

ERHA 7039

# Princípios da Modelagem e Controle da Qualidade da Água Superficial

---

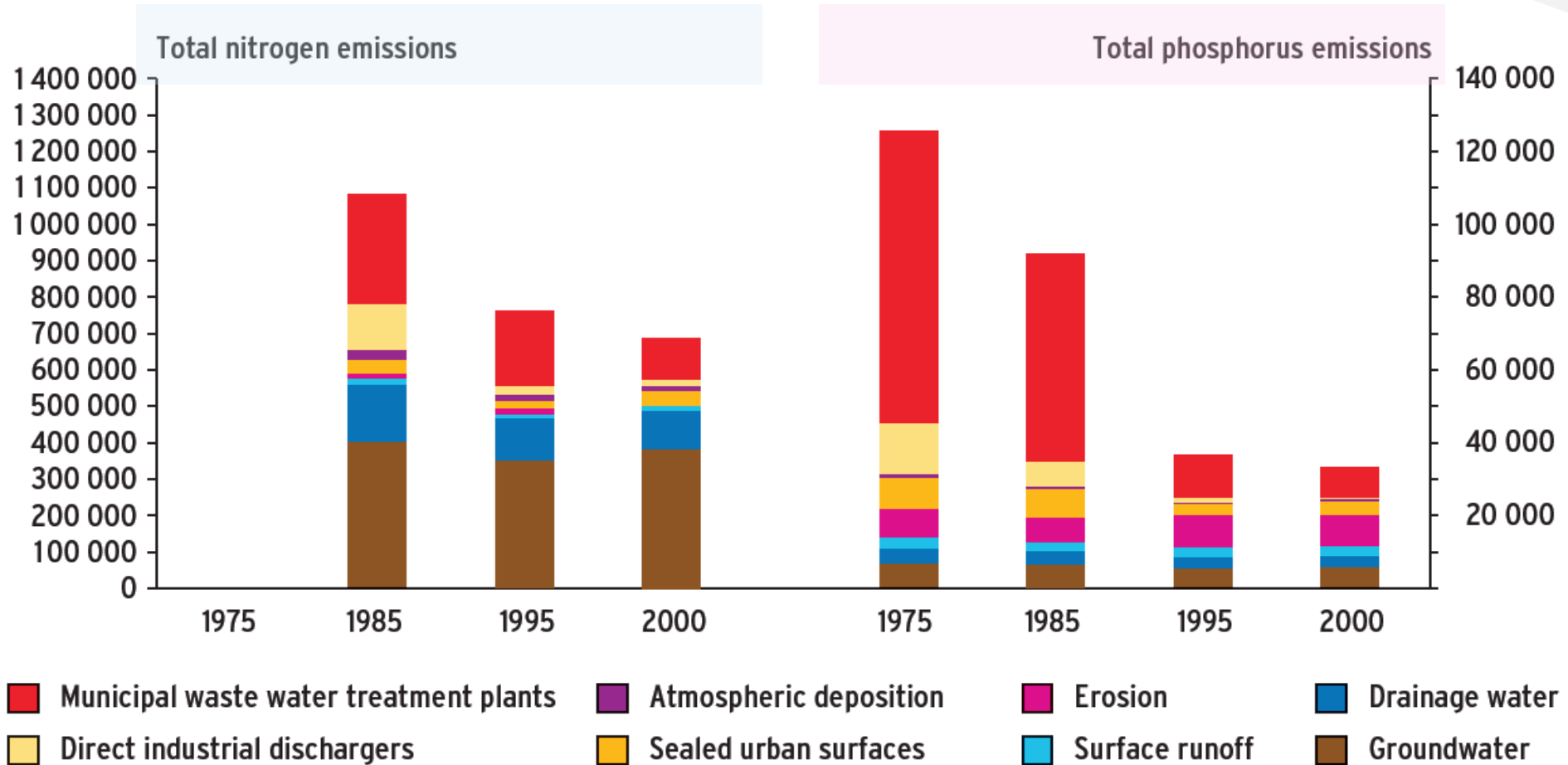
REGINA TIEMY KISHI

<http://www.ufpr.br/~rtkishi.dhs/ERHA7039>

# 17 - Fósforo

# Emissões da bacia (t/ano)

Métodos de estimativa de cargas externas se encontram no módulo 8



Fonte: Federal Environment Agency (2003)

Table 1  
 Diffuse phosphorus emissions via different pathways of  
 Hungary and their proportion on the total emission for  
 the period 1998–2000

