

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

ALUNA: IVETE VASCONCELOS LOPES FERREIRA

PROFESSOR ORIENTADOR: RUI DE OLIVEIRA

CAMPINA GRANDE

JULHO/ 1986



Biblioteca Setorial do CDSA. Setembro de 2021.

Sumé - PB

## SUMÁRIO

### PARTE I

#### I - GENERALIDADES

### PARTE II

#### TRABALHO ESPECÍFICO

Avaliação da DBO última e do coeficiente constante de velocidade de degradação de DBO do esgoto bruto de Campina Grande.

#### I - INTRODUÇÃO:

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO TESTE DE DBO

- A natureza da reação de DBO

#### II - MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA DBO:

MÉTODO MANOMÉTRICO

MÉTODO DOS FRASCOS PADRÕES

- Água de diluição

- As provas em branco

- Diluição das amostras

- Frascos de incubação

#### III - MATERIAIS E MÉTODOS:

#### IV - MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE $K_1$ E $L_0$ :

MÉTODO DE FUGIMOTO

MÉTODO DE THOMAS

MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

V - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS:

VI - DISCUSSÃO:

VII - CONCLUSÃO:

VIII - COMENTÁRIOS:

IX - BIBLIOGRAFIA:

X - ANEXOS:

## PARTE I:

### I - GENERALIDADES:

O presente estágio foi realizado na EXTRABES ( Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários), antiga Estação Depuradora de Esgotos de Campina Grande.

Na antiga estação, o tratamento dos esgotos sanitários era feito seguindo-se o Método Clássico de Tratamento.

A estação consistia das seguintes unidades:

- Remoção de Gorduras;
- Gradeamento;
- Desarenamento;
- Decantação Primária;
- Decantação Secundária;
- Digestão Primária;
- Digestão Secundária;
- Secagem de Lodo digerido.

Com o tempo, o Método Clássico foi tornando-se obsoleto e novos métodos surgiram com maior eficiência.

Neste contexto surge a EXTRABES que constitui-se numa Estação Experimental onde se realizam estudos sobre Lagoas de Estabilização, sob as condições climáticas predominantes na Região Nordeste com a finalidade de definir parâmetros regionais para a execução de projetos tecnicamente viáveis.

Aproveitando-se das instalações existentes na antiga estação e com algumas adaptações, foram construídas quatro lagoas facultativas independentes e uma série de lagoas em escala piloto, para efeito de comparação da eficiência de trata -

mento.

A série de lagoas constitui-se de uma lagoa anaeróbica, uma facultativa e três lagoas de maturação.

As lagoas anaeróbicas caracterizam-se por não apresentarem oxigênio dissolvido na massa líquida e uma grande carga de material orgânico.

As lagoas facultativas apresentam processo de degradação aeróbica na superfície e anaeróbica nas camadas mais profundas. As lagoas facultativas vêm sendo utilizadas para o tratamento de efluentes de tanques sépticos e de lagoas anaeróbicas de pré-tratamento.

As lagoas de maturação são utilizadas como segundo estágio de tratamento após lagoas facultativas. É nesta fase de tratamento que ocorre a destruição dos organismos patogênicos. As lagoas de maturação possuem baixa taxa de matéria orgânica e há predominância de processos aeróbicos.

Comparando-se o aspecto do efluente das lagoas facultativas independentes com o efluente da série de lagoas, observa-se que este é de melhor qualidade que o efluente de uma única lagoa facultativa com área equivalente.

Em termos de eficiência de remoção de coliformes fecais a série de lagoas consegue 99,99%, enquanto que as lagoas facultativas isoladas somente 99%.

A EXTRABES possui ainda três laboratórios devidamente equipados de modo a viabilizar as pesquisas realizadas nesta Estação Experimental.

Para a realização do estágio, foi projetado um trabalho experimental com o objetivo de caracterizar o esgoto bruto, tipicamente doméstico, da cidade de Campina Grande. Mais especificamente, pretendeu-se determinar constantes caracte -

rísticas da referida água residuária.

## PARTE II:

### TRABALHO ESPECÍFICO:

TÍTULO: Avaliação da DBO última e da coeficiente constante de velocidade de degradação de DBO do esgoto bruto de C. Grande.

### I - INTRODUÇÃO:

#### FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO TESTE DE DBO:

A DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) representa o consumo de oxigênio por parte das bactérias para a realização da degradação de matéria orgânica. É um parâmetro utilizado para estimar a quantidade de material orgânico biodegradável presente numa amostra líquida.

Através do teste de DBO pode-se determinar o poder de poluição dos despejos domésticos e industriais em termos de demanda de oxigênio quando são lançados num corpo receptor onde haviam condições aeróbicas.

Pode-se também avaliar o grau de poluição dos rios, lagos, etc, em qualquer tempo, regulando dessa maneira a descarga que o corpo receptor é capaz de suportar.

O teste de DBO é essencialmente uma bioanálise onde se mede oxigênio consumido pelos organismos vivos (principalmente as bactérias) enquanto utilizam a matéria orgânica existente na amostra, sob condições padrões. Por ocasião do teste de DBO, as amostras devem ser protegidas do ar para evitar reoxidação enquanto o nível de oxigênio dissolvido diminui. Além do mais, como o limite de solubilidade do oxigênio na amostra é cerca de 9 mg/l a 20°C, esgotos concentrados devem ser diluídos para níveis de demanda que estejam de acordo com este va

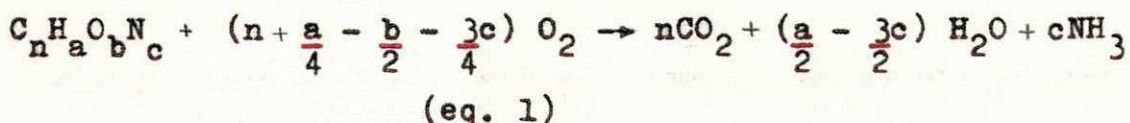


lor assegurando que o oxigênio dissolvido estará presente durante todo o período do teste.

Visto que é um procedimento de bioanálise, é extremamente importante que as condições ambientais sejam adequadas para os organismos vivos existentes na amostra. Isto significa que não devem haver substâncias tóxicas e que devem estar presentes todos os nutrientes necessários ao desenvolvimento das bactérias tais como: nitrogênio, fósforo, etc.

O teste de DBO pode ser considerado como um processo de bio-degradação no qual os organismos vivos servem de instrumentos para a oxidação da matéria orgânica até dióxido de carbono e água.

Existe uma relação entre a quantidade de oxigênio requerida para converter uma certa quantidade de composto orgânico e a quantidade de matéria orgânica. Esta relação pode se apresentar segundo a equação abaixo:



Com base na relação acima, é possível interpretar os dados do teste de DBO em termos de matéria orgânica, bem como em termos da quantidade de oxigênio utilizado durante esta oxidação. Este conceito é fundamental para o entendimento da cinética com que a DBO é exercida.

As reações de oxidação envolvidas no teste de DBO são resultantes da atividade biológica, e a velocidade com que estas reações se processam é função da população de bactérias e da temperatura. O teste de DBO é realizado à uma temperatura constante de 20°C que nem sempre corresponde ao valor médio

que mais se aproxima das temperaturas dos corpos receptores naturais.

