

KAMILA TELES DE ALMEIDA
WANDERSON WILLIAN SANTOS

DETERMINAÇÃO DA DEMANDA BENTÔNICA DE RIO EM ZONA TROPICAL:
UM ESTUDO DE CASO NO RIBEIRÃO GRIMPAS, GOIÁS

Monografia apresentada no Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Graduação
em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás.

Aprovado em: 07/07/2017.

Banca Examinadora:

Katia Kopp

Profª. Drª. Katia Alcione Kopp – Universidade Federal de Goiás (Orientador)

[Assinatura]

Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize – Universidade Federal de Goiás

[Assinatura]

Prof. Dr. Humberto Carlos Ruggeri Júnior – Universidade Federal de Goiás

Atesto que as revisões solicitadas foram feitas:

Katia Kopp

Profª. Drª. Katia Alcione Kopp (orientador)

Em: 10 / 07 / 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL E SANITÁRIA

**DETERMINAÇÃO DA DEMANDA BENTÔNICA
DE RIO EM ZONA TROPICAL: UM ESTUDO DE
CASO NO RIBEIRÃO GRIMPAS, GOIÁS**

**Kamila Teles De Almeida
Wanderson Willian Santos**

GOIÂNIA
JULHO/2017

Kamila Teles De Almeida
Wanderson Willian Santos

DETERMINAÇÃO DA DEMANDA BENTÔNICA DE RIO EM ZONA TROPICAL: UM ESTUDO DE CASO NO RIBEIRÃO GRIMPAS, GOIÁS

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás, como requisito para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2.

Orientadora: Prof. Dra. Katia Alcione Kopp

GOIÂNIA
2017

RESUMO

Para a avaliação da qualidade de um corpo hídrico, normalmente são utilizados modelos matemáticos e computacionais que dependem de diversos parâmetros, para que se tenha resultados mais condizentes com a realidade. A demanda bentônica (DB) compreende o oxigênio dissolvido (OD) da coluna d'água que é consumido por processos físico-químicos e biológicos que ocorrem no sedimento, sendo então um importante sumidouro de oxigênio em sistemas aquáticos. Contudo existem poucas publicações acerca do tema e, as existentes, se desenvolveram em países de clima temperado, e os valores utilizados em estudos de modelagem no país são retirados destes. Este trabalho, portanto, propôs-se a aplicar uma metodologia para a determinação da demanda bentônica e identificar alguns fatores interferentes nas condições observadas e, a partir dos resultados, buscar avaliar a qualidade ambiental da área de estudo, compreendida por três pontos de amostragem na alta bacia do Ribeirão Grimpas, em Hidrolândia, Goiás. Foram feitas duas coletas de sedimento e água do rio, uma em período de seca e outra em período chuvoso, e logo após cada uma delas, foram feitas as análises de laboratório, monitorando-se o consumo de oxigênio dissolvido em um sistema composto por sedimento e água do rio e outro com apenas água do rio, dados necessários para calcular a DB. Também foram feitas análises de caracterização do sedimento de modo a buscar alguma influência deste nos resultados. Não foi possível de calcular os valores de demanda bentônica para todos os pontos, em todos os períodos, visto que em alguns deles houve maior produção que consumo de OD, e que a metodologia pode não ser a mais adequada para o tipo de sedimento encontrado na área de estudo. Os valores que foram possíveis de serem obtidos ficaram entre 0,04 e 1,0 g/m²dia, e o sedimento em todos os pontos se caracterizou como arenoso, indo de encontro com os valores disponíveis na literatura, onde para materiais de fundo com essas características, os valores ficam entre 0,05 e 1,0 g/m².dia, mostrando que para grandes granulometrias de sedimento, não há variação de DB considerável entre regiões de climas temperados e equatoriais e regiões de clima tropical. O trabalho se mostrou relevante por ser pioneiro no assunto no Brasil, e por apresentar informações e uma metodologia simples para determinar este parâmetro, apesar de serem necessárias algumas adequações nela para trabalhos futuros, que é importante para modelagem de sistemas aquáticos por contribuir para melhorar a tomada de decisão no planejamento e gestão de recursos hídricos.

Palavras chave: Demanda Bentônica. Oxigênio Dissolvido. Recursos hídricos. Sedimento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Fenômenos incidentes no balanço de OD no corpo hídrico.....	8
Figura 2.2 – Principais interações entre os parâmetros de qualidade no modelo QUAL-2E.....	11
Figura 3.1. Mapa de Localização do Ribeirão Grimpas.....	21
Figura 3.2 – Localização dos Pontos de Amostragem. Os números na figura indicam os respectivos pontos, distribuídos em trecho do Ribeirão Grimpas, em azul.....	23
Figura 3.3 – Coleta de sedimento para análise de demanda bentônica. A figura A) mostra a inserção do tubo de vidro no sedimento; a B) apresenta a retirada do tubo com o sedimento; a C) ilustra a transferência do conteúdo para o core e; a D) apresenta a cobertura com plástico filme do core com o material.....	25
Figura 3.4 – Coleta de água do corpo hídrico com galão de polipropileno.....	26
Figura 3.5 – Reatores para análise de demanda bentônica. Em A estão os 3 reatores com água e os cores com sedimento, cada um referente a um ponto de amostragem. Em B é apresentado o reator com apenas água do rio e o reator com água e sedimento, referentes a um ponto de amostragem.....	27
Figura 3.6 – Vista superior de um dos reatores, mostrando as 3 aberturas feitas para as aferições de oxigênio dissolvido e temperatura.....	28
Figura 3.7 – Determinação da matéria orgânica do sedimento. Em A são apresentados os cadinhos com as amostras na estufa e em B, o cadinho na balança para verificação da massa.....	30
Figura 4.1 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) do Ponto 1 ao longo do tempo, nos períodos de A) seca e B) chuva.....	35
Figura 4.2 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) do Ponto 2 ao longo do tempo, nos períodos de A) seca e B) chuva.....	36
Figura 4.3 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) do Ponto 3 ao longo do tempo, nos períodos de A) seca e B) chuva.....	36

Figura 4.4 – Curva granulométrica do sedimento coletado no Ponto 1.....	40
Figura 4.5 – Curva granulométrica do sedimento coletado no Ponto 2.....	41
Figura 4.6 – Curva granulométrica do sedimento coletado no Ponto 3.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Valores de demanda bentônica para alguns tipos de ambientes.....	10
Tabela 4.1 – Porcentagem de matéria orgânica no sedimento de cada ponto de amostragem.....	38
Tabela 4.2 – Demanda bentônica calculada para cada ponto de amostragem.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Coordenadas dos pontos de amostragem.....	22
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DB – Demanda Bentônica

DOS – Demanda de Oxigênio pelo Sedimento

OD – Oxigênio Dissolvido

PVC – Policloreto de Polivinila

SUCS – Sistema Unificado de Classificação dos Solos

SEMCOG - Southeast Michigan Council of Governments

WRE - Water Resources Engineers Inc. WRE

EPA - U.S. Environmental Protection Agency

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

APP - Área de Proteção Permanente

NBR – Norma Brasileira aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	9
1.1. INTRODUÇÃO.....	9
1.2. OBJETIVOS.....	12
1.2.1. Objetivo geral	12
1.2.2. Objetivos específicos.....	12
CAPÍTULO 2.....	13
2.1. DEMANDA BENTÔNICA.....	13
2.2. FATORES QUE AFETAM A DEMANDA BENTÔNICA	16
2.3. DINÂMICA SEDIMENTAR	18
2.4. METODOLOGIAS PARA A DETERMINAÇÃO DA DEMANDA BENTÔNICA	20
2.5. TRABALHOS RELEVANTES PARA A ÁREA DA PESQUISA	22
CAPÍTULO 3.....	25
3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.2. COLETA DE DADOS	29
3.3. PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS.....	31
3.3.1. Demanda Bentônica.....	31
3.3.2. Matéria Orgânica	34
3.3.3. Caracterização do Sedimento	35
3.3.3.1. Teor de Umidade	35
3.3.3.2. Massa Específica dos Grãos	36
3.3.3.3. Granulometria.....	36
CAPÍTULO 4.....	41
4.1. OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....	41
4.2. MATÉRIA ORGÂNICA	44
4.3. GRANULOMETRIA	45
4.4. DEMANDA BENTÔNICA.....	48
CAPÍTULO 5.....	51
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
5.2. SUGESTÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	52
REFERÊNCIAS	54

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas os conceitos, definições e principais ideias importantes para o entendimento do presente trabalho. Além disso é apresentado o objetivo geral da pesquisa e os objetivos específicos.

1.1. INTRODUÇÃO

A modelação da qualidade hídrica constitui-se em uma valiosa ferramenta da Engenharia Ambiental, destinada a simulação dos processos de transporte e autodepuração de um corpo d'água, sendo possível antever e avaliar para diferentes cenários, as alterações na qualidade das águas de um possível corpo receptor de descargas poluentes e contaminantes (LIMA *et al.*, 1997).

Para Devens *et al.* (2006), a utilização de modelos de qualidade da água em ambientes naturais é uma ferramenta de grande utilidade para o gerenciamento dos recursos hídricos. Barreto (2009) reforça que o monitoramento de parâmetros em corpos hídricos são de extrema importância, principalmente aqueles que fornecem água para a população, visando a prevenção de possíveis agravantes a saúde pública e também para poder desenvolver ações de recuperação dos corpos hídricos, já fortemente impactados por ações antrópicas consideradas deletérias.

De acordo com Sperling (2005), na autodepuração há um balanço entre as fontes de consumo e as fontes de produção de oxigênio. Quando a taxa de consumo é superior à taxa de produção, a concentração de oxigênio tende a decrescer, ocorrendo o inverso quando a taxa de consumo é inferior à taxa de produção. Dentre os processos relacionados ao consumo de oxigênio estão: a oxidação da matéria orgânica, demanda bentônica e nitrificação. Já para os fenômenos responsáveis pela produção de oxigênio tem-se a reaeração atmosférica e a fotossíntese.

A matéria orgânica nos esgotos, ainda segundo Sperling (2005) se apresenta nas formas dissolvida e em suspensão. Quando introduzida no corpo hídrico, a matéria em suspensão (ou particulada) de maiores dimensões tende a sedimentar no corpo d'água, formando o lodo de

fundo, já a matéria dissolvida (ou solúvel), conjuntamente com a matéria suspensa de pequenas dimensões permanece na massa líquida.

Para Truax (1999), o esgoto lançado nos corpos hídricos, que acaba sedimentando, contribui para a demanda bentônica de oxigênio. Porém, até rios e estuários que não recebem descargas significantes, podem apresentar taxas expressivas de consumo de oxigênio, devido a um ecossistema bentônico suportado por substâncias orgânicas solúveis na coluna d'água e que sedimentam, de ocorrência natural, derivados de plantas e animais aquáticos e de detritos carregados pelo escoamento superficial.

O consumo de oxigênio dissolvido é representado principalmente pela quantidade de oxigênio que é demandado pelos microrganismos presentes ao longo da coluna d'água, nos processos de degradação da matéria orgânica, denominado de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Já o lodo de fundo, que é constituído pela matéria orgânica em suspensão que sedimenta, também demanda oxigênio. Com isso, a demanda de oxigênio originada a partir, principalmente, dos processos de degradação da matéria associados ao lodo de fundo, é denominada Demanda de Oxigênio pelo Sedimento (DOS) ou Demanda Bentônica (DB).

Para a avaliação da qualidade de um corpo hídrico, normalmente são utilizados modelos matemáticos e computacionais que dependem de diversos parâmetros, para que se tenha resultados mais condizentes com a realidade. Em relação ao balanço de oxigênio na água, é considerada basicamente a aeração como fonte e a DBO medida na coluna d'água, como sumidouro, porém há outros processos importantes que deveriam ser considerados para se chegar a uma boa representação do sistema natural.

Streeter & Phelps em 1925 apresentaram um dos primeiros modelos para a simulação da qualidade da água em rios. Sperling (2005) apresenta que este modelo, até os anos 60, se mostrou muito útil na descrição da interação de oxigênio dissolvido e DBO, porém, no balanço de oxigênio não depende apenas a reoxidação e desoxigenação, como é considerado pelos autores, mas também a redução da DBO suspensa pela sedimentação, a adição de oxigênio através do processo de fotossíntese, o consumo de oxigênio pela nitrificação e a remoção de oxigênio pela demanda bentônica.

Um modelo mais recente, e um dos mais utilizados no mundo, na atualidade, é o QUAL-2E, criado em 1976 pelo *Southeast Michigan Council of Governments* (SEMCOG) e pela *Water Resources Engineers Inc.* (WRE). De acordo com Palmieri (2004) este modelo já utiliza as mais importantes interações dos ciclos de nutrientes: a produção de algas, a demanda

sedimentar e a carbonácea de oxigênio, a aeração atmosférica e seus efeitos no comportamento do oxigênio dissolvido.

Esteves (2011) apresenta a importância do sedimento como indicador do nível de poluição, tornando-se ainda mais relevante, pois o sedimento revela despejos nos corpos d'água que nem sempre podem ser verificados em uma análise da coluna d'água. Como o sedimento tem a capacidade de acumular os compostos, através de sua análise é possível que se identifiquem contaminações por despejos de efluentes intermitentes ou de fontes difusas.

A demanda bentônica então, é um importante sumidouro de oxigênio em sistemas aquáticos, contudo existem poucas publicações de estudos realizados acerca do tema e, os existentes, se desenvolveram em países de clima temperado. Nestes trabalhos é possível verificar a representatividade do consumo de oxigênio pelo sedimento, comparando-se com o que é consumido na coluna d'água e outros valores dispostos na literatura.

Alguns trabalhos relacionados ao tema buscam identificar a influência da decomposição da matéria orgânica presente no sedimento nas condições de oxigênio da coluna d'água, concentrações de nutrientes e produção primária do ecossistema aquático, assim como é apresentado por Zeitschel (1980), Nixon e Pilson (1983), Nowicki e Nixon (1985) e Giblin *et al.* (1997), de acordo com Nixon e Buckley (2010).

