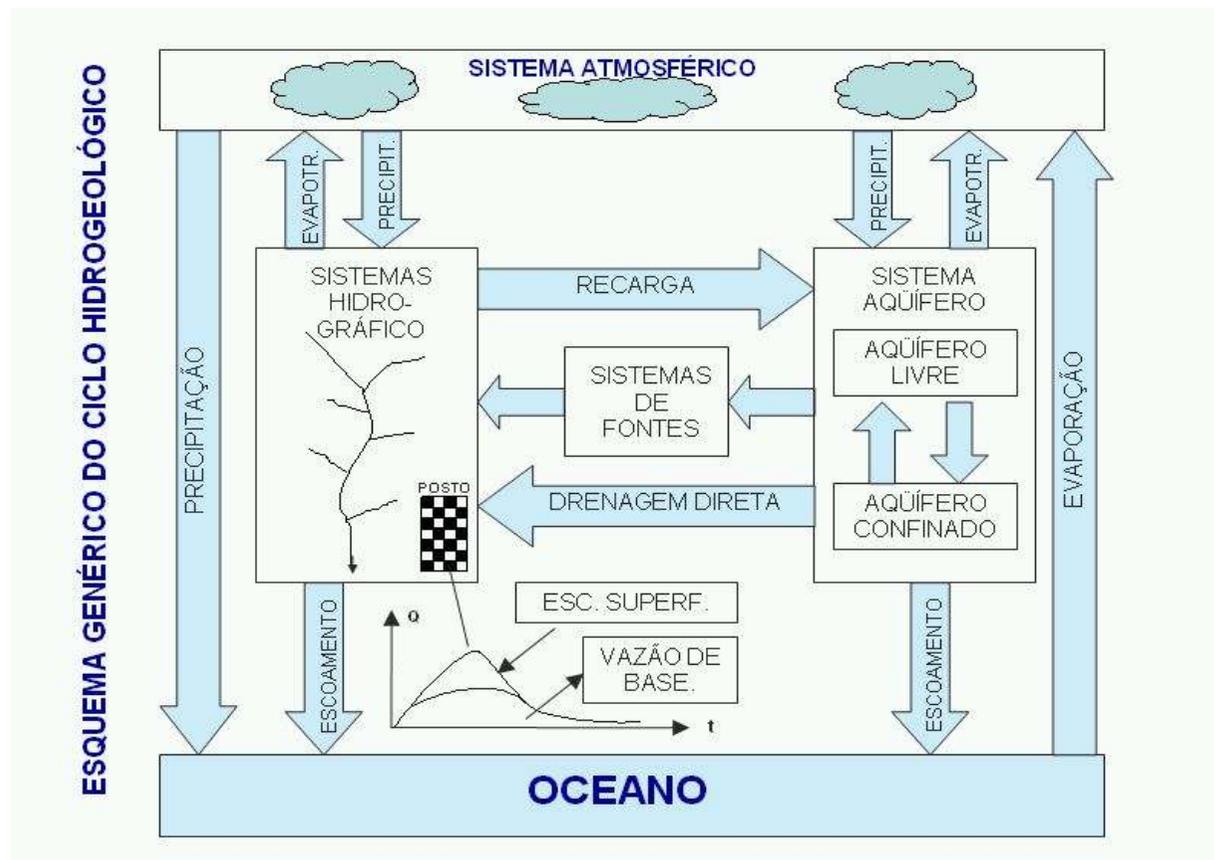

Sustentabilidade de Aqüíferos

José do Patrocínio Tomaz Albuquerque
Professor Aposentado UFPB/UFCG.

Sustentabilidade de Aquíferos

- A visão sistêmica do Ciclo Hidrológico e as relações inter e intra-sistemas:



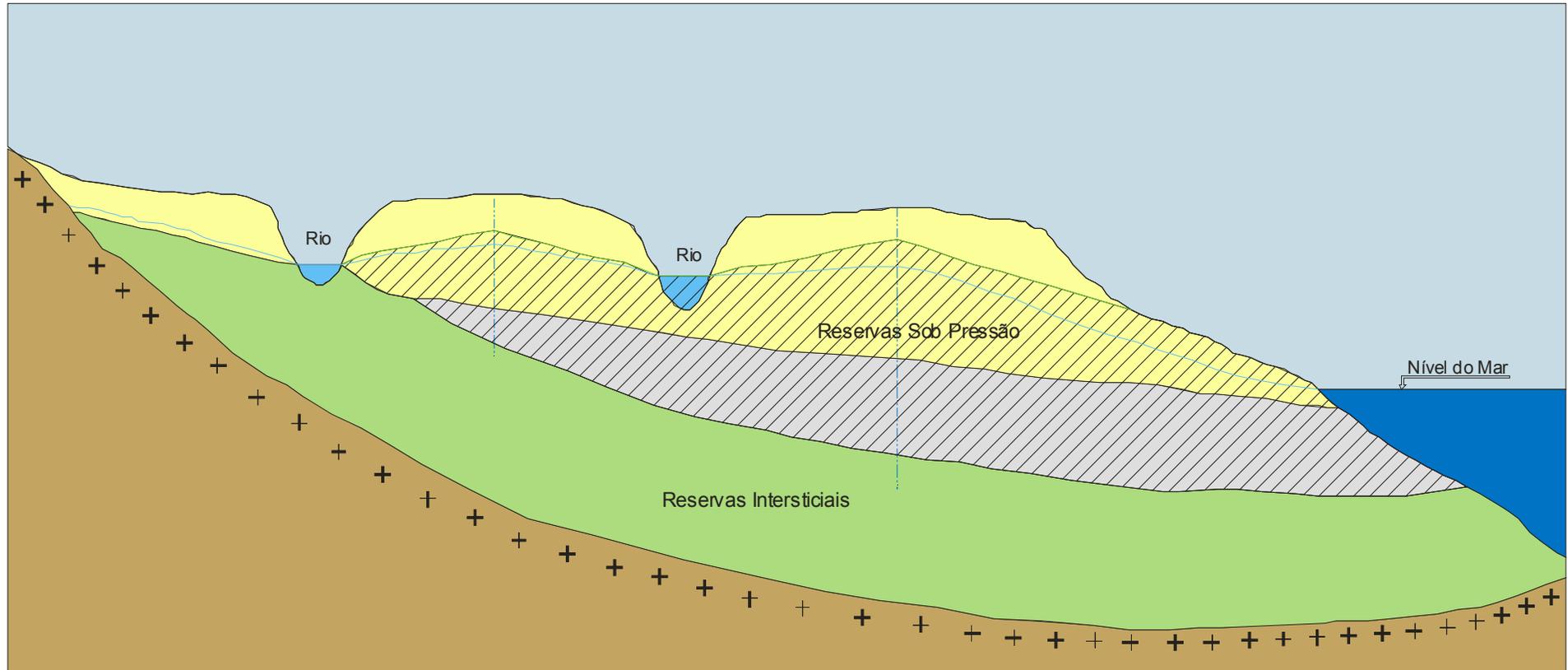
O potencial de Água Subterrânea.

- Sistemas Aquíferos interioranos: O potencial é dado pela média de longo período da vazão de base, medida em posto hidrométrico, do acidente hidrográfico com que o sistema se conecta (rio, riacho, etc.) (SUDENE, BRASIL, 1980 e Albuquerque e Rêgo, 1998).
- Sistemas Aquíferos Costeiros: Ao escoamento de base se acresce o fluxo subterrâneo que se realiza direto ao oceano, delineado em cartas de redes de fluxo e avaliado pela aplicação de leis específicas (Leis de Darcy e da Conservação das Massas).
- As relações intra e inter sistemas, particularmente com as águas de superfície contidas e em circulação no sistema hidrográfico, são ditadas pelas magnitudes das respectivas cargas hidráulicas: uma unidade ou sub-sistema aquífero alimenta ou é recarregado por outra unidade ou sub-sistema se a carga daquela ou daquele é superior à carga desta unidade ou sub-sistema. Todas estas unidades se relacionam, direta ou indiretamente, com o sistema hidrográfico e com o oceano (se o sistema for costeiro), através de suas respectivas cargas hidráulicas.
- A superfície hidrostática regional resulta, pois, de todas as trocas hídricas entre as unidades aquíferas participantes do sistema. Ela é representativa do Potencial de Água Subterrânea do Sistema Aquífero.

A RESERVA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA.