A velocidade dos processos metabólicos dos organismos vivos que vão oxidar o material orgânico à 20°C e sob as condições do teste é tal que o tempo deve ser avaliado em dias. Teoricamente, seria necessário um tempo infinito para a completa bio-oxidação da matéria orgânica, porém para fins práticos a reação pode ser considerada completa em 20 dias. Todavia, na maioria dos casos, um período de 20 dias é muito longo para se esperar pelos resultados. Pela experiência, observou-se que uma grande porcentagem da DBO total é exercida em 5 dias, conseqüentemente, o teste tem sido realizado com um período de incubação de 5 dias. Deve ser lembrado porém que o valor da  $DBO_5$  representa apenas uma parte da DBO total. A porcentagem exata depende das características dos organismos degradadores e da natureza da matéria orgânica. No caso de esgotos domésticos e industriais, a  $DBO_5$  representa 70 a 80% do valor da DBO total. Esta é uma razão técnica para que se considere a  $DBO_5$  como representativa do conteúdo de material orgânico. Existe também uma razão de ordem prática para o uso de tal parâmetro, ou seja, a utilização da  $DBO_5$  a 20°C é um padrão estabelecido universalmente e isso permite a comparação de resultados de todo o mundo.

#### - A NATUREZA DA REAÇÃO DE DBO:

As reações envolvidas no teste de DBO se apresentam como reações de primeira ordem, ou seja, a velocidade da reação é proporcional a quantidade de matéria orgânica oxidável remanescente em determinado tempo, a medida que esta matéria orgânica é degradada pelos organismos vivos.

Então, matematicamente:

$$-\frac{dC}{dt} \propto C \quad \rightarrow \quad -\frac{dC}{dt} = K_1 C \quad (\text{eq. 2})$$

onde: C representa a concentração de matéria orgânica oxidável no início do intervalo de tempo dt e  $K_1$  é o coeficiente constante de velocidade de degradação do material orgânico.

Isto significa que a velocidade da reação decresce gradativamente à medida em que a concentração de matéria orgânica diminui.

Em termos de DBO, tem-se:

$$-\frac{dL}{dt} = K_1 L \quad (\text{eq. 3})$$

onde:  $\frac{dL}{dt}$  representa a taxa de degradação do material orgânico com o tempo e L é a DBO remanescente no sistema no instante t. L também pode ser interpretado em termos de oxigênio requerido para a bio-oxidação.

Integrando a expressão (3), obtém-se:

$$L_t = L_0 e^{-K_1 t} \quad (\text{eq. 4})$$

onde:  $L_0$  representa a DBO total, ou seja, é a quantidade de oxigênio requerida para a degradação de toda a matéria orgânica do sistema.

Algumas vezes tem-se interesse em determinar a DBO exercida, a qual é obtida através do teste de medidas de oxigênio dissolvido.

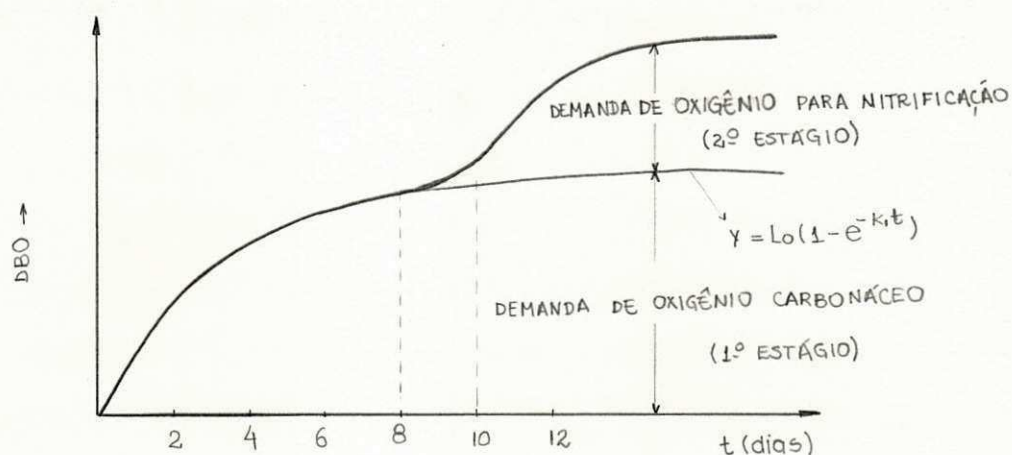
$$Y = L_0 (1 - e^{-K_1 t}) \quad (\text{eq. 5})$$

onde: Y é a DBO exercida em qualquer tempo t e  $L_0$  é a DBO total.

Os valores de  $K_1$  e  $L_0$  devem ser determinados experimentalmente.

A expressão (5) descreve o comportamento do primeiro estágio do processo de degradação da DBO que corresponde, ba-

sicamente, à degradação da matéria orgânica. Todavia, existe ainda um segundo estágio que corresponde a nitrificação ou oxidação de compostos inorgânicos. A nitrificação é exercida pelas bactérias nitrificantes que oxidam a amônia dando como resultado nitritos e nitratos. A oxidação dos compostos inorgânicos se dá com maior intensidade depois do 8º ao 10º dia do início do processo de degradação resultando num aumento brusco da DBO neste período (vêr figura 1). Esta é mais uma razão da utilização do teste de DBO com um período de incubação de 5 dias, uma vez que tem-se interesse de medir apenas o oxigênio requerido para a degradação da matéria orgânica.



(fig.1)

## II - MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA DBO:

### MÉTODO MANOMÉTRICO:

O método de determinação da DBO utilizando manômetros é uma modificação do teste padrão de DBO com frascos. É um método proposto pela Hach Chemical Company.

O método permite a leitura direta da DBO através de um medidor. Este instrumento funciona segundo o princípio de que

a pressão do ar acima de um frasco fechado, e parcialmente cheio, é reduzida a medida em que o oxigênio é consumido durante a bio-oxidação. O hidróxido de potássio ou de sódio sob a tampa do frasco remove dióxido de carbono à medida que este é produzido para evitar o aumento das pressões do ar.

O frasco é agitado magneticamente e conectado a um manômetro de mercúrio calibrado em mg DBO por litro. O volume da amostra colocado no frasco depende da DBO esperada, e existe uma escala manométrica com um fator que depende deste volume.

Depois do equilíbrio térmico, o manômetro é ajustado para a leitura do zero.

A escala é lida depois de 5 dias à 20°C ou à 2,5 dias à 35°C.

Sempre que possível deve-se evitar trabalhar com o Método Manométrico para a determinação de DBO devido a grande margem de erros a que o método está sujeito.

#### MÉTODO DOS FRASCOS PADRÕES:

Baseia-se no princípio de que a taxa de degradação da matéria orgânica é diretamente proporcional à quantidade de matéria orgânica remanescente. De acordo com este conceito, a taxa de utilização de oxigênio em uma amostra diluída é tanto maior quanto menor for a diluição, ou ainda, quanto maior for a quantidade de matéria orgânica depois da diluição, desde que os demais fatores mantenham-se constantes.

Existe uma grande variedade de águas residuárias que são submetidas ao teste de DBO. Os esgotos industriais podem estar isentos de microorganismos, porém, nos esgotos domésticos há uma grande quantidade destes microorganismos.

No teste de DBO é imprescindível o controle das condições ambientais e nutricionais de modo que não haja nenhuma interferência no metabolismo das bactérias. Sendo assim, devem ser rigorosamente controladas, a cada teste, as seguintes condições: pH e pressão osmótica favoráveis, temperatura constante e padronizada, inexistência de substâncias tóxicas, presença de nutrientes, etc.

- Água de diluição:

Muitas amostras apresentam elevados valores de DBO, e portanto devem ser diluídas para que atendam às exigências impostas pelo limite de solubilidade do oxigênio.

Várias pesquisas foram feitas para se estabelecer a água de diluição ideal utilizada no teste de DBO.

Observou-se que as águas naturais de superfície apresentam muitas desvantagens devido às variações de DBO, de microorganismos presentes, e de minerais. A água de abastecimento também foi testada, mas a presença de cloro residual a torna tóxica. Através de vários estudos, constatou-se que a água de diluição deve ser destilada porque as variáveis podem ser mantidas sob controle.

A água destilada para a preparação da água de diluição deve ser acondicionada à uma temperatura favorável.

