

# UMA ANÁLISE SISTEMÁTICA DA QUALIDADE DE ÁGUA USANDO EXCEL

Pedro Franarin<sup>1</sup> & Eduardo Felipe C. C. de Oliveira<sup>2</sup>

**Resumo** - A escassez dos recursos hídricos disponíveis, combinada aos problemas de contaminação de mananciais, tem exigido crescentes esforços na instituição de leis e desenvolvimento de modelos gerenciais e de classificação dos corpos de água, orientados ao enquadramento dos mesmos para usos específicos. Estudando o assunto, os autores elaboraram, a partir da Ferramenta Microsoft Excel, planilhas eletrônicas que possibilitam efetuar análise e enquadramento rápido na avaliação de mananciais hídricos.

**Abstract** – The Scarcity of available water resources combined to the problems of contamination of water sources, have required increasing efforts in the institution of water laws, as well as the development of management models allowing the classification of water bodies for the water application in specific uses. Studying the subject and working with Microsoft Excel Tool, the authors have develop the spreadsheet the enables quick analysis and classification in the evaluation of water bodies.

**Palavras- chaves** – Análise, Planilha, Qualidade de Água.

**Key Words** – Analysis, Spreadsheet, Quality Water.

## INTRODUÇÃO

A elaboração de planilhas para resolução de problemas em Engenharia permite a obtenção de resultados com bastante agilidade e flexibilidade, o que possibilita:

- A quaisquer usuários, uma entrada de dados rápida, assim como resultados de forma clara e rápida;

---

<sup>1</sup> Estudante de Engenharia Ambiental da UCB – Universidade Católica de Brasília, SHIN QL. 07 Conj. 07 Casa 18, CEP: 71515-075, Brasília / DF Telefone: (61) 368-7005 , Email: franarin@brturbo.com

<sup>2</sup> Assessor do Presidente da CODEVASF, SHIS QI.07 Conj.06 Casa 15, CEP:71615-260, Brasília / DF , Telefone: (61) 312-4776 / 910-77259, Email: Eduardofc@codevasf.gov.br

- A simulação de cenários (conjunto de condições) próximos a realidade, tendo em vista a necessidade de comparar grandezas a nível espaço-temporal;
- Comparar cenários e analisar situações extremas;
- A geração rápida de gráficos;
- O uso de recursos estatísticos: média, total, desvio padrão, etc;
- Auxiliar, aos técnicos em Recursos Hídricos e áreas afins, a elaboração de estudos de viabilidade, planos e projeto.

Respeitadas as condicionantes ambientais e os marcos regulatórios da legislação e usando como elementos de análises: as amostras de água, os mananciais superficiais e subterrâneos, as bacias hidrográficas e outras unidades espaciais comuns na gestão de recursos hídricos, desenvolveram-se planilhas para análise qualitativa da água:

- *Plan-limnologia*: possibilita a verificação da eutrofização e o comportamento de reservatórios;
- *Plan-conama1*: verifica o padrão de qualidade para o corpo de água e efluente (resolução CONAMA No 20, 18 / 06 / 86), possibilitando o enquadramento da água em Classes de 1 a 4;
- *Plan-conama2*: estima as razões de diluição necessárias no corpo receptor conforme o padrão de lançamento e padrão do corpo receptor;
- *Plan-streeter*: analisa a variação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e do oxigênio dissolvido (OD) a partir de um ponto de lançamento de efluente a nível espacial e temporal.

## **PLAN-LIMNOLOGIA**

A formação do reservatório altera as condições físicas, aumentando a profundidade, o volume e a velocidade de escoamento, o que leva a impactos nas condições térmicas da massa de água. É sabida a grande influência da temperatura na qualidade de água, principalmente como elemento catalisador dos processos químicos, podendo ocorrer alterações: nos níveis de eutrofização do lago, na mistura vertical e na demanda bentônica.

O reservatório apresenta três camadas: Epilímnio, Metalímnio e Hipolímnio. O Epilímnio apresenta temperatura uniforme e bastante mistura devido: ao vento, a entrada e a saída de vazão. O Metalímnio apresenta o maior gradiente de temperatura, ocorrendo nesta zona o equilíbrio entre vento, radiação solar e empuxo da massa de água. O Hipolímnio tem gradiente uniforme e a massa

não sofre ação do ambiente externo. É de fundamental importância o conhecimento do termoclima na análise do corpo hídrico.

Dois parâmetros são primordiais na análise da estratificação do reservatório: o Tempo de Residência ( $T_r$ ), vide Equação 1, que indica o tempo médio de renovação do volume de água e o Número de Froude Densimétrico ( $F_d$ ), vide Equação 2, que indica o nível de estratificação do reservatório, conforme Tabela 1.

$$T_r = 11,57 (V / Q) \quad (1)$$

Onde: V é o volume do reservatório em  $Hm^3$  ( $10^6 m^3$ );

Q é a vazão média afluyente em  $m^3 / s$ ;

$$F_d = 0,322(LQ / HV) \quad (2)$$

Onde: H é a profundidade do reservatório em m;

L é o comprimento do reservatório em m ;

**Tabela 1** – Nível de Estratificação do Reservatório

$F_d$	Condição
Inferior a 0,1	Forte Estratificação
Entre 0,1 e 1	Estratificação sem gradiente forte
Superior a um	Misturado

O oxigênio dissolvido (OD) no reservatório indica as condições ambientais do mesmo. Um baixo nível de OD implica em tendência do corpo hídrico ficar anaeróbico, o que facilita a produção de gases, levando a mortandade de peixes e odores inadequados. Os ganhos de OD podem resultar da: reaeração da atmosfera, produção de oxigênio por fotossíntese e OD das vazões afluentes. As perdas são oriundas da: oxidação de matéria carbonácea, oxidação de matéria nitrogenada, demanda de oxigênio dos sedimentos de água e respiração das plantas aquáticas. No corpo hídrico existe o equilíbrio entre a perda e ganho do fitoplâncton. Na zona eufótica, a uma maior produção de oxigênio do que consumo e na zona afótica o contrário.