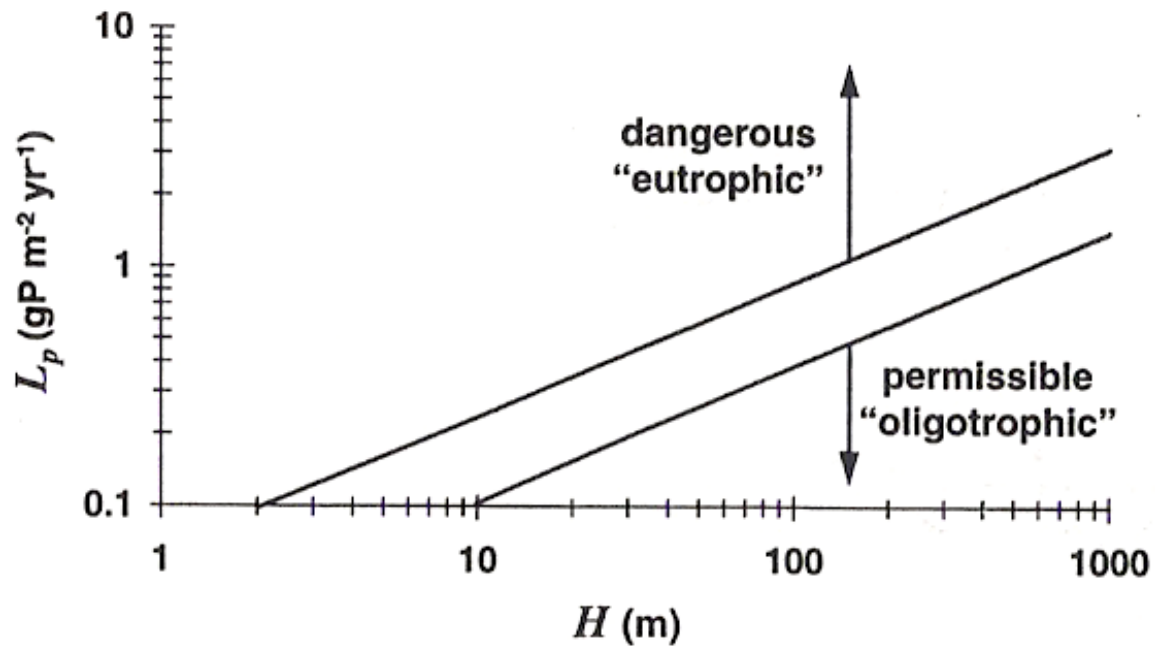
Emission component	Rural		Urban		Total	
	t P a <sup>-1</sup>	%	t P a <sup>-1</sup>	%	t P a <sup>-1</sup>	%
Surface runoff	46	1.6	122	4.2	168	5.8
Erosion	1776	61.0	367	12.6	2143	73.6
Groundwater	365	12.5	237	8.1	602	20.7
Total diffuse	2187	75.1	726	24.9	2913	100.0

## Estado trófico dos lagos

---

<b>Variável de qualidade da água</b>	<b>Oligotrófico</b>	<b>Mesotrófico</b>	<b>Eutrófico</b>
Fósforo total ( $\mu\text{g/l}$ )	< 10	10 – 20	> 20
Clorofila ( $\mu\text{g/l}$ )	< 4	4 – 10	> 10
Disco de Secchi (m)	> 4	2 - 4	< 2
%OD <sub>sat</sub> hipolímnio	> 80	10 - 80	< 10