O pH da água de diluição deve estar compreendido entre 6,5 a 8,5 sem afetar a ação das bactérias saprófitas. É normalmente utilizada uma solução tampão de fosfato de pH aproximadamente 7. A solução tampão é essencialmente utilizada para manter as condições de pH favoráveis durante todo o período do teste.

As condições osmóticas apropriadas são mantidas pelo fosfato de sódio e de potássio. Adiciona-se ainda sais de cálcio

cio e magnésio.

O potássio, o sódio, o cálcio e o magnésio que servem para tamponar o sistema e proporcionar condições apropriadas, também vão servir de nutrientes necessários ao metabolismo e crescimento dos microorganismos.

A água de diluição deve ser semeada com água residual ou outro material que garanta uma população uniforme de organismos em várias diluições, proporcionando à possível matéria orgânica presente na água, a exposição dos mesmos tipos de organismos envolvidos na estabilização da amostra.

A água de diluição deve ser aerada até a saturação de oxigênio, antes de ser utilizada.

- As provas em branco:

Na determinação da DBO por este método, sabe-se que a água de diluição contendo o material de semeadura irá conter matéria orgânica e que a adição desta água à amostra irá aumentar a quantidade de material orgânico oxidável. Por isso, uma correção deve ser feita. Esta correção consiste no uso de provas em branco que consistem unicamente na incubação de água de diluição semeada.

Pelo menos três provas em branco devem ser incluídas em cada série de amostras de DBO.

A prova em branco serve como valor de referência utilizado no teste de DBO.

- Diluição das amostras:

A escolha da diluição é muito importante no teste de DBO. Geralmente deve-se estabelecer três diluições diferentes. Quando a concentração da amostra é conhecida com uma certa segurança, duas diluições são suficientes. No caso de amostras cuja concentração é desconhecida, a diluição deve abranger u-

ma larga faixa de valores de DBO.

A DBO não é influenciada por uma concentração tão baixa quanto 0,5 mg/l. Também não se deve estabelecer diluições com base em valores de DBO que levem a uma depleção de oxigênio abaixo de 2 mg/l. Entretanto, estabeleceram-se cálculos de DBO de amostras que forneçam uma depleção de até 2 mg/l, e tenham pelo menos 0,5 mg/l de oxigênio dissolvido remanescente no fim do período de incubação.

- Frascos de incubação:

Os frascos de incubação usados no teste de DBO são de vidro. O local de encaixe com a tampa deve ser esmerilhado de maneira a prevenir a entrada de ar no frasco durante o período de incubação.

É extremamente importante que os frascos utilizados no teste de DBO estejam isentos de matéria orgânica para que não haja distorção dos resultados. A limpeza dos frascos pode ser feita com uma solução de ácido clorídrico ou, simplesmente, com um bom detergente. No caso do uso de detergentes, os frascos devem ser enxaguados com água quente para matar os organismos nitrificantes, os quais tendem a se desenvolver nas paredes dos frascos. Deve-se ter cuidado para que todos os agentes de limpeza sejam removidos dos frascos antes de usados.

### III - MATERIAIS E MÉTODO:

#### MATERIAIS:

Os materiais utilizados para a realização do teste de DBO foram:

- Frascos de vidro com capacidade de 300 ml;



- Bastão de vidro;
- Pipeta;
- Pipetador;
- Agitador magnético;
- Becker;
- Garrafão para acondicionamento da água de diluição;
- Aerador;
- Água destilada;
- Solução tampão de fósforo;
- Fosfato de sódio;
- Fosfato de potássio;
- Sais de cálcio e magnésio;
- Pinceta;
- Incubadora calibrada à 20°C;
- Medidor de oxigênio.

#### MÉTODO:

O método utilizado para a determinação da DBO foi o Método dos Frascos Padrões.

Foram realizadas três séries de testes, em dias alternados.

A amostra (esgoto bruto) era coletada às 8 horas da manhã. No laboratório, a amostra era homogeneizada com um bas-tão de vidro e transferida para um becker colocado sobre um agitador magnético. Com a pipeta e o pipetador, colocava-se a amostra em cada um dos frascos numa quantidade estabelecida dentro dos limites de depleção permissíveis.

Em cada série de testes, determinou-se a DBO de 1, 2, 3, 4, 5 e 6 dias.

Para cada dia, eram incubadas três amostras diluídas e

uma prova em branco. Depois da colocação das amostras, completava-se o volume do frasco com água de diluição, tendo-se o cuidado para que não se formassem bolhas de ar.

A preparação da água de diluição constituiu-se no acondicionamento de água destilada à 20°C durante 12 horas, aeração durante meia hora e colocação dos nutrientes (fosfato de sódio, fosfato de potássio e sais de cálcio e magnésio) e da solução tampão, todos eles numa concentração de 1 mg/l.

Não foi necessário semear a água de diluição uma vez que na amostra (esgoto bruto) já havia uma quantidade suficiente de bactérias para a realização satisfatória do teste.

Em seguida, os frascos eram colocados na incubadora à 20°C, tendo-se o cuidado de completar, diariamente, o selo hidráulico de modo que não houvesse a passagem de ar para o interior do frasco, garantindo-se com isso a não interferência no sistema durante todo o período de incubação.

Após 24 horas de incubação foi feita a primeira leitura do oxigênio dissolvido em cada frasco, inclusive o da prova em branco. A segunda leitura foi feita após 48 horas de incubação, e assim por diante.

O oxigênio dissolvido era determinado através de um medidor de oxigênio que dispunha de uma membrana capaz de detectar o nível de oxigênio dissolvido (mg/l) em cada frasco. A leitura era realizada após a devida calibração do aparelho.

Com os dados obtidos, foi possível o cálculo da DBO exercida de 1, 2, 3, ..., e 6 dias, através da seguinte fórmula:

$$DBO_n = (OD_{pb} - OD_f) \frac{V_f}{V_a} - (OD_{pb} - OD_a) \quad (\text{eq. 6})$$

onde:  $OD_{pb}$  = Oxigênio dissolvido na prova em branco (água de diluição).

$OD_f$  = Oxigênio dissolvido no frasco (amostra diluída)

$V_f$  = Volume do frasco

$V_a$  = Volume da amostra (esgoto bruto)

$OD_a$  = Oxigênio dissolvido na amostra medido no dia da coleta.

#### IV - MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE $K_1$ E $L_0$ :

##### MÉTODO DE FUGIMOTO:

Este método baseia-se no princípio de que quando todo o material orgânico for oxidado, a DBO exercida no dia  $n$  ( $Y_n$ ) será igual a DBO exercida no dia  $n+1$  ( $Y_{n+1}$ ) e este valor corresponderá à DBO última ( $L_0$ ).

