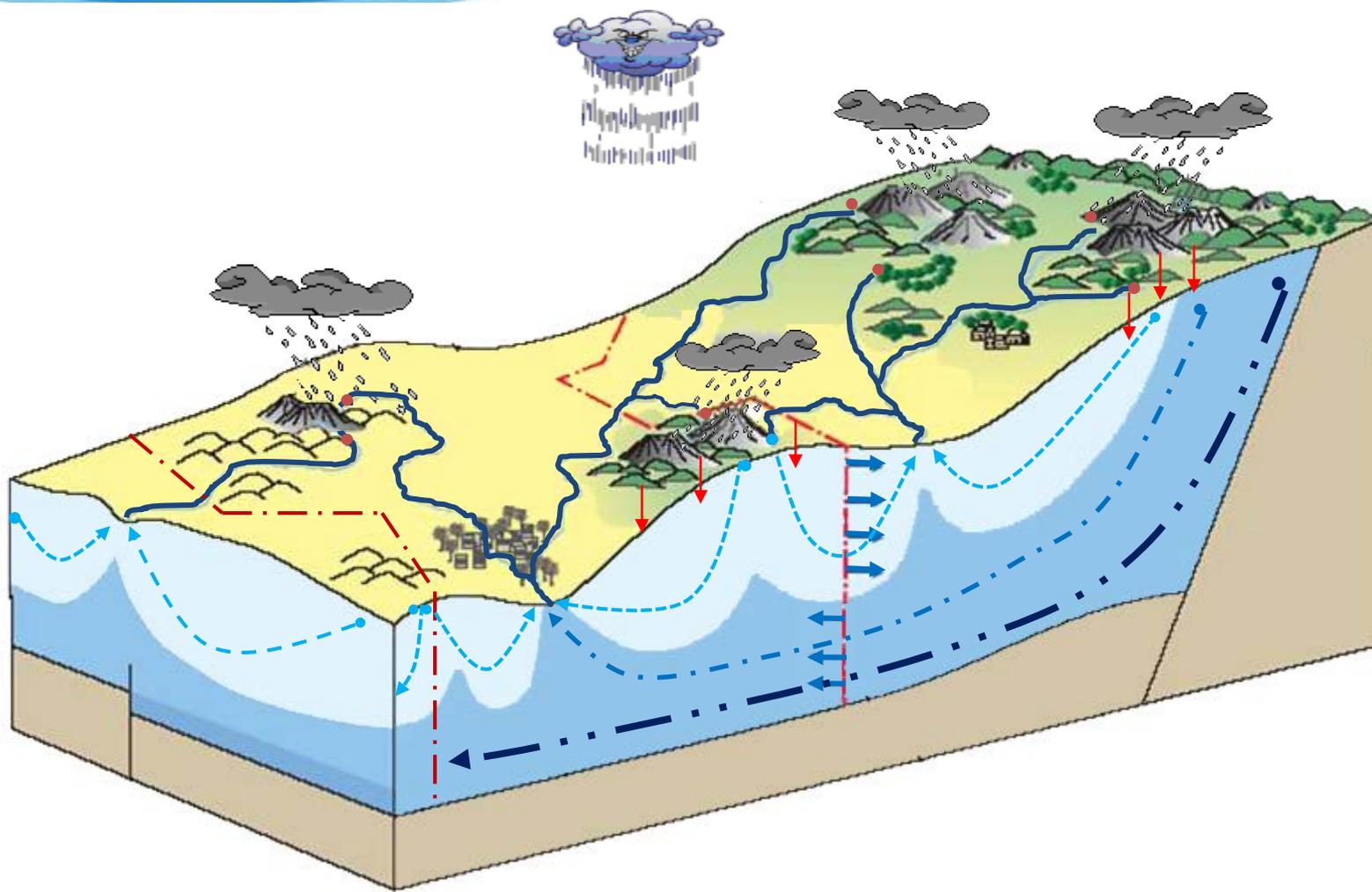
Resoluções do CNRH abordagem para a gestão integrada de águas superficiais e subterrâneas

Previsão Legal para Gestão Integrada de recursos hídricos

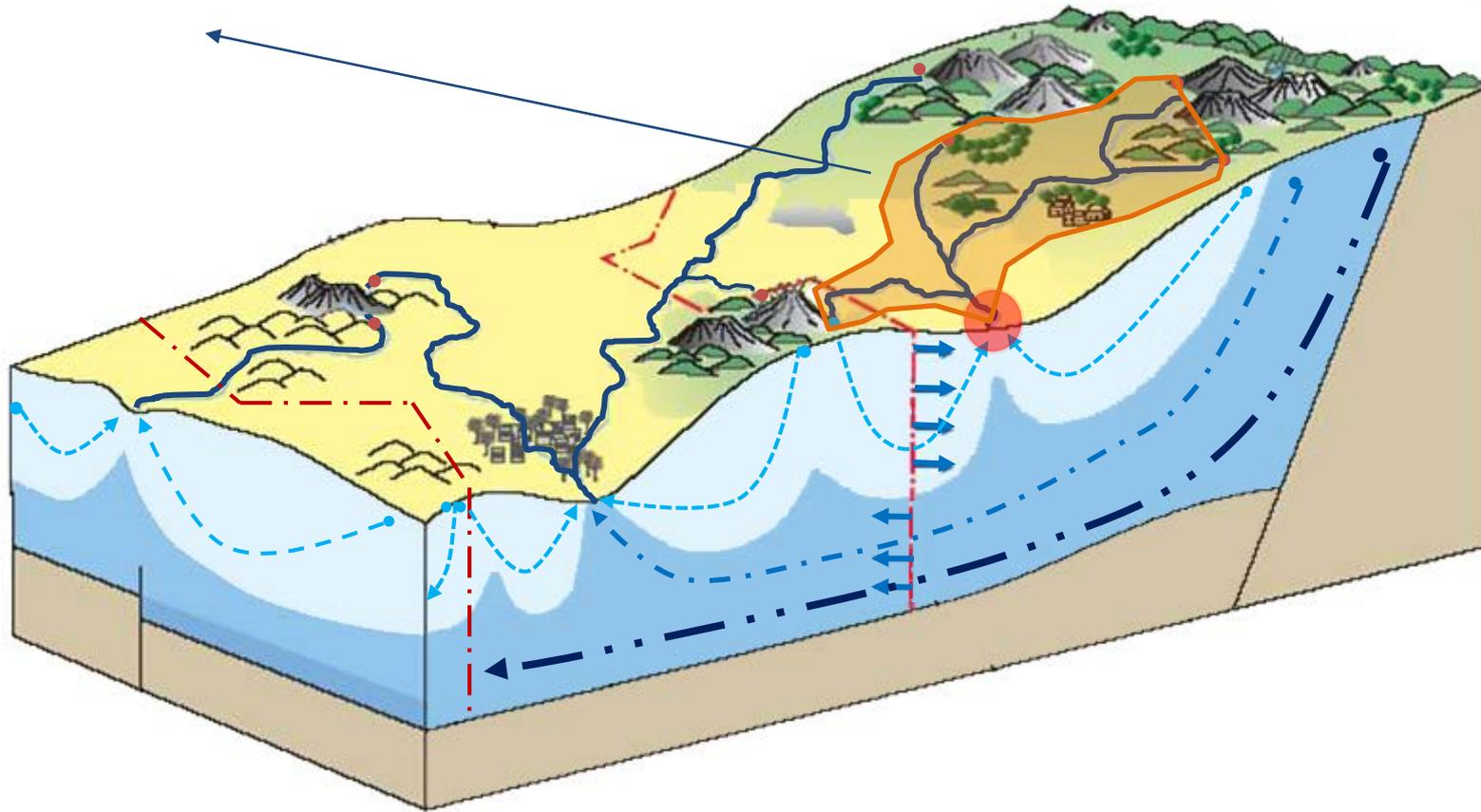
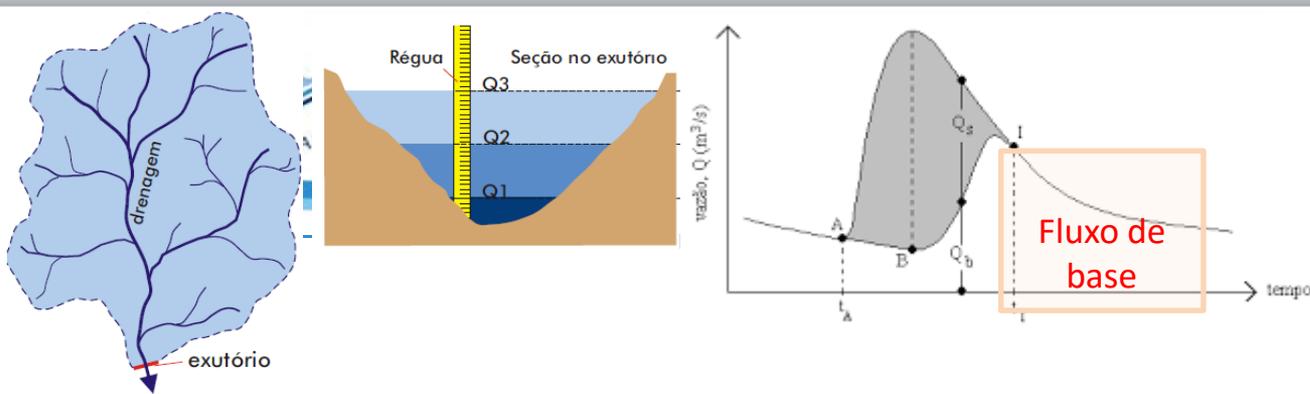
Res CNRH	Instrumento/Tema	Pontos chaves
13/2000	Sistema de Informações	- Promoção da gestão integrada - Disponibilização de dados, sistemas de avaliação e outorgas de águas superficiais e subterrâneas
15/2000	Diretrizes nacionais para gestão integrada	-Implementação dos instrumentos da PNRH, considerando a interdependência das águas superficiais e subterrâneas . -Sistema de informações: disponibilizar dados para gerenciamento integrado das águas
16/2001	Outorga	-Avaliação integrada considerando a interdependência das águas superficiais e subterrâneas
22/2001	Águas Subterrâneas em Planos	- Planos devem promover a caracterização dos aquíferos e definir as inter-relações de cada aquífero com os demais corpos hídricos superficiais e subterrâneos
91/2008	Enquadramento	- Enquadramento deve considerar, de forma integrada e associada , as águas superficiais e subterrâneas
92/2008	Proteção das águas subterrâneas	-Os Planos devem delimitar as áreas de recarga e definir suas zonas de proteção - Informações (estudos, monitoramento, planos) incorporadas ao Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos

POR QUE FAZER GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS?

- O ciclo hidrológico é naturalmente integrado;
- Agir proativamente de maneira a evitar futuros conflitos de disponibilidade entre usos e usuários;
- Dispor de valores de oferta hídrica mais realistas;
- Uso sustentável dos recursos hídricos, reduzindo-se a possibilidade de danos ambientais importantes (seca de cursos d'água, salinização, colapso estruturas, entre outros);
- Cumprir disposição legal.