Já mais relacionado ao que se propõe neste trabalho, Yee *et al.* (2011) apresentam uma pesquisa no Rio Santubong, na Malásia, país de clima equatorial, conforme a classificação de Köppen, com chuvas durante todo o ano. Nesta é mensurado o consumo de oxigênio no sedimento, coletado em diferentes pontos de amostragem, sendo analisadas algumas características físico-químicas do lodo de fundo, além de fatores externos, de modo a relacionar estes com os valores obtidos de demanda bentônica.

Portanto, a demanda bentônica deve ser determinada para que se tenha uma visão mais real do ciclo do oxigênio dentro do ecossistema aquático. Apesar de alguns modelos considerarem este parâmetro para avaliação da qualidade da água em um corpo hídrico, os valores utilizados são tabelados, comumente apresentados em intervalos, a partir de valores determinados por diversos autores em regiões de clima temperado. Tais valores são aproveitados inclusive em trabalhos brasileiros, como realizado por Penteado (2009) e Palmieri (2004), por exemplo.

Nos corpos hídricos de regiões tropicais, como o Brasil, a demanda bentônica pode ser um parâmetro ainda mais importante a ser avaliado se comparado aos rios de regiões de clima

temperado e equatorial, por conta das altas temperaturas que acabam incidindo sobre o processo de degradação da matéria orgânica, acelerando-o. Além disso, de acordo com a Lei de Stokes, a velocidade de sedimentação é maior por conta da menor densidade da água quando esta é mais quente, favorecendo o depósito de matéria orgânica suspensa no fundo do leito do rio. Também há de se considerar que um período do ano praticamente não chove, diminuindo a vazão dos corpos hídricos, o que reflete diretamente sobre o processo de autodepuração, que se torna mais lento.

Este trabalho, portanto, propõe-se a aplicar uma metodologia para a determinação da demanda bentônica e identificar alguns fatores interferentes nas condições observadas. Também, será observado se há variabilidade temporal e espacial na demanda bentônica em um corpo hídrico em região de clima tropical, no caso, o ribeirão Grimpas, confirmando ou não se no período de seca o consumo de oxigênio pelo sedimento é maior, por conta da menor vazão de água do corpo hídrico, conforme se espera.

O corpo hídrico escolhido como área de estudo é um manancial localizado no município de Hidrolândia, nascendo em seu território e possuindo um trecho na zona urbana, recebendo nessa extensão descargas de efluentes. Este fato é importante, pois se avaliará o consumo de oxigênio pelo sedimento antes e após o despejo destes poluentes.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

Determinar a demanda bentônica no Ribeirão Grimpas, em diferentes pontos de amostragem e em período seco e chuvoso, bem como verificar se existem alguns fatores interferentes sobre as condições verificadas, a partir da caracterização do sedimento.

1.2.2. Objetivos específicos

- Aplicar uma metodologia para determinação da demanda bentônica;
- Verificar se há variação espacial e temporal na demanda bentônica;
- Caracterizar e determinar o teor de matéria orgânica do sedimento coletado no Ribeirão Grimpas;

CAPÍTULO 2

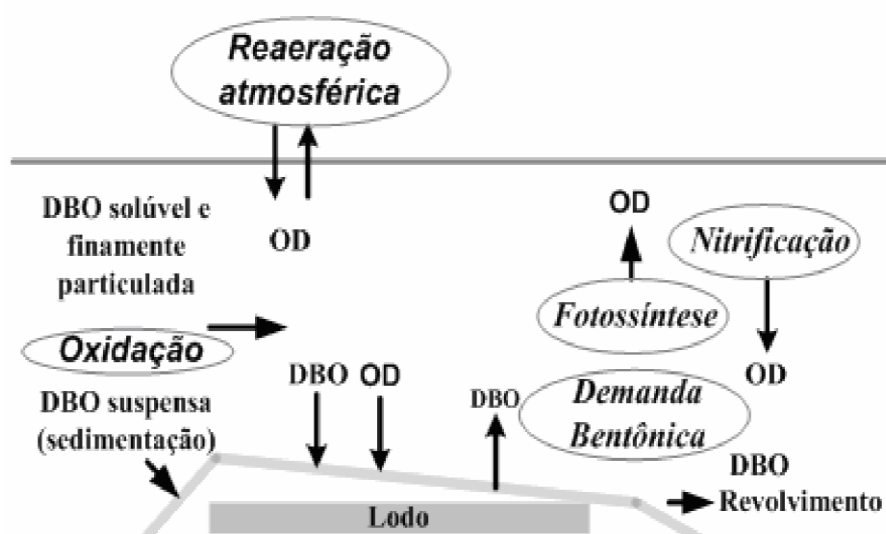
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Capítulo 2 abordará trechos importantes da bibliografia consultada para o embasamento teórico necessário para a compreensão do tema abordado neste trabalho. Para isso, encontra-se dividido em cinco seções, sendo elas: Demanda Bentônica, apresentando conceitos, características e principais valores encontrados na literatura; Fatores que Influenciam a Demanda Bentônica, sendo a apresentação e breve explicação sobre os principais itens que incidem sobre o parâmetro que se busca; Distribuição Espacial do Sedimento, que mostra como é o comportamento e acumulação de sedimento em um corpo hídrico no sentido transversal e a dinâmica no sentido longitudinal; Metodologias para Determinação da Demanda Bentônica, com algumas das principais metodologias utilizadas por autores para se obter experimentalmente o valor deste parâmetro e; Trabalhos Relevantes para a Área da Pesquisa, tratando sobre as principais contribuições de autores para os temas tratados no presente trabalho.

2.1. DEMANDA BENTÔNICA

Na autodepuração natural de um curso d'água, observa-se um balanço entre o consumo e a produção do oxigênio. Diversos processos estão envolvidos neste equilíbrio, sendo os principais representados na Figura 1.

Figura 2.1- Fenômenos incidentes no balanço de OD no corpo hídrico.



Fonte: Adaptado de Sperling (2005).

Conforme a Figura 1 observa-se que a oxidação da matéria orgânica da coluna d'água, a demanda bentônica e a nitrificação são os principais fenômenos responsáveis pelo consumo de oxigênio em um corpo d'água. Já em relação a produção de oxigênio, tem-se como os principais fatores de contribuição a reaeração atmosférica e a fotossíntese.

A demanda de oxigênio pelo sedimento pode representar um alto consumo de oxigênio em águas superficiais. Depósitos bentônicos, em qualquer localidade de um sistema aquático, são resultado do transporte e sedimentação de matéria orgânica. Este material pode ser originado fora do sistema, como é o caso da DBO particulada de efluentes (matéria alóctone), ou pode ser transportado dentro do sistema, representado principalmente pelo crescimento de plantas (matéria autóctone). Em ambos os casos, essa matéria orgânica pode exigir uma alta demanda de oxigênio em algumas circunstâncias (BOWIE *et al.*, 1985).

Segundo Esteves (1998), a comunidade caracterizada por habitar o sedimento aquático ou a superfície deste é denominada comunidade bentônica, podendo ser formada por animais (zoobentos) e vegetais (fitobentos). Este autor propõe uma distinção geral entre dois tipos dessa comunidade, bentos litorâneos, que habitam a regiões litorâneas, e bentos profundos, que habitam as regiões profundas de lagos e rios.

De acordo com Martin e Bella (1983), é normalmente aceito que a demanda de oxigênio pela matéria orgânica é influenciada por dois diferentes fenômenos. O primeiro é a velocidade com que o oxigênio se difunde pelo sedimento de fundo e, em seguida, é consumido. O segundo é essencialmente o transporte de substâncias orgânicas para a coluna d'água, onde são oxidadas. Técnicas de medição tradicionais, sendo realizadas *in situ* ou no laboratório, não fazem a diferenciação entre estes dois processos, mas medem direta ou indiretamente o decaimento de oxigênio.

Bowie *et al.* (1985) argumentam que a determinação deste decaimento de oxigênio normalmente refere-se à demanda de oxigênio pelo sedimento ou demanda bentônica, por conta do seu típico modo de mensuração: colocar o sedimento em uma câmara e medir as alterações na concentração de oxigênio dissolvido ao longo do tempo, sendo esta técnica utilizada no laboratório ou *in situ*. Então, o oxigênio consumido por unidade de área e tempo ($\text{g/m}^2.\text{dia}$) é a demanda bentônica.

A equação geral para a demanda de oxigênio pelo sedimento, como resultado de todos os fatores f que a afetam (oxigênio dissolvido, temperatura, organismos, substratos, etc.), é representada pela Equação 1:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{-SOD}{H} = f \quad (1)$$

Onde: H é profundidade do corpo hídrico, em metros; SOD é a demanda de oxigênio pelo sedimento, em g/m².dia; t é o tempo e; C é a concentração de oxigênio da água sobre o sedimento.

Thomann (1972), a partir de valores de demanda de oxigênio pelo sedimento, disponíveis na literatura, apresentou intervalos de demanda bentônica para certos ambientes, conforme a Tabela 1.

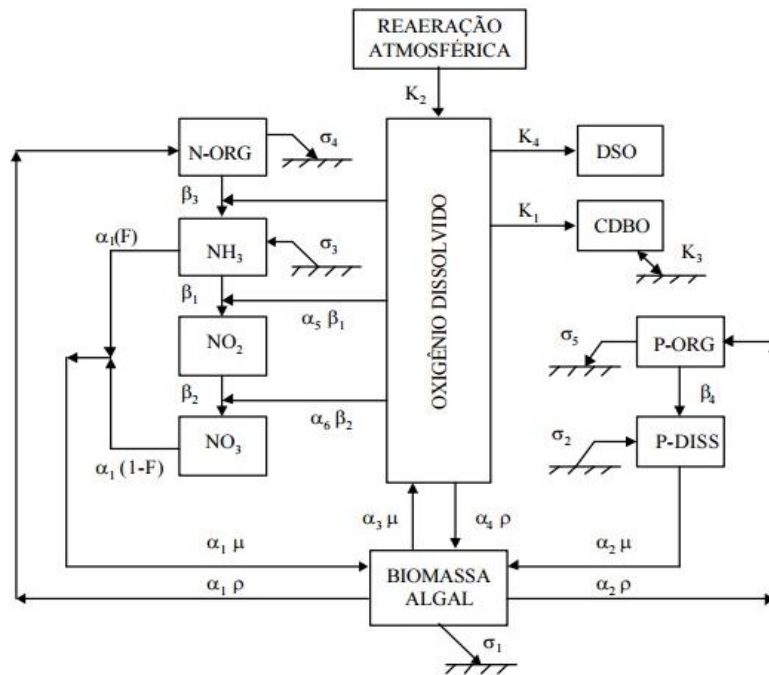
Tabela 2.1- Valores de demanda bentônica para alguns tipos de ambientes.

Tipo de camada e localização	Demanda Bentônica (g/m ² .dia)	
	Variação	Média
PRÓXIMO A LANÇAMENTOS DE ESGOTO DOMÉSTICO	2 – 10	4
JUSANTE DO LANÇAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO	1 – 2	1,5
LODO ESTUARINO	1 – 2	1,5
CAMADA ARENOSA	0,2-1	0,5
SOLOS MINERAIS	0,05-0,1	0,07

Fonte: Thomann (1972).

Estes valores são utilizados em modelos de qualidade da água, sendo denominado no modelo QUAL-2E, como Coeficiente de Demanda Bentônica ou K₄. Este parâmetro e outros utilizados pelo modelo são relacionados na Figura 2.

Figura 2.2 – Principais interações entre os parâmetros de qualidade no modelo QUAL-2E.



Fonte: Palmieri (2004), adaptado de Brown e Barnwell (1987)

2.2. FATORES QUE AFETAM A DEMANDA BENTÔNICA

Bowie *et al.* (1985) e Lima (1997) apresentam que o coeficiente da demanda bentônica (K_4), utilizado em modelos matemáticos para verificação da qualidade das águas, avalia o consumo de oxigênio pela comunidade bentônica e sofre influência de diversos fatores, como: temperatura, concentração de oxigênio na interface da água com o sedimento, composição da comunidade biológica, características físicas e orgânicas do sedimento, velocidade da corrente sobre o sedimento e química da água intersticial. Cada um desses fatores é um resultante de outros processos interativos ocorrendo em todo o sistema aquático, e retrata a complexidade envolvida para a previsão dos valores a serem atribuídos à demanda bentônica.

Para Sperling (2005) a temperatura é um parâmetro que deve ser analisado em conjunto com outros parâmetros. Com a elevação da temperatura, há um aumento na taxa das reações físicas, químicas e biológicas, um aumento na taxa de transferências de gases e diminuição na solubilidade de gases, como o oxigênio dissolvido, interferindo diretamente sobre este e outros fatores. Também há de se considerar que outros fatores podem afetar a temperatura.

Como exemplo disso, Bowie *et al.* (1985) discorrem que a temperatura e o oxigênio disponível podem ser alterados pelo resultado dos processos bioquímicos e de transporte na

coluna d'água ou sistemas limítrofes. Temperatura e oxigênio são normalmente modelados explicitamente, e podem ser usados como variáveis de entrada para as equações do processo de demanda de oxigênio pelo sedimento. Também é apresentada outra relação entre os fatores determinantes da demanda bentônica, consistindo no fato de que a comunidade biológica pode mudar com a qualidade da água e a produtividade do sistema. As características do sistema vão mudar de acordo com a entrada de matéria orgânica (detritos, fitoplâncton, etc.) e sua subsequente degradação e/ou decantação.

De acordo com Whittemore (1984 apud Bowie *et al.*, 1985), a velocidade de corrente é um fator que, apesar de ser considerado nas técnicas de determinação da demanda bentônica, a partir de uma mistura interna ou a recirculação no sistema para minimizar os efeitos dos gradientes de concentração, pode não ser suficiente para representar o que ocorre naturalmente, ou ser muito vigorosa, causando a suspensão do sedimento. Já a química da água intersticial afeta o substrato pelas reações de oxirredução, porém não é um parâmetro considerado na determinação da demanda bentônica e nas formulações cinéticas.