A eutrofização se dá pelo enriquecimento de nutrientes, decorrendo aumentos da flora aquática e da demanda de oxigênio, com conseqüente: aumento do mau cheiro, aumento da demanda de Oxigênio no fundo do lago, crescimento de macrófitas e prejuízos econômicos devido a corrosão em equipamentos. Em termos de eutrofização, o reservatório pode ser classificado em: oligotrófico (pobre em nutrientes), eutrófico (rico em nutrientes) e mesotrófico (intermediário entre oligotrófico e eutrófico), a qual depende dos valores apresentados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Classificação do Nível de Eutrofização

Parâmetro	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Fósforo Total (miligrama/l) – P	< 10	10 – 20	> 20
Clorofila (grama / l) – CLF	< 4	4 – 10	> 10
Profundidade Sechi ( m ) - PS	> 4	2 – 4	< 2
Oxigênio do Hipolímnio ( % de saturação ) – OX	> 80	10 - 80	< 10

Onde: l é litro

O funcionamento lógico da planilha referenciada é apresentado na Figura 1 e Algoritmo 1.

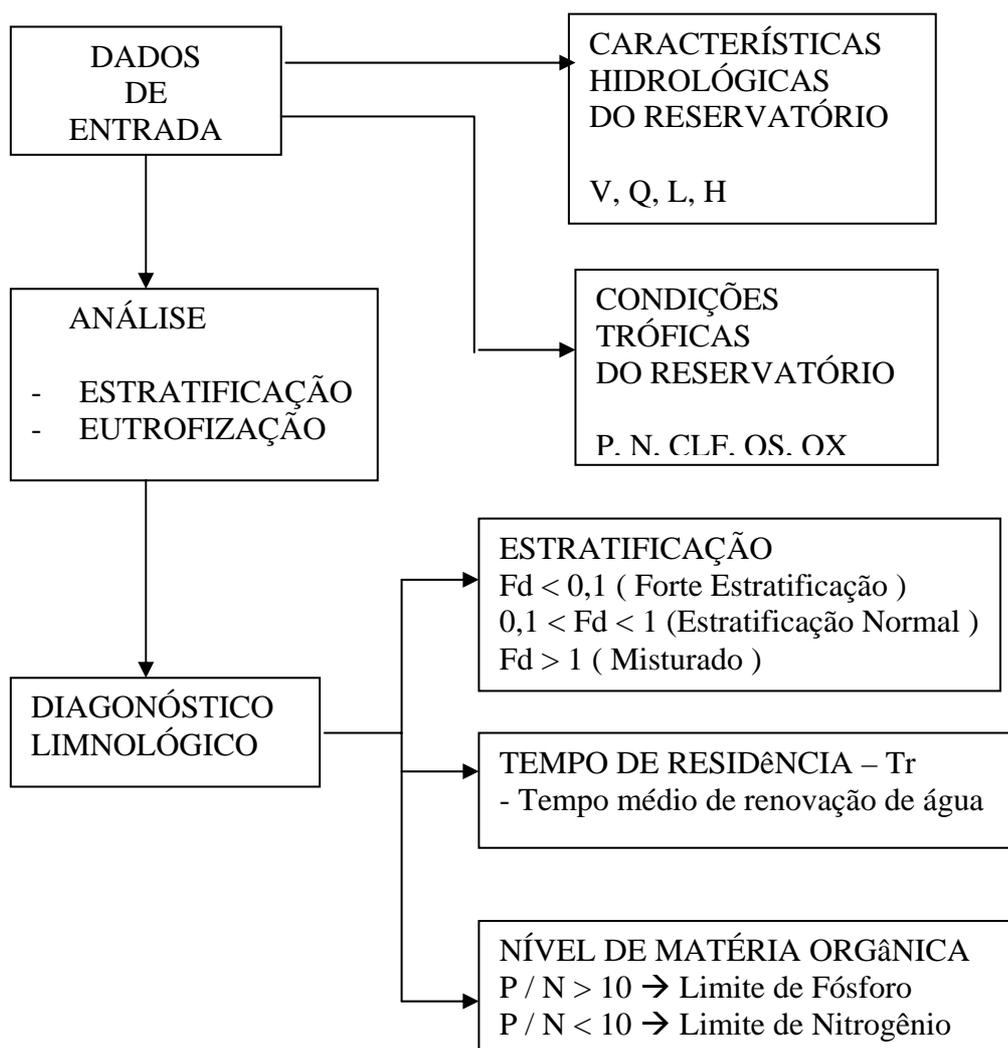
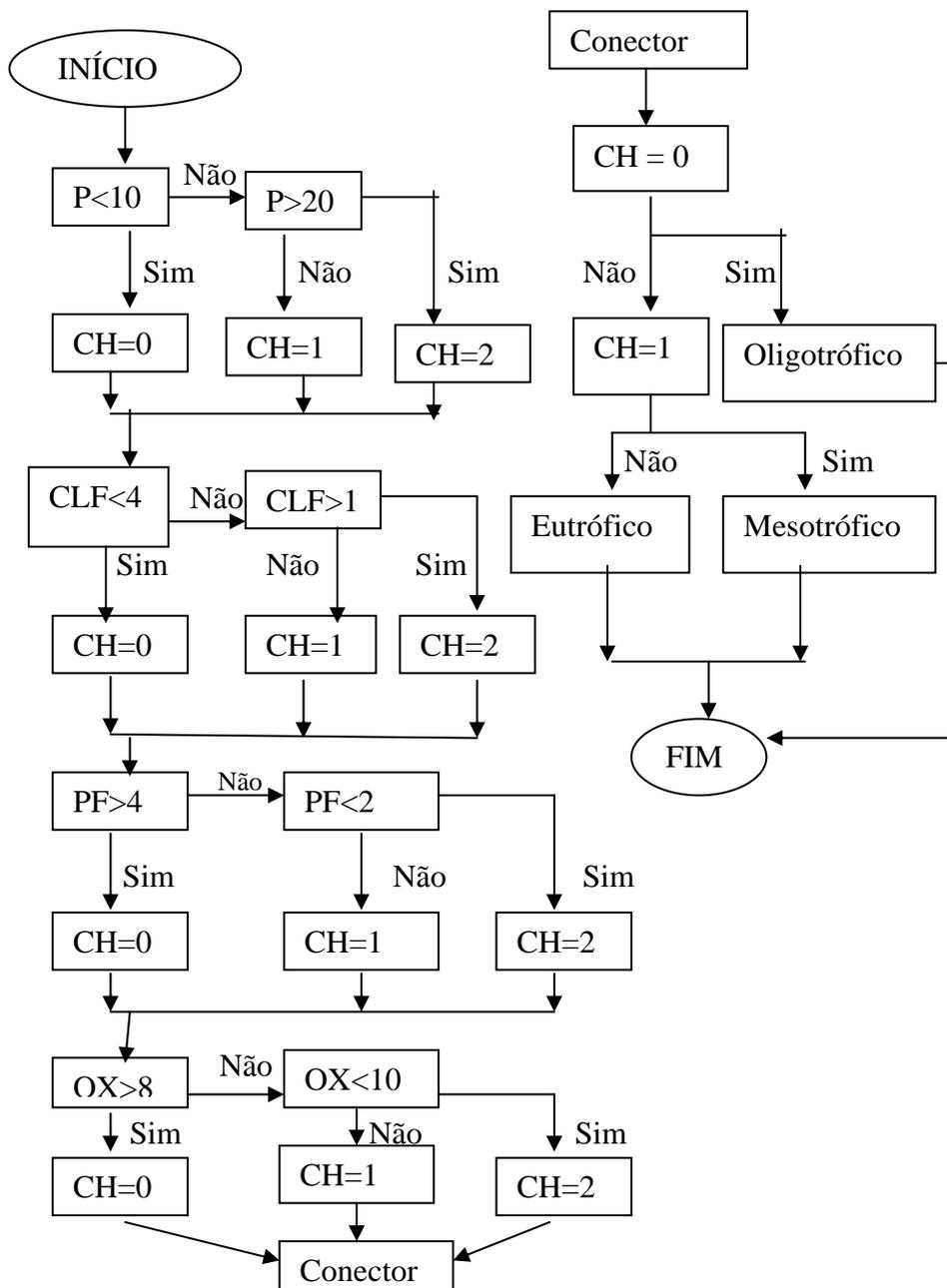