INTRODUÇÃO

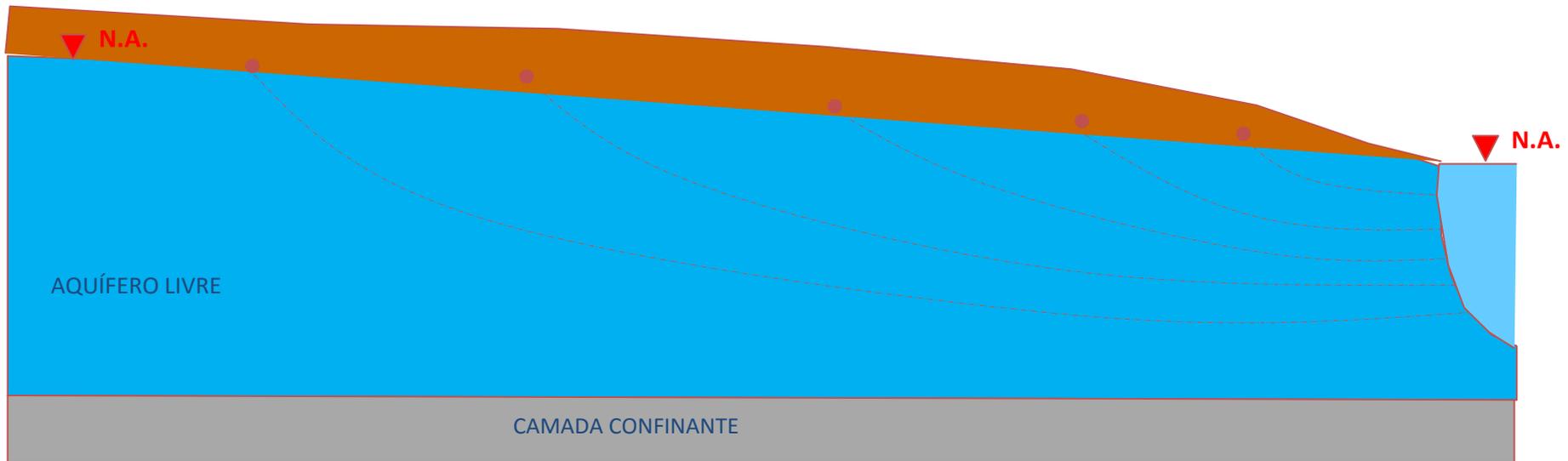


Visão sistêmica do ciclo hidrológico

(Puri, 2002; ANA, 2010)

Cenário 1 (t₀)

Pré-desenvolvimento da exploração de águas subterrâneas:
Recarga = Fluxo de base + recarga profunda

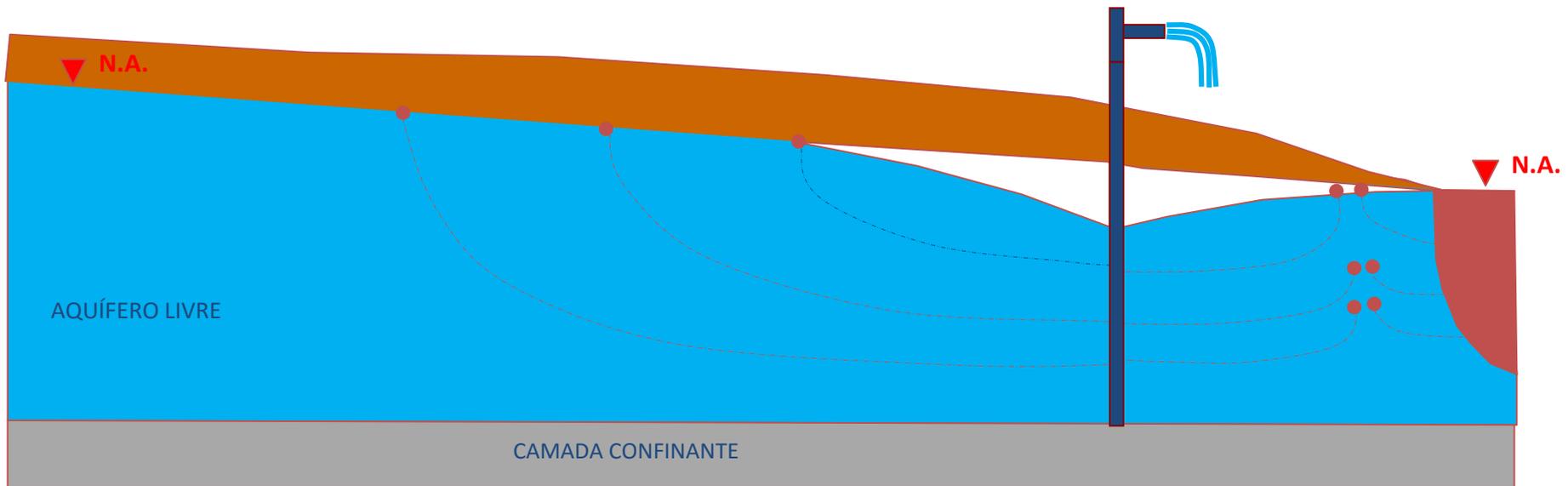


ANA, 2010

Interação rio x aquífero

Cenário 2 (t1)

Redução da descarga natural do aquífero para o fluxo de base (vazão rio).

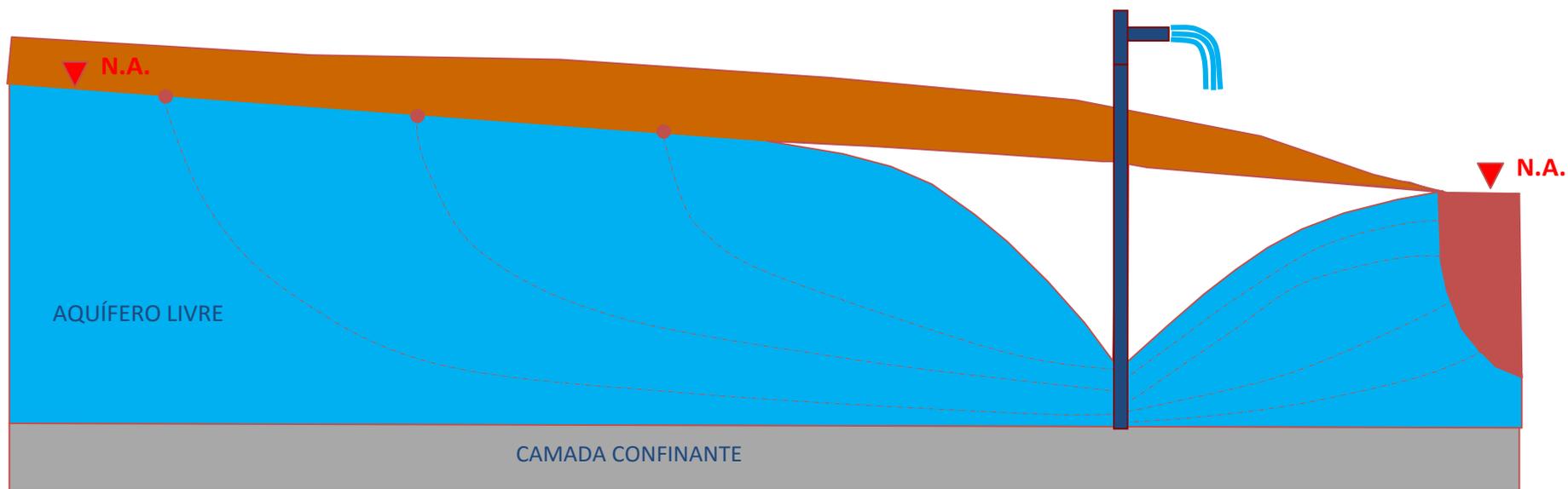


ANA, 2010

Interação rio x aquífero

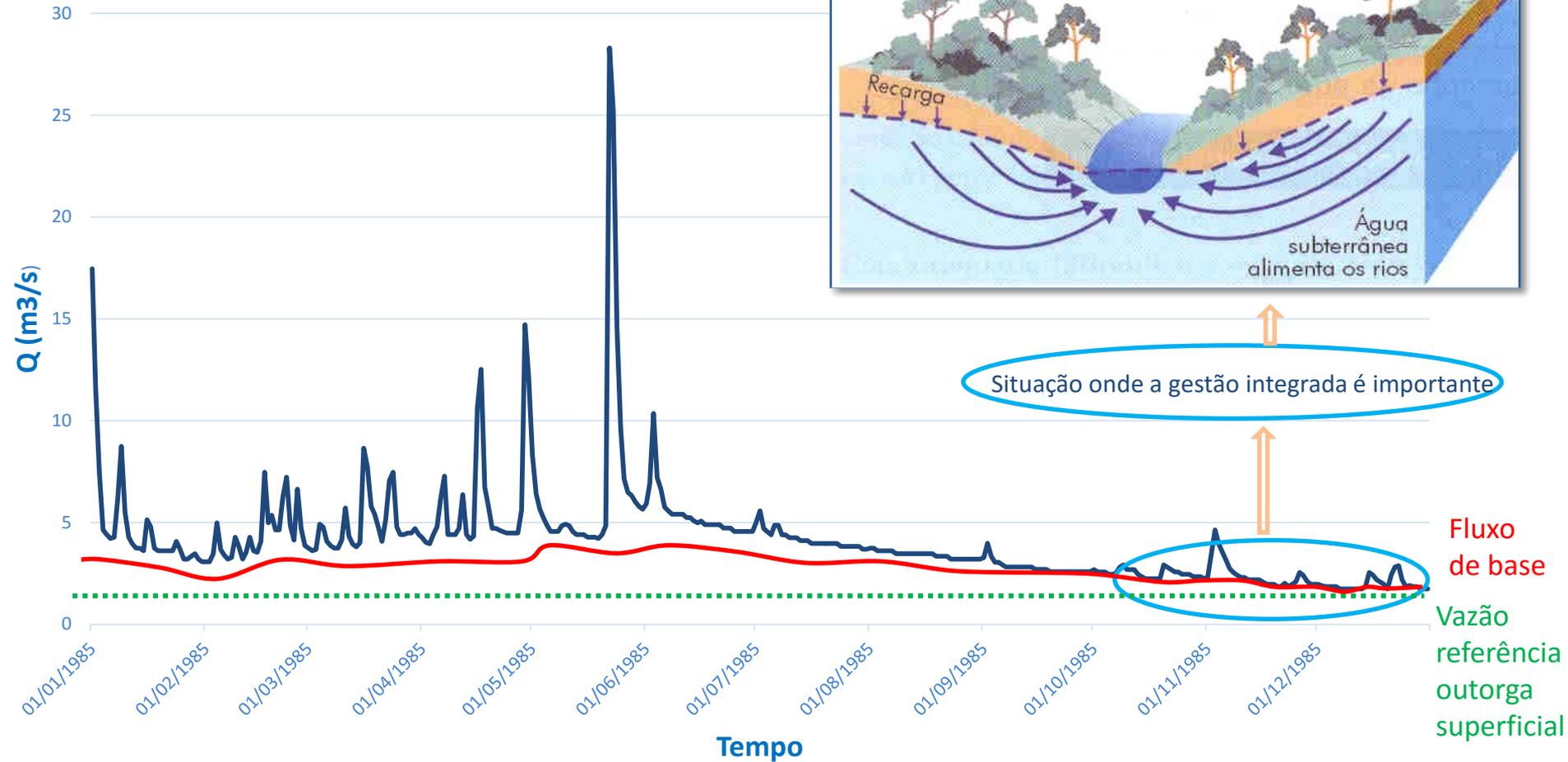
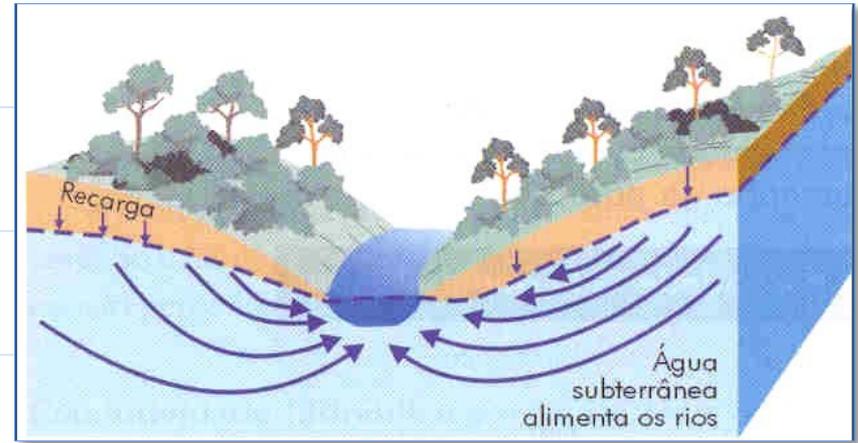
Cenário 3 (t2)

Poderá ocorrer redução na contribuição do fluxo de base para o rio, sendo que no período de estiagem é possível o comprometimento das outorgas superficiais ($Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90}) nas áreas onde a relação demanda/oferta é crítica.