Por fim, ainda de acordo com Bowie *et al.* (1985), a comunidade biológica e as características físicas e orgânicas do sedimento de fundo são normalmente tratadas como parâmetros de um sistema particular, porém estes não são tratados de forma isolada, sendo que a técnica utilizada é a determinação direta da demanda bentônica. Isto ocorre porque ao se mensurar a demanda de oxigênio pelo sedimento, obtém-se um valor que já considera todos os seus fatores determinantes e as relações entre eles.

Esteves e Furtado (2011) consideram que o sedimento representa uma síntese de processos biológicos e geoquímicos, os quais afetam diretamente a disponibilidade de oxigênio no sedimento.

Para Esteves (1998) o principal fator controlador da distribuição de fitobentos é a luz, enquanto que o zoobentos tem sua distribuição controlada por vários fatores; dentre eles, destacam-se: disponibilidade e qualidade do alimento, tipo de sedimento (orgânico, arenoso, argiloso, etc.), substrato (pedra, madeira, etc.), temperatura do meio, concentração de oxigênio e gás sulfídrico.

Em rios, além dos fatores acima mencionados, a correnteza é um importante fator ambiental na determinação da distribuição dos organismos zoobentônicos. Nos locais de menor correnteza foram encontradas as maiores densidades destes organismos.

A distribuição vertical dos zoobentos no interior dos sedimentos límnicos é controlada principalmente pelo teor de oxigênio e pela textura do substrato ou sedimento. Geralmente, quando presente, o oxigênio no sedimento ocorre nos primeiros cinco centímetros e, quando muito orgânico, o sedimento apresenta oxigênio somente no primeiro centímetro de profundidade. Em consequência, a maioria dos organismos dos zoobentos é encontrada nesta região do sedimento.

A textura do sedimento influencia a distribuição vertical dos zoobentos. Assim, em sedimentos com altos teores de matéria orgânica e água (maior fluxo de água no sedimento permite maior oxigenação), estes organismos podem ser encontrados em profundidade de até 15 cm. No entanto, em sedimentos arenosos, ou de textura rígida, a colonização dá-se geralmente até 5 cm.

A concentração e penetração de oxigênio no sedimento depende da atividade dos macro e microrganismos bentônicos (bioperturbação) e da demanda química na oxidação de compostos orgânicos. A importância relativa desses processos depende das características do sedimento e da composição e estrutura da comunidade bentônica. Portanto, é de se esperar que o consumo de oxigênio no sedimento varie espacialmente e sazonalmente. Entretanto, outros fatores ambientais, como a penetração da luz, a circulação da coluna d'água ou disponibilidade de íons inorgânicos também afetam sua disponibilidade. A matéria orgânica autóctone e alóctone depositada sobre a interface água-sedimento consome o oxigênio dissolvido, principal aceptor de elétrons (ESTEVES E FURTADO. 2011).

2.3. DINÂMICA SEDIMENTAR

Tessler (1998) aponta alguns estudos de dinâmica de sedimento no litoral sul paulista, que descreveram as características texturais, a distribuição e o teor do conteúdo orgânico dos sedimentos do fundo dos canais que circundam a Ilha de Cananéia, assim, em seu trabalho objetiva fornecer informações sobre as inter-relações entre a distribuição dos sedimentos de fundo e estas características.

O sedimento presente no curso d'água é originado da erosão na bacia e da erosão no próprio leito e nas margens. Em ocasiões de chuvas, as enxurradas transportam muitas partículas para o rio onde este sedimento se move em suspensão ou no leito, rolando, deslizando ou em saltos. Dependendo da velocidade da corrente e do efeito de turbulência, partículas do leito

podem entrar no meio líquido e ficar em suspensão e aí permanecer até que voltem a se mover no leito quando as forças atuantes se reduzirem. As partículas se movem no leito também sob a ação da corrente, mas cada uma está sujeita à resistência de atrito, o que resulta em menor velocidade de movimento do que aquelas que estão em suspensão (CARVALHO, 2000).

O Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (2011), elaborado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, retrata que a variabilidade do sedimento em um ponto precisa ser considerada na amostragem e decorre da heterogeneidade espacial, tanto vertical quanto horizontal. A heterogeneidade vertical é, principalmente, consequência da oscilação histórica da contaminação, e a horizontal é formada pela dinâmica de deposição das partículas e pela distribuição agrupada das populações bentônicas.

De acordo com a Carvalho (2000), em suspensão no meio líquido encontram-se em maior quantidade partículas finas, como argilas e siltes, e pequena quantidade de material grosso, como areias. Já na carga sólida do leito, encontra-se material grosso, como areia e pedregulhos, que em regime de baixas velocidades estas deixam de se mover, acumulando-se. De acordo com a velocidade também, pode haver o acúmulo de material fino no leito do rio.

A capacidade do sedimento em acumular compostos faz deste compartimento um dos mais importantes para avaliação do nível de contaminação de ecossistemas aquáticos continentais, alguns compostos indicadores de contaminação ambiental encontrados no sedimento podem ser orgânicos, como inseticidas e herbicidas ou inorgânicos, como os elementos traços (ESTEVES, 2011).

Em estudos de sedimento, O Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (2011), aponta a necessidade de se considerar também a variabilidade temporal, já que as variações sazonais podem influenciar a disponibilidade de contaminantes. Em rios, a deposição de sedimentos finos ocorre no período da seca e a lavagem desse material nas chuvas.

Independentemente do tipo de ambiente amostrado (rios, lagos, reservatórios, estuários e oceanos), a coleta para avaliação da qualidade de sedimentos (biológica, física e química) geralmente ocorre nas áreas de deposição de sedimentos finos (argila), já que normalmente são nesses locais que os contaminantes são retidos e a comunidade bentônica é mais desenvolvida. Em rios, as margens deposicionais, são localizadas no lado oposto ao da erosional apresentando declive mais suave e, muitas vezes, bancos de macrófitas enraizadas e nas áreas de remansos (CETESB, 2011).

2.4. METODOLOGIAS PARA A DETERMINAÇÃO DA DEMANDA BENTÔNICA

De acordo com Bowie *et al.* (1985), essencialmente três tipos de técnicas de medição têm sido usados para estimar a demanda bentônica: calibração de modelos, medição *in situ* com câmaras de respiração e medição em câmara de respiração no laboratório, usando coletores (*core sampler*) contendo amostras do sedimento. De toda forma, todos os métodos apresentam desvantagens pela incerteza no cálculo das taxas de demanda de oxigênio pelo sedimento.

É esperado que consideráveis variações espaciais e temporais possam ocorrer na demanda bentônica. Espacialmente, a camada de sedimentos de rios, lagos e estuários variam com as características físicas e químicas, taxas de deposição e outros fatores. Por exemplo, um rio pode apresentar sedimentos finos em regiões de baixa velocidade e pedregulhos em zonas de alto gradiente de velocidade. Profundidade e velocidade pode variar significativamente em qualquer seção transversal.

Estas características espaciais e sazonais sugerem que um grande número de medições pode ser necessário para estimar e obter variações suficientes nos coeficientes para a modelagem da demanda bentônica.

Para Chapra (1996) os métodos de determinação da demanda bentônica *in situ* e em laboratório são baseados em uma única metodologia, a medição direta. Porém, há outras duas abordagens para a mensuração, baseadas na modelagem da observação de níveis de oxigênio, um para ambientes abertos, como rios e estuários e outro para lagos e outros sistemas, considerando-os como sistemas fechados.

Bowie *et al.* (1985) sugerem que nos métodos de medição direta, apesar de apresentarem melhores aproximações nos valores de demanda bentônica, podem haver consideráveis variações nos resultados por conta de problemas associados com a amostragem de campo como: não homogeneidade horizontal e longitudinal do material de fundo, dificuldade na locação da câmara de respiração e dificuldades na agitação da câmara de respiração, de modo a simular as condições naturais.

Algumas práticas melhoram as medições no laboratório: correção dos resultados para profundidades do sedimento é desnecessária quando a altura do sedimento excede 10 cm; amostras indeformadas são preferíveis, apesar da dificuldade na coleta; armazenamento e

aclimação de amostras para a temperatura do laboratório é desencorajada por conta das potenciais mudanças no substrato e nos bentos; mergulhos podem ajudar a melhorar a precisão na coleta.

No que diz respeito ao efeito da variabilidade dos parâmetros que demandam oxigênio, aparentemente não há forte relação entre demanda bentônica e a quantidade de matéria orgânica (NCASI, 1978 apud Bowie *et al.*, 1985), mas de acordo com Bowie *et al.* (1985) isto pode ter sido concluído por conta das técnicas de medição usadas. Mistura inadequada (alta ou baixa velocidade), fornecimento impróprio de oxigênio, armazenamento inadequado das amostras no laboratório e temperaturas e pré-tratamento de amostras de forma incorreta podem promover erros que evitam a derivação das relações entre a demanda bentônica e o substrato.

No estudo de Truax *et al.* (1995), as medições *in-situ* para demanda de oxigênio pelo sedimento, utilizaram métodos e materiais desenvolvidos pela agência U.S. *Environmental Protection Agency* (EPA) desde 1977. Foram utilizadas câmaras para o trabalho *in situ* de 27,2 litros (7,2 gal), abrangendo uma área de 0,15 m² de sedimentos para o volume de recirculação. A recirculação do volume de água foi realizada por uma bomba utilizada para expor o sedimento a uma velocidade de aproximadamente 0,03 m / s (0,1 FTIs). Seis câmaras foram usadas para cada local de medição da demanda de oxigênio pelo sedimento. Quatro das câmaras foram expostas ao sedimento determinar a taxa de consumo do oxigênio e as duas câmaras restantes foram utilizadas para calcular a absorção de água do fundo pela coluna. Oxigênio dissolvido, as medições do tempo, e a temperatura foram medidos durante um período de cerca de 2 1/2 horas nas estações selecionadas pelo estudo.

Para o trabalho de laboratório de determinação da demanda bentônica, são coletadas amostras e estas são analisadas através de métodos e materiais desenvolvidos especificamente para definir um procedimento que garanta confiabilidade. Para isso, Truax *et al.* (1995), apresentam que foi construído um aparelho para extração de campo de modo a evitar a perturbação da amostra durante a coleta. O aparelho continha um tubo amostrado equipado com uma conexão de tubo rígido. Após a coleta das amostras, estas eram colocadas em câmaras fechadas com um volume de 9,1 litros (2,4 gal), onde a área total dos sedimentos expostos era de 0,0061 m² (0,065 ft²). Foram utilizadas duas câmaras para cada amostra analisada em laboratório, uma câmara de sedimentação e uma câmara de vazio, onde foram realizadas medições do consumo de oxigênio. Ainda foram utilizadas bombas de velocidade

variável para a recirculação da água nas câmaras a uma taxa de fluxo de 240 mL/min, determinada para proporcionar uma mistura consistente.

A principal diferença entre métodos *in situ* e de laboratório, segundo Truax *et al.* (1995) é a qualidade do procedimento para a extração da amostra utilizada no procedimento laboratorial, onde aponta a necessidade de se tomar medidas que garantam que o sedimento será coletado com o mínimo de perturbação. Para as medições *in situ*, a taxa de DB foi calculada pela diferença entre a taxa de consumo de oxigênio de cada câmara pela média de consumo na câmara em branco. Do mesmo modo, realizou-se para as análises de DB em laboratório, onde a taxa de consumo de oxigênio pelo sedimento foi calculada como a diferença entre os dois valores, as taxas obtidas na câmara com sedimento e as taxas obtidas na câmara de branco.

A metodologia utilizada por Truax *et al.* (1995) foi seguida em alguns trabalhos passando por algumas modificações, como de Ling *et al.* (2009), no rio Semariang Batu, localizado perto da cidade de Kuching, e o de Yee *et al.* (2011), no rio Santubong, ambos na Malásia.

2.5. TRABALHOS RELEVANTES PARA A ÁREA DA PESQUISA

No estudo de Koncan *et al.* (1991) buscou-se avaliar o balanço de oxigênio dissolvido em dois córregos eslovenos rasos e turbulentos, o rio Borovnicica e o rio Bistra, poluídos com substâncias orgânicas (águas residuais do município e indústrias) e com nutrientes inorgânicos, respectivamente. Assumiu-se que devido ao fluxo turbulento desses córregos, a maioria da biocenose é representada por organismos anexados, ou produção de oxigênio por perifíton, ou consumo de oxigênio por organismos heterotróficos. Por esta razão, construíram um instrumento e desenvolveram uma metodologia para avaliação da parte de organismos bentônicos no saldo total de oxigênio dissolvido.

Assim com este trabalho, Koncan *et al.* (1991), procuram demonstrar que nos rios Eslovenos o papel dos organismos bentônicos na captação ou produção de oxigênio é muito mais importante do que de organismos em suspensão. Os resultados obtidos mostram que não existem organismos suspensos na água e que os organismos bentônicos podem consumir de cinco a sete vezes mais oxigênio do que os outros organismos.

Já no estudo desenvolvido por Truax *et al.* (1995), buscou-se correlacionar as duas formas de coleta de dados de demanda de oxigênio pelo sedimento, procedimento de medição *in situ* e o

estudo em laboratório. O local de estudo foi uma hidrovia, na qual foram selecionadas 16 (dezesseis) estações de amostragem. Buscando-se representar a variedade de ambientes observaram alguns parâmetros como os tipos de sedimento e a variabilidade das características do córrego. No referido estudo avaliou-se os resultados dos dois métodos utilizando a análise de variância em torno da DB média.

Assim tal estudo conclui, com base nos dados amostrados, que não existe diferença significativa entre os métodos *in situ* e laboratoriais de medições da demanda de oxigênio do sedimento quando a análise é realizada em sedimentos finos. E que, portanto, o método de laboratório foi desenvolvido para fornecer informações precisas e confiáveis para determinações de DB quando testando materiais de grãos finos. E que por haver diferenças significativas entre os valores médios de DB encontrados para meios granulares, desenvolveram uma restrição ao método de laboratório apresentado.