- Definição: contingente de recursos hídricos que, ao contrário do potencial, não é, em sua totalidade, anualmente renovável.
 - Tipos de reserva (Albuquerque e Rego, 1998): a intersticial ou intergranular que, nos aquíferos confinados, satura toda a espessura da rocha e cujo volume depende da sua porosidade efetiva, e a reserva sob pressão, em que o volume acumulado é determinado pelo produto da carga de pressão, área aquífera e coeficiente de armazenamento, este um parâmetro hidráulico que é função das propriedades elástico-compressivas do conjunto água-rocha. Volume liberado $V = A\Delta h_p S$.
 - A reserva intersticial é significativa no comportamento hidrostático dos aquíferos livres, podendo, em parte, ser explorada por poços, na dependência dos reflexos desta exploração no comportamento do regime hidrológico do sistema hidrográfico a ele associado ou conectado e, por extensão, na preservação de ecossistemas hídricos. A reserva sob pressão tem uma ação importante nos aquíferos confinados, podendo ser explorada dentro dos mesmos limites impostos pela relação água subterrânea-água superficial, desde que, pela dimensão da carga hidráulica, participe do potencial dos recursos hídricos subterrâneos.
-

Reservas Intersticiais e Sob Pressão de Sub Sistema Aqüífero Confinado.



Legenda

	Linha Piezométrica do aquífero confinado		Atmosfera		Aquífero Represent. do Sub-sistema Confinado
	Linha Hidrostática Regional		Embasamento Impermeável		Aquitardo do Sistema
	Divisor do Fluxo de Água Subterrânea		Aquífero Representativo do Sub-sistema Livre		Embasamento Impermeável

CONDIÇÕES DE EXPLORABILIDADE QUANTITATIVA SUSTENTÁVEL (DISPONIBILIDADES).

- Quantitativamente, à escala de poço, as regras de explorabilidade são determinadas pela magnitude dos rebaixamentos das cargas hidráulicas.
 - Na escala de sub-sistema, a explorabilidade sustentável deve ser definida pelas relações entre os subsistemas livre e confinado, pelas condições de conexão hidráulica e hidrológica com o sistema hidrográfico sobreposto e, por extensão, com o meio ambiente.
 - **Demanda Ecológica Natural:** está relacionada com a manutenção dos regimes hidrológicos dos rios ou outros elementos potamográficos (lagoas, fontes, etc.), com a preservação das condições de fluxo da zona de sub-saturação do sub-sistema aquífero livre e, por extensão, com a manutenção das características ambientais naturais. Ela é, no mínimo, equivalente à média das vazões mínimas de cursos d'água perenes, capaz de assegurar a continuidade do regime da rede hidrográfica e, por conseguinte, da vida vegetal e animal dela dependente.
 - A exploração excessiva de qualquer unidade ou sub-sistema do sistema aquífero poderá acarretar consequências desastrosas aos recursos hídricos subterrâneos, superficiais e ao meio ambiente. No caso do sub-sistema confinado deve-se ter em mente esta simples equação: $d\sigma_e = - dp$
-

CONDIÇÕES DE EXPLORABILIDADE QUANTITATIVA SUSTENTÁVEL (DISPONIBILIDADES).