Figura 1 – Plan-Limnologia



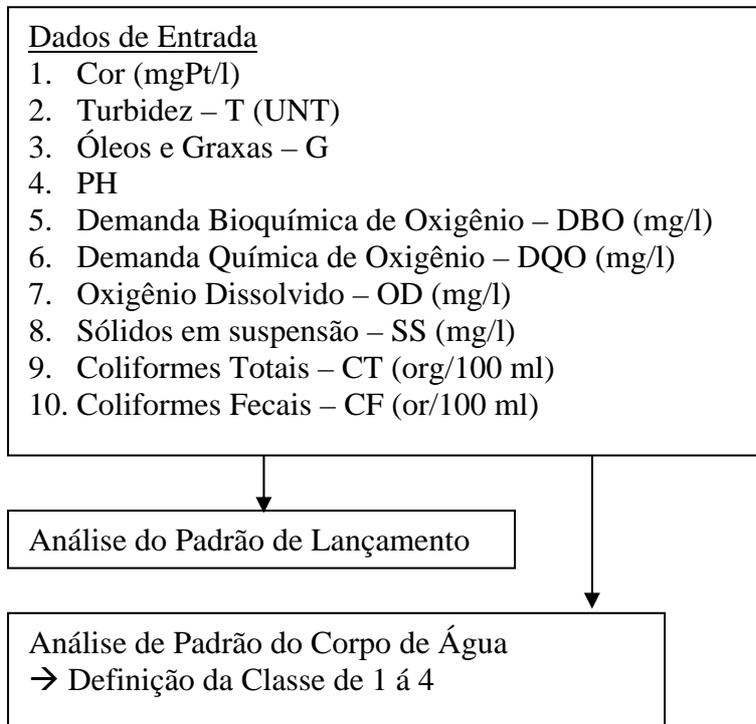
**Algoritmo 1 - Eutrofização**

## PLAN-CONAMA1

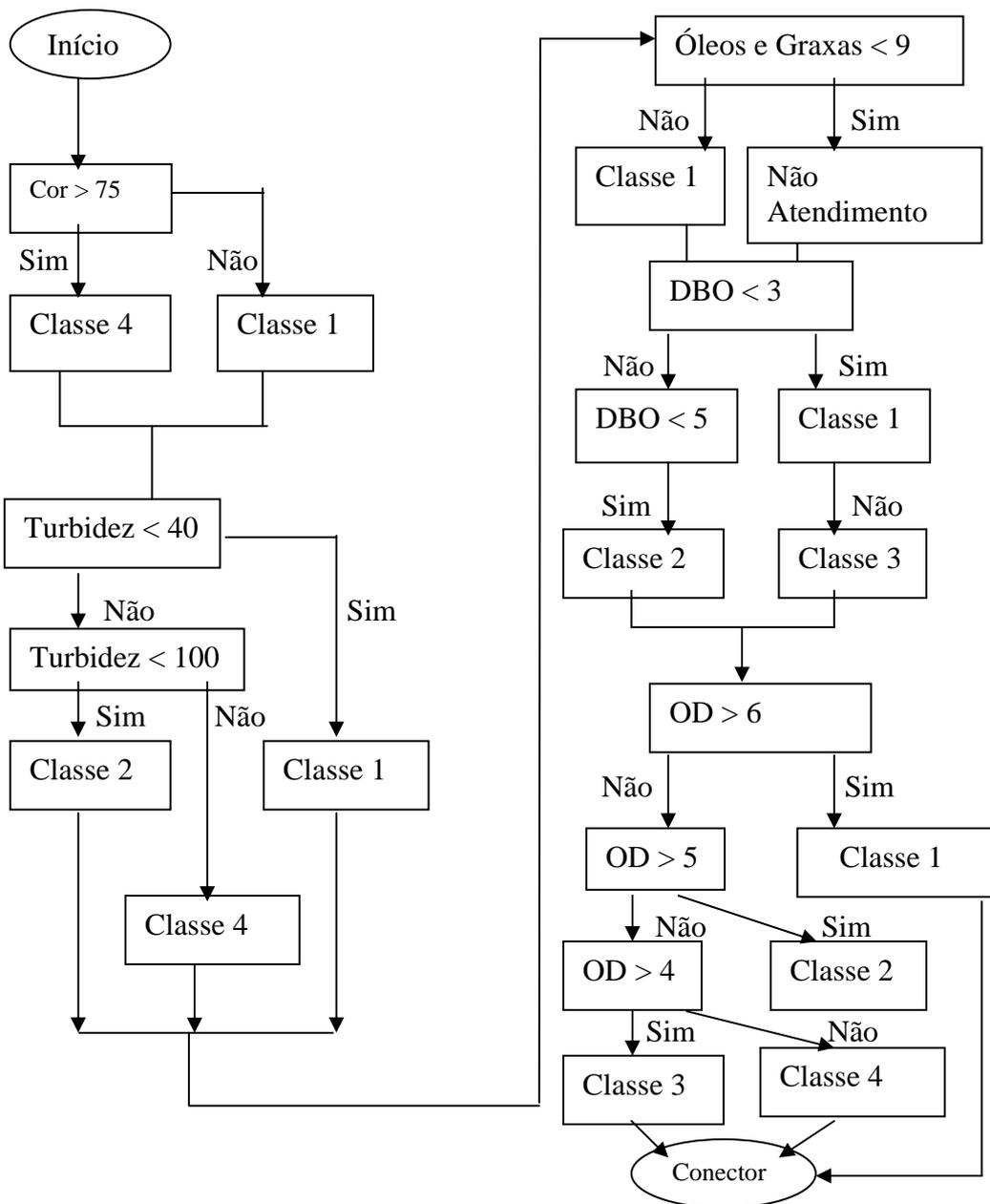
Os requisitos de qualidade de uma água são função do seu uso previsto, havendo para os diversos usos, o objetivo de atendimento de requisitos de qualidade. Atendido de forma conceitual a qualidade almejada, é necessário estabelecer padrões de qualidade suportados por legislação vigente. Estabelecido o padrão de qualidade, resguarda-se a qualidade das águas do corpo do receptor e fiscalizam-se os poluidores.

A Resolução CONAMA No 20, de 18/06/86, dividiu as águas do território nacional em águas doces (salinidade < 0,05 %), salobras (salinidade entre 0,05 % e 3 %) e salinas (salinidade > 3%),