Ling *et al.* (2009), determinaram a demanda de oxigênio pelo sedimento em diferentes locais do rio Semariang Batu, localizado perto da cidade de Kuching, Malásia. Além da determinação dos valores da demanda de oxigênio pelo sedimento relacionaram os valores encontrados às características do sedimento, e apontaram as atividades de agricultura residencial e a atividade de criação de crustáceos como potenciais impactantes na qualidade do sedimento.

A metodologia utilizada por Ling *et al.* (2009) para a análise dos valores da demanda de oxigênio, seguiu o método de estudo em laboratório proposto por Truax *et al.* (1995). Assim após as análises os resultados de demanda de oxigênio pelo sedimento foram relacionados com carbono orgânico, fósforo total, nitrogênio total e teor de argila do sedimento. De tal modo o estudo mostrou que a demanda de oxigênio pelo sedimento reflete os despejos de efluentes ao longo do rio, apresentando valores superiores em locais de amostragem próximos as áreas de agricultura residencial e de criação de crustáceos.

Outro estudo desenvolvido na Malásia, foi o de Yee *et al.* (2011), no qual buscaram estudar o rio Santubong, por este apresentar baixa concentração de oxigênio dissolvido, contudo não sendo relatado na literatura a demanda de oxigênio pelo sedimento, sendo este mais um sumidouro de oxigênio dissolvido. Deste modo, objetivaram mensurar a demanda de oxigênio pelo sedimento no referido rio.

O consumo de oxigênio pelo sedimento no estudo de Yee *et al.* (2011), também foi analisado em laboratório, seguindo o método de análise de Ling *et al.* (2009) modificado de Truax *et al.* (1995), apresentando valores variando de 4,5 a 9,8 g de O₂/ m².dia. Os valores do consumo de oxigênio foram relacionados com a proximidade de áreas de aquicultura, onde os valores foram significativamente maiores quanto mais perto destes locais. Observaram que o carbono orgânico total e fósforo total do sedimento justificam 96% da variação total da demanda de oxigênio, a temperatura de 20°. O estudo mostrou que os valores de carbono orgânico total, fosforo total e demanda de oxigênio pelo sedimento a 20° C, foram afetadas pelo uso da terra e atividades no rio.

Já no estudo de Pastor *et al.* (2011) buscou-se analisar a influência da composição da matéria orgânica na demanda bentônica no rio Rhône. Diversos parâmetros, como absorção de oxigênio pelo sedimento, profundidade de penetração de oxigênio, porosidade, carbono orgânico, carboidratos, lipídios, aminoácidos, clorofila a e feofitina a foram medidos e as concentrações avaliadas nos sedimentos superficiais. Os resultados mostram que os produtos orgânicos sedimentares no rio Rhône foram alimentados principalmente por uma única fonte de matéria orgânica, entradas pelo continente.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Este Capítulo abordará a metodologia utilizada para a realização do trabalho conforme objetivo proposto, sendo dividido em três seções: a primeira abordará as características da área de estudo; a segunda trará um descritivo sobre a coleta dos dados para a pesquisa e; o terceiro e último apresentará o procedimento para análise de cada um dos parâmetros a que se busca em laboratório.

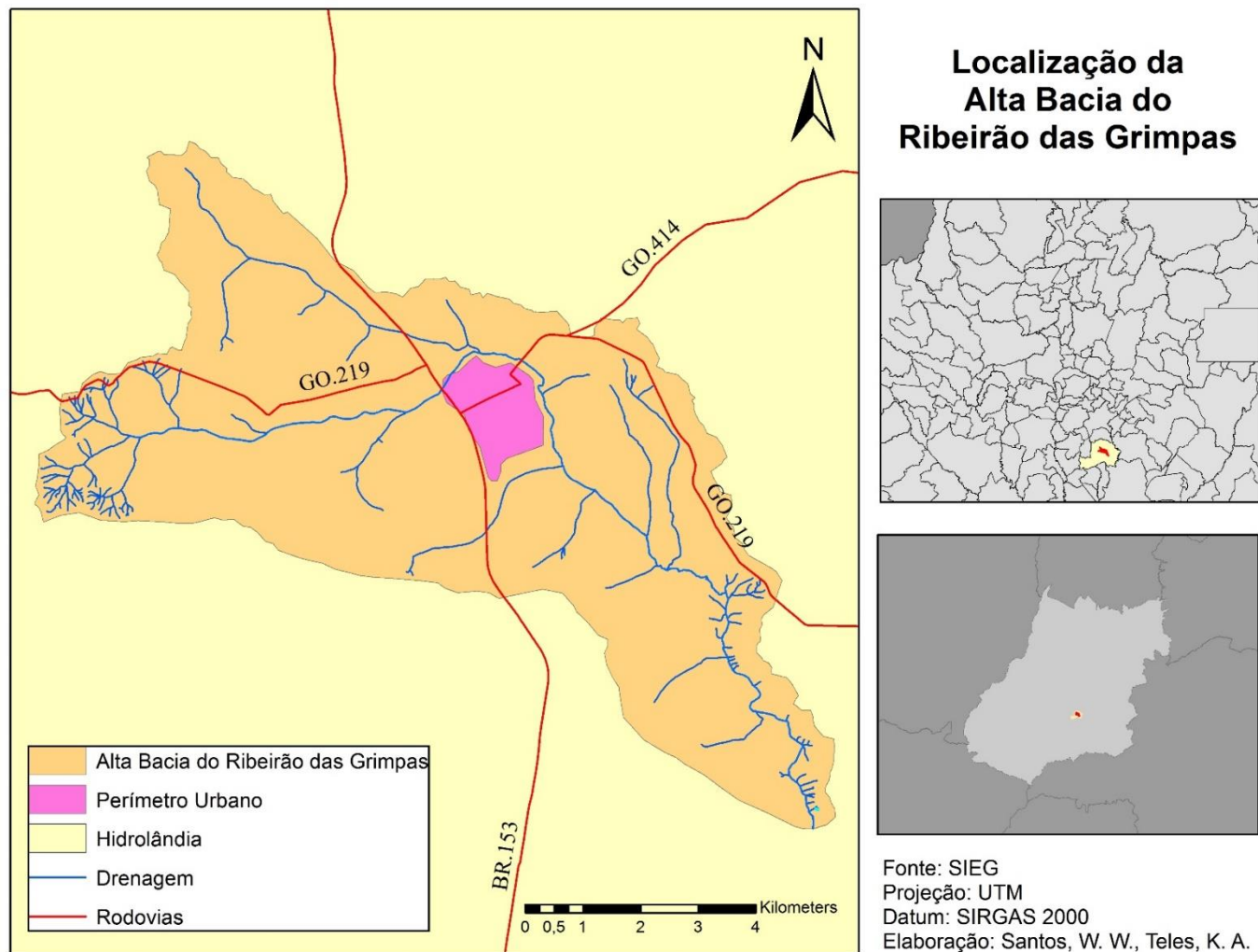
3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Ribeirão Grimpas, escolhido como área de amostragem, está situado, em toda sua extensão, dentro do limite do município de Hidrolândia, Goiás. Tal corpo hídrico percorre pela zona urbana e rural, sendo utilizado para usos múltiplos, como os identificados *in loco*: recreação de contato primário, dessedentação de animais, diluição de efluentes de uma indústria de laticínio e prováveis outras descargas de efluentes. Além disso, em sua bacia hidrográfica é feita uma captação de água para abastecimento público. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, este manancial é classificado como rio de Classe II, quanto à qualidade requerida para os seus usos preponderantes.

Este Ribeirão está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, um dos principais rios do Estado, e possui uma extensão de cerca de 32,7 quilômetros (Km), e dimensões de largura e profundidade, variando de 1 a 2 metros (m) e de 30 a 60 centímetros (cm), respectivamente. Para realização do trabalho foram escolhidos 3 pontos de amostragem apenas em um trecho do corpo hídrico, compreendendo a porção da bacia hidrográfica mais próxima da cabeceira, denominada alta bacia (Figura 3.1).

O município de Hidrolândia está situado na região metropolitana de Goiânia, capital do estado de Goiás, distando cerca de 33 Km da capital, a uma longitude de 49° 13' 45'' O e latitude de 16° 57' 44'' S. Seu território possui uma extensão de 944,00 Km² e possui uma população de 17.398 pessoas, conforme dados do Censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. A principal via de acesso para o local é a BR-153, que interliga Goiânia a São Paulo.

Figura 3.1. Mapa de Localização do Ribeirão Grimpas



Foram selecionados então, 3 pontos de amostragem na alta bacia do corpo hídrico, distribuídos em uma extensão de cerca de 7,5 Km (Figura 3.2). A seleção dos pontos de amostragem considerou os objetivos do trabalho, recursos humanos, materiais e capacidade dos equipamentos disponíveis, e consistiu prioritariamente, em observar pontos ao longo do corpo hídrico que estivessem submetidos a diferentes condições externas e influências antrópicas, sendo também levado em consideração à existência de condições de acesso ao corpo d'água, de modo que a seleção destes pontos possibilite investigar a variabilidade do processo em estudo.

O primeiro ponto está localizado próximo da nascente, o segundo está dentro do perímetro urbano de Hidrolândia, a jusante do lançamento de efluente de uma indústria de laticínio, e o terceiro em uma região de transição da zona urbana e a zona rural, conforme coordenadas e mapa de localização dos pontos, a seguir (Tabela 3.1).

Quadro 3.1. Coordenadas dos pontos de amostragem.

Ponto	Coordenadas Geográficas
Ponto 1	16°96'99.50"S, 49°26'48.10" O
Ponto 2	16°96'00.90"S, 49°22'47.20" O
Ponto 3	16°97'97.90"S, 49°21'53.40" O

Conforme se observou durante as coletas, nos três pontos de amostragem, a Área de Proteção Permanente – APP não está de acordo com a Lei Federal nº 12.651/2012, apresentando dimensões inferiores as exigidas, além de sinais de degradação e de presença de animais. Em termos de qualidade da água, por meio de parâmetros organolépticos, verificou-se que o ponto 1 apresentava boas condições, sendo o melhor dos três. Já o ponto 2, apresentou bastante mal cheiro e alta turbidez. O ponto 3 possuía uma má condição, porém um pouco melhor em comparação com o 2.

Figura 3.2 – Localização dos Pontos de Amostragem. Os números na figura indicam os respectivos pontos, distribuídos em trecho do Ribeirão Grimpas, em azul.



3.2. COLETA DE DADOS

Conforme os objetivos do trabalho foram escolhidos os três pontos de amostragem em localidades com características diferentes e diferentes usos da bacia, para que se pudesse verificar a variação espacial e possíveis fatores interferentes sobre a demanda bentônica.

Para a verificação da variação temporal, foram feitas duas coletas nos pontos de amostragem, uma no mês de setembro de 2016, época do ano que possui os menores índices de pluviosidade, caracterizando um período de seca, e outra no mês de janeiro de 2017, compreendendo um período chuvoso e de cheias nos rios das regiões de clima tropical.

Baseada na metodologia escolhida para determinação da demanda bentônica em laboratório realizou-se a coleta de sedimento de fundo e água do corpo hídrico. Em cada ponto de amostragem, foram coletados: (i) três amostras de sedimento, de modo a preencher os recipientes-teste (*cores*) que foram utilizados posteriormente em laboratório; (ii) uma amostra maior de sedimento para os ensaios de caracterização, de acordo com a Tabela 3 da NBR 6457/1986, a qual prescreve o método de preparação de amostras de solos, com quantidade mínima a tomar definida através de observação visual das dimensões dos grãos do material, variando de 1,0 a 8,0 Kg, e; (iii) uma amostra de água de 10,0 L, quantidade suficiente para preencher os reatores.

A coleta do sedimento para análise da demanda bentônica foi realizada utilizando o tubo de vidro acrílico, de um amostrador de sedimento tubular do tipo Kajac, da empresa Limnotech, com diâmetro de 75 mm, igual aos dos *cores*.

Como a profundidade do corpo hídrico era pequena, a coleta ocorreu de forma manual, na qual foi possível inserir o tubo de vidro acrílico no sedimento até uma altura que fosse suficiente para preencher os *cores*, cerca de 10 cm, e com a mão tampou-se a abertura, retirou-se o tubo de vidro acrílico do corpo hídrico, transferindo o material para o recipiente próprio para análise, buscando-se ao máximo a não deformação da camada superficial do sedimento. Cada um dos *cores* com sedimento foi embalado com plástico filme, e armazenado em caixa térmica com gelo para o transporte das mesmas até o laboratório (Figura 3.3).

Figura 3.3 – Coleta de sedimento para análise de demanda bentônica. A figura A) mostra a inserção do tubo de vidro no sedimento; a B) apresenta a retirada do tubo com o sedimento; a C) ilustra a transferência do conteúdo para o *core* e; a D) apresenta a cobertura com plástico filme do *core* com o material.



O sedimento para ser utilizado na caracterização granulométrica do material foi coletado com uma pá, já que a movimentação e mistura deste não interferiria no resultado final, e então armazenado em saco plástico escuro e transportado em caixa térmica até o laboratório.

Por fim, as amostras de água foram coletadas nos mesmos locais de coleta de sedimento, sendo utilizado galões de polipropileno, de modo a ter cerca de 10 litros para cada ponto (Figura 3.4).

Figura 3.4 – Coleta de água do corpo hídrico com galão de polipropileno.