# Vollenweider (1968)

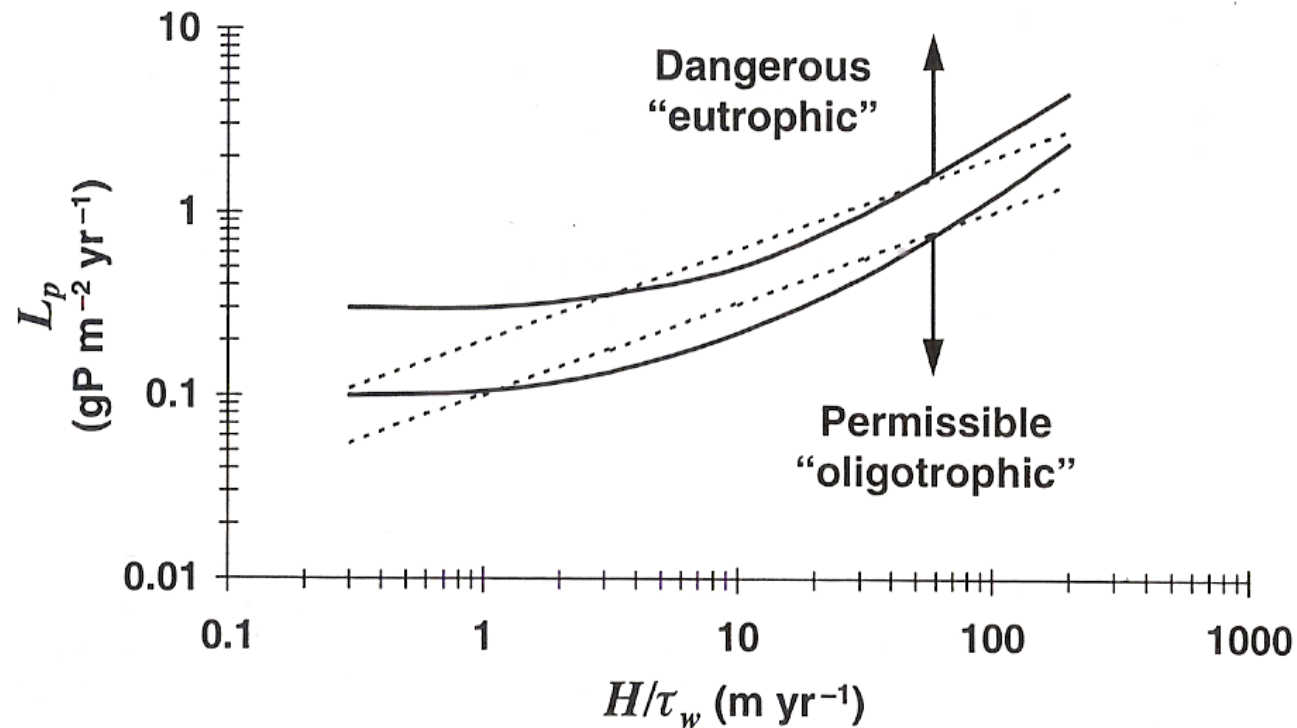


1. Predizer estado trófico.

2. Determinar a carga requerida para um determinado estado trófico desejado.

Lagos mais profundos são menos sensíveis à eutrofização.

# Vollenweider (1975)



Além da profundidade, incorporou o tempo de residência.

Lagos com menores tempo de residência são menos sensíveis à eutrofização.

# Vollenweider (1976) e Larsen & Mercier (1976)

---

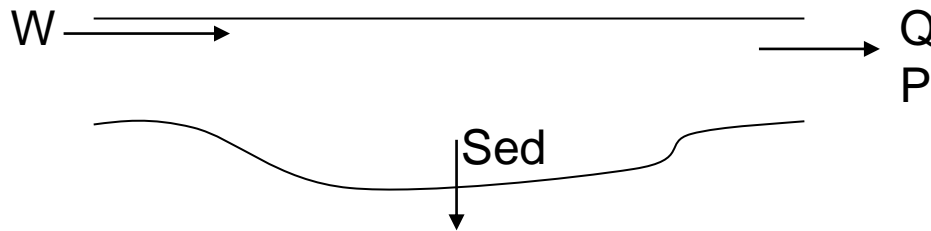
Logaritmo de  $L_p$  x Logaritmo de  $q_s(1 + \sqrt{\tau_w})$

$$\frac{H}{\tau_w} = \frac{HQ}{V} = \frac{HQ}{HA_s} = \frac{Q}{A_s} \equiv q_s$$

# Modelo de balanço de massa

a) Vollenweider (1976)

Lago bem misturado



$$V \frac{dp}{dt} = W - Qp - vA_s p$$

$$\frac{v_s A H}{H} = k_s V$$

$$V \frac{dp}{dt} = W - Qp - k_s V p$$

Em condição permanente, solução:

$$p = \frac{W}{Q + k_s V}$$

Taxa de perda:

$$k_s = \frac{W - Qp}{Vp} = \frac{W}{Vp} - \frac{1}{\tau_w}$$

---

Vollenweider deduziu que:

$$k_s = \frac{10}{H}$$

$$k_s = \frac{v_s}{H}$$

H em metros

$k_s$  em anos<sup>-1</sup>

$v_s$  - Velocidade de sedimentação geralmente entre 5 e 20 m/ano

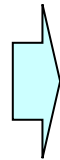
b) Chapra (1975)

$$V \frac{dp}{dt} = W - Qp - vA_s p$$

Steady-state, solução:

Multiplicando  $A_s/A_s$ :

$$p = \frac{W}{(Q + vA_s) \frac{A_s}{A_s}}$$



$$p = \frac{L}{q_s + v}$$



$$L = p(q_s + v)$$

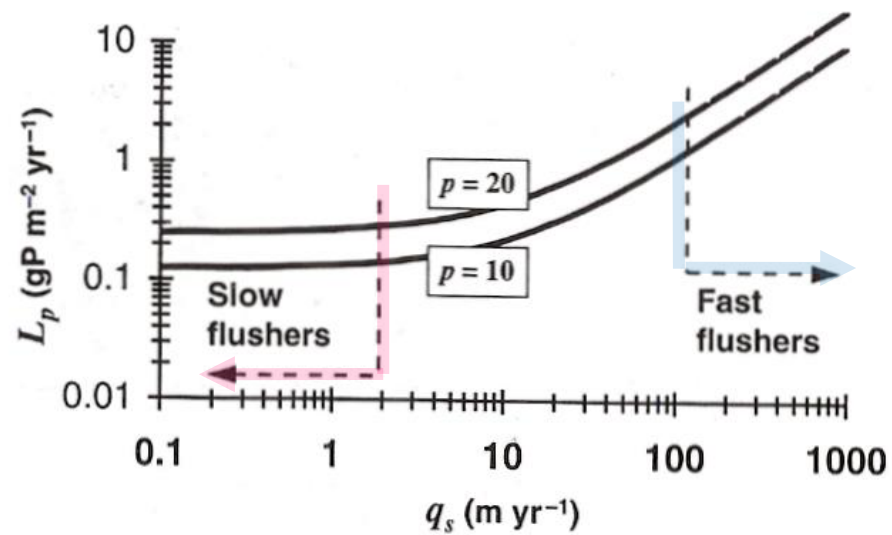
Logaritmo:

$$\log L = \log p + \log(q_s + v)$$

Sistema: P – fator limitante

Mesotrófico: entre 10-20  $\mu\text{P/L}$

$$\log L = \log p + \log(q_s + v)$$

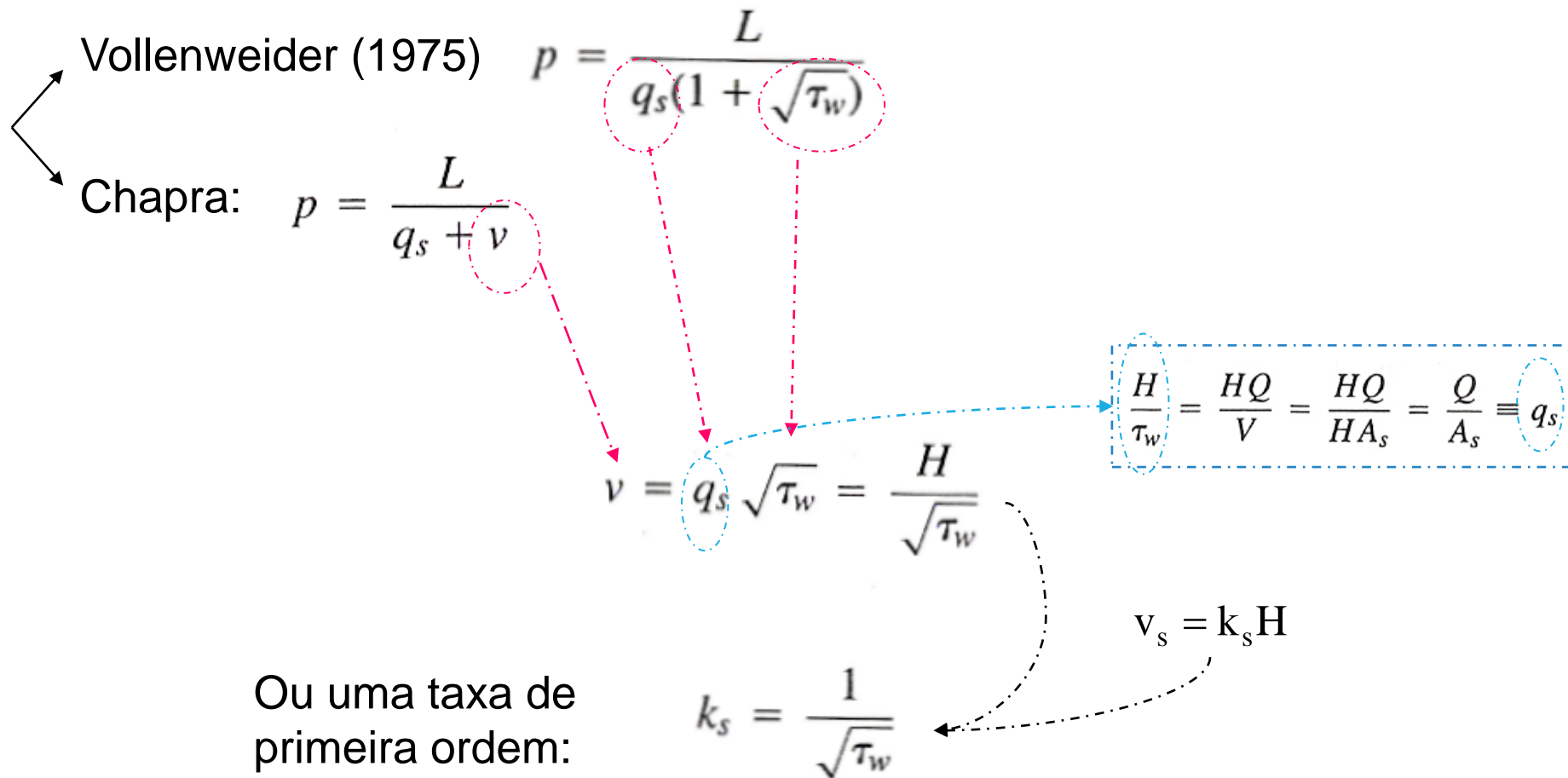


Em um extremo: lagos com pequenos  $q_s$

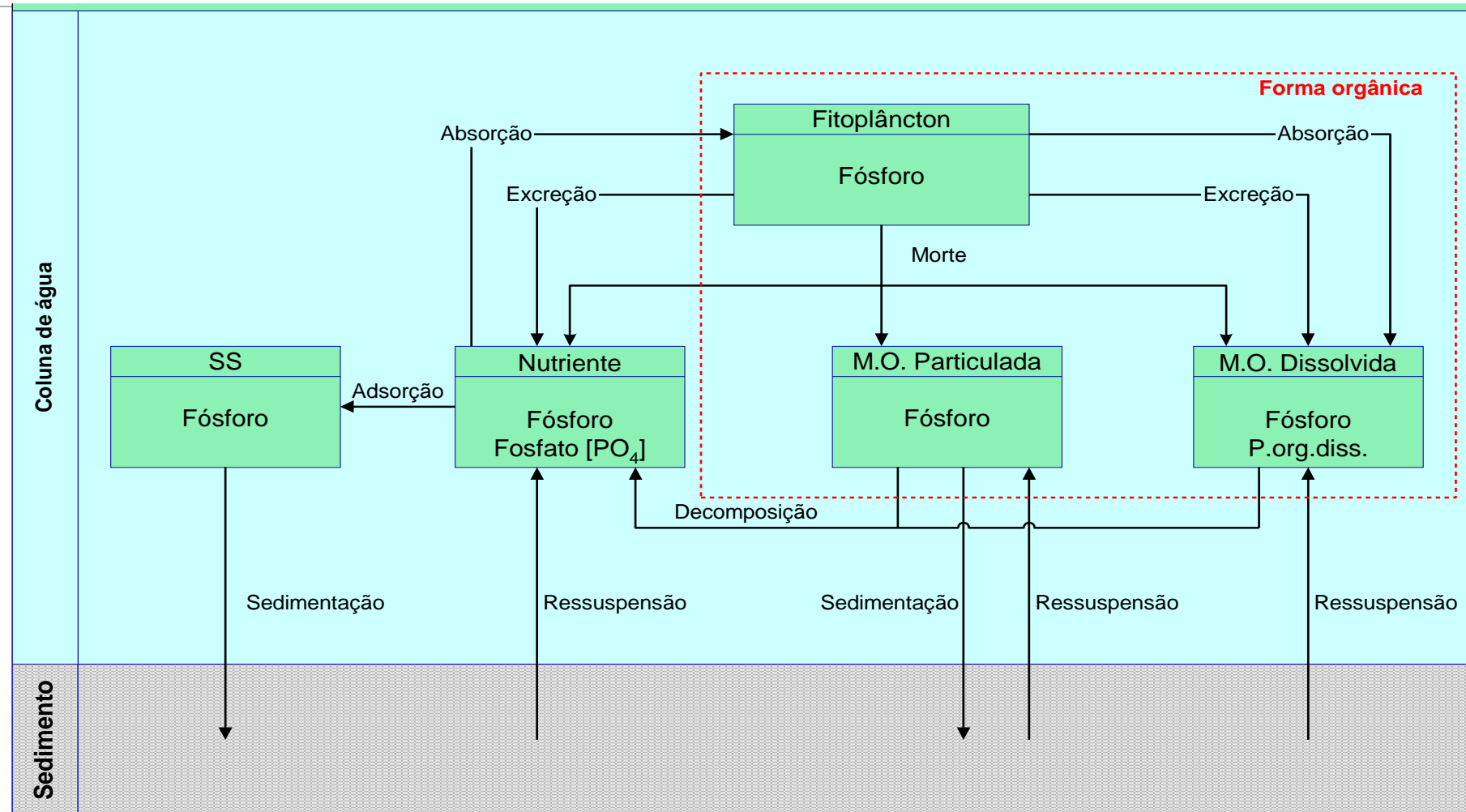
$$\log L = \log p + \log v = \text{constant}$$