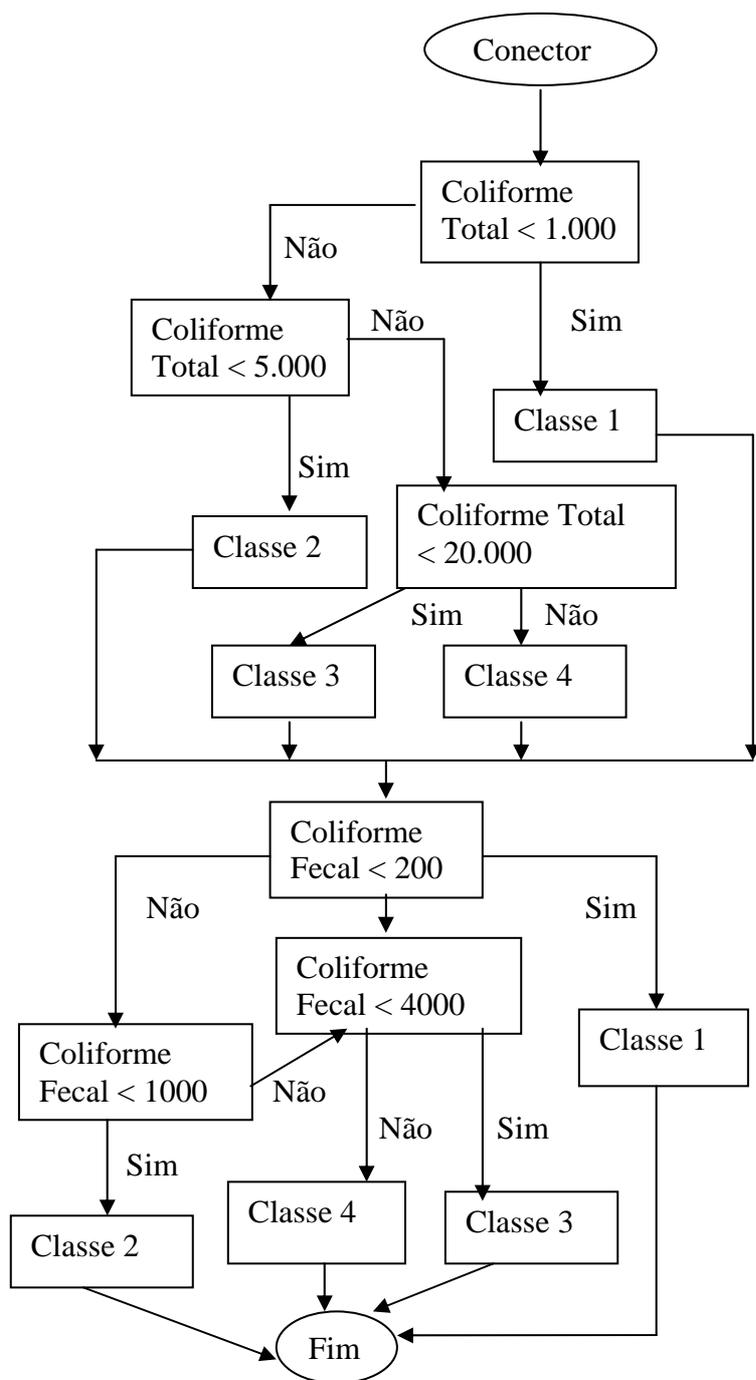
subdivididas respectivamente em 9 (nove) classes. Interessam no presente trabalho as águas doces, representadas pelas classes especiais e 1 á 4. A partir dos parâmetros definidos, juntamente com seus valores, possibilita-se classificar a amostra de água em análise, vide Figura 2 e Algoritmo 2.



**Figura 2** – Plan-Conama1



**Algoritmo 2 – Plan-conama1**



## PLAN-CONAMA2

Para efluentes industriais é bastante difícil generalizar os parâmetros priorizados pelos órgãos ambientais nas fases de licenciamento e fiscalização, variando com as especificidades locais e tipo de indústria. É fundamental a análise se o corpo hídrico tem poder de autodepuração (padrão do corpo hídrico) e também das características do lançamento, podendo-se usar o conceito da razão de diluição –  $R_d$  (Vide Equação 3 e Tabela 3) para diversos parâmetros químicos com valores dos padrões de classes: 1,2 e 3 necessários.

Conhecidas a vazão específica ( $Q_{esp}$ ) do rio a área de drenagem ( $A_d$ ) no ponto imediatamente

a montante do lançamento ou a vazão medida no rio, é possível verificar ou não o atendimento dos padrões de lançamento e do corpo hídrico envolvido, devendo-se satisfazer uma das inequações 1 ou 2. A análise descrita é apresentada de forma esquemática na Figura 3.

$$R_d = (C_{\text{esg}} - C_{\text{mistura}}) / (C_{\text{mistura}} - C_{\text{rio}}) \quad (3)$$

Onde:  $C_{\text{esg}}$  é a concentração de referido parâmetro no esgoto;

$C_{\text{mistura}}$  é a concentração do referido parâmetro após o lançamento do esgoto;

$C_{\text{rio}}$  é a concentração do referido parâmetro no rio no ponto de lançamento ou próximo antes do despejo do esgoto