- Determinação da Reta de Fugimoto:

Partindo da expressão (5):

$$Y_t = L_0 (1 - e^{-K_1 t})$$

Para um acréscimo constante de tempo  $h$ , tem-se:

$$Y_{t+h} = L_0 [1 - e^{-K_1 (t+h)}] \quad ; \quad \text{mas: } L_t = L_0 e^{-K_1 t}$$

$$\text{Então: } Y_{t+h} = L_0 - L_t e^{-K_1 h}$$

$$\text{onde: } L_t = L_0 - Y_t$$

$$L_0 = \text{DBO última}$$

$$Y_t = \text{DBO exercida}$$

$$L_t = \text{DBO remanescente}$$

Logo:

$$Y_{t+h} = L_0 (1 - e^{-K_1 h}) + Y_t e^{-K_1 h} \quad (\text{eq. 7})$$

onde:  $L_0 = \underline{cte}$

$K_1 = \underline{cte}$

$h = \underline{cte}$

A expressão (7) descreve a Reta de Fugimoto e é uma equação do 1º grau do tipo:

$Y = b + ax$  ; onde:  $a = \text{coeficiente angular} = e^{-K_1 h}$

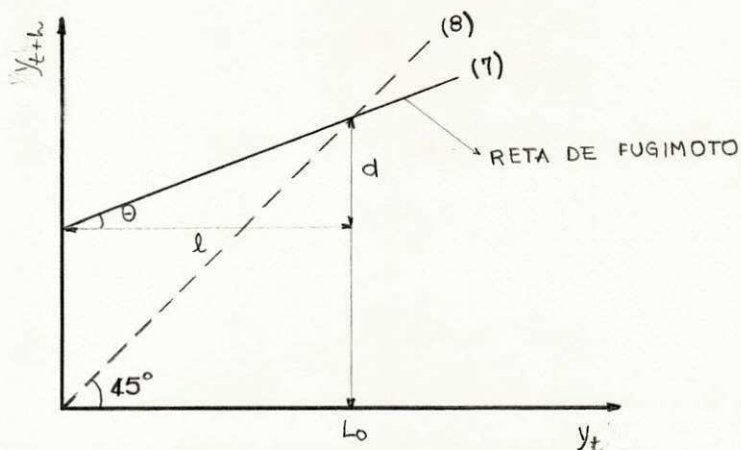
$b = \text{coeficiente linear} = L_0 (1 - e^{-K_1 h})$

Entretanto, quando toda a matéria orgânica for degradada vale a expressão:

$Y_{t+h} = Y_t$  (eq. 8)

A equação (8) representa a bissetriz do sistema de eixos cartesianos.

Traçando-se as retas (7) e (8) em um mesmo sistema de eixos (figura 2), o ponto de intersecção definirá o valor de  $L_0$ .



(fig. 2)

A constante  $K_1$  será determinada a partir do coeficiente angular da Reta de Fugimoto:

$e^{-K_1 h} = \text{tg } \theta = \frac{d}{l}$  ; onde:  $d$  e  $l$  são valores retirados do gráfico.

### MÉTODO DE THOMAS:

O Método de Thomas para a determinação de  $K_1$  e  $L_0$ , baseia-se na aproximação de séries de Fourier.

Considerando as seguintes expressões:

$$(1 - e^{-K_1 t}) = Kt \left( 1 - \frac{Kt}{2} + \frac{(Kt)^2}{6} - \frac{(Kt)^3}{24} + \dots \right) \quad (\text{eq. 9})$$

$$Kt \left( 1 + \frac{Kt}{6} \right)^{-3} = Kt \left( 1 - \frac{Kt}{2} + \frac{(Kt)^2}{6} - \frac{(Kt)^3}{21,4} + \dots \right) \quad (\text{eq. 10})$$

Observa-se que o desenvolvimento da série de Fourier destas duas expressões é muito semelhante e portanto (9) e (10) podem ser igualadas. Assim:

$$(1 - e^{-K_1 t}) = K_1 t \left( 1 + K_1 t/6 \right)^{-3} \quad (\text{eq. 11})$$

Substituindo a expressão (11) em (5), tem-se:

$$Y = L_0 K_1 t \left( 1 + K_1 t/6 \right)^{-3} \quad (\text{eq. 12})$$

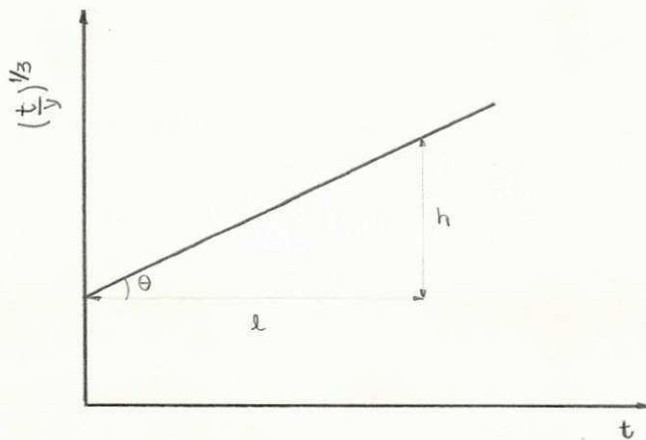
Linearizando a expressão (12), obtem-se:

$$\left( \frac{t}{Y} \right)^{1/3} = (K_1 L_0)^{-1/3} + \left( \frac{K_1^{2/3}}{6L_0} \right) t \quad (\text{eq. 13})$$

A expressão (13) é uma equação do 1º grau do tipo:

$$Y = b + ax ; \quad \text{onde: } b = \text{coeficiente linear} = (K_1 L_0)^{-1/3}$$
$$a = \text{coeficiente angular} = (K_1^{2/3} / 6L_0^{1/3})$$

Traçando o gráfico da expressão (13):



(figura 3)

Do gráfico obtém-se:

$$b = (K_1 L_0)^{-1/3}$$

$a = (K_1^{2/3} / 6L_0^{1/3}) = \text{tg } \theta = \frac{h}{l}$ , onde h e l são obtidos a partir do gráfico (fig.3).

Logo:

$$K_1 = \frac{6a}{b}$$

$$L_0 = \frac{1}{6b^2 a}$$

#### MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS:

O Método dos Mínimos Quadrados procura interpolar uma reta a partir de uma série de dados obtidos em laboratório, de maneira a minimizar os erros.

Combinando-se as expressões (5) e (3) e sabendo-se que

$$L = L_0 - Y :$$

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 L \quad (\text{eq. 3})$$

$$Y = L_0 (1 - e^{-K_1 t}) \quad (\text{eq. 5})$$

$$d(L_0 - Y) / dt = -K_1 (L_0 - Y)$$

$$\frac{dY}{dt} = K_1 (L_0 - Y) \quad (\text{eq. 14})$$

Para cada ponto  $(t_i ; Y_i)$  tem-se:

$$\left(\frac{dY}{dt}\right)_i = K_1 (L_0 - Y_i) \quad (\text{eq. 15})$$

Entretanto, devido a erros cometidos durante o experimento, os membros da equação (15) não podem ser igualados, devido a existência de uma quantidade residual  $R_i$ :

$$R_i = K_1 (L_0 - Y_i) - (dY/dt)_i \quad (\text{eq. 16})$$

Fazendo  $\left(\frac{dY}{dt}\right)_i = Y'_i$  ;  $K_1 L_0 = p$  e  $K_1 = q$ , então:

$$R_i = p - qY_i - Y'_i \quad (\text{eq. 17})$$

Para que a soma dos quadrados dos residuais seja mínima:

$$\frac{\partial}{\partial p} \sum (R_i)^2 = \frac{\partial}{\partial q} \sum (R_i)^2 = 0 \quad (\text{eq. 18})$$

Então:

$$\sum 2R_i (\partial R_i / \partial p) = 0 \rightarrow \sum R_i (\partial R_i / \partial p) = 0 \quad (\text{eq. 19})$$

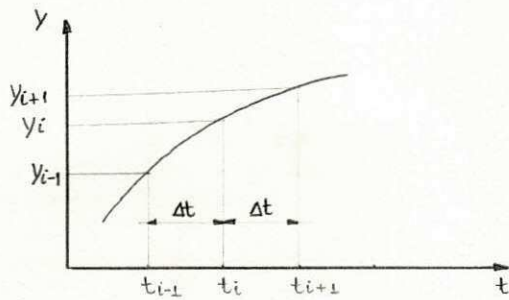
$$\sum 2R_i (\partial R_i / \partial q) = 0 \rightarrow \sum R_i (\partial R_i / \partial q) = 0 \quad (\text{eq. 20})$$

Aplicando (19) e (20) em (17):

$$np - q \sum Y_i - \sum Y'_i = 0 \quad (\text{eq. 21})$$

$$-p \sum Y_i + q \sum (Y_i)^2 + \sum (Y_i - Y'_i) = 0 \quad (\text{eq. 22})$$

O valor de  $Y'_i$  será a tangente da curva abaixo no ponto  $(t_i ; Y_i)$ , como indica a figura 4.