ANA, 2010

Interação rio x aquífero



Q

Q1 Qbase1 Q90

Vazão natural do rio e escoamento de base

Escoamento de base

Vazão natural do rio

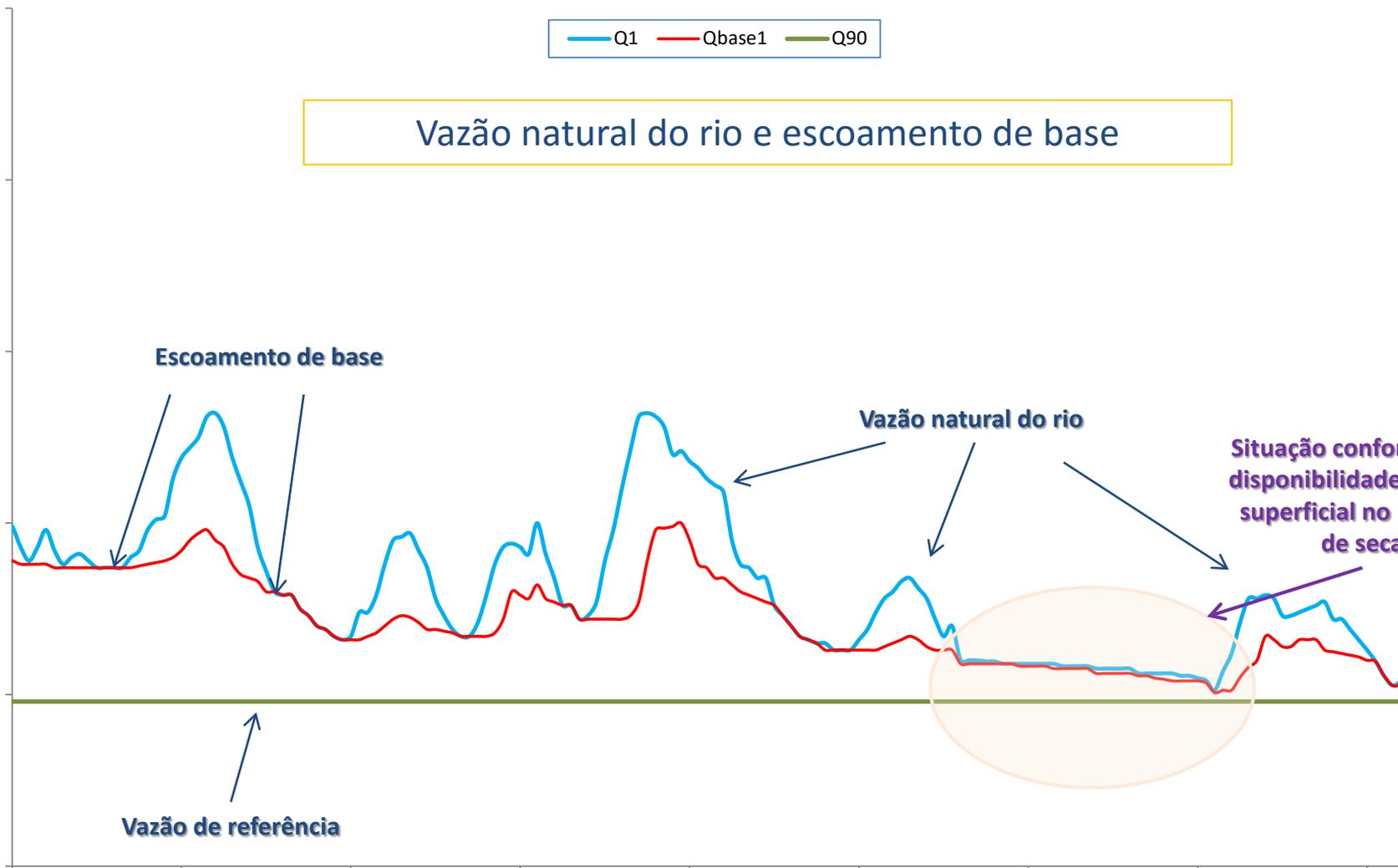
Situação confortável de disponibilidade de água superficial no período de seca

Vazão de referência

tempo

Hidrograma com separação de escoamentos

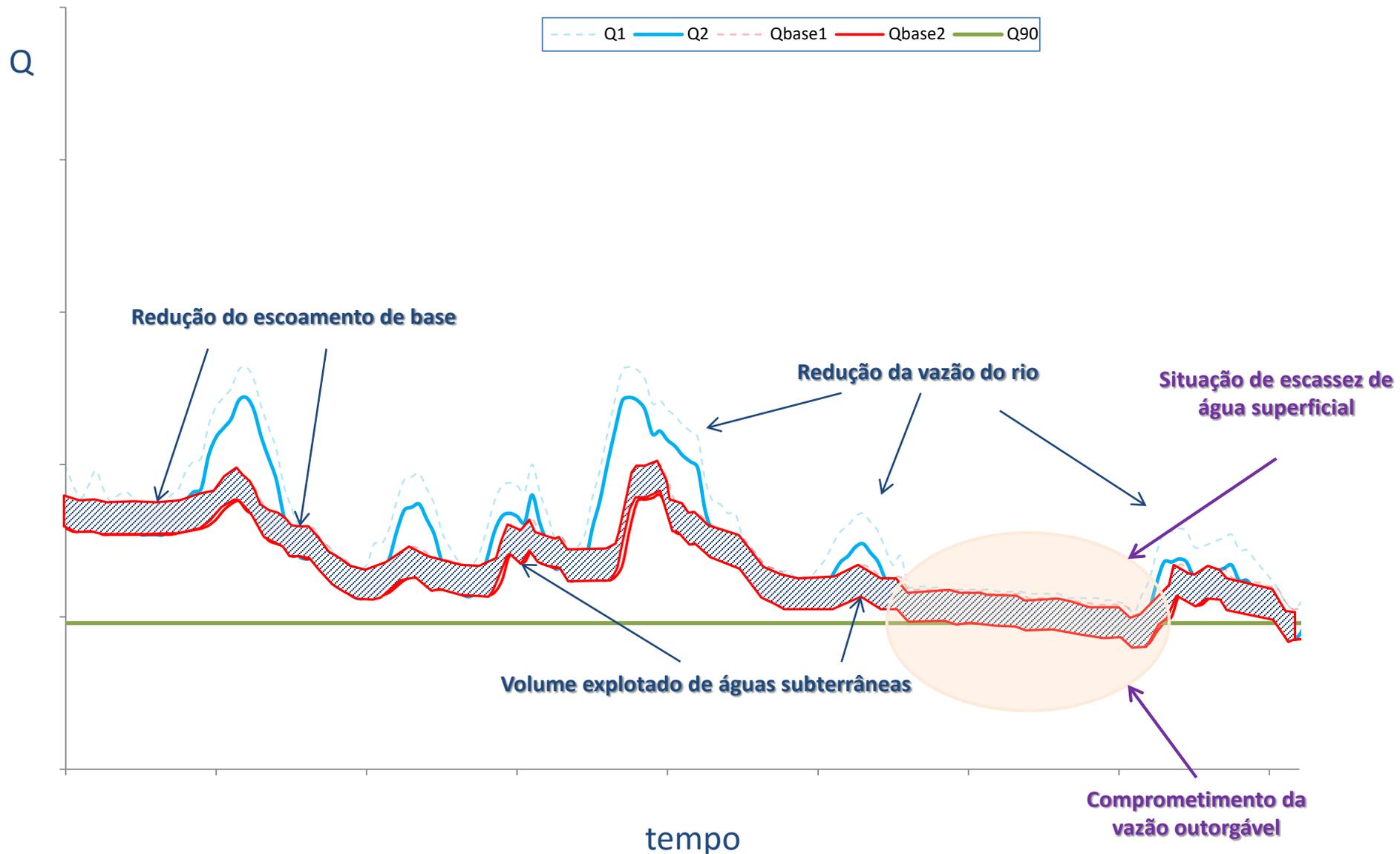
(ANA, 2013)



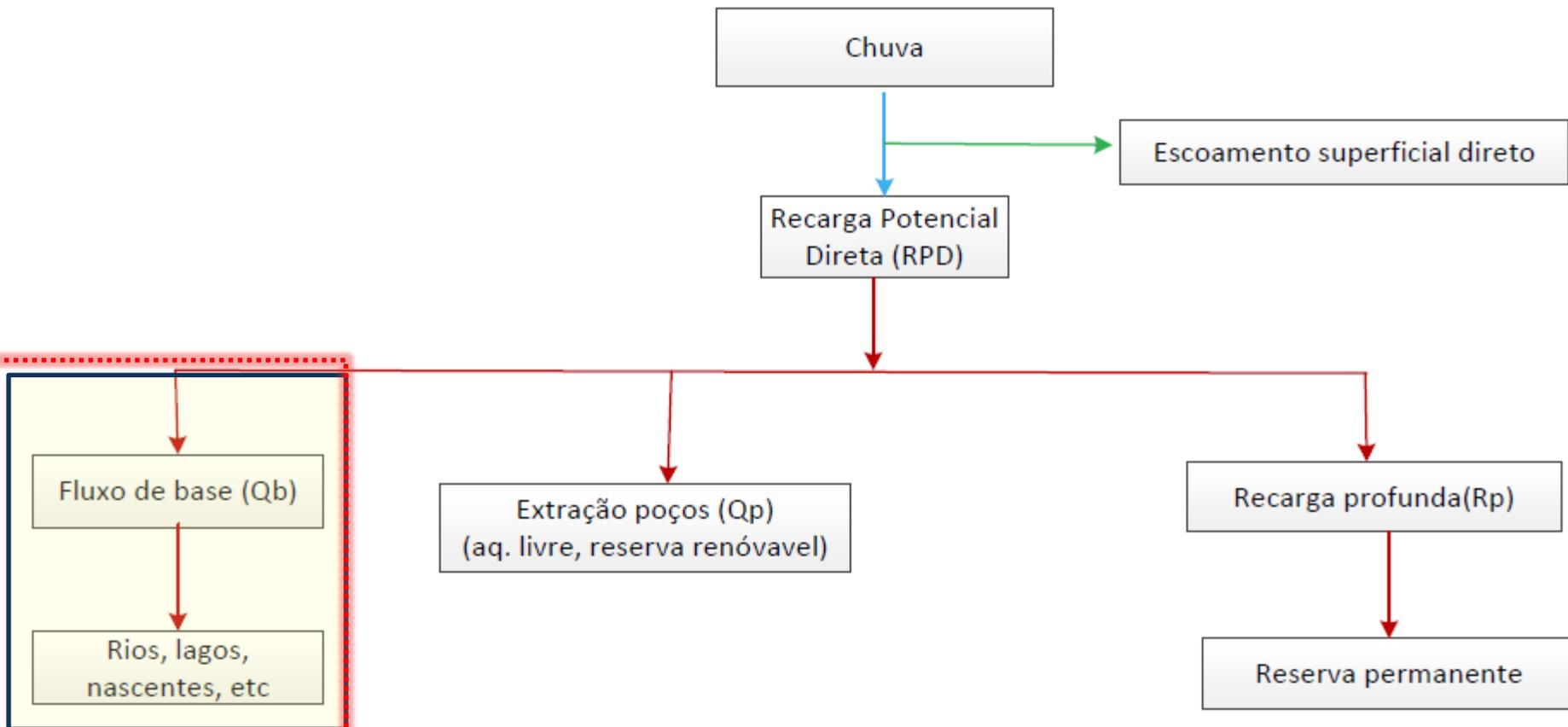
Redução do escoamento de base devido à exploração de águas subterrâneas