$$Q_{\text{med}} > Q_d \quad (1)$$

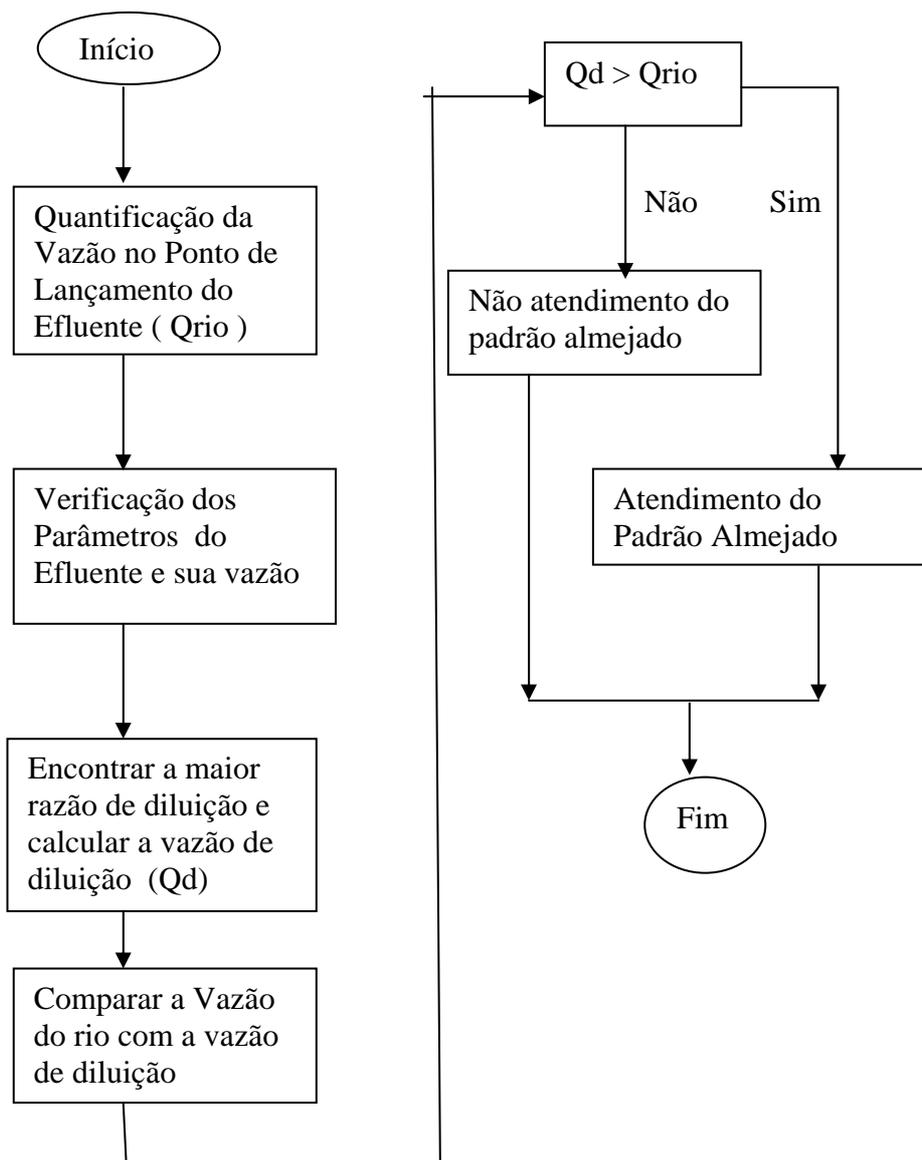
Onde:  $Q_{\text{med}}$  é a vazão medida no rio;

$Q_d$  é a vazão necessária para diluir o referido parâmetro, medida a partir da equação 4 abaixo;

$$Q_d = Q_{\text{esg}} \times R_d \quad (4)$$

Onde  $Q_{\text{esg}}$  é a vazão do esgoto despejado no corpo hídrico.

$$Q_{\text{esp}} \times A_d > Q_d \quad (2)$$



**Figura 3 – Plan-Conama2**

**TABELA 3 – Razões de Diluição para atendimento ao Padrão de Lançamento e ao Padrão do Corpo Receptor**

Parâmetro	C1	C2	C3	Parâmetro	C1	C2	C3
Arsênio	9	9	9	Fenóis	499	499	1
Boro	6	6	6	Ferro Sol.	49	49	2
Cádmio	199	199	19	Fluoretos	6	6	6
Cianetos	19	19	0	Mercurio	49	49	4
Chumbo	16	16	9	Níquel	79	79	79
Cobre	49	49	1	Prata	9	9	1
Cromo III	39	39	3	Selênio	4	4	4
Cromo IV	9	9	9	Sulfetos	499	499	2
Estanho	1	1	1	Zinco	27	27	0

C1 é a Classe 1;  
 C2 é a Classe 2;  
 C3 é a Classe 3;  
 Sol. é Solúvel.

## PLAN-STREETER

O modelo matemático de qualidade de água de Streeter e Phelps representa os parâmetros DBO e OD, considerando o efeito advectivo do transporte de massa, o qual depende do gradiente do escoamento, salientando-se que o modelo considera o escoamento permanente e uniforme. Na fase carbonácea as amostras de um rio têm a capacidade de consumo de oxigênio denominado de  $L_0$  (DBO de primeiro estágio). O indicador da amostra é a  $DBO_5$  a  $20^\circ$  C. A carga remanescente de consumo de oxigênio, pela oxidação da matéria orgânica, é expressa pela equação 5.

$$\frac{DL}{Dt} = -K_1 L \quad (5)$$

Onde:  $L$  é a carga remanescente de DBO;

$K_1$  é um fator de decaimento (Tabela 4).