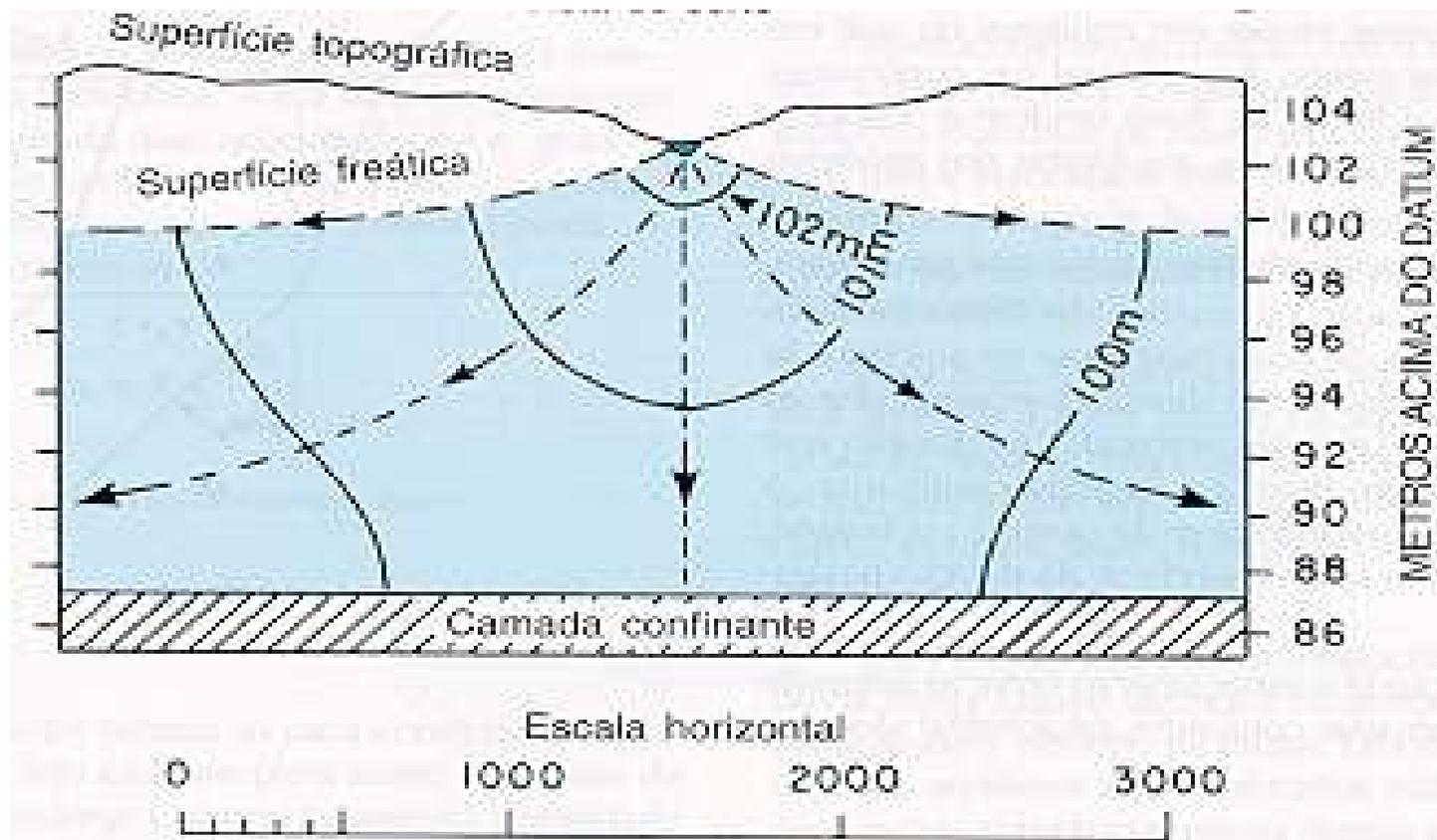
- **O limite econômico/financeiro:** definido pela recarga natural do sistema (influxos) e pelo aumento da própria recarga (incremento dos influxos), diminuição da descarga natural (redução dos defluxos) e remoção de uma parcela da água armazenada, pode levar à insustentabilidade.
 - **O limite físico/ambiental:** definido pelas relações determinadas pela conexão hidráulica que existe, não somente com outras unidades aquíferas superpostas ou sotopostas ao aquífero explorado, mas, e principalmente, com os recursos hídricos fluviais, com os quais os aquíferos confinados, direta ou indiretamente, estão, hidraulicamente, conectados. Tendo em mente esta situação, os rebaixamentos da carga piezométrica (vale dizer, da sua descarga explorável) estão sujeitos a outros limites, impostos por estas conexões, que têm, em uma análise mais acurada, a ver com a sustentabilidade do meio ambiente, mais intimamente com a vida vegetal e, por extensão, com as demais formas de vida do planeta.
-

SUSTENTABILIDADE DA QUALIDADE FÍSICA, QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA

- Duas escalas de análise: de sub-sistema e de poço.
 - No caso do poço, pelas medidas de proteção sanitária que devem integrar os “projetos de poços”, principalmente os destinados à captação dos aquíferos contidos em formações sedimentares. O Raio do poço.
 - Na escala de sub-sistema, pelo grau de vulnerabilidade diferenciada que existe entre os sub-sistemas livre e o confinado: Os sub-sistemas livres são mais vulneráveis à degradação qualitativa, principalmente em termos microbiológicos, pois são sistemas abertos, já que suas superfícies freáticas estão em contato direto com a atmosfera, através da zona de sub-saturação. Nestes sub-sistemas, toda a sua área de exposição superficial é área de recarga que permite a troca de água, substâncias e energia com os sistemas físicos, naturais ou não, estabelecidos ou incidentes sobre o solo, tais como os sistemas pluvial, hidrográfico, pedológico, urbano, agrícola, industrial, etc. A segunda forma de acesso de cargas poluentes, tão ou mais importante que a primeira, é a estreita conexão hidráulica do sub-sistema livre com o sistema hidrográfico sobre-jacente.
-