Redução da vazão natural do rio

Pode comprometer a vazão outorgável



Hidrograma com separação de escoamentos



Vazões referência
outorga superficial
 $Q_{7,10}$, Q_{95} , Q_{90}

(ANA, 2014)

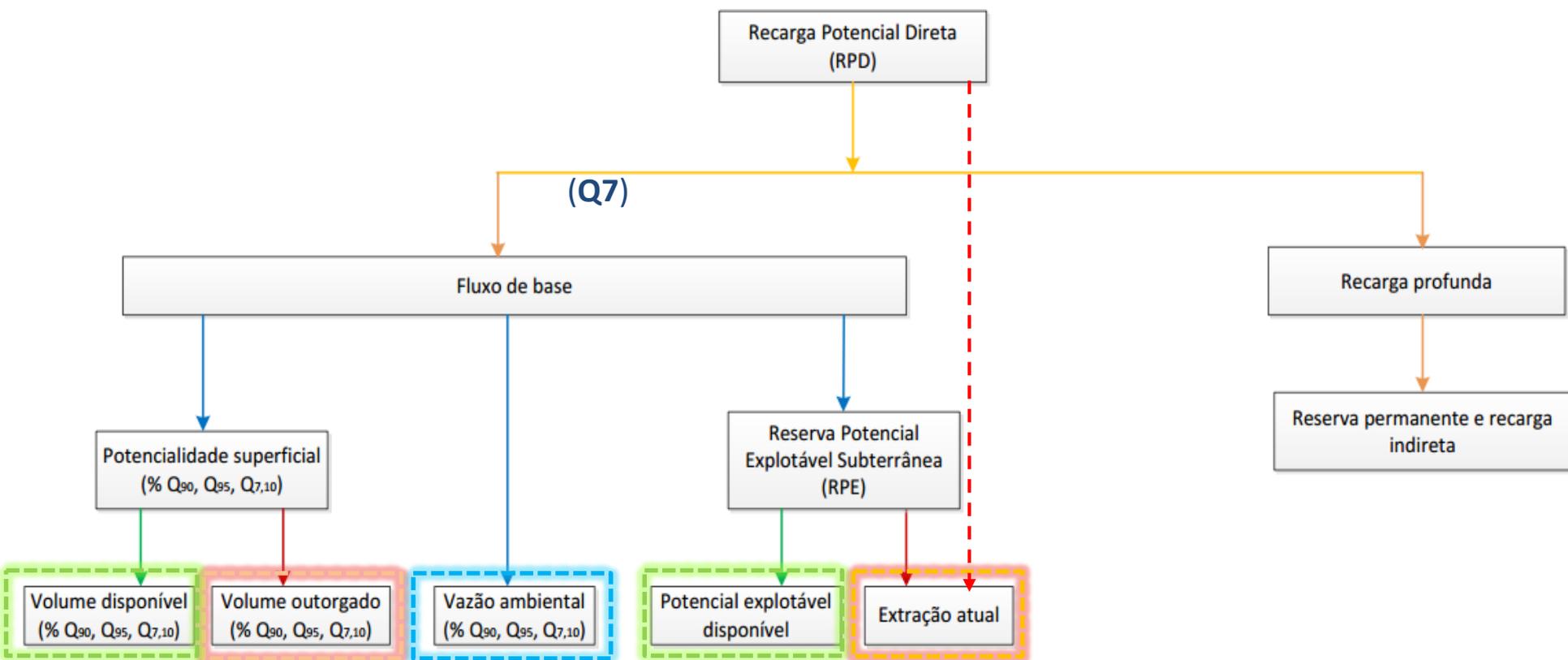
Diagrama de blocos esquemático da conversão chuva x recarga x escoamento

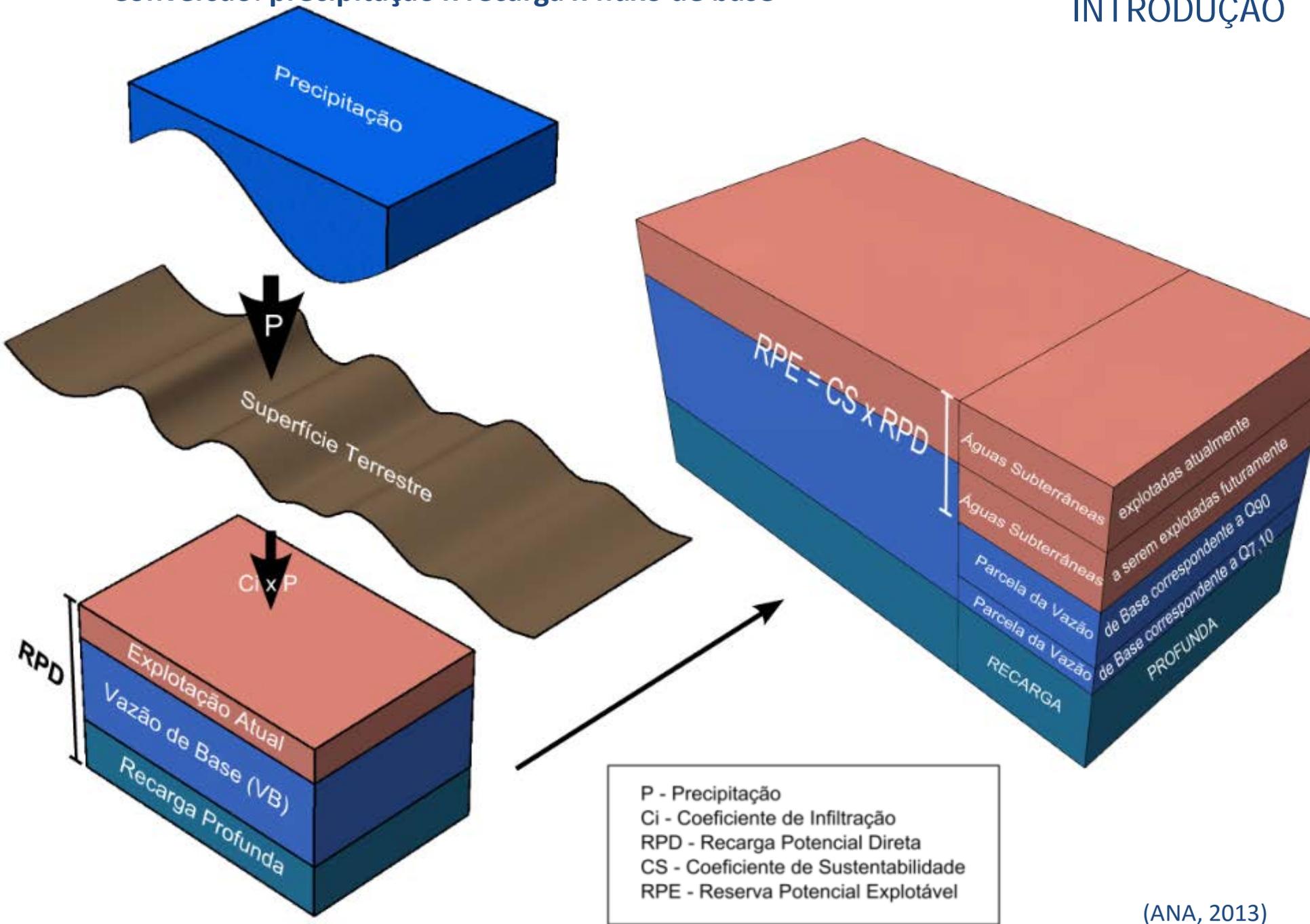
Dados de entrada ➡

Recarga (RPE = RPD X CS)

Dados de saída ➡

Fluxo de base





O que e como quantificar?

➤ Recarga

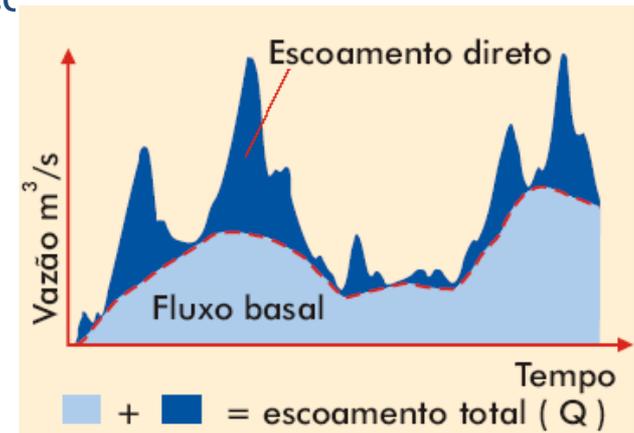
Balanço hídrico
Taxa de infiltração
Variação níveis poços
Isótopos
....

➤ Fluxo de base

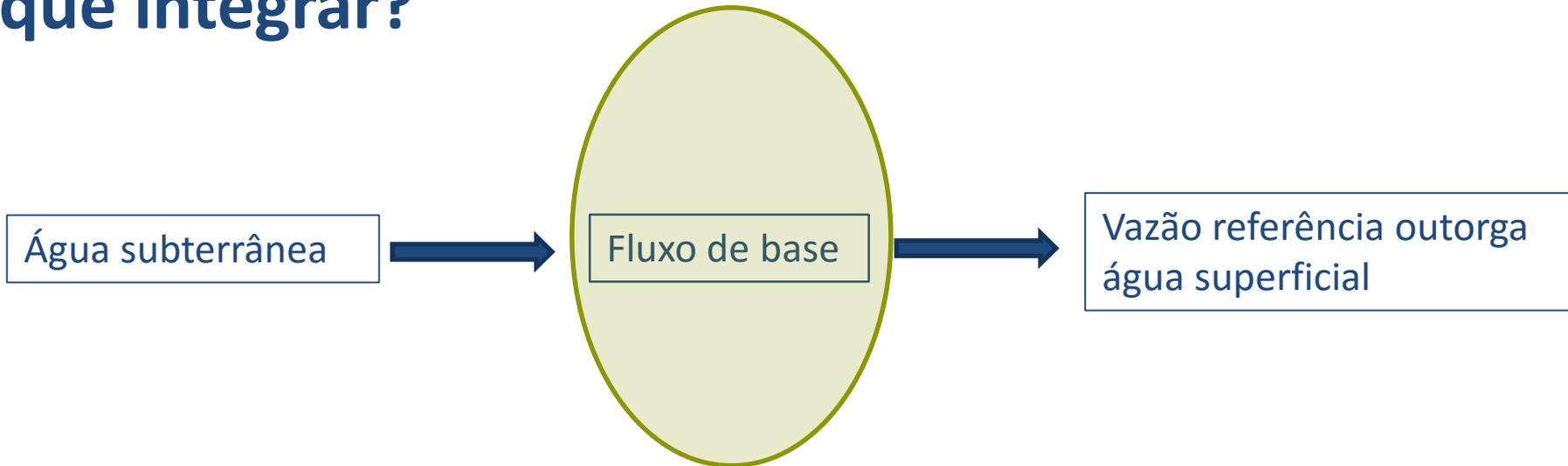
Vazões mínimas ($Q_7, Q_{7,10}; Q_{90}, Q_{95}$)
Relações curva permanência Q_{90}/Q_{50}
Curva recessão
Separação hidrogramas (métodos gráficos)
Métodos Numéricos
....



**SEPARAÇÃO DE
ESCOAMENTO**



O que integrar?



**integração entre as componentes
subterrânea e superficial**

Estimativa do escoamento de base por intermédio da vazão mínima Q_7

- ❑ A vazão Q_7 representa o valor médio da série histórica das vazões mínimas das médias móveis de sete dias, ao longo do período de dados das estações fluviométricas.
- ❑ Em sendo a vazão mínima das médias móveis de sete dias, considerada ano a ano, representa a contribuição subterrânea, uma vez que é medida em época de baixas vazões, ou seja, durante a estiagem, quando a vazão superficial é mantida pelo fluxo de base.
- ❑ Materializa a contribuição do fluxo de base ao escoamento superficial total.
- ❑ Calculado a partir de séries de vazões naturais ou naturalizadas, sem a influência de regularizações, quando estas ocorrem, devem ser filtradas .