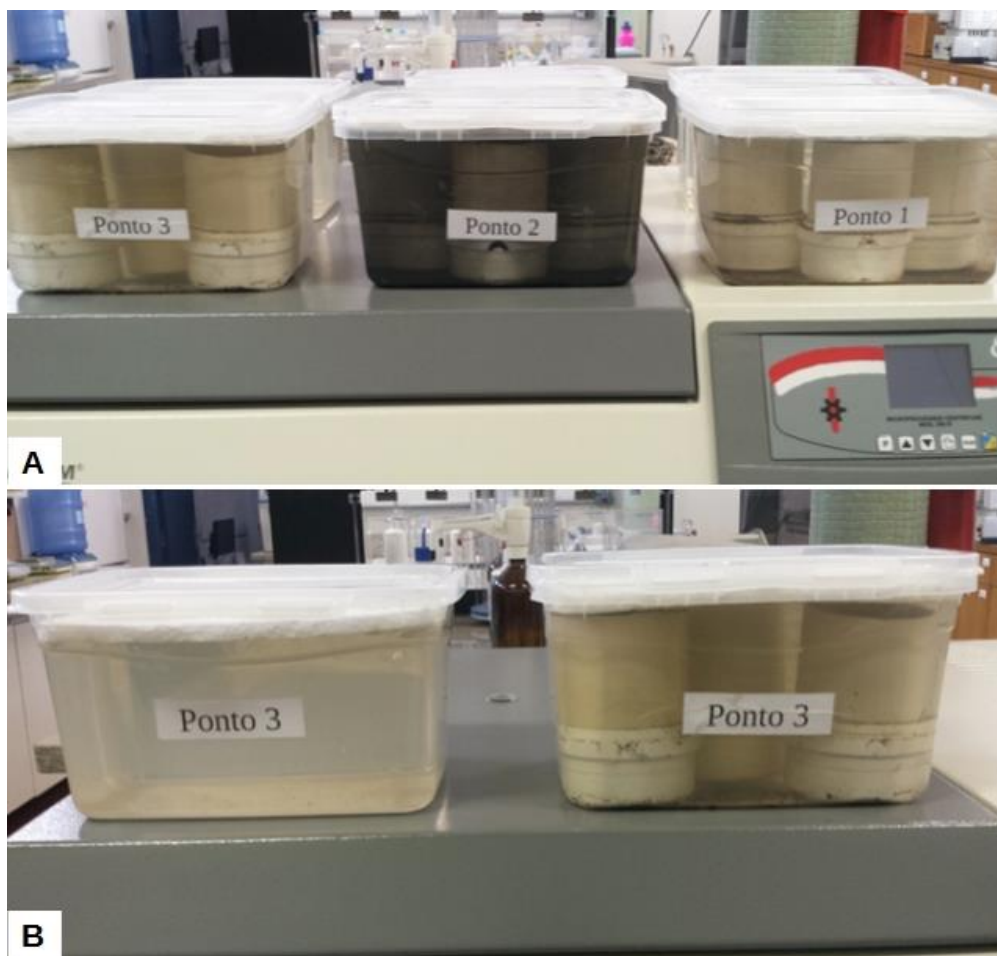
3.3. PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

3.3.1. Demanda Bentônica

A determinação da demanda bentônica foi feita com base na metodologia apresentada por Ling *et al.* (2009), modificada de Truax *et al.* (1995). Neste trabalho, a diferença em relação à referência se deu na montagem do reator e na forma de monitoramento dos dados de Oxigênio Dissolvido (OD), sendo este sistema não isolado, permitindo, mesmo que em quantidade pequena a incorporação de oxigênio e, a leitura do parâmetro não foi feita de forma computadorizada, sendo realizadas duas ou três leituras diárias, durante o período de análise.

Para a determinação da demanda bentônica nos três pontos de amostragem, utilizou-se seis caixas de plástico com capacidade total de 4 litros, denominadas de reatores. Destas caixas, três foram preenchidas com água do rio, apenas, e em três foram colocados além de água do rio, três cores em cada, montados a partir da junção de 10 cm de tubo policloreto de polivinila (PVC) de 75mm e um cap para tubo de 75 mm, preenchidos com o sedimento do rio (Figura 3.5).

Figura 3.5 – Reatores para análise de demanda bentônica. Em A) estão os 3 reatores com água e os cores com sedimento, cada um referente a um ponto de amostragem. Em B) é apresentado o reator com apenas água do rio e o reator com água e sedimento, referentes a um ponto de amostragem.



O volume de água em cada reator foi anotado, mantendo o mesmo nível nos seis. Para buscar diminuir possíveis entradas e saídas de OD do sistema, foi colocado um painel de isopor, em contato com a água e próximo a borda do recipiente, com três aberturas de cerca de 2 cm de diâmetro, suficientes para fazer as aferições do parâmetro posteriormente (Figura 3.6). Todos os reatores foram mantidos em uma incubadora de DBO à 20°C e retirados apenas no momento das leituras.

Figura 3.6 – Vista superior de um dos reatores, mostrando as 3 aberturas feitas para as aferições de oxigênio dissolvido e temperatura.



Os reatores com água do rio e sedimento foram utilizados para verificar o consumo de oxigênio dissolvido pela água e pelo sedimento juntos. Já o reator com apenas água do rio, foi usado como controle e para que se pudesse verificar apenas a contribuição do sedimento, diminuindo a deflexão de OD dele da deflexão no reator com água e sedimento, nos respectivos pontos de amostragem.

A medição de oxigênio dissolvido nos seis reatores foi feita com um modelo de sonda da marca Hach. A primeira medição ocorreu cerca de 4 horas após a coleta do primeiro ponto, logo após a montagem dos reatores. As próximas leituras foram feitas em um intervalo de cerca de 12 horas entre si, durante cinco dias. Foram anotados os valores de OD e temperatura, bem como o dia e horário de cada leitura nos reatores referentes aos três pontos.

Antes de cada leitura de oxigênio foi feita uma leve homogeneização da água com um bastão de vidro para reduzir os gradientes de concentração de oxigênio dissolvido e de temperatura, buscando uma leitura mais uniforme de todo o conteúdo. Também foram feitas três leituras em um mesmo reator, todas às vezes, para que se pudesse utilizar o desvio padrão posteriormente.

Todos os valores médios de OD foram corrigidos para uma temperatura de 20°C, a partir da temperatura aferida em cada leitura, utilizando-se para isso a Equação 3.1, baseada na equação de Arrhenius, apresentada por Boyle *et al.* (1985):

$$OD_{20} = \frac{OD_T}{1,065^{(T-20)}} \quad (3.1)$$

Onde,

OD_{20} – Oxigênio Dissolvido em mg/L, corrigido para a temperatura de 20°C;

OD_T – Oxigênio Dissolvido mensurado em laboratório, em mg/L, a uma temperatura T (°C) qualquer;

T – Temperatura em °C, aferida no momento da leitura do Oxigênio Dissolvido.

A demanda bentônica foi mensurada em gramas de oxigênio dissolvido em função do tempo, medido em dias, e em função da área superficial da amostra de sedimento, medida em metros quadrados. Então, para o seu cálculo foi utilizada a Equação 3.2:

$$DB = \frac{\Delta C \times V}{A \times t} \quad (3.2)$$

Onde,

DB - demanda bentônica, em g.O₂/m².dia;

ΔC - variação da concentração de oxigênio dissolvido durante os dias de análise em g/m³;

V - volume de água utilizada no reator em m³;

A - área superficial do sedimento dentro do reator, em m² e;

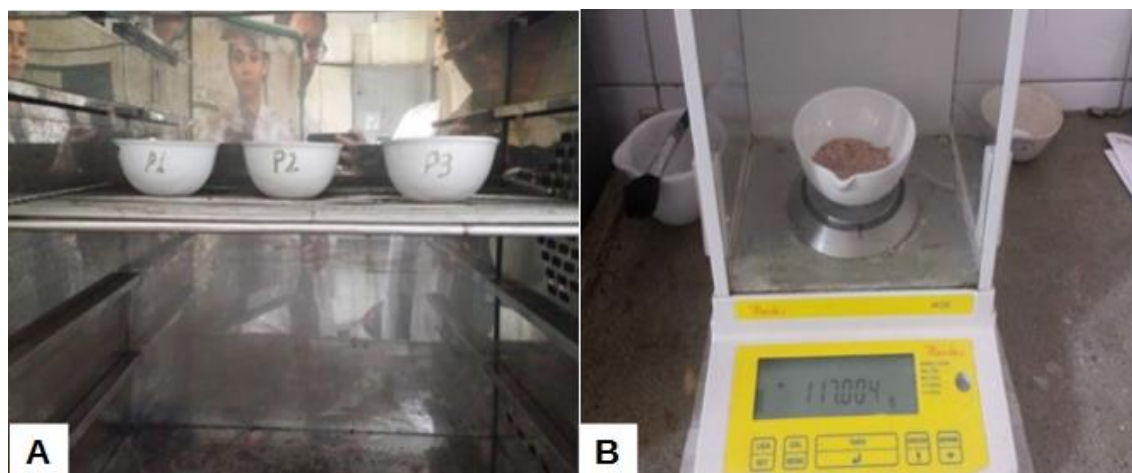
t - número de dias em que foram feitas as medições da concentração de oxigênio dissolvido.

3.3.2. Matéria Orgânica

Foi feita a determinação do percentual de matéria orgânica do sedimento, de modo a observar a relação deste parâmetro com o resultado da demanda bentônica. Para isto, utilizou-se o procedimento descrito na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 13600/1996.

Pegou-se cerca de 50 g de cada amostra, referente a cada um dos três pontos e colocou-as em cadinhos de porcelana. Estas foram secas em estufa à 100°C por 24 horas, sendo feita a pesagem do conteúdo posteriormente. Por fim os cadinhos foram colocados em mufla para queima, à uma temperatura de 440°C, fazendo a pesagem após o período (Figura 3.7).

Figura 3.7 – Determinação da matéria orgânica do sedimento. Em A) são apresentados os cadinhos com as amostras na estufa e em B), o cadinho na balança para verificação da massa.



A determinação da porcentagem de matéria orgânica foi feita por meio da Equação 3.3:

$$M = \left(1 - \frac{B}{A}\right) \times 100 \quad (3.3)$$

Onde,

MO - porcentagem de matéria orgânica;

B - massa da amostra seca em mufla e;

A – massa da amostra seca em estufa.

3.3.3. Caracterização do Sedimento

3.3.3.1. Teor de Umidade

A determinação do teor de umidade do solo seguiu o método em anexo a NBR 6457/1986, a qual determina que para ensaios de caracterização, a preparação das amostras deve ocorrer com secagem prévia.

O método consiste na diferença das massas após o intervalo de 16 a 24 horas em estufa, sendo necessário efetuar no mínimo, três determinações do teor de umidade por amostra. O cálculo se dá pela Equação 3.4:

$$h = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100 \quad (3.4)$$

Onde,

h – teor de umidade, em %;

M_1 - massa do solo úmido mais a massa do recipiente, em g;

M_2 – massa do solo seco mais a massa do recipiente, em g;

M_3 – massa do recipiente, em g.

3.3.3.2. Massa Específica dos Grãos

Conforme o método de determinação das massas específicas dos grãos de solo, estabelecido na NBR 6508/1984, realizou-se a determinação deste parâmetro para cada ponto de amostragem, utilizando a Equação 3.5:

$$\delta = \frac{M_1 \times 100 / (100 + h)}{[M_1 \times 100 / (100 + h)] + M_3 - M_2} \times \delta_T \quad (3.5)$$

Onde,

δ – massa específica dos grãos do solo, em g/cm³;

M_1 – massa do solo úmido;

M_2 – massa do picnômetro + solo+ água, na temperatura T de ensaio;

M_3 – massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência, na temperatura T de ensaio;

h – umidade inicial da amostra;

δ_T – massa específica da água, na temperatura T de ensaio, obtida na Tabela em Anexo a NBR.

3.3.3.3. Granulometria

Para a análise granulométrica do sedimento coletado em cada ponto foi utilizado o procedimento descrito na norma da ABNT, NBR 7181/1984, realizado através da combinação de sedimentação e peneiramento.

Em resumo, secou-se o material até a umidade higroscópica e logo após, este foi peneirado para determinar a quantidade de material a ser tomado, com o intuito de ter uma amostra representativa.

Realizou-se a separação do material graúdo (diâmetro de partículas maior que 2 mm) e do miúdo (diâmetro menor que 2 mm). As partículas graúdas foram lavadas, e levadas à estufa para secagem, realizando-se o peneiramento grosso através de agitador mecânico, e determinaram-se as quantidades de material retido em cada peneira, conforme a Equação 3.6:

$$Q_g = \frac{(M_s - M_i)}{M_s} \times 100 \quad (3.6)$$

Onde,

Q_g - porcentagem de material passado em cada peneira;

M_s – massa total da amostra seca;

M_i - massa do material retido acumulado em cada peneira.

Já as partículas miúdas passaram por processo de sedimentação, que foi realizado com e sem defloculante, no qual o diâmetro dos grãos foi determinado pela diferença de viscosidade da água ao longo do tempo, conforme a Lei de Stokes, apresentada na Equação 3.7:

$$d = \sqrt{\frac{1800 \times \eta}{\delta - \delta_d} \times \frac{a}{t}} \quad (3.7)$$

Onde,

d – diâmetro máximo das partículas, em mm;

η – coeficiente de viscosidade do meio dispersor, à temperatura de ensaio em g x s/cm², correspondente ao coeficiente de viscosidade da água, ver tabela 2 da NBR;

a – altura de queda das partículas, com resolução de 0,1 cm, correspondente a leitura do densímetro, em cm;

t – tempo de sedimentação, em s;

δ – massa específica dos grãos do solo, determinada de acordo com a NBR 6508 em g/cm³;

δ_d – massa específica do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em g/cm³, para efeito de cálculo considerar $\delta_d = 1,000$ g/cm³.

E assim, para os cálculos das porcentagens de material em suspensão, utilizou-se a Equação 3.8:

$$Q_s = N \times \frac{\delta}{\delta - \delta_d} \times \frac{V \times \delta_c \times (L - L_d)}{\frac{M_h}{(100 + h)} \times 100} \quad (3.8)$$

Onde,

Q_s - porcentagem de solo em suspensão no instante da leitura do densímetro;

N – porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm;

δ – massa específica dos grãos do solo, em g/cm³;

δ_d – massa específica do meio dispersor, à temperatura de ensaio, em g/cm³;

V – volume da suspensão, em cm³;

δ_c – massa específica da água, à temperatura de calibração do densímetro (20° C), em g/cm³;

L – leitura do densímetro na suspensão

L_d – leitura do densímetro no meio dispersor, na mesma temperatura da suspensão;

M_h – massa do material úmido submetido à sedimentação, em g;

h – umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm;

O cálculo dos parâmetros altura de queda das partículas (a) e leitura do densímetro no meio dispersor (L_d) foi desenvolvido conforme as equações de Calibração dos Densímetros, referentes aos equipamentos utilizados em laboratório.