SUSTENTABILIDADE DA QUALIDADE FÍSICO QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA

- Poluição através da estreita conexão hidráulica do sub-sistema livre com o sistema hidrográfico sobre-jacente:



SUSTENTABILIDADE DA QUALIDADE FÍSICO QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA

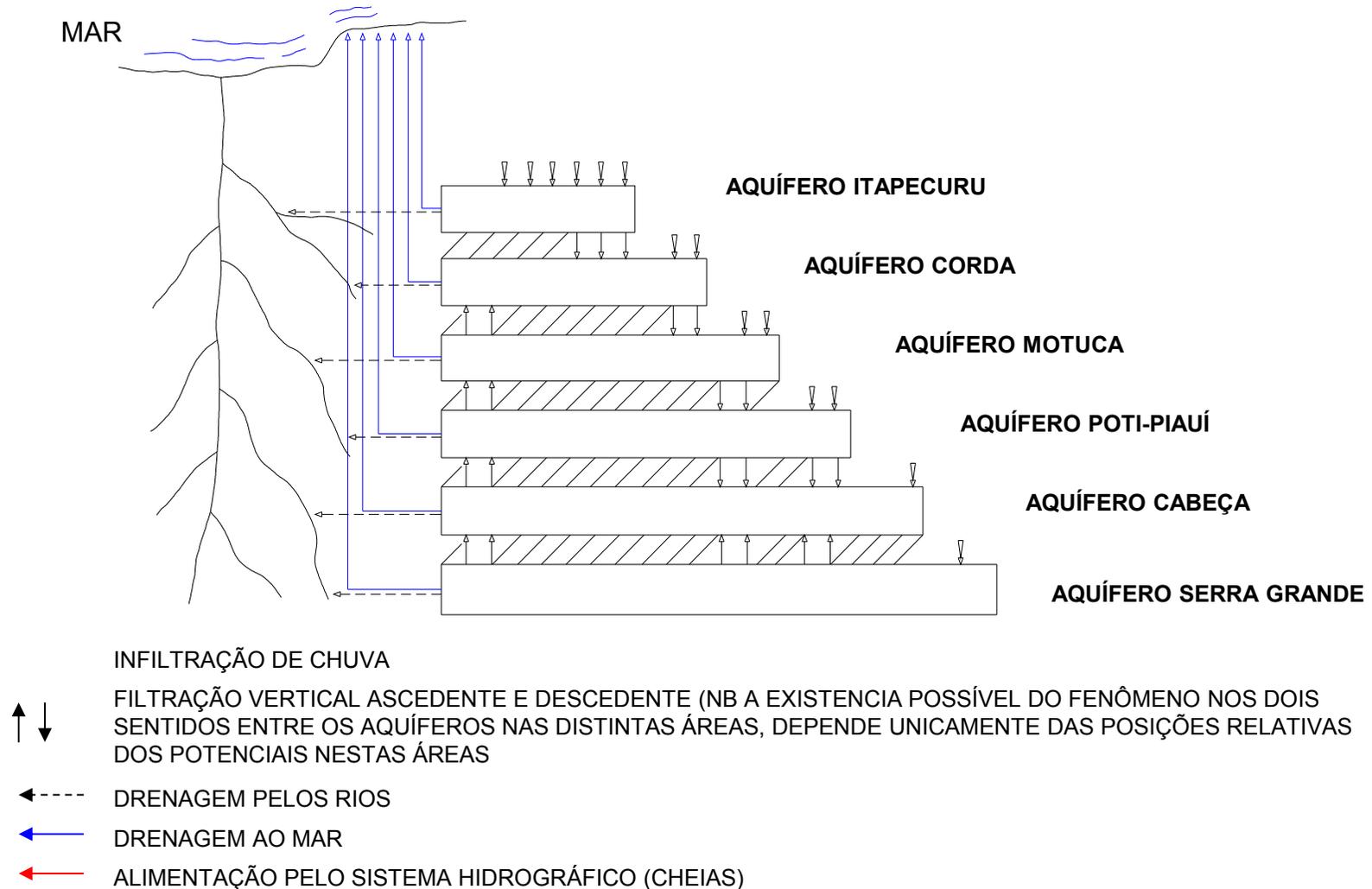
- A poluição de sistemas semi-confinados:
 - pela sua área de recarga que têm as mesmas condições limítrofes do subsistema livre;
 - pela área de confinamento se estabelece quando, por exploração intensiva, ocorre uma inversão das relações naturais de carga hidráulica entre os subsistemas, viabilizando um fluxo vertical descendente.
-