P1- Série de vazões diárias

Dia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	26,1	12,5	10,0	26,6	7,5	7,3	6,3	6,3	11,0	5,9	6,5	13,2
2	25,6	11,8	8,8	20,8	7,5	7,3	6,3	6,0	8,1	8,0	6,5	12,4
3	21,2	12,4	8,7	16,5	7,5	7,2	6,2	6,0	6,8	12,3	6,5	10,1
4	34,2	11,4	8,7	14,1	7,3	7,1	6,2	5,7	6,2	13,3	7,4	8,6
5	40,2	11,9	8,7	14,1	7,3	7,1	6,2	5,7	5,8	10,3	12,0	7,8
6	33,3	13,6	9,0	14,2	7,2	7,1	6,2	5,7	5,6	6,8	16,2	10,2
7	32,0	12,7	10,1	15,2	7,1	7,0	6,2	5,7	5,6	6,4	16,8	7,7
8	30,5	13,9	10,9	16,2	7,1	7,0	6,0	5,7	5,9	6,2	16,0	7,3
9	20,8	14,6	10,4	13,6	7,0	7,0	6,0	5,5	6,3	6,3	8,9	7,8
10	16,4	15,5	10,6	11,6	7,0	6,8	6,0	5,5	5,8	7,0	8,7	7,8
11	16,0	15,1	12,6	10,9	7,0	6,8	6,0	5,5	5,5	7,1	10,2	7,7
12	15,0	12,6	13,8	10,8	7,1	6,8	6,0	5,5	5,5	6,5	8,3	10,2
13	14,0	12,0	13,1	10,6	9,3	6,8	6,0	5,5	5,5	6,7	9,0	10,6
14	14,0	14,3	13,0	10,4	10,1	6,8	6,0	5,5	5,6	8,3	14,9	10,2
15	17,2	15,9	10,7	9,9	10,9	6,8	6,2	5,5	6,2	6,6	17,3	9,9
16	20,6	12,4	10,0	9,5	9,4	6,8	6,2	5,5	6,8	6,0	18,1	12,8
17	16,8	12,2	8,6	9,4	10,1	6,7	6,2	5,4	7,3	5,8	16,8	25,2
18	12,8	15,2	8,9	9,2	10,9	6,7	6,3	5,3	7,1	5,9	13,5	23,0
19	11,6	16,8	8,7	9,0	10,1	6,7	5,9	5,3	6,2	6,1	13,4	20,2
20	12,6	13,7	14,6	8,9	8,7	6,7	5,9	5,3	5,9	8,0	14,6	19,2
21	11,6	11,2	11,0	8,6	8,1	6,7	5,8	5,5	5,6	11,5	13,7	18,6
22	13,0	10,4	10,1	8,4	8,0	6,6	5,7	5,3	5,5	16,0	14,1	16,2
23	14,8	10,0	10,1	8,4	7,8	6,5	5,9	5,3	5,5	18,5	13,2	14,2
24	19,0	9,9	9,4	8,2	8,0	6,5	6,0	5,3	5,6	17,7	10,8	13,6
25	20,4	9,9	8,7	8,0	7,9	6,5	6,3	5,5	5,8	13,2	10,1	13,0
26	24,7	9,9	8,2	8,0	7,7	6,5	6,7	5,5	5,7	9,1	10,1	12,8
27	17,4	9,9	9,3	8,0	7,8	6,3	6,5	5,5	5,7	7,8	8,4	11,6
28	14,8	9,5	10,7	7,8	8,1	6,3	6,2	5,5	5,8	6,5	8,0	14,4
29	13,0		25,2	7,7	7,8	6,3	6,2	5,9	6,0	6,5	8,4	17,0
30	15,4		26,6	7,7	8,0	6,3	6,7	6,3	5,9	6,2	11,9	18,2
31	14,6		29,1		7,7		6,5	10,2		6,2		21,2

P 2- Cálculo das médias móveis

Ano 2001		Média Móvel		Média Móvel
Dia	Agosto	7 dias	Setembro	7 dias
1	6,3		11,0	7,8
2	6,0		8,1	7,8
3	6,0		6,8	7,2
4	5,7	5,9	6,2	7,0
5	5,7	5,8	5,8	6,3
6	5,7	5,7	5,6	6,0
7	5,7	5,6	5,6	5,9
8	5,7	5,6	5,9	5,8
9	5,5	5,6	6,3	5,7
10	5,5	5,5	5,8	5,7
11	5,5	5,5	5,5	5,7
12	5,5	5,5	5,5	5,7
13	5,5	5,5	5,5	5,8
14	5,5	5,5	5,6	6,0
15	5,5	5,4	6,2	6,3
16	5,5	5,4	6,8	6,4
17	5,4	5,4	7,3	6,4
18	5,3	5,4	7,1	6,4
19	5,3	5,4	6,2	6,3
20	5,3	5,4	5,9	6,2
21	5,5	5,4	5,6	5,9
22	5,3	5,4	5,5	5,7
23	5,3	5,4	5,5	5,7
24	5,3	5,4	5,6	5,6
25	5,5	5,4	5,8	5,7
26	5,5	5,5	5,7	5,7
27	5,5	5,6	5,7	5,8
28	5,5	6,3	5,8	
29	5,9	7,1	6,0	
30	6,3	7,5	5,9	
31	10,2	7,7		

5,4

5,6

P3- Quadro com os valores de Q_7 para todos os anos da série

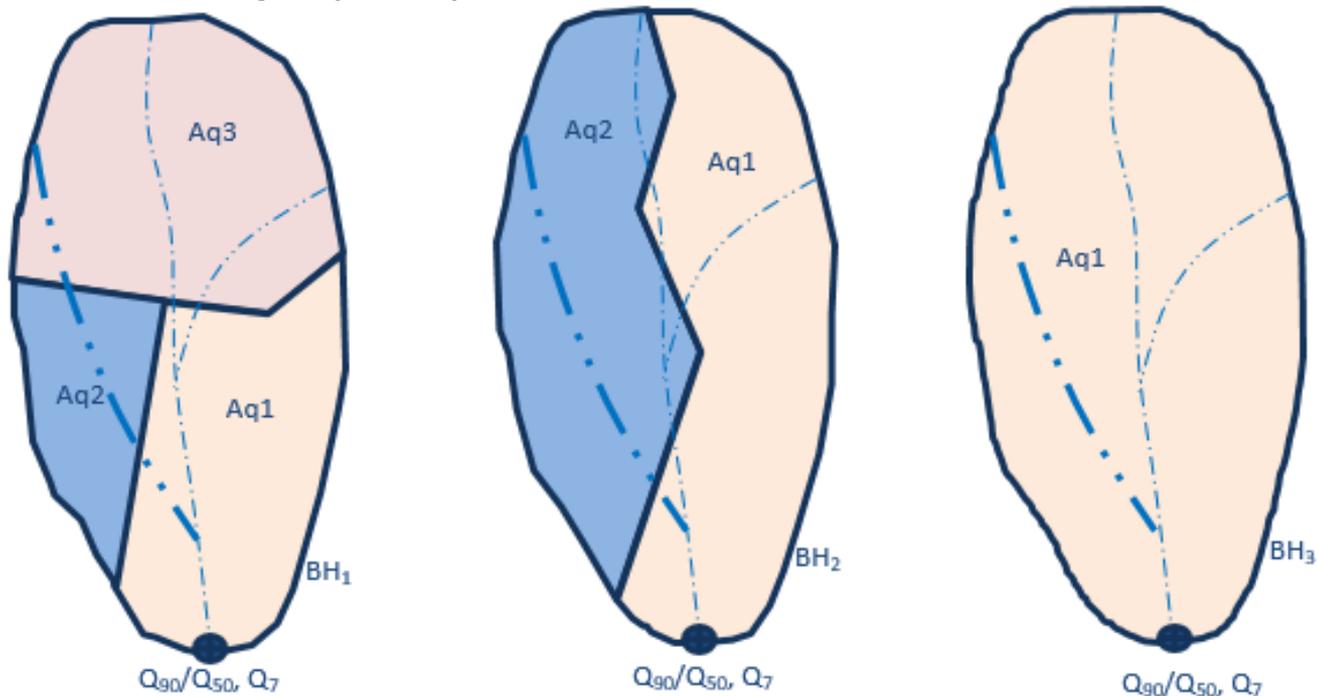
Série de valores de média móvel de 7 dias, para cada ano

Ano	$Q_7 (m^3 s^{-1})$	Ano	$Q_7 (m^3 s^{-1})$	Ano	$Q_7 (m^3 s^{-1})$
1933	5,4	1956	5,8	1979	6,6
1934	5,2	1957	6,2	1980	6,7
1935	6,8	1958	6,1	1981	6,7
1936	6,0	1959	5,2	1982	8,0
1937	6,0	1960	5,6	1983	11,5
1938	7,5	1961	5,8	1984	4,9
1939	5,3	1962	6,4	1985	5,9
1940	5,9	1963	4,6	1986	5,4
1941	5,3	1964	4,5	1987	6,9
1942	6,1	1965	6,7	1988	7,3
1943	7,2	1966	6,9	1990	6,5
1944	5,6	1967	6,6	1991	7,1
1945	5,8	1968	4,6	1992	6,6
1946	6,4	1969	5,7	1993	5,6
1947	8,0	1970	6,1	1994	5,0
1948	4,9	1971	4,7	1995	5,0
1949	4,2	1972	6,9	1996	6,8
1950	6,7	1973	6,4	1997	6,4
1951	6,3	1974	5,6	1998	5,8
1952	6,5	1975	4,7	1999	4,9
1953	4,2	1976	7,1	2000	5,9
1954	4,2	1977	6,2	2001	5,4
1955	3,6	1978	5,4	Q_7 (média)	6,4

Q_7 (média) = média dos valores de Q_7 dos anos da série (1933 a 2001)

$Q_{7,10} = 4,54 m^3/s$

Qual a contribuição por aquífero?