(figura 4)

Então:

$$Y'_i = \frac{Y_{i+1} - Y_{i-1}}{2 \Delta t}$$

#### V - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS:

Com base nos resultados do teste de DBO, foram determinados o coeficiente constante de velocidade de degradação de matéria orgânica ( $K_1$ ) e a DBO última ( $L_0$ ) do esgoto bruto de Campina Grande.

Os referidos parâmetros ( $K_1$  e  $L_0$ ) foram calculados de acordo com o Método de Fugimoto, o Método de Thomas e o Método dos Mínimos Quadrados, obtendo-se os seguintes resultados:

1º Teste:

- Método de Fugimoto:

$$L_0 = 270 \text{ mg } O_2/l$$

$$K_1 = 0,51 \text{ d}^{-1}$$

- Método de Thomas:

$$L_0 = 270 \text{ mg } O_2/l$$

$$K_1 = 0,44 \text{ d}^{-1}$$

- Método dos Mínimos Quadrados:

$$L_0 = 278 \text{ mg } O_2/l$$



$$K_1 = 0,41 \text{ d}^{-1}$$

2º Teste:

- Método de Fugimoto:

$$L_0 = 163 \text{ mg O}_2/\text{l}$$

$$K_1 = 0,10 \text{ d}^{-1}$$

- Método de Thomas:

Com base nos dados de DBO obtidos em laboratório, não foi possível traçar a reta para a determinação dos parâmetros  $K_1$  e  $L_0$ .

- Método dos Mínimos Quadrados:

Com os dados obtidos no teste de DBO e utilizando o Método dos Mínimos Quadrados, o valor de  $K_1$  encontrado foi negativo. Portanto, neste caso o método não forneceu valores satisfatórios.

3º Teste:

- Método de Fugimoto:

$$L_0 = 98 \text{ mg O}_2/\text{l}$$

$$K_1 = 0,25 \text{ d}^{-1}$$

- Método de Thomas:

$$L_0 = 107 \text{ mg O}_2/\text{l}$$

$$K_1 = 0,21 \text{ d}^{-1}$$

- Método dos Mínimos Quadrados:

$$L_0 = 112 \text{ mg O}_2/\text{l}$$

$$K_1 = 0,21 \text{ d}^{-1}$$

Analisando os resultados obtidos no 1º Teste, observa-

-se que o valor de  $L_0$  não apresentou grandes variações de um método para outro. Quanto aos valores de  $K_1$ , o Método de Thomas e o Método dos Mínimos Quadrados forneceram valores bem próximos.

No 2º Teste, os resultados de DBO obtidos não possibilitaram a utilização do Método dos Mínimos Quadrados para a determinação de  $K_1$  e  $L_0$ , sendo encontrados valores negativos para estes dois parâmetros. O Método de Thomas também não se aplicou a este caso uma vez que os pontos obtidos para o traçado da reta comportaram-se de maneira bastante aleatória (vêr gráfico anexo). Isto pode ser entendido como uma inadequação do Método de Thomas para pequenos valores de DBO.

Com relação ao 3º Teste, os valores de  $K_1$  e  $L_0$  obtidos pelos diferentes métodos foram bastante próximos, principalmente o valor de  $K_1$ .

## VI - DISCUSSÃO:

Com relação aos métodos utilizados para a determinação dos parâmetros  $K_1$  e  $L_0$ , o Método dos Mínimos Quadrados é o mais preciso, já que é um procedimento puramente matemático, não envolve estimativas de retas e portanto não depende da sensibilidade ou intuição do calculista.

No 1º Teste, os valores de  $K_1$  e  $L_0$  caracterizaram um esgoto com uma considerável concentração de DBO. Já no 3º Teste estes valores foram menores. Isto ocorreu porque a amostra em análise apresentou diferentes concentrações de material orgânico de um dia para outro, ou seja, por ocasião do 1º Teste

a amostra apresentou-se mais escura indicando uma maior presença de sólidos suspensos, enquanto que nos demais testes a amostra estava mais diluída.

Comparando-se os resultados de  $K_1$  e  $L_0$  do 1º e do 3º Teste, pode-se dizer que os resultados foram coerentes, pois quanto maior a concentração de material orgânico, maior a taxa ou velocidade de degradação deste material.

Tendo-se em vista a amostra analisada (esgoto bruto, tipicamente doméstico, de Campina Grande), os resultados de  $K_1$  e  $L_0$  obtidos no 1º Teste podem caracterizar muito bem a amostra em questão.

#### VII - CONCLUSÃO:

Mediante o trabalho realizado, constatou-se que é possível a determinação adequada das constantes características de qualquer água residuária. Este procedimento é de vital importância para a elaboração de projetos que, de acordo com as diferenças climáticas de cada região, confirmam ao tratamento de suas águas residuárias uma eficiência máxima. Assim, pode-se diminuir bastante o poder de poluição dos efluentes das estações de tratamento de esgotos, preservando o equilíbrio dos corpos receptores.

#### VIII - COMENTÁRIOS:

Por intermédio da realização deste estágio, tive a oportu-

tunidade de conhecer de perto como funciona uma Estação Experimental de Tratamentos de Esgotos.

A experiência foi bastante enriquecedora, pois além de acrescentar-me novos conhecimentos, tive a oportunidade de conviver com pessoas ligadas à esta área específica de estudo pela qual tenho grande simpatia.

Meus agradecimentos a todos aqueles que colaboraram com a realização deste trabalho, e especialmente ao professor Rui de Oliveira pela excelente orientação e total apoio durante todo o estágio.

#### IX - BIBLIOGRAFIA:

- SAWYER, Clair N.

Mc CARTY, Perry L.