Em outro extremo: lagos com grandes  $q_s$

$$\log L = \log p + \log q_s$$



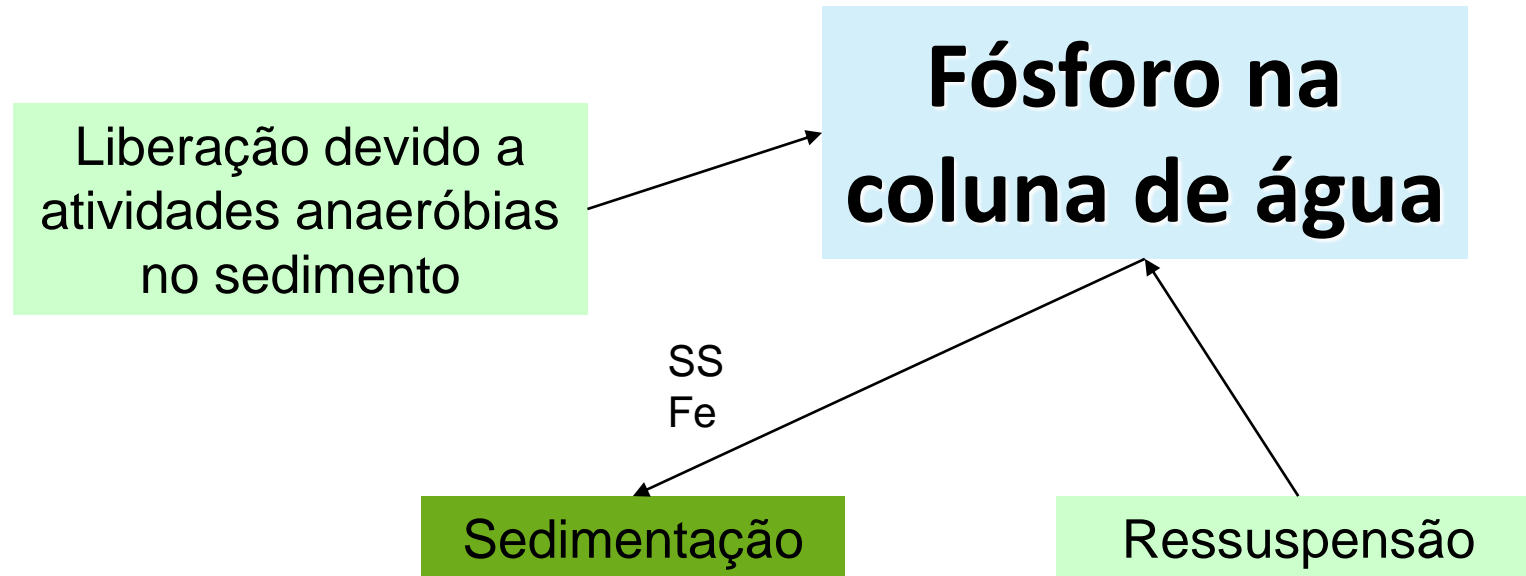
# Fósforo no ecossistema aquático



FONTE: Henrique LUVISON, adaptado de: THOMANN e MUELLER, 1987; ESTEVES, 1988; CHAPRA, 1997; COLE e WELLS, 2000; KING, 2003b.  
Nota: SS – Sólidos Suspensos; M.O. – Matéria Orgânica