$$(Q_{90}/Q_{50}, Q_7) BH1 = \sum (P1Aq1) + (P2Aq2) + (P3Aq3)$$

$$(Q_{90}/Q_{50}, Q_7) BH2 = \sum (P1Aq1) + (P2Aq2)$$

$$(Q_{90}/Q_{50}, Q_7) BH3 = Aq1$$

Aq1= aquífero 1 - peso aquífero ($P1$) = $(A1, K1, ne1, dec1)$

Aq2= aquífero 2 - peso aquífero ($P2$) = $(A2, K2, ne2, dec2)$

Aq3= aquífero 3 - peso aquífero ($P3$) = $(A3, K3, ne3, dec3)$

BH1 –bacia hidrográfica 1

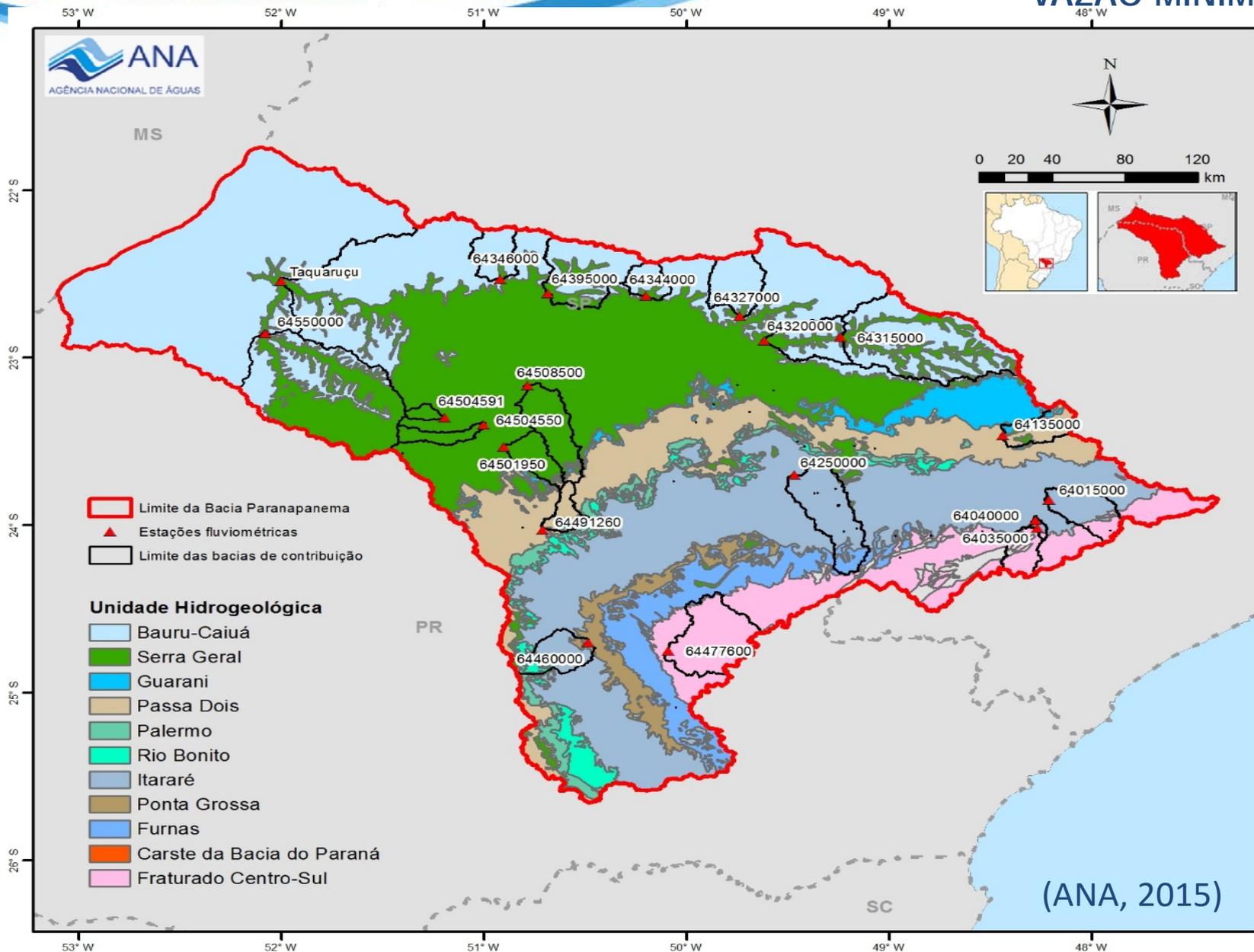
A1= área aflorante do aquífero 1 na bacia hidrográfica

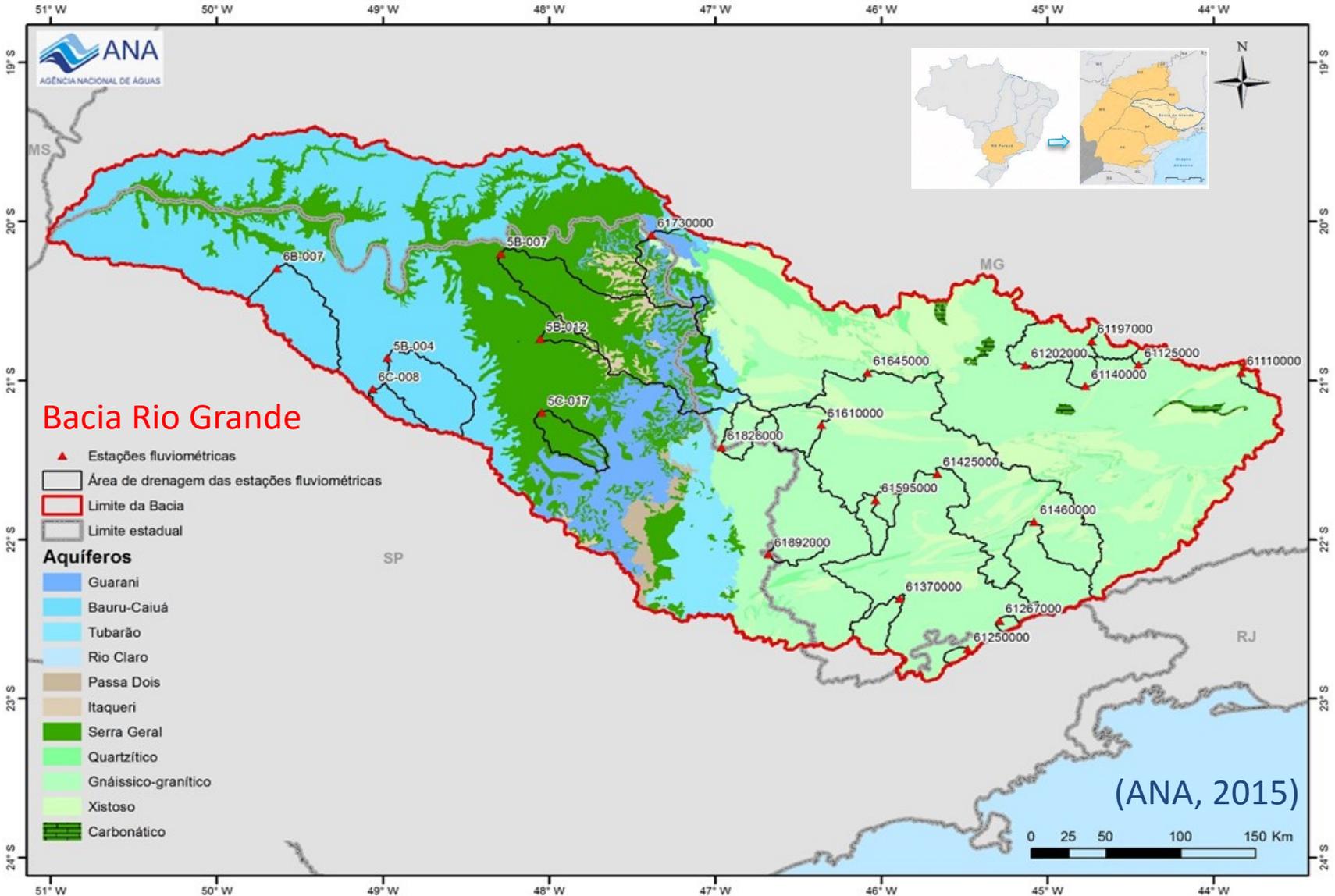
K1 = condutividade hidráulica do aquífero 1

ne1= porosidade eficaz do aquífero 1

dec1 =declividade da área aflorante do aquífero 1

-  Estação fluviométrica
-  Drenagem





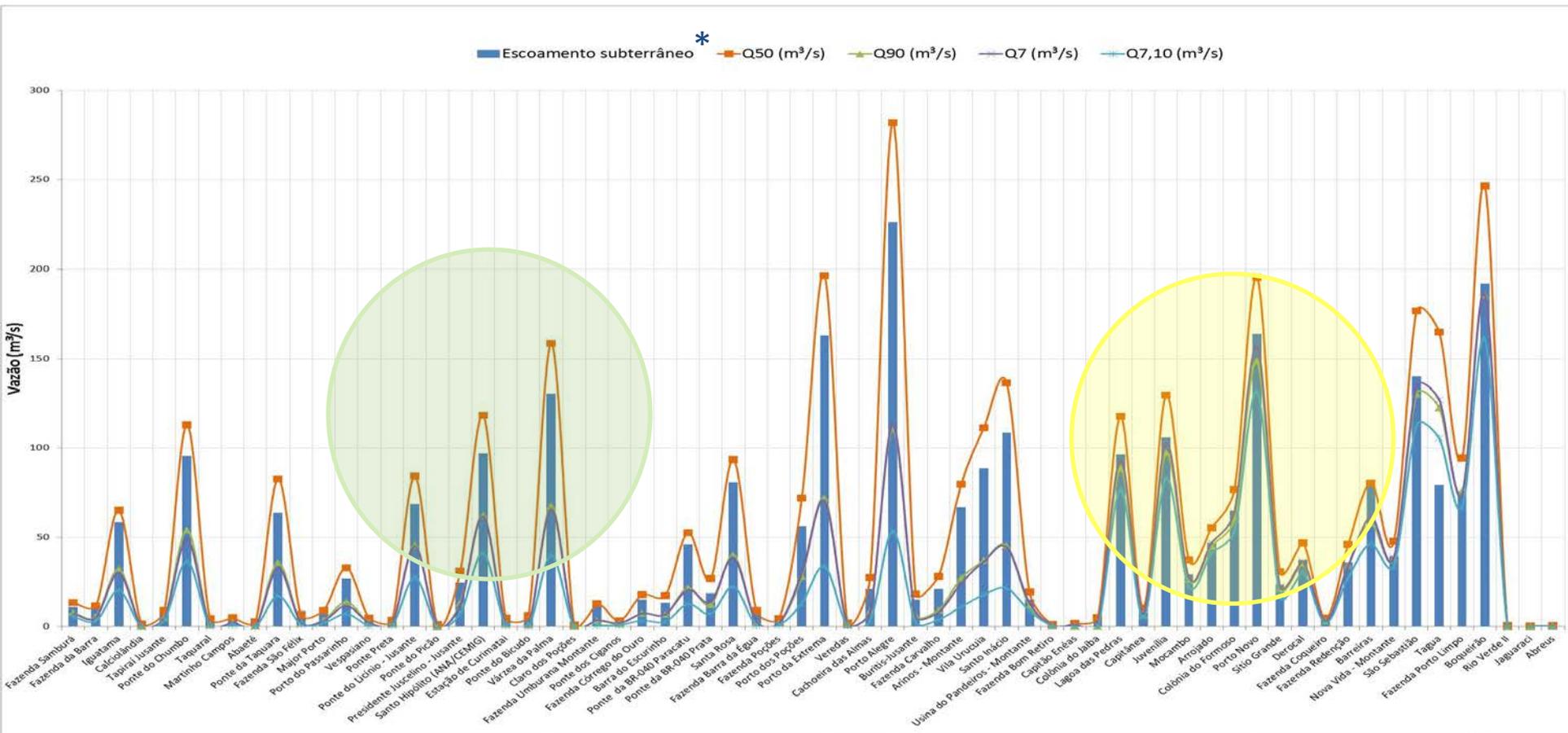
Distribuição estatística dos dados de tendência central para as relações entre a vazão Q_7 com algumas vazões referenciais para outorga de água superficial

Parâmetros (N=27)	Q_{90}/Q_7	Q_{95}/Q_7	$Q_{7,10}/Q_7$	Q_7/Q_{mlt}
Média	1,02	0,85	0,59	0,37
Mediana	1,04	0,87	0,61	0,39
Desvio Padrão	0,14	0,15	0,11	0,10
Variância	0,02	0,02	0,01	0,01
Máximo	1,49	1,24	0,77	0,52
Mínimo	0,59	0,29	0,35	0,12
Estação Rifaina *	1,10	0,97	-	0,36

(*) Estação Rifaina (61730000) cobre 43% da área da **Bacia do Grande**.