CHEMISTRY FOR SANITARY ENGINEERS

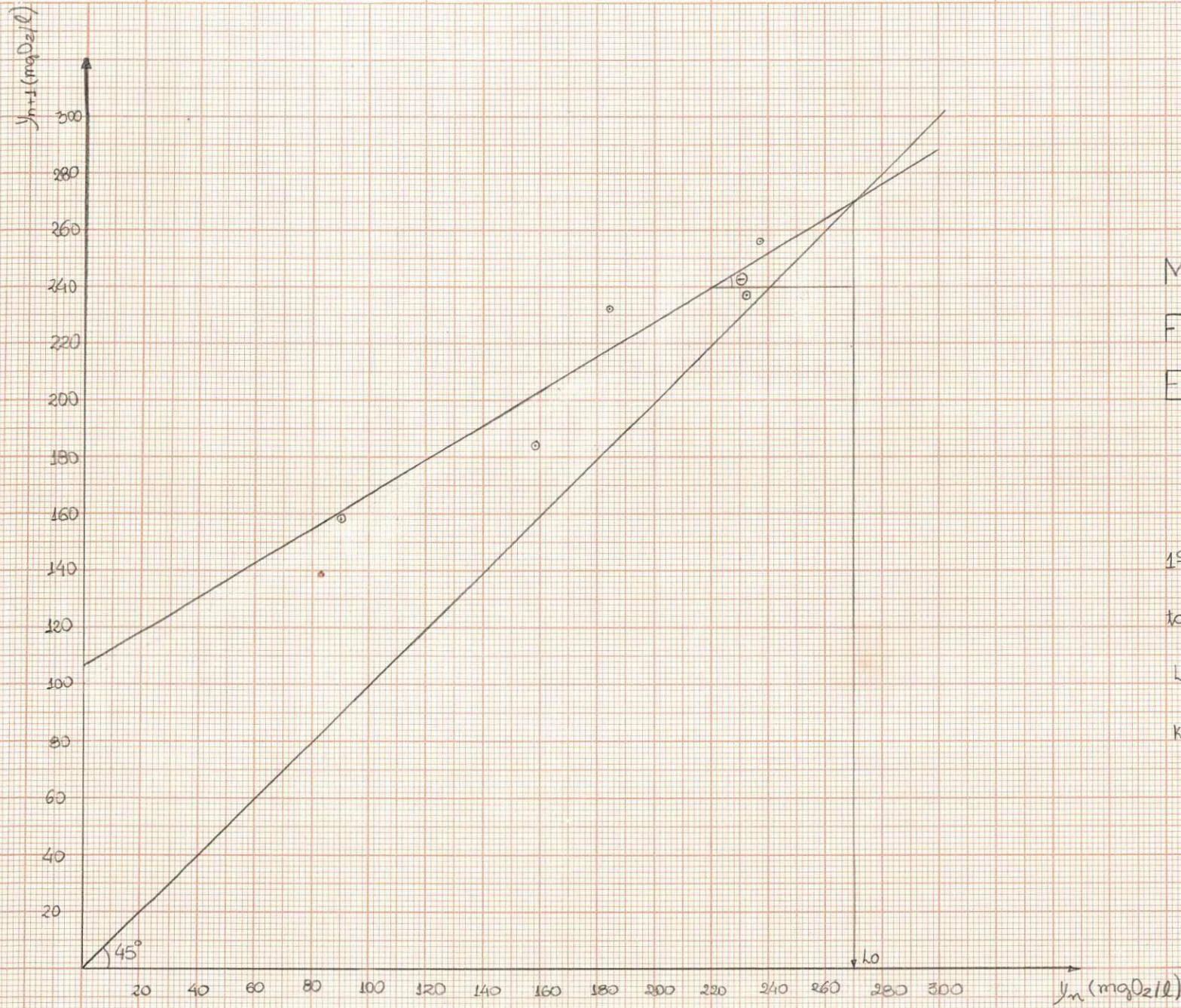
- MARA, Ducan

SEWAGE TREATMENT IN HOT CLIMATES

- MARA, D. D.

BACTERIOLOGY FOR SANITARY ENGINEERS

X - ANEXOS:



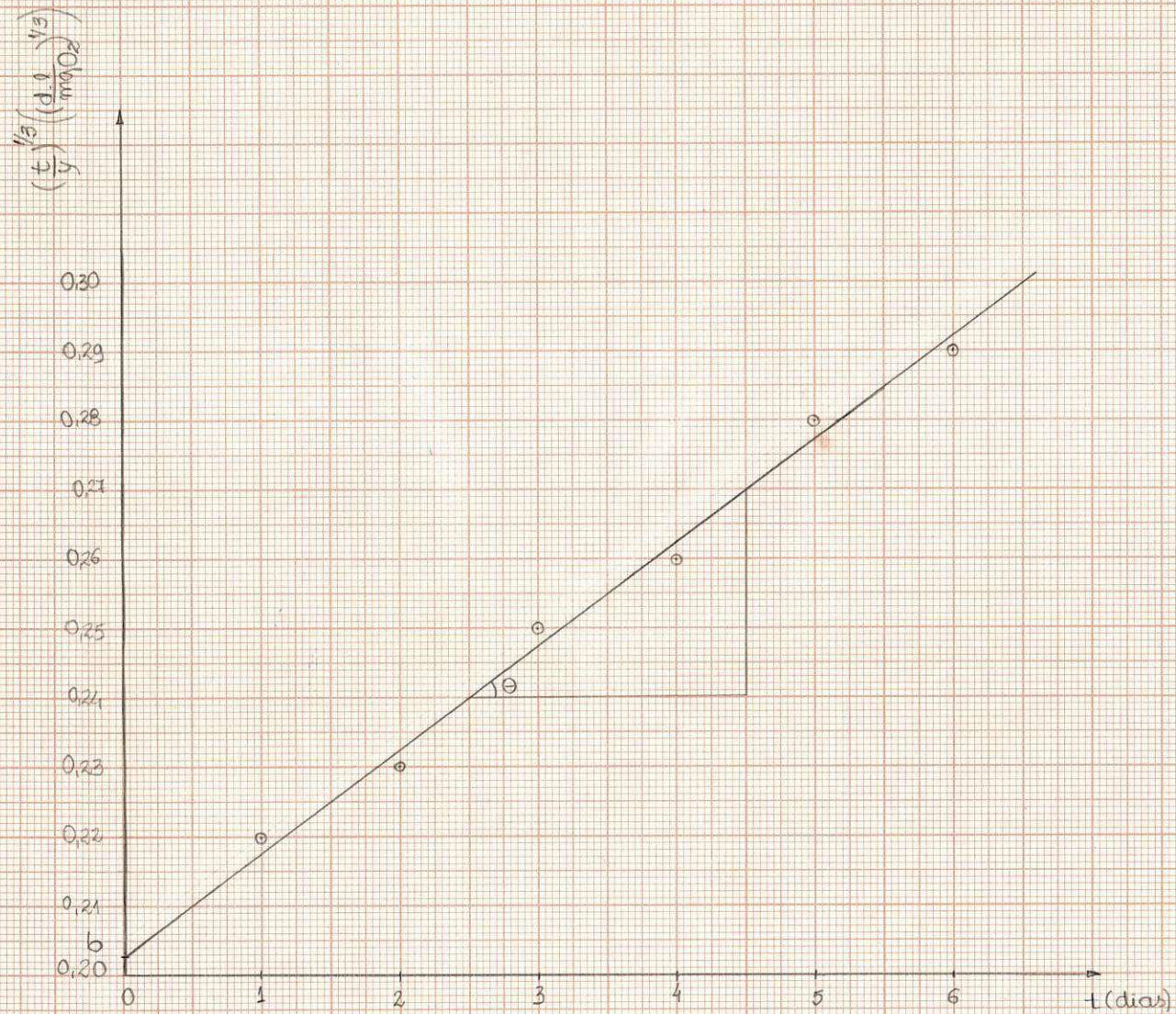
Método de Fugimoto  
Escala: 1cm = 20 mg O<sub>2</sub>/l

1º Teste

$$\lg \theta = \frac{30}{50} = 0,6$$

$$L_0 = 270 \text{ mg O}_2/\text{l}$$

$$k_1 = 0,51 \text{ d}^{-1}$$



## Método de Thomas

Esc. Hor. - 2cm = 1 dia

Esc. Vert. - 1cm =  $0.01 \left(\frac{dl}{mgO_2}\right)^{1/3}$

1º Teste:

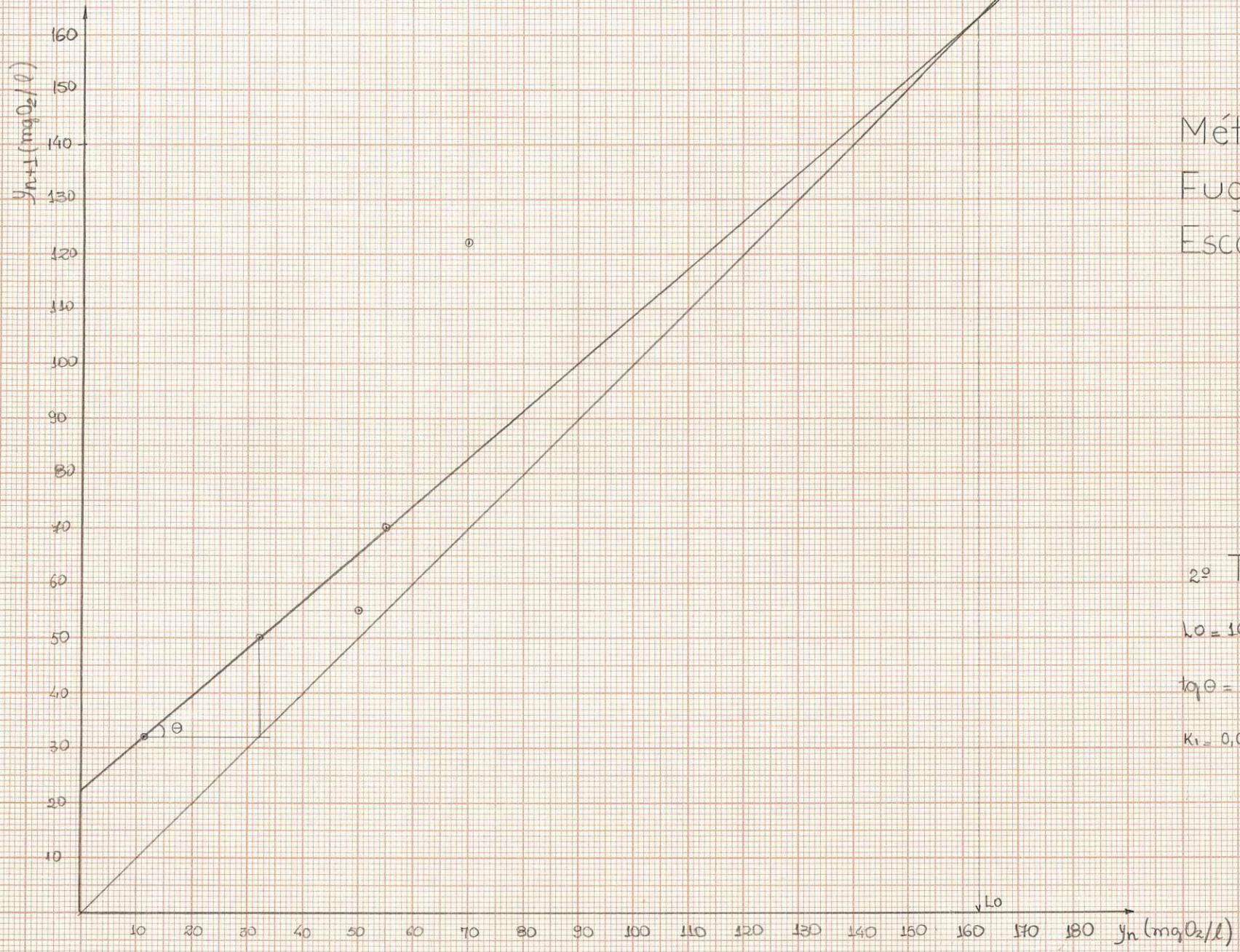
$$a = \frac{t_2 - t_1}{2} = \frac{0.03}{2} = 0.015$$

$$b = 0.203$$

$$k_1 = 0.44 d^{-1}$$

$$L_0 = 270 mgO_2/l$$

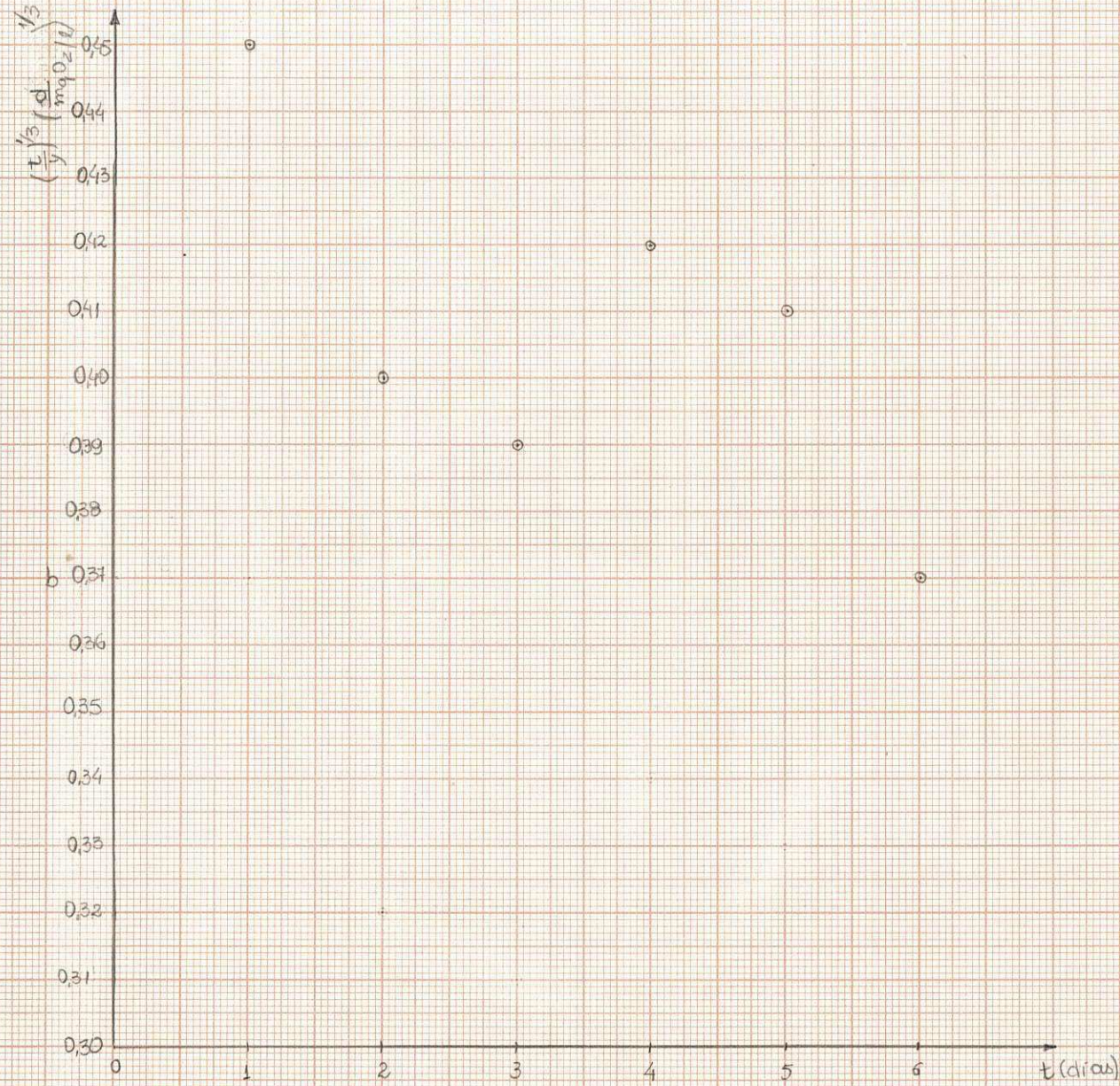
150  
100  
50  
0  
FORMATO = A4  
MADE IN BRAZIL



Método de Fugimoto  
Escala: 1cm = 10mgO<sub>2</sub>/l

2º Teste:  
 $L_0 = 163 \text{ mgO}_2\text{/l}$   
 $t_{p0} = \frac{20}{21} = 0,95$   
 $K_1 = 0,05 \text{ d}^{-1}$