MANEJO SUSTENTADO DE AQÜÍFEROS: USO CONJUNTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPEREFICIAIS.

- O principal objetivo do manejo sustentado dos recursos hídricos subterrâneos é não provocar alterações no estado do sistema aquífero e nos sistemas com que se relaciona (hidrográfico e ecológico), através de tomadas de decisões;
 - A exploração das águas subterrâneas não deve ser dissociada do aproveitamento das águas de superfície, devendo-se considerar ambas no contexto de uma bacia hidrográfica, a unidade de planejamento e de avaliação natural, ideal e legal destes recursos.
 - Em princípio, as reservas de aquíferos não devem ser exploradas por afetarem a sustentabilidade do sistema. Todavia, pode acontecer exceções, ditadas pelas especificidades das demandas a serem atendidas e as características ambientais onde se inserem os recursos hídricos. É o caso dos sistemas aquíferos Aluvial e Cristalino ocorrente na região semi-árida do Nordeste do Brasil.
-

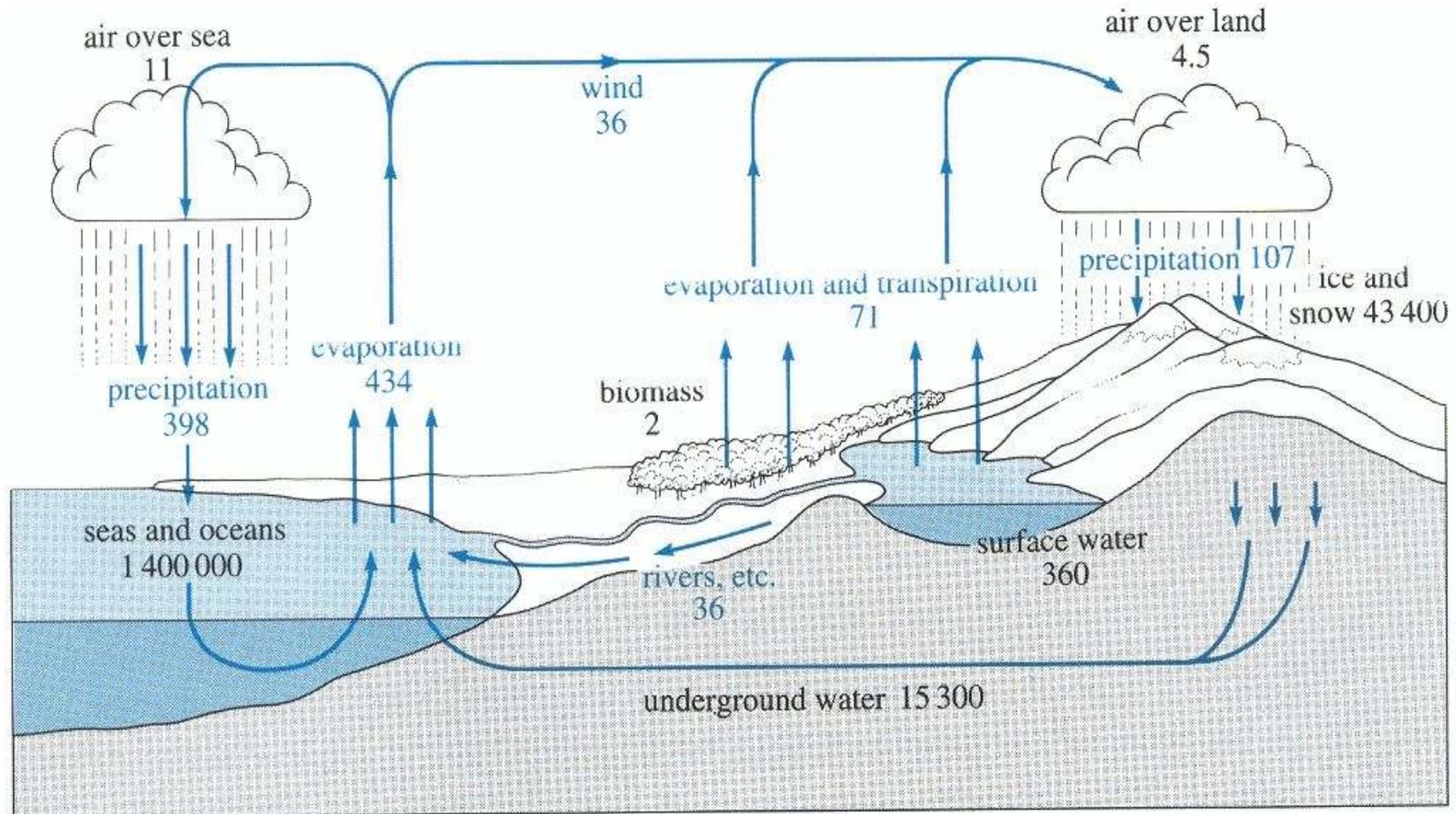
Sustentabilidade de Aquíferos

- A visão sistêmica do Ciclo Hidrológico e as relações inter e intra-sistemas (Exemplo do Sistema Aquífero Parnaíba):



O Balanço Hídrico Mundial*

- * - Modificado de Warr and Smith (1995)



Potencial Hídrico Subterrâneo em Postos Hidrométricos Bacia do Rio Parnaíba e sua participação no Escoamento Fluvial