Parâmetros (N=19)	Q_{90}/Q_7	Q_{95}/Q_7	$Q_{7,10}/Q_7$	Q_7/Q_{mlt}
Média	0,99	0,82	0,56	0,41
Mediana	0,99	0,81	0,61	0,41
Desvio Padrão	0,07	0,07	0,13	0,16
Variância	0,00	0,01	0,02	0,03
Máximo	1,20	0,96	0,74	0,72
Mínimo	0,91	0,64	0,24	0,10
Est. Taquaruçu*	1,01	0,84	0,63	0,39

(*) Estação Taquaruçu cobre 83% da área da **bacia do Paranapanema**



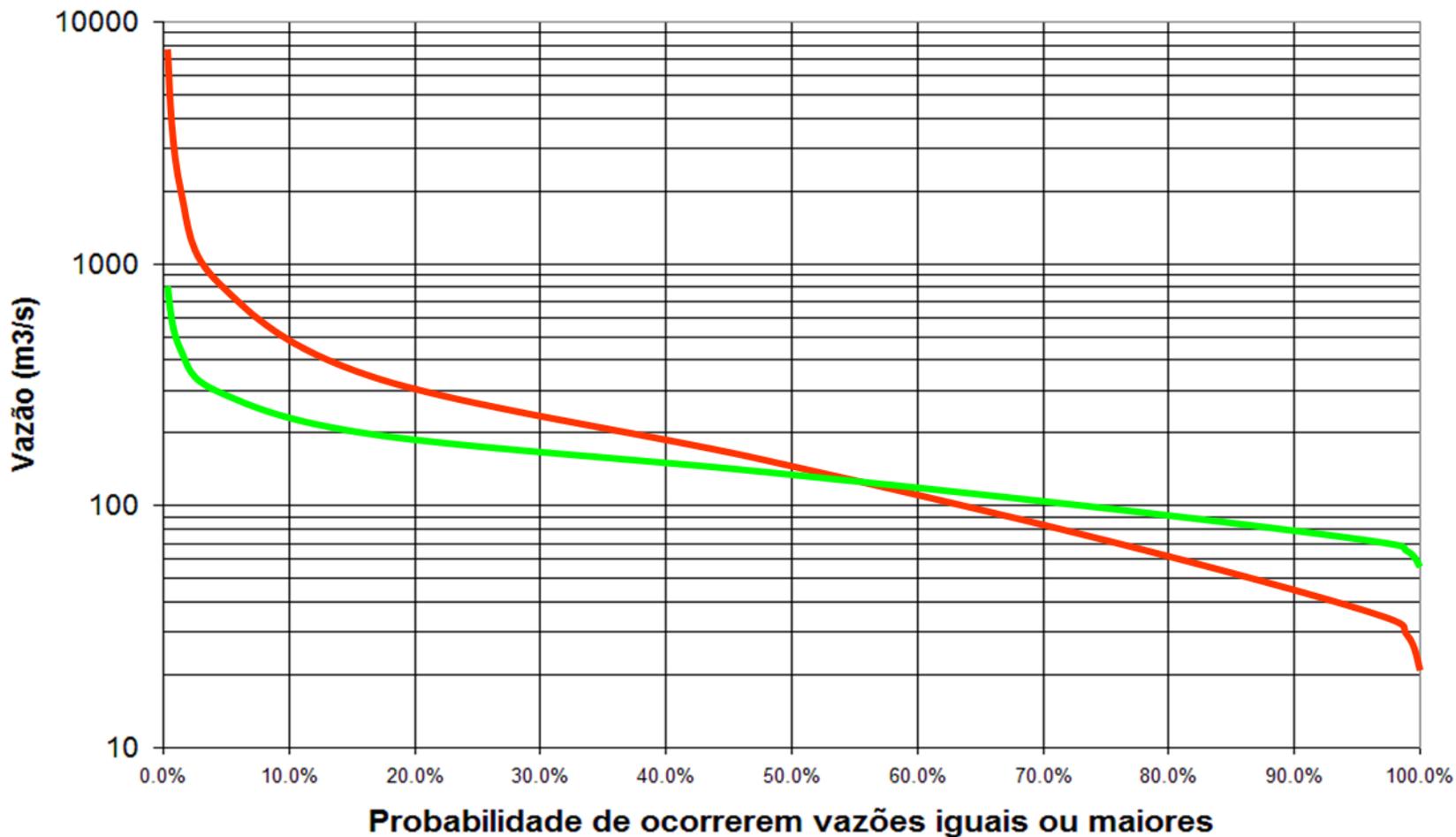
(* escoamento subterrâneo calculado por filtros)

Separação de escoamentos em 59 estações fluviométricas da bacia do São Francisco, cobrindo o Alto, Médio e Sub-Médio São Francisco

RELAÇÃO Q_{90}/Q_{50}

Curva de permanência

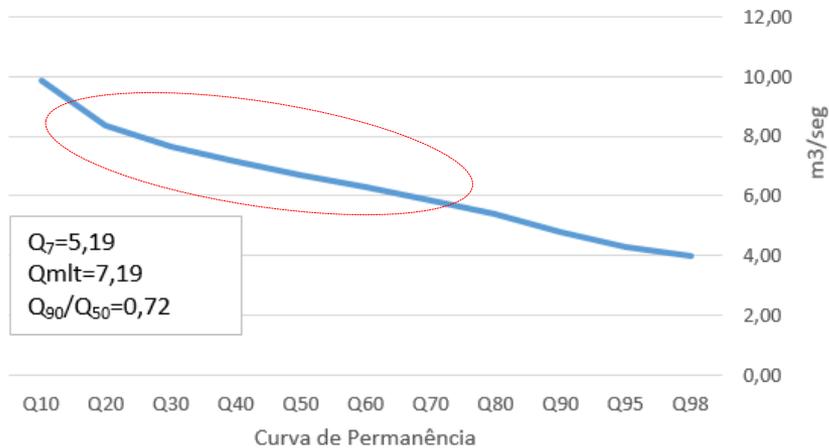
- Representa de modo gráfico, a relação entre a magnitude e frequência com que as vazões são igualadas ou superadas em um dado período de tempo.
- Fornece uma simples, mas concisa, visão gráfica do comportamento hidrológico de uma bacia, quanto à variabilidade das vazões ao longo do tempo.



Forma da curva de permanência da indica o regime do rio, que é função da geologia relevo, área, solo, chuva, clima, urbanização, etc.

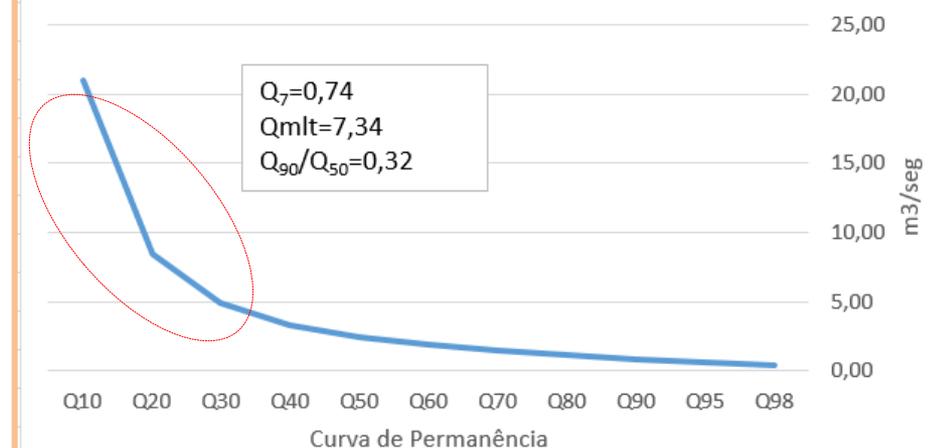
- ❑ A relação Q_{90}/Q_{50} , derivada de vazões características da curva de permanência, indica a **proporção da contribuição da água subterrânea no escoamento** ou o percentual do fluxo de base, sem considerar os efeitos de escala da bacia.
- ❑ **Referências.**
 - Lyne & Hollick (1979)
 - Smothikin (2001)
 - Welderufael & Woyessa (2010)
- ❑ Cálculo da relação Q_{90}/Q_{50} nas diversas estações disponíveis na bacia, deve considerar a demarcação das áreas de contribuição.

Estação 64346000 BC



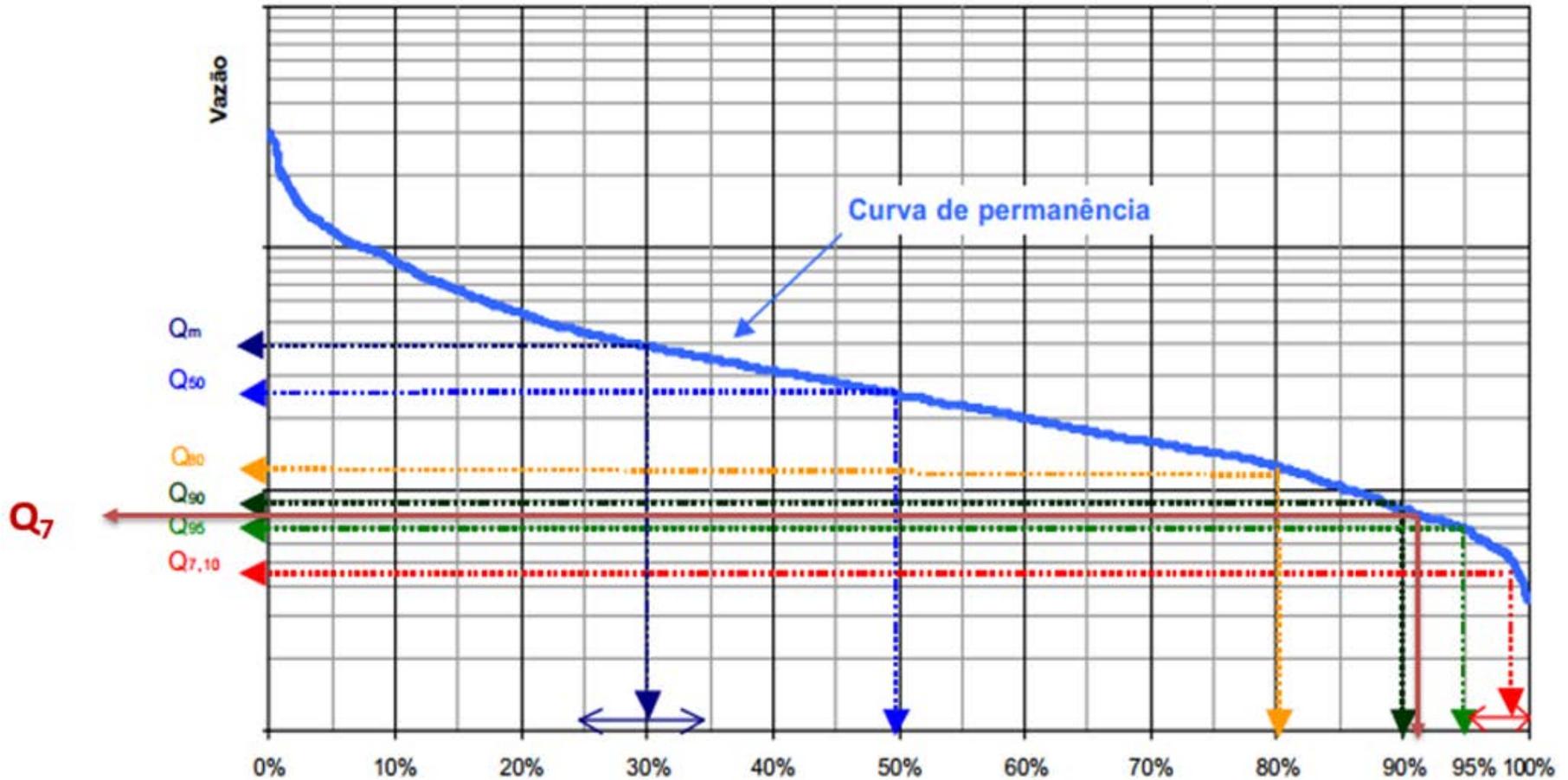
Aquífero com elevadas porosidade e permeabilidade, fluxo de base é parcela importante do escoamento superficial médio

Estação 64135000 PD



Aquífero com baixa permeabilidade, fluxo de base pouco significativo para o escoamento superficial médio.

Forma da curva de permanência em rios alimentados por diferentes aquíferos



Relação de vazões mínimas versus típicas da curva de permanência

- ❑ **United States Geological Survey (USGS):** O programa HYSEP (Sloto & Crouse 1996) fornece três métodos numéricos para separar o escoamento direto e a vazão de base.
- ❑ O método considera que a separação do hidrograma ocorrerá durante a ocorrência de eventos de cheias, até quando o escoamento superficial cessar. A partir daí considera-se que o hidrograma é totalmente sustentado pela vazão de base.