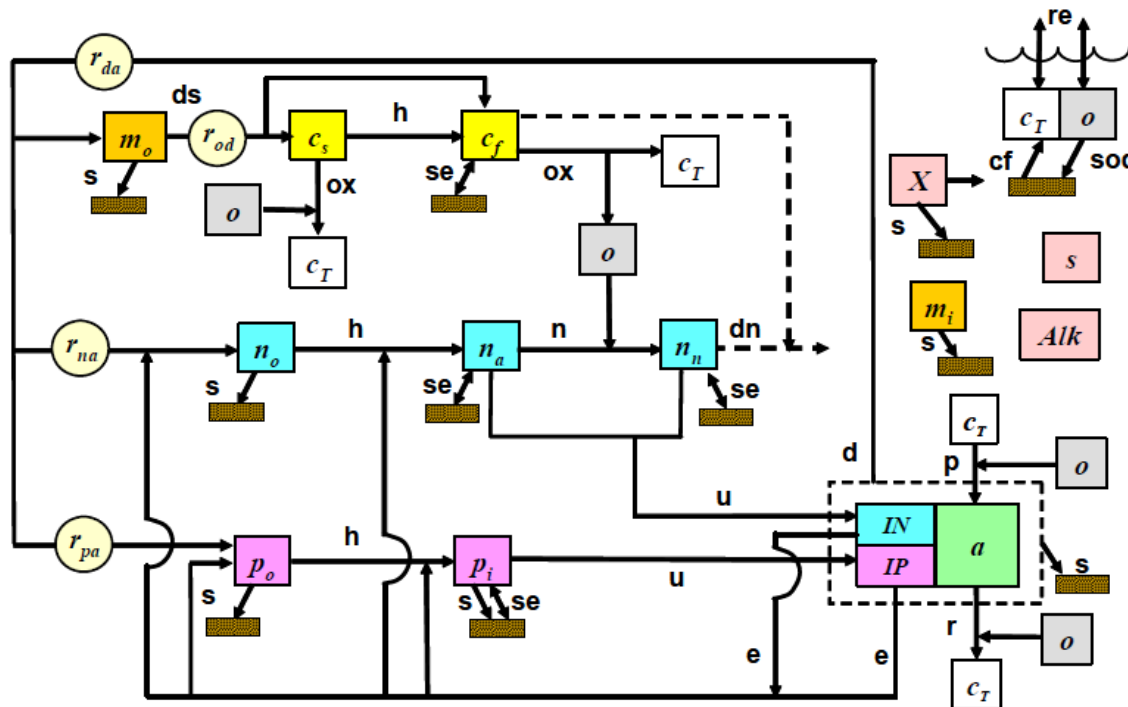
# Fósforo

---



Modelo CE-QUAL-W2 (COLE, WELLS, 2000): consideração da concentração de ferro presente na coluna de água, pois este influencia no processo de sedimentação do fósforo

# Qual2K - Processos



$p_o$ : fósforo orgânico  
 $p_i$ : fósforo inorgânico  
 IP: fósforo no fitoplâncton

## Processos cinéticos:

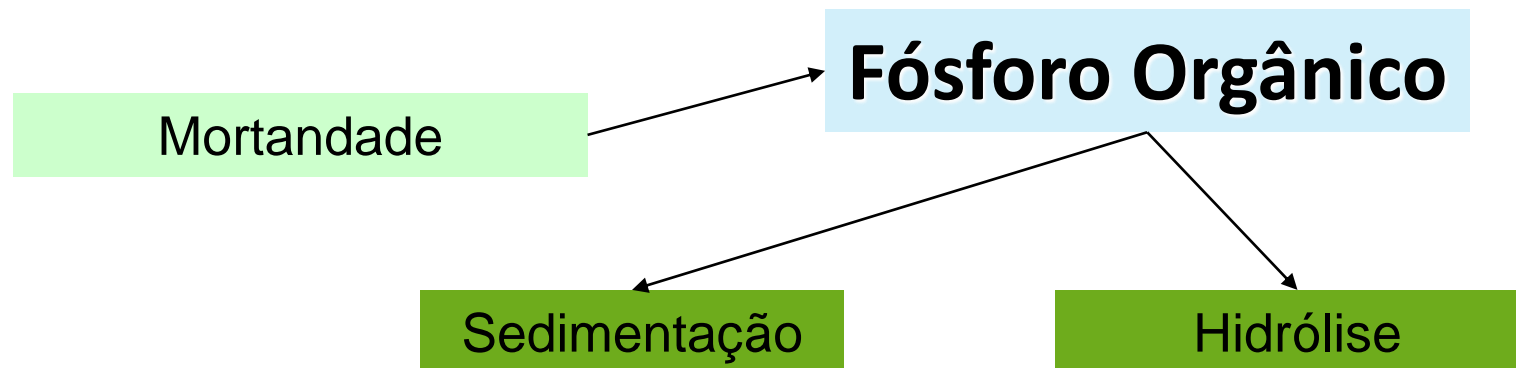
Dissolução (ds); Hidrólise (h);  
 Oxidação (ox), Nitrificação (n),  
 Denitrificação (dn), Fotossíntese (p),  
 Respiração (r), Excreção (e),  
 Mortandade(d),  
 Respiração/Excreção (rx).