Considerando  $T = 0$  e  $L = L_0$ , a solução da equação é:

$$L = L_0 e^{-K_1 t} \quad (6)$$

Oxigênio dissolvido (OD) é necessário para a manutenção de alguns organismos na água e decomposição aeróbica do despejo poluidor, dependendo da reaeração, através da superfície da água e da redução de concentração para atender a DBO, expressando-se pela equação 7. A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) mede a qualidade de oxigênio usado pela água na diluição do material orgânico, decorrendo uma fase denominada carbonácea devido a organismos heterotróficos e uma fase nitrogenada em razão da nitrificação das bactérias.

$$\frac{DC}{DT} = -K_1 L + K_2 (C_s - C) \quad (7)$$

Onde:  $K_2$  é o coeficiente de reaeração (Tabela 5), devendo ser ajustado pela expressão 8;

$C$  é a concentração de oxigênio;

$C_s$  é a concentração de saturação calculada a partir da expressão 9.

$$K_2 = K_{2(20)} \times 1,0238^{(T-20)} \quad (8)$$

Onde:  $T$  é a temperatura da água em  $^\circ$ C;

$K_{2(20)}$  (Tabela 5).

$$C_s = 14,652 - 0,41022T + 7,991 \times 10^{-3} T^2 - 7,774 \times 10^{-5} T^3 \quad (9)$$

Resolvendo a equação 6 para  $D = D_0$ , quando  $T = 0$  e substituindo a equação 6, tem-se a equação 10.

$$D = \frac{K_1 L}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_0 e^{-K_2 t} \quad (10)$$

Onde:  $D = C - C_s$ .

Derivando a equação 10 e igualando-se a zero, obtém-se o tempo que ocorre o déficit máximo. Usando a equação do movimento uniforme  $V = X / t$  e conhecida a velocidade do rio ( $V$ ), transforma-se tempo em distância (Vide Equação 11).

$$X_c = (V / (K_2 - K_1)) \ln((K_2 / K_1) (1 - (D_0 (K_2 - K_1) / L_0 K_1))) \quad (11)$$

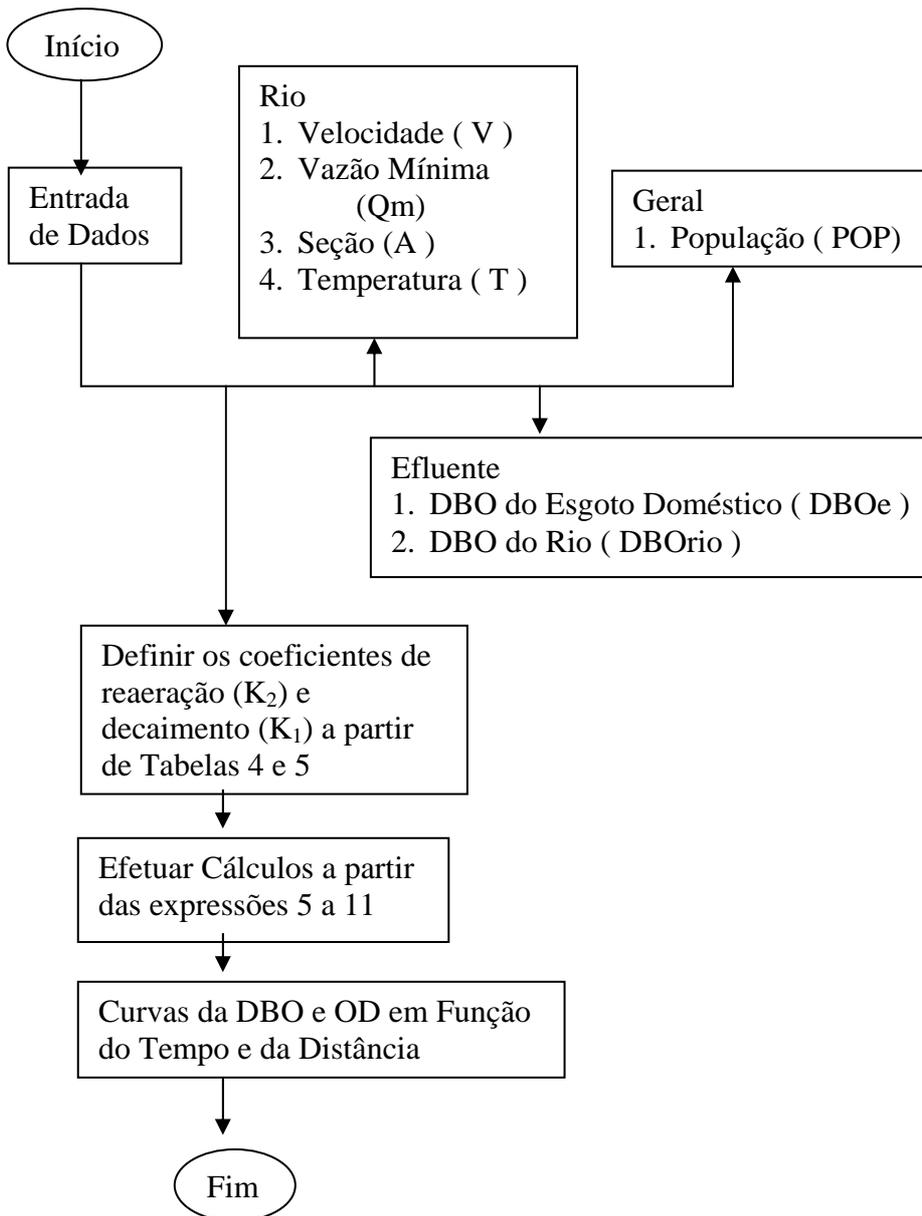
**Tabela 4 – Fator de Decaimento ( $K_1$ )**

Tipo de Despejo	$K_1$ (L/dia)	Limite Superior (L/dia)
Despejo com degradação lenta	0,10	0,20
Despejo doméstico	0,20	0,25
Despejo rapidamente degradável	0,25	0,50