Também foi realizado o peneiramento fino, no qual o material retido na peneira de 0,075 mm foi seco em estufa, e submetido à agitação mecânica passando pelas peneiras, onde se anotou as massas retidas acumuladas em cada peneira de acordo com a Equação 3.9:

$$Q_f = \frac{M_h \times 100 - M_i(100 + h)}{M_h \times 100} \times N \quad (3.9)$$

Onde,

Q_f – porcentagem de material passado em cada peneira;

M_h - massa do material úmido submetido à sedimentação;

h – umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm;

M_i - massa do material retido acumulado em cada peneira;

N – porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm.

Com todos os valores foi possível construir uma curva granulométrica para cada ponto, verificando-se as porcentagens de cada diâmetro de partícula em relação ao total utilizado no ensaio.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos de todas as análises realizadas e estes também são discutidos. Na primeira seção são apresentados os dados de oxigênio dissolvido, bem como algumas justificativas sobre o comportamento observado a partir dos valores obtidos. Na segunda, são apresentados os resultados de matéria orgânica do sedimento. Já na terceira são dispostos os perfis granulométricos obtidos para o sedimento de cada um dos pontos de amostragem. Por fim, são mostrados os resultados de demanda bentônica e estes são relacionados com os valores e informações citados nas seções anteriores.

4.1. OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Conforme metodologia apresentada, foram feitas as análises para determinação da demanda bentônica. Para isso, inicialmente, foram obtidos os dados de oxigênio dissolvido em todos os reatores, referentes aos três pontos de amostragem, durante cinco dias, e então foi feita a correção de todos os valores para uma temperatura de 20° C.

A partir destes dados já foi possível perceber como o oxigênio se comportou ao longo dos dias analisados, ficando claras as diferenças destes resultados entre o reator com água e o com água e sedimento, e também entre os dois períodos analisados.

As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram o perfil de oxigênio dissolvido ao longo do tempo, de cada ponto, nos dois reatores e em cada período analisado.

Figura 4.1 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) do Ponto 1 ao longo do tempo, nos períodos de A) seca e B) chuva.

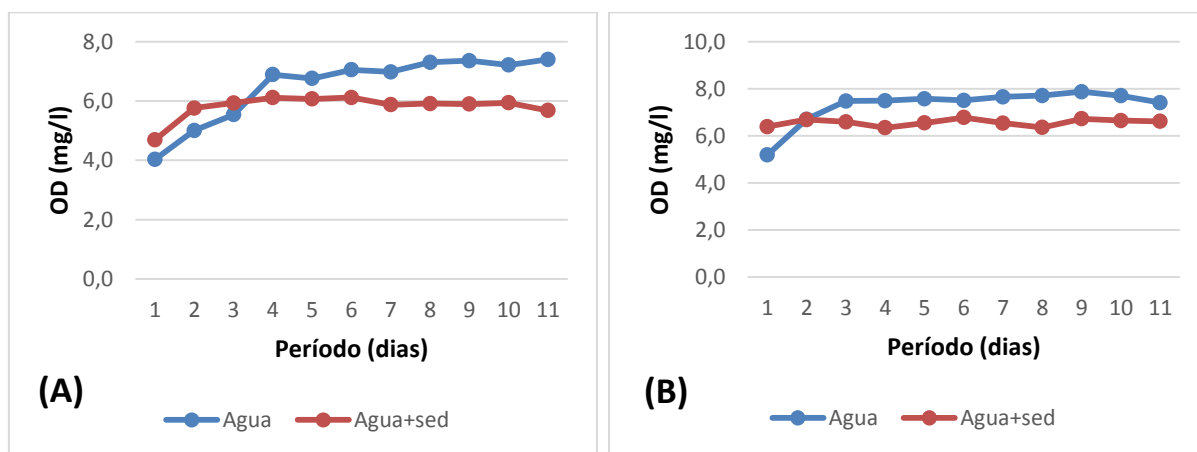


Figura 4.2 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) do Ponto 2 ao longo do tempo, nos períodos de A) seca e B) chuva.

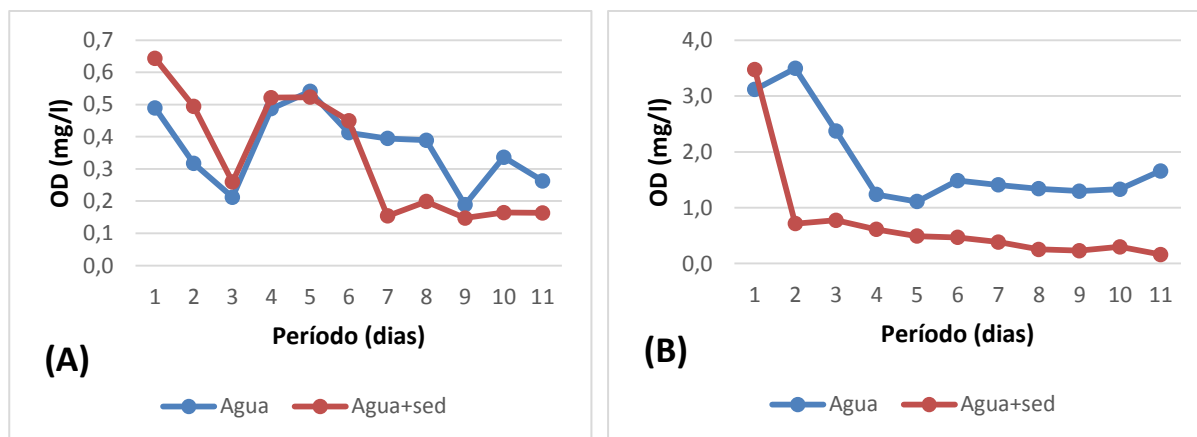
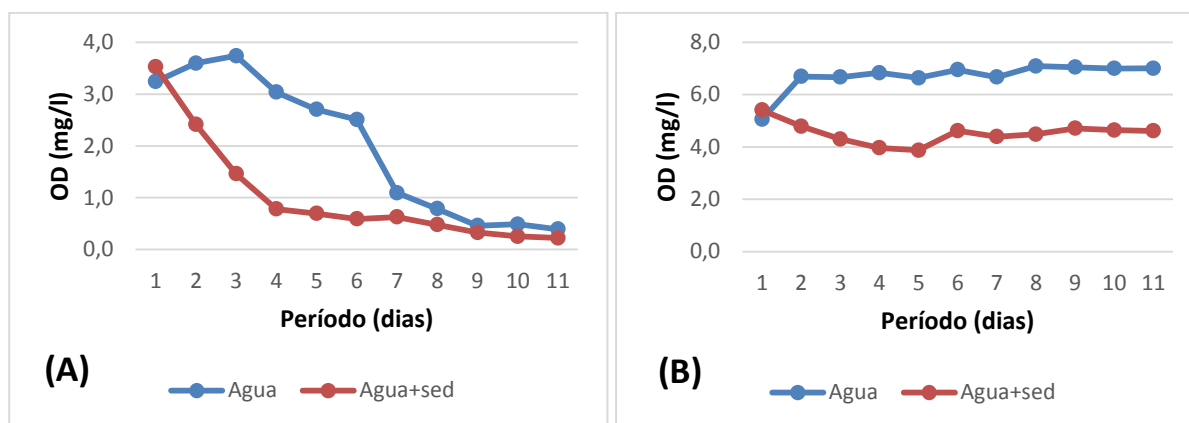


Figura 4.3 – Perfil de oxigênio dissolvido (OD) do Ponto 3 ao longo do tempo, nos períodos de A) seca e B) chuva.



No ponto 1, nos períodos de seca e chuva, verificou-se que houve um aumento na concentração de OD com o tempo nos dois reatores, e após manteve-se praticamente constante, indicando que a produção neste caso foi maior que o consumo e portanto, que nesta localidade o rio possui uma boa qualidade em termos de matéria orgânica. Tal fato corroborou com o que já havia sido verificado durante a coleta, a partir de análise organoléptica, em que o local apresentava baixa turbidez e ausência de odores. Outro ponto que vale ser destacado, é a incidência de luz sobre o sedimento, que era bastante significativa pela baixa profundidade (cerca de 30 cm) do corpo hídrico neste local.

Já no ponto 2, o comportamento foi bastante variado em ambos os períodos analisados, porém semelhantes entre os dois reatores, sendo possível observar oscilações dos valores de oxigênio. Neste local, a qualidade do corpo hídrico era bastante ruim, conforme observou-se durante a coleta, possuindo uma alta turbidez e odores fétidos, além de ser possível verificar um material escuro no topo da camada de sedimento, semelhante a matéria orgânica em

estado de decomposição, e a presença de material gorduroso, proveniente, provavelmente, do lançamento de efluente de uma indústria de laticínio logo a montante do ponto.

Ainda no ponto 2, observou-se com os resultados, que o OD estava bastante baixo no período de seca, com valores menores que 1 mg/L nos dois reatores, já na primeira leitura, mostrando que o consumo estava ocorrendo de forma bastante ríspida. Este valor reflete de forma negativa sobre os processos físico-químicos e biológicos e a manutenção dos ecossistemas neste corpo hídrico. Também, nos dois reatores para o período de chuva, o OD inicial e todos os outros valores foram menores que 5 mg/L, ferindo o disposto na Resolução CONAMA nº 357/2005 para corpos hídricos de Classe II, como no caso.

Por fim, no ponto 3, o comportamento do OD no período de seca e no de chuva foram diferentes. Para o período chuvoso, os valores se mostraram bem próximos uns dos outros, apesar de haver momentos em que houve acréscimo e outros, decréscimo, o que indica que houve uma melhora na qualidade do corpo hídrico, por conta da maior vazão, diferente do período de seca, em que houve uma grande queda nos valores, indicando um maior consumo.

As diferenças de comportamento observadas nos períodos analisados, e nos reatores de cada ponto, podem ser explicadas por processos químicos e biológicos que não são possíveis de serem isolados e identificados por meio da metodologia aplicada e/ou, por conta de falhas no procedimento analítico para aferição dos valores de OD.

Maul e Mason (1957 apud Magalhães *et al.*, 1999) sugeriram em seu estudo, pioneiro na área, que a microflora bêntica é composta por importantes organismos produtores primários, ou seja, são grandes responsáveis pela síntese de matéria orgânica e, a partir disso, produzem oxigênio por meio de processos fotossintetizantes. Além disso, de acordo com Barranguet *et al.* (1998), essas comunidades microbênticas têm de se adaptar a uma série de fatores estressantes, como transporte de sedimento, gradientes de variação de luz, temperatura e nutrientes, o que cria grandes flutuações de parâmetros ambientais, principalmente na região intersticial entre água e sedimento.

Isso pode explicar a diferença nos níveis de OD entre os pontos 1 e 2, de forma mais expressiva, visto que no ponto 1, a baixa turbidez da água e as características da vegetação ciliar, permitem a entrada de luz no sedimento, o que é o contrário no ponto 2. Com isso então, há uma maior produção de oxigênio pelos processos bioquímicos que são realizados pelos organismos bentônicos no ponto 1, e uma menor produção no ponto 2, indicando que o

consumo por conta da baixa qualidade da água e do sedimento se mostrou maior, na maior parte do tempo analisado.

Outro ponto a ser analisado é o método utilizado. No caso, os reatores não se caracterizavam como um sistema completamente fechado, sendo que existia a possibilidade de entrada de oxigênio por conta da agitação, no transporte destes entre a estufa e a bancada, para a realização das leituras. Também, Boynton (1981) argumenta que a agitação durante um período de incubação do sedimento, pode estimular a produção primária microfitobêntica e esse fator pode ter influenciado os valores de OD encontrados no presente estudo também.

4.2. MATÉRIA ORGÂNICA

A análise de matéria orgânica foi realizada para identificar, em porcentagem, a presença deste conteúdo nas amostras de sedimento coletadas para cada ponto. Os valores obtidos para o período de seca e chuvoso estão dispostos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Porcentagem de matéria orgânica no sedimento de cada ponto de amostragem

Ponto	Matéria orgânica (%)	
	Seca	Chuva
1	0,996	0,516
2	1,882	2,142
3	1,373	1,182

Os resultados mostram que em ambos os períodos, a matéria orgânica no Ponto 1 é a menor e a do ponto 2 é a maior, ficando a do ponto 3 em valores intermediários. Este fato reafirma o que foi observado durante a coleta, de que o ponto 1 possui uma melhor qualidade, que o ponto 2 possui a pior, por conta do lançamento de efluente industrial e que o ponto 3 deixa indícios de que a qualidade está sendo recuperada ao longo da extensão do corpo hídrico.

Verificou-se também que em relação ao período de seca e chuva, nos pontos 1 e 3, a quantidade de matéria orgânica foi menor com as chuvas, porém no ponto 2 o valor foi maior. Conforme descrito anteriormente, este ponto se encontra em um local logo a jusante de um lançamento de efluente, mas é também um ponto de entrega de água advinda do sistema de drenagem pluvial do município, sendo possível inferir que junto a água de chuva foram carregados materiais que justifiquem o aumento da presença do parâmetro em questão.

4.3. GRANULOMETRIA

Obtidos os valores de teor de umidade e massa específica, procedeu-se os cálculos conforme metodologia para realização da análise granulométrica. Para representação desta granulometria relacionam-se as dimensões das partículas com as respectivas percentagens de massa, assim classifica-se o diâmetro dos grãos conforme as faixas apresentadas pela NBR 6502/1995.

Segundo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), se a porcentagem que passa na peneira de nº 200 (0,075 mm), for inferior a 50 % tem-se um solo com granulação grossa, podendo ser pedregulho ou areia, e se a porcentagem for superior a 50 % tem-se um solo com granulação fina, podendo ser classificado em silte, argila ou solo orgânico. Em todos os pontos de amostragem verificou-se valores inferiores a esta porcentagem de referência, com valores de 3,87, 2,07 e 15,97 % para os pontos 1, 2 e 3, respectivamente, assim todos os pontos apresentam granulação grossa.