Método de  
Thomas

Esc. Horiz. - 2cm = 1 dia

Esc. Vert. - 1cm =  $0,01 \left(\frac{d_{max}}{l}\right)^{1/3}$

2º Teste

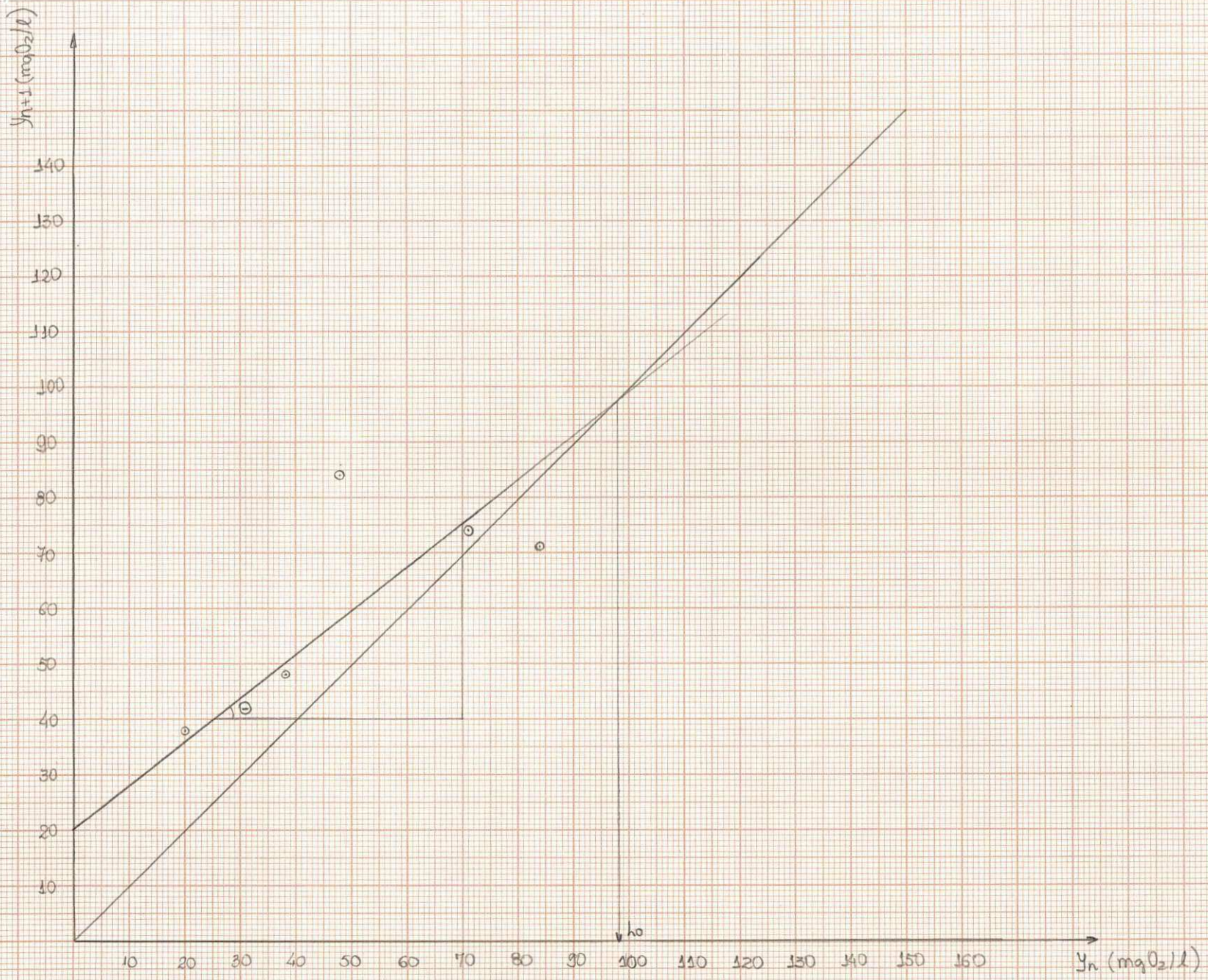
Método de Fugimoto  
Escala: 1cm = 10mgO<sub>2</sub>/l

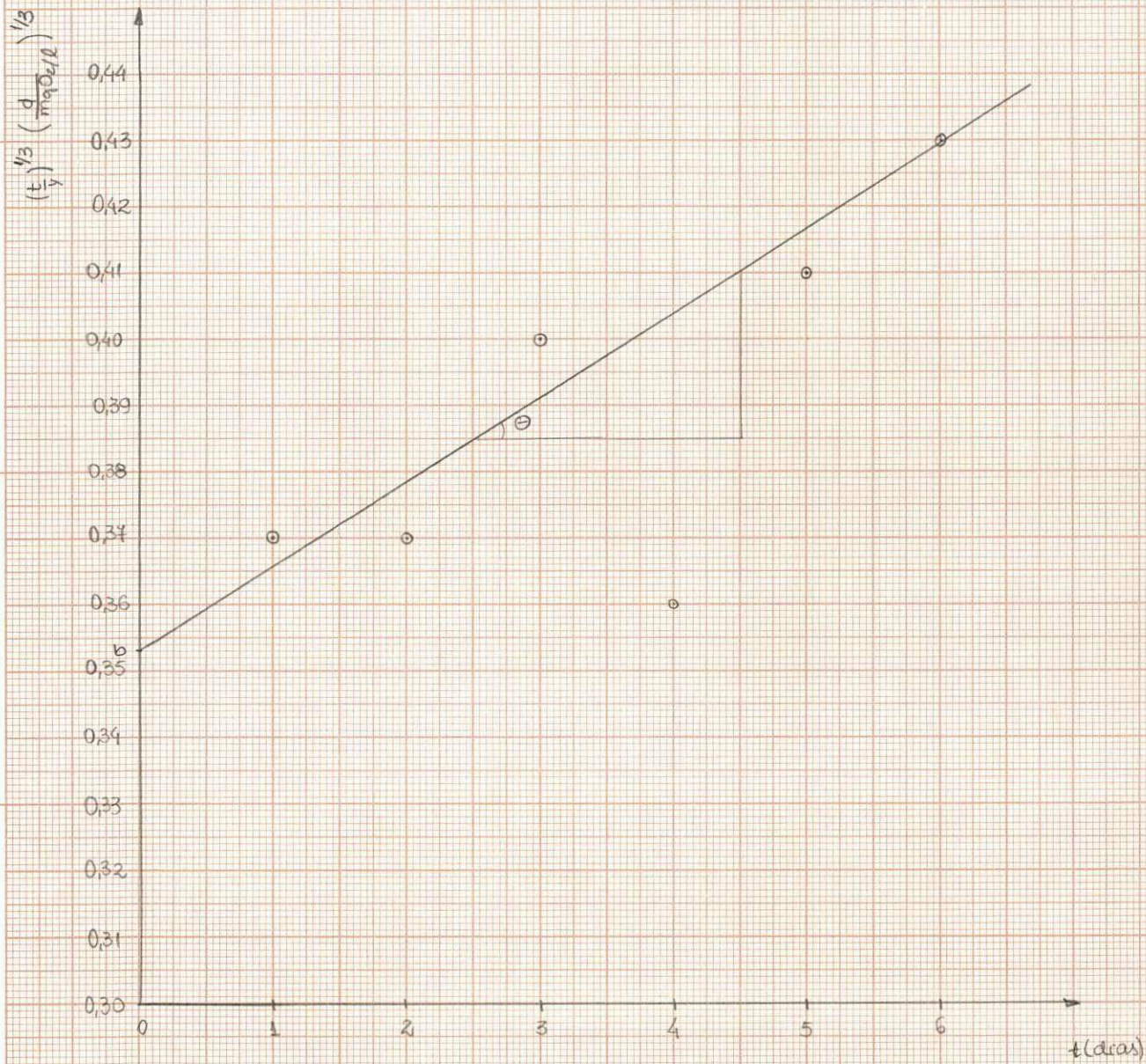
3º Teste

$$T_{0.9} \theta = \frac{35}{45} = 0,78$$

$$k_1 = 0,25 \text{ d}^{-1}$$

$$L_0 = 98 \text{ mgO}_2/\text{l}$$





## Método de Thomas

Esc Horiz. - 20cm = 1 dia

Esc Vert. - 1cm =  $0.01 (\frac{d}{mgO_2/l})^{1/3}$

3º Teste:

$$a = \frac{0.025}{2} = 0.0125$$

$$b = 0.353$$

$$k_1 = 0.21 d^{-1}$$

$$k_0 = 107 mgO_2/l$$