Métodos do HYSEP:

- Métodos do Intervalo Fixo (MIF);
- Intervalo Deslizante (MID) ;
- Método do Mínimo Local (MML).

<i>Método de separação</i>		<i>Contribuição subterrânea</i>
Q ₉₀ /Q ₅₀		79%
Hysep MIF/MID		94%
Hysep MML (Pimentel et al, 2000)		91%
Filtro Arnold et al (1995, 1999)	1ª passada	95%
	2ª passada	92%
	3ª passada	89%
Filtro do Institute of Hydrology		96%

Obs. MIF = Método do Intervalo Fixo; MID = Método do Intervalo Deslizante; MML = Método do Mínimo Local.

Comparação dos valores da contribuição subterrânea ao escoamento superficial no sistema aquífero Urucuia, no rio das Fêmeas, 1984 a 1995, conforme diferentes métodos.

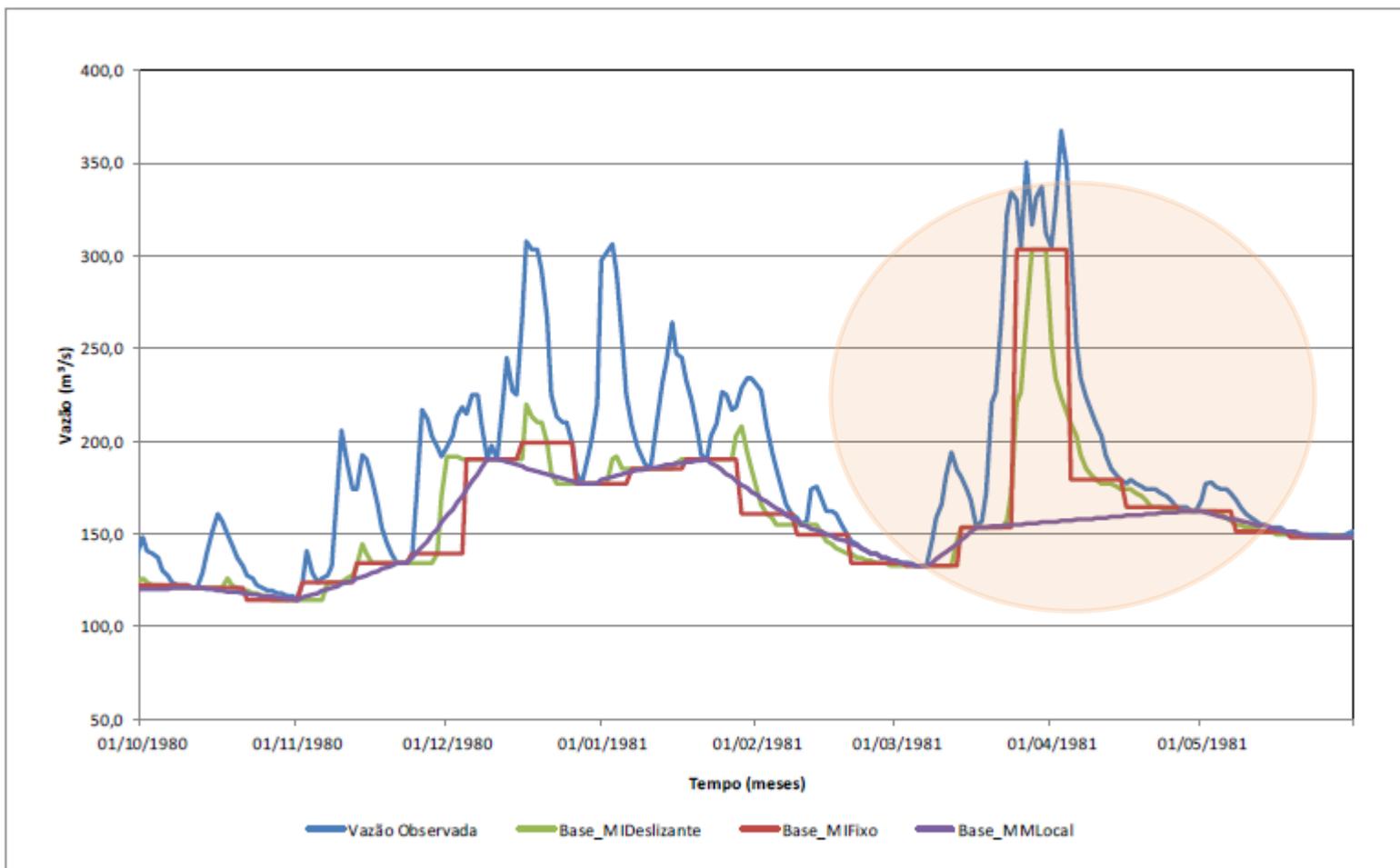
<i>Rio</i>	<i>Posto</i>	<i>Período</i>	<i>Avaliação da Contribuição</i>		
			<i>Q90/Q50</i>	<i>HYSEP MIF/MID</i>	<i>HYSEP MML</i>
Fêmeas	46455000	1984 a 1995	79%	94,4%	91%
Carinhanha	45210000	1979 a 2011	73%	91%	89%
Arrojado	45770000	1977 a 2002	83%	93,7%	92%
Corrente	45840000	1977 a 2003	78%	94,4%	93,5%

Comparação dos valores da contribuição subterrânea ao escoamento superficial segundo método Hysep e relação Q₉₀/Q₅₀, em 04 estações no sistema aquífero Urucuia.

Ano	MIF			MML			MID		
	Qbase (mm)	Qbase (m ³ /s)	Qbase (%)	Qbase (mm)	Qbase (m ³ /s)	Qbase (%)	Qbase (mm)	Qbase (m ³ /s)	Qbase (%)
1979	393,0	158,61	88,76	389,9	157,35	88,06	397,1	160,24	89,68
1980	402,6	162,05	89,99	401,5	113,94	89,73	404,6	162,82	90,42
1981	394,8	159,35	90,15	384,3	155,11	87,75	392,7	158,49	89,66
1982	386,0	155,76	91,62	378,5	152,74	89,84	386,5	155,97	91,74
1983	377,9	152,53	90,28	359,9	145,26	85,98	377,7	152,44	90,23
1984	314,1	126,43	91,41	313,6	126,20	91,25	314,2	126,47	91,44
1985	299,3	120,79	90,20	291,6	117,66	87,86	296,7	119,73	89,40
1986	322,7	130,22	92,48	318,9	128,70	91,40	321,3	129,65	92,08
1987	282,3	113,94	91,27	282,9	114,18	91,46	280,8	113,32	90,77
Média	352,5	142,19	90,68	346,8	134,57	89,26	352,4	142,13	90,60

Posto 4521000 – Lagoa das Pedras – rio Carinhanha

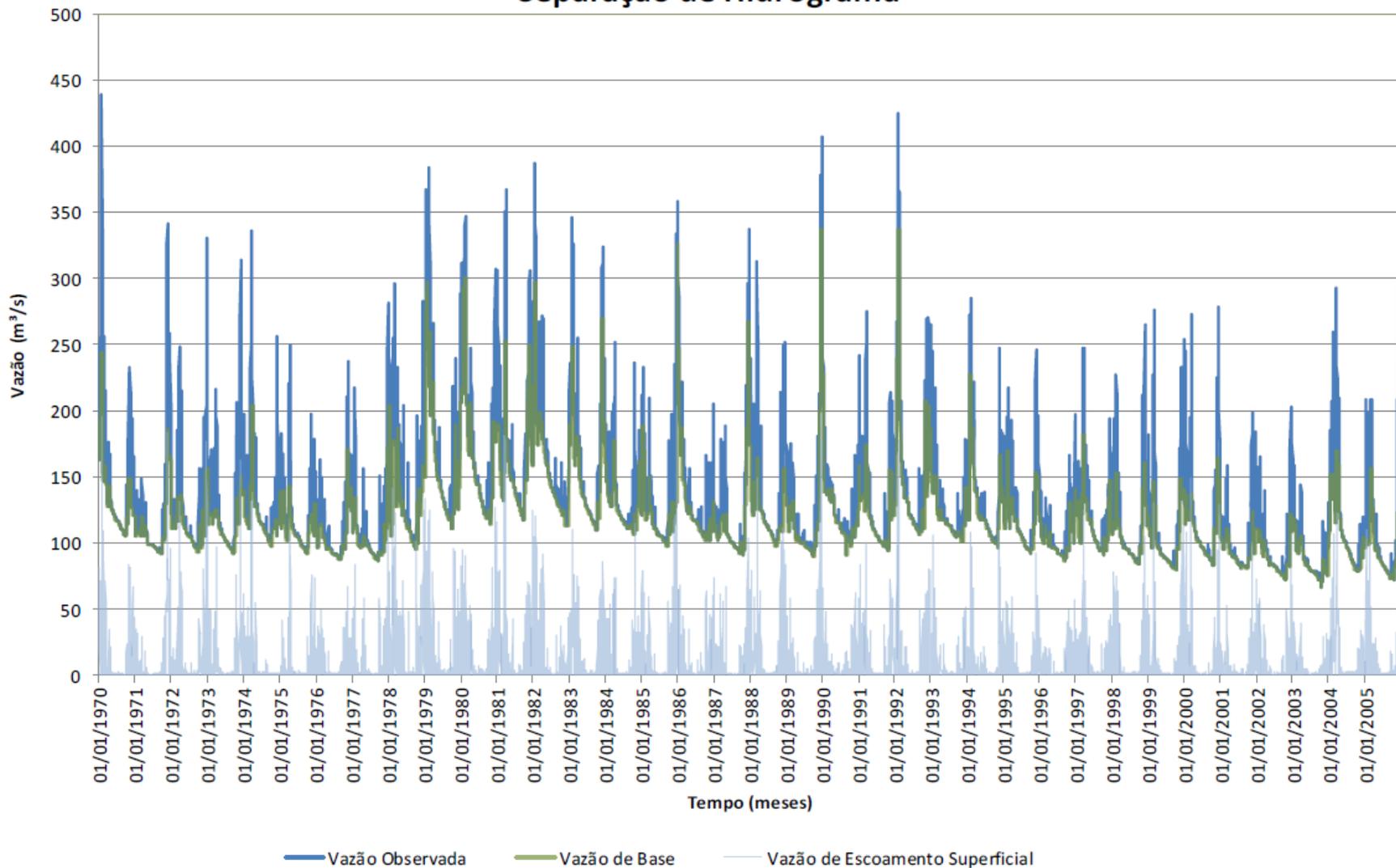
Comparação dos Métodos HYSEP



Posto 4521000 – Lagoa das Pedras – rio Carinhonha

Separação dos escoamentos em Hidrograma - Comparação dos Métodos HYSEP

Separação de Hidrograma



- Metodologias para as estimativas de escoamento de base devem ser de **fácil aplicabilidade**, considerando **realidade atual da gestão** de recursos hídricos;
- Métodos gráficos muito **subjetivos** e **inviáveis** para grande **quantidade** de dados;
- HYSEP tende a superestimar, se comparado com Q_7 ;
- A vazão **Q_7** , conforme os dados avaliados, até o momento, é “**conservadora**” enquanto indicativo de escoamento de base;
- Determinar a **vazão de base** e sua quantificação no escoamento superficial é quesito **essencial** para a gestão **integrada**;
- A integração deve facilitar a gestão no **momento mais crítico** do “hidrograma”;
- A unidade territorial de gestão de recursos hídricos (inclusive integrada!) é a **bacia hidrográfica**;
- A **Outorga e os Planos** são os instrumentos da PNRH com maior impacto quanto à **gestão integrada** e que podem apresentar resultados práticos de forma mais imediata;
- **Fortalece a articulação** União e Estados e entre Estados.

Obrigado!

fernando@ana.gov.br

www.ana.gov.br