## Processos de transferência de massa:

Reaeração (re), Sedimentação (s),  
 Demanda de oxigênio do sedimento (SOD), Trocas com o sedimento (se), e Fluxo do carbono inorgânico do sedimento (cf).

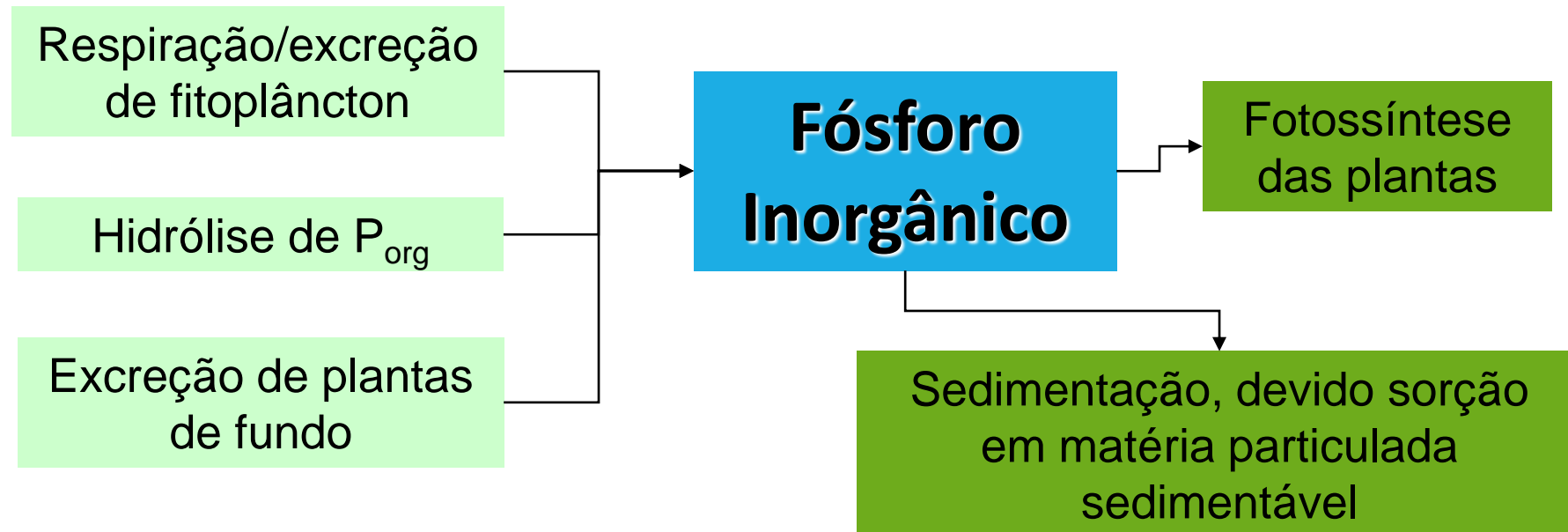
## Fósforo orgânico

$$S_{po} = f_{opp} q_{Pp} \frac{\text{PhytoDeath}}{H} + f_{opb} q_{Pb} \frac{\text{BotAlgDeath}}{H} - \text{OPHydr} - \text{OPSettl}$$



## Fósforo inorgânico

$$S_{pi} = \text{OPHydr} + (1 - f_{opp}) q_{Pp} \text{PhytoDeath} + (1 - f_{opb}) q_{Pb} \frac{\text{BotAlgDeath}}{H} \\ + \text{PhytoExpP} + \frac{\text{BotAlgExpP}}{H} - \text{PhytoUpP} - \frac{\text{BotAlgUpP}}{H} - \text{IPSettl}$$



Compõe outras variáveis:

**Fósforo total:**  $TP = p_o + p_i + r_{pa} a_p$

Concentração de  
fitoplâncton