Para o Ponto de Amostragem 1, obteve-se maiores valores percentuais em frações de areia, média e grossa, do que pedregulho. Assim, o sedimento é classificado como areia. Para o Ponto 2, 84,25 % da amostra utilizada apresentou diâmetros na faixa de 2 a 60 mm, caracterizando assim como pedregulho. Já no Ponto 3, encontrou-se 57,88 % de areia média, 17,70 de areia grossa, sendo portanto também classificado como areia, apresentando a maior fração de argila entre os três pontos, correspondendo a 10,28 %.

A representação gráfica da distribuição granulométrica dos sedimentos, dos Pontos 1, 2 e 3, é exposta nas Figuras 4.4, 4.5 e 4.6, respectivamente, onde na abscissa é apresentado o tamanho das partículas, crescente para a direita, em escala logarítmica, e a ordenada é a porcentagem acumulada de sedimento seco em relação a massa total seca, com diâmetro menor que o tamanho correspondente.

Figura 4.4 – Curva granulométrica do sedimento coletado no Ponto 1

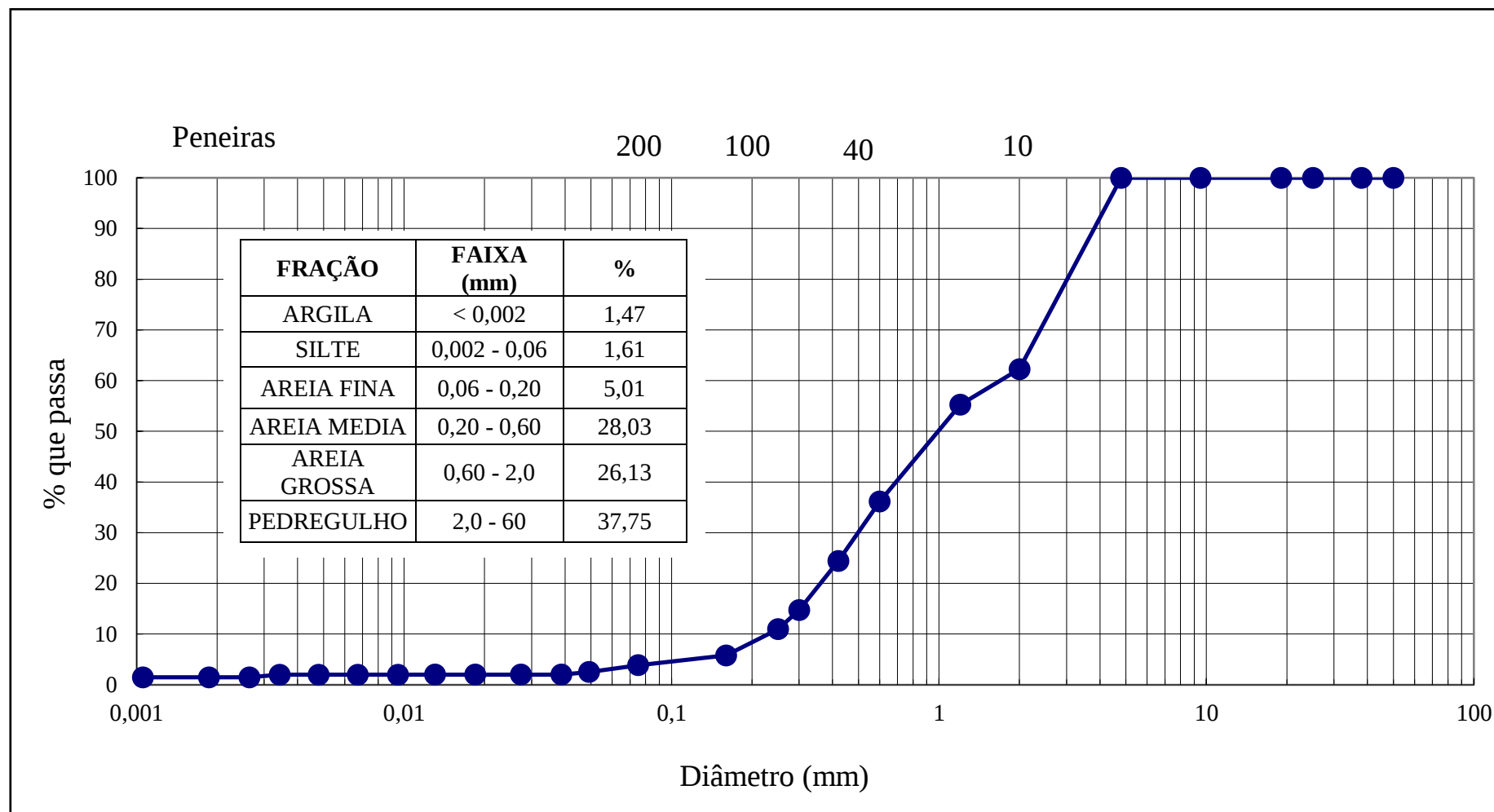


Figura 4.5 – Curva granulométrica do sedimento coletado no Ponto 2

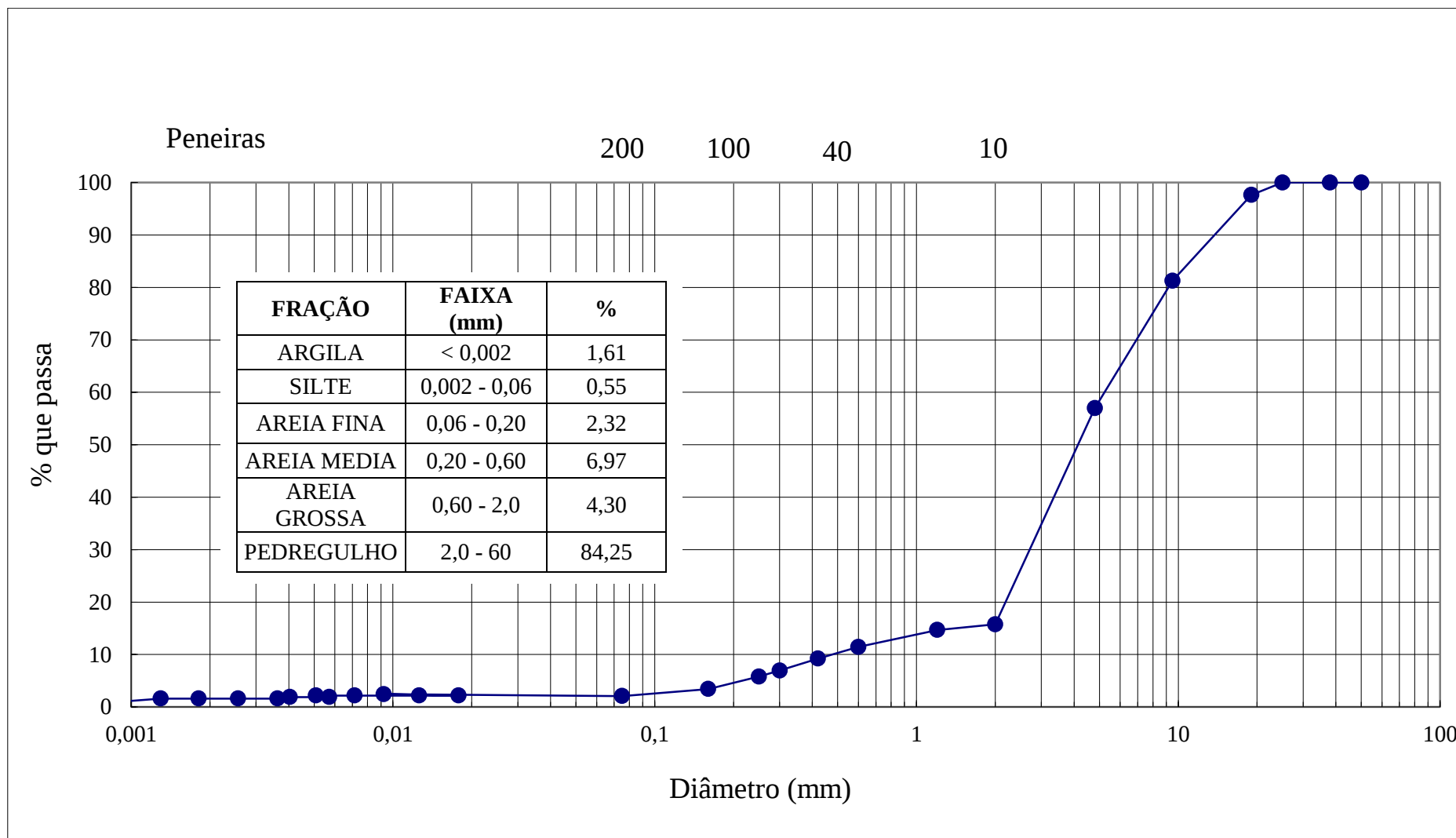
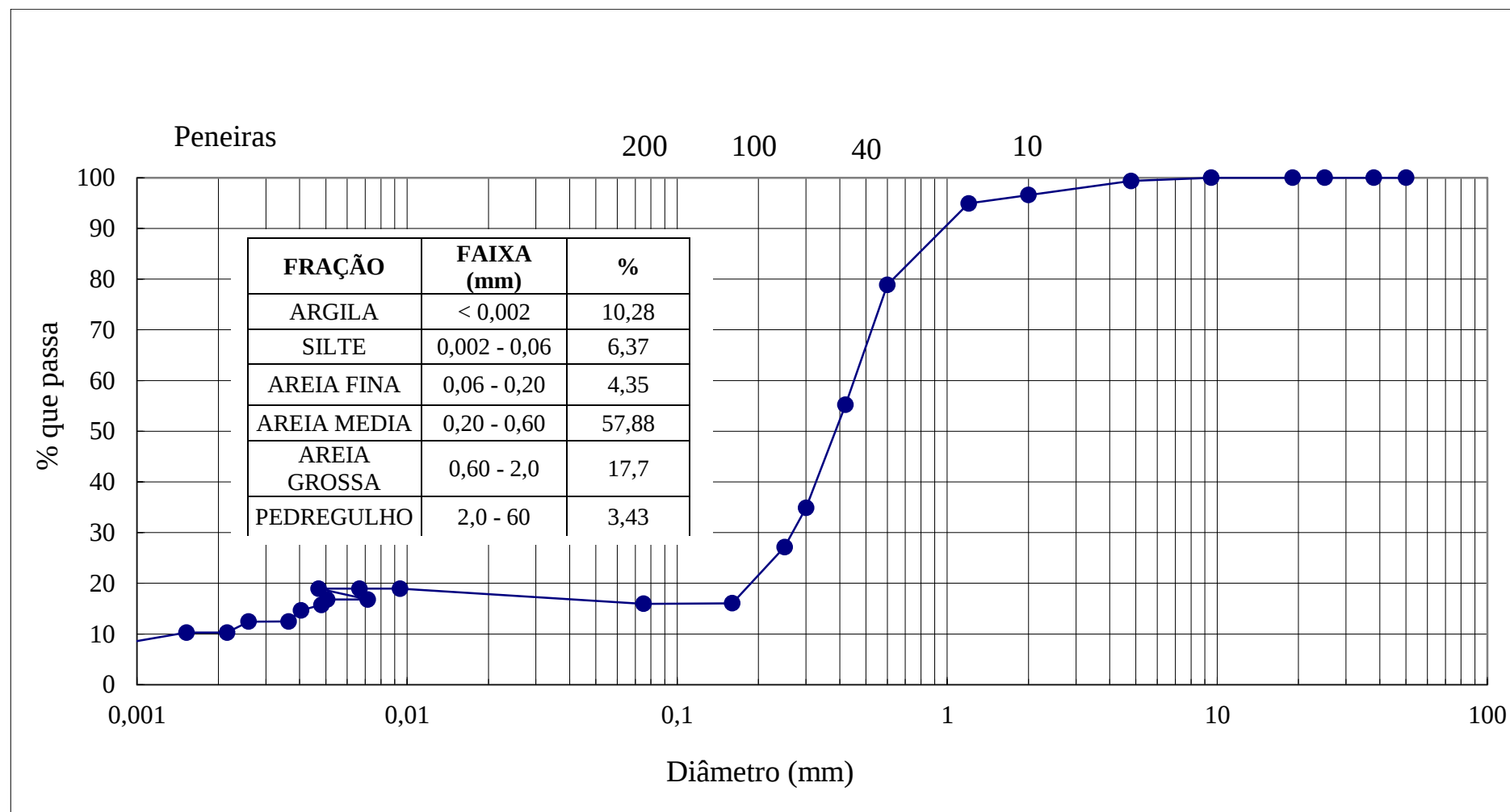


Figura 4.6 – Curva granulométrica do sedimento coletado no Ponto 3



4.4. DEMANDA BENTÔNICA

Os resultados das análises de OD são os principais para o cálculo da demanda bentônica, conforme metodologia aplicada, visto que está sendo buscada a contribuição do sedimento no consumo de oxigênio disponível na coluna d'água. Para isso então, é necessário que se diminua o valor de OD que foi consumido no período analisado no reator que continha água, do reator com água e sedimento, ficando como resultado a parcela referente apenas ao sedimento.

Com isso, analisando-se os valores de OD obtidos, verificou-se que para alguns pontos não seria possível calcular a demanda bentônica, por conta de a produção ter sido maior que o abatimento deste parâmetro no sistema. Também não foi possível calcular em casos onde o decaimento de oxigênio foi maior no reator com apenas água do que o com água e sedimento.

Na tabela 4.2 estão os valores obtidos para os pontos onde foi possível calcular a demanda bentônica.

Tabela 4.2 – Demanda bentônica calculada para cada ponto de amostragem.