POTENCIAL HÍDRICO SUBTERRÂNEO SUPRIDO À REDE HIDROGRÁFICA DO NORDESTE (VAZÃO DE BASE) POR POSTO FLUVIOMÉTRICO E SUA PARTICIPAÇÃO NO ESCOAMENTO TOTAL DO RIO, EM CADA POSTO.						
Nº da Ordem Bacia/ Posto	Basil. Hidro- gráfica	Posto Hidro- métrico	Área (km²)	Rio controlado pelo Posto	Vazão de Base (l/s/m³/ano)	Participaçã o no Escoa- mento Total do Rio (%)
3	MEARIH					
3.1		Pindaré- Mirim		Pindaré	680,0	
3.2		Aratui Grande	21.200,0	Brajão	620,0	14,0
3.3		Santa Vitória	27.250,0	Mearim	150,0	46,0
3.4		Feudantas	24.200,0	Mearim	620,0	20,00
2	ITAPICU- RU					
2.1		Colinas	18.250,0	Itapicuru	1.165,4	75,0
2.2		Mendes	5.440,0	Dorameba	14,2	0,0
2.3		Codô	27.740,0	Itapicuru	1.284,4	39,0
2.4		Catubede	51.560,0	Itapicuru	2.059,8	28,8
3	MEARIM					
3.1		Nina Rodrigues	12.190,0	Maria	1.500,0	30,3
4	MOONIAN					
4.1		Fazenda Beleza	24.500,0	Balasa	1.200,0	56,0
4.2		São Velho	77.100,0	Parnaíba	1.960,0	39,0
4.3		Bandeira	15.500,0	Urucui- Preta	730,0	47,0
4.4		Jurumeba	45.900,0	Dorquélia	120,0	19,0
4.5		Mazarrão do Pissol	38.100,0	Pissol	38,0	4,0
4.6		Fazenda Talhada	27.900,0	Santida	74,0	0,0
4.7		Castinho	51.100,0	Poti	177,4	4,0
4.8		Castanhô	23.900,0	Longá	482,4	0,0
5	COREAN					
5.1		Granja	5.545,0	Corean	64,0	11,5
6	ACARÁ					
6.1		Apudá Sobral	11.160,0	Acará	225,0	13,0
7	ARACATI- ACU					
7.1		Amatuba	2.900,0	Aracatiaco	60,0	10,4
8	CHARÓ					
8.1		São Luis do Curá	7.400,0	Charó	80,0	6,7
9	CHARÓ					
9.1		Charost- rão	4.050,0	Charó	34,0	5,4