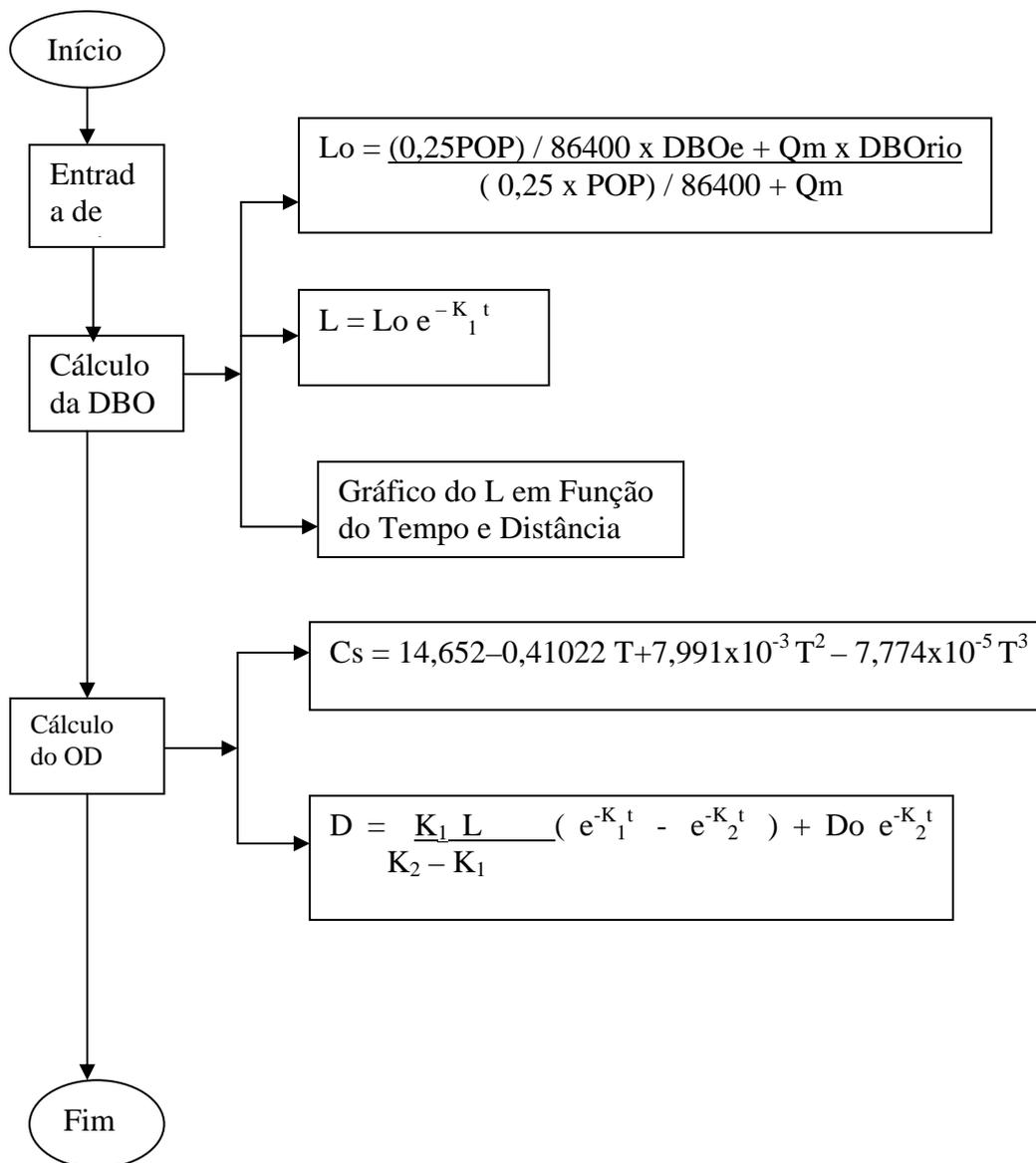
**Tabela 5 – Fator dos coeficientes de reaeração ( $K_2$ )**

Tipo do Rio	$K_2$ (20°C) L/dia	Limite Superior L/dia
Pequenos lagos e remansos	0,12	0,23
Rios calmos e grandes lagos	0,23	0,34
Grandes rios com pequena velocidade	0,34	0,46
Grandes rios com baixa velocidade	0,46	0,69
Rios ligeiros	0,69	1,15
Rios rápidos e cascatas	1,15	maior

Almeja-se ao final dos cálculos da Plan\_Streeter obter duas curvas que relacionem a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e o Oxigênio Dissolvido (OD), representados no eixo vertical Y, com o tempo em dias e também com a distância em km, representados no eixo horizontal X. É esperado uma redução das cargas de DBO e OD com o tempo e distância.



**Figura 4** – Plan-Streeter



**Figura 5** – Cálculo da DBO e OD

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Deve-se salientar que padrões são imposições legais promulgadas através de leis, regulamentos, ou posturas técnicas, estabelecidas pela autoridade nacional competente, adotando critérios de risco / benefício. Tais padrões não são estanques, variando de acordo com aspectos sócio-culturais das populações envolvidos e tendências nacionais, podendo ser alterados ou complementados, quando ocorrer evidências científicas, novas tecnologias e aplicação de políticas públicas. Torna-se então fundamental a revisão periódica dos valores e reestruturação das ferramentas propostas, assim como a adaptação contínua aos anseios da sociedade.

## **REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS**

TUCCI, C.E.M. Modelos Hidrológicos. ABRH. Editora da Universidade / UFRGS. Porto Alegre, 1998.

RBRH. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 3, Número 1. Porto Alegre , 1998.