Ponto	Demanda Bentônica (g/m ² .dia)	
	Seca	Chuva
1	-	-
2	0,036	1,047
3	0,062	-

Os valores que não foram possíveis de serem calculados, não indicam necessariamente que não existe demanda bentônica nos respectivos pontos, mas que por conta de fatores adversos não considerados na metodologia aplicada, ocorreram outros processos que fizeram com que houvesse uma maior produção em relação ao consumo de oxigênio. Ou seja, é provável que a metodologia não tenha sido eficiente para a determinação deste parâmetro.

Conforme já explicado para os resultados de OD, no ponto 1, nos dois períodos analisados, houve uma produção de oxigênio maior do que consumo por conta das características do ambiente que favoreciam a produção primária por parte de microrganismos bentônicos e outros.

Já no ponto 2, nos períodos de seca e chuva, foi notável o consumo de oxigênio em ambos os reatores, sendo verificado que no período de seca a contribuição do sedimento no consumo de OD foi de 0,253 mg/L e no período de chuva, de 1,851 mg/L, o que foi representado nos respectivos valores de demanda bentônica.

No ponto 3, no período de seca, o OD ainda se comportou de forma esperada para o cálculo de demanda bentônica, sendo encontrado o valor acima apresentado. Porém, já no período de chuva, com uma melhora na qualidade da água, como foi visto com os valores de oxigênio, a demanda bentônica não foi possível de ser calculada ou por ser muito pequena e o método não conseguir mensurar ou ter sido causada novamente, por conta da produção primária de microrganismos bentônicos e/ou o fato do sistema ter permitido a entrada de oxigênio durante a análise.

No trabalho de Ling *et al.* (2009) foram encontrados valores de demanda bentônica variando de 0,8 a 21,4 g/m².dia, sendo os menores valores referentes a pontos de amostragem com sedimento mais arenoso e menor quantidade de matéria orgânica, e os maiores, referentes a ambientes mais degradados e com sedimento mais fino.

Conforme os resultados da demanda bentônica nos pontos 2 e 3 e as análises de granulometria, verificou-se que no período de seca, o ponto 3 apresentou um valor quase duas vezes maior que o do ponto 2, e uma granulometria mais fina, com a maior quantidade de argila dentre os três pontos de amostragem, indo de encontro com o esperado, conforme o trabalho de Ling *et al.* (2009).

No período chuvoso para o ponto 2, obteve-se o maior valor de demanda bentônica, mas neste ponto o sedimento foi classificado como pedregulho, por apresentar mais de 50% da amostra com grãos desta magnitude. Porém, como não foi possível obter um valor para o ponto 3 ou ponto 1 neste mesmo período, a análise comparativa em relação à granulometria ficou comprometida.

Uma característica em comum entre os 3 pontos é que a granulometria dos sedimentos foi grossa, visto que menos de 50% das partículas apresentaram grãos com menos de 0,075mm. No estudo de Truax *et al.* (1995) avaliou-se a correlação entre os resultados de DB obtidos por meio de medição *in situ* e em laboratório contrastando com as características físicas do material de fundo, concluindo que para sedimentos de grãos mais grossos, o método de

laboratório apresenta restrições, visto que qualquer alteração de movimento no substrato pode levar a alterações na DB. Além disso, quando o reator não está completamente fechado pode existir “recrutamento” de oxigênio, ou seja, a absorção de oxigênio de uma região que apresenta maior concentração de OD para dentro do sistema, que apresenta uma menor concentração deste parâmetro.

Então, esta conclusão apresentada por Truax et al.(1995) corrobora com a hipótese de que a metodologia pode não ser a mais adequada, principalmente considerando que a granulometria em todos os pontos analisados foi grossa. Porém, de qualquer forma, não é possível dar uma previsão certa do que, de fato, aconteceu nos reatores durante o período de análise que levou a impossibilidade de calcular alguns valores de DB, podendo ter ocorrido diversos processos, que conforme já foi apresentado, são difíceis de serem identificados isoladamente.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Este último capítulo trará as considerações finais acerca do trabalho, bem como sugestões e perspectivas futuras, buscando apresentar as principais contribuições do trabalho realizado, os itens que precisam ser melhorados e perspectivas futuras em relação ao tema trabalhado.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento do OD nos pontos de amostragem e nos períodos analisados foi bastante variado, o que comprometeu a determinação da demanda bentônica no ponto 1, no período de seca e chuva, e no ponto 3, no período de chuva, visto que a produção de oxigênio foi maior que o consumo. Isto pode ter ocorrido por conta da produtividade primária dos organismos bentônicos presentes no sedimento, que se comportam de formas distintas em diferentes condições, como incidência de luz sobre o sedimento, temperatura, entre outros. Também, conforme a metodologia, o reator não se apresentava como um sistema completamente fechado, sendo possível a entrada de oxigênio, além de existir movimentação do substrato no momento da coleta e durante as leituras de OD.

Os resultados de DB nos pontos 2 e 3, no período de seca, se mostraram condizentes com os valores encontrados na literatura quando relacionados às características do sedimento. O sedimento do ponto 2 apresentou a granulometria mais grossa entre os 3 pontos, e o ponto 3 apresentou a maior incidência de grãos mais finos. Com isso, o valor de DB encontrado no ponto 3 foi cerca de duas vezes maior que o do ponto 2, indicando que uma granulometria mais fina está relacionada a maiores valores de DB, indo de encontro com o apresentado por Ling *et al.* (2009).

No mais, os valores de DB obtidos neste trabalho foram semelhantes aos valores encontrados na literatura, comumente utilizados como coeficientes de demanda bentônica para estudos de modelagem de qualidade da água. No caso foram encontrados no presente trabalho valores variando de 0,04 a 1,0 g/m².dia, e na literatura, para sedimentos com solos minerais e camada arenosa, os valores variam de 0,05 a 1,0 g/m².dia, levando a conclusão de que para estas características da camada de fundo do rio, os valores para regiões de clima tropical são próximos aos valores para clima temperado e equatorial.

Sendo assim, o presente trabalho conseguiu determinar valores de demanda bentônica para alguns pontos e apresentou alguns fatores que podem incidir sobre os resultados obtidos. Porém conforme verificou-se, a metodologia apresenta restrições e necessita de melhorias, além da necessidade de serem tomados alguns cuidados durante a coleta e condução do estudo para que se diminua a interferência de fatores externos sobre o sistema.

De toda forma, o estudo apresenta relevância por ser pioneiro no país ao discutir um parâmetro que deve ser considerado na modelagem de qualidade da água de um corpo hídrico, para que se tenha resultados mais representativos da área que se quer estudar e assim embasar melhor as tomadas de decisões no planejamento e gestão dos recursos hídricos.

5.2. SUGESTÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Para trabalhos futuros sobre o tema apresentado neste estudo, é importante que se revise a metodologia para que sejam feitas adaptações que diminuam a perturbação do sedimento durante a coleta e durante o período de análise, e também para evitar ao máximo a entrada de oxigênio no sistema.

Durante a coleta de sedimento, a forma como foi feita, utilizando-se um tubo de amostrador Kajak, foi a mais apropriada considerando a disponibilidade de materiais e recursos no momento. Porém pode-se pensar em uma forma melhor para evitar a perturbação e alteração das camadas do lodo de fundo, permitindo levar para o laboratório um substrato mais próximo do que é encontrado naturalmente no corpo hídrico.

Os reatores, na fase de acompanhamento do decaimento de OD, também podem ser aprimorados de forma a evitar a entrada de oxigênio no sistema. Da forma como foram feitos neste presente trabalho, apesar da utilização de placa de isopor e colocando a tampa do próprio recipiente, ainda não os caracterizava como ambientes fechados. Além disso, a estufa utilizada para que se mantivesse a temperatura aproximadamente constante, era uma incubadora de DBO que possuía um sistema de circulação de ar, o que pode ter sido um dos fatores que aumentaram os valores de oxigênio no sistema, principalmente dos reatores que ficaram na prateleira mais alta e na mais baixa, que no caso foram os dos pontos 1 e 3, onde não foi possível calcular a DB.

Também é provável que para evitar todos estes problemas, seja utilizada uma metodologia diferente, principalmente para o caso como o do presente estudo, em que o sedimento apresenta granulometria grossa. Conforme o estudo de Truax et al. (1995) para este tipo de camada de fundo o método *in loco* pode ser o mais recomendado, porém é necessária a montagem de uma câmara que isole uma parte do sedimento do corpo hídrico e sejam feitas medidas de oxigênio dentro do sistema por um determinado tempo.

Um estudo que possa verificar a eficiência de várias metodologias para determinação de demanda bentônica, pode ser relevante para a modelagem de sistemas ambientais nas localidades de clima tropical, como o Brasil, visto que para estas regiões, não sabe-se ao certo como as metodologias existentes podem funcionar para as diferentes características de sedimentos. No presente estudo, por exemplo, focou-se apenas em uma metodologia e em um único tipo de camada de fundo, e expandir isso em um novo trabalho é algo bastante relevante.

REFERÊNCIAS

- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986, 9 p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984, 13 p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984, 8 p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995, 18 p.
- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13600**: Solo - Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440 ° C. Rio de Janeiro, 1996, 2 p.
- BARRANGUET, C, KROMKAMP, J. & PEENE, J. (1998). **Factors controlling primary productivity and photosynthetic characteristics of intertidal microphytobenthos**. *Mar Ecol Prog Ser*. 173:117-126.
- BARRETO, L, V.; ROCHA, F, A.; OLIVEIRA, M, S. C.; **Monitoramento da Qualidade da Água na Microbacia Hidrográfica do Rio Catolé, em Itapetinga-Ba** Centro Científico Conhecer - ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Goiânia, vol.5, n.8, 2009.
- BOWIE, G.L. MILLS, W. B. PORCELLA, D. B. CAMPBELL, C. L. PAGENKOPF, J. R. RUPP, G. L. JOHNSON, K. M. CHAN, P. W. H. GHERINI, S. A. **Rates, Constants, and Kinetics Formulations in surface water quality modeling**. 2 ed. Georgia .1985. 455 p.
- BOYNTON, W. R., OSBORNE, W. M., OSBORNE, C. G., KANMEYER, K. R. & JENKINS, M. C. (1981). **Influence of water circulation rate on *in situ* measurements of benthic community respiration**. *Mar Biol*. 65:185-190.
- CARVALHO, N.O., FILIZOLA JÚNIOR, N.P., SANTOS, P.M.C., LIMA, J.E.F.W. **Guia de Práticas Sedimentométricas**. Brasília. ANEEL. 2000. 154p.

CHAPRA, S. C. Surface Water-Quality Modeling. **McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering**. University of Colorado at Boulder. 1996. 784 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas, e Efluentes Líquidos**. Brasília: Athalaia Gráfica e Editora, 2011.326 p.

DEVENS, J, A ; BARBOSA, A.R.J; QUEIROZ, S.G **Modelo de quantificação do coeficiente de dispersão longitudinal de pequenos cursos de água naturais**, Artigo Tecnico, Vol.11 - Nº 3 - jul/set 2006, 269-276.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Ed. Interciência. Rio de Janeiro. Vol. 1, 2 ed., 1998. 599 p.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Ed. Interciência. Rio de Janeiro. Vol. 1, 3 ed., 2011. 826 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Panorama do município de Hidrolândia, GO. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/go/hidrolandia/panorama>>. Acesso em: Junho de 2017.

LIMA, C, A.; GIORGETT, M. F - **Aplicação Do Modelo QUAL2E Na Simulação De Descargas Acidentais Contaminantes** - 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, VI – 057,2534-2547,1997.

LING, T. Y. NG, C. S. LEE, N. BUDA, D. Oxygen Demand of the Sediment from the Semariang Batu River, Malaysia. **World Applied Sciences Journal**, IDOSI Publications, p. 440-447, 2009.

MAGALHÃES, C.P.M.P. 1999. **Fluxos de oxigênio e nutrientes entre a interface sedimento/coluna de água no banco intertidal do sector inferior do Estuário do Rio Douro**. Tese de Mestrado. Instituto de Ciências Biomédicas. Abel Salazar. Universidade do Porto. Porto.

MARTIN, D.C., D.H. BELLA. **Effect of Mixing on Oxygen Uptake Rate of Estuarine Bottom Deposits**. JWPCF, p. 1865-1876. 1971.

PALMIERI, V.(2004). **Calibração do modelo QUAL2E para o rio Corumbataí (SP)**. Rio de Janeiro. Dissertação (mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

PASTOR, L. DEFLANDRE, B. VIOLLIER, E. CATHALOT, C. METZGER, E. RABOUILLE, C. ESCOUBEYROU, K. LLORET, E. PRUSKI, A.M. VÉTION, G. DESMALADES, M. BUSCAIL, R. GRÉMARE, A. Influence of the organic matter composition on benthic oxygen demand in the Rhône River (NW Mediterranean Sea). **Continental Shelf Research**, June 2011, DOI: 10.1016/j.csr.2011.03.007.

PENTEADO, E.D. (2009). **Modelagem da qualidade da água do rio Monjolinho utilizando o modelo QUAL-2E: Ênfase em matéria orgânica**. 2009. 94 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

THOMANN, R.V., J.J. FITZPATRICK. Calibration and Verification of A Mathematical Model of the Eutrophication of the Potomac Estuary, Prepared for **Department of Environmental Services**. Government of the District of Columbia. 1982.

TRUAX, D.D. SHINDALA, A. SARTAIN, H. Comparison of two sediment oxygen demand measurement techniques. **Journal of Environmental Engineering**. p. 619-624, September 1995.

VON SPERLING, M. **Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Ed. UFMG, vol. 1, 3 ed., 2005.

YEE, L. T. PUSIN, H. N. M. F. NYANTI, L. MIOD, M. C. Sediment Oxygen Demand of the Santubong River and Their Contributing Factors. **International Journal of Applied Science and Technology**, Centre for Promoting Ideas, USA, v. 1, n. 6, p. 162-168, November 2011.

ZAGORC-KONCAN, J. DULAR, M. SOEMEN, J. **Evaluation of dissolved oxygen balance in two shallow turbulent slovene streams**. Great Britain, v. 25, n. II, p. 1357-1363, 1991.