



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - Unioeste
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO: ASPECTOS HISTÓRICOS,
METODOLÓGICOS, CLIMATOLÓGICOS E SOCIECONÔMICOS**

Ana Carla Casagrande Poersch

Toledo – Paraná – Brasil

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - Unioeste
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO: ASPECTOS HISTÓRICOS,
METODOLÓGICOS, CLIMATOLÓGICOS E SOCIECONOMICOS**

Ana Carla Casagrande Poersch

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Unioeste/Campus Toledo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Nyamien Yahaut Sebastien

Toledo – Paraná – Brasil

2021

Talent is something you make bloom, instinct is
something you polish.

Haruichi Furudate

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	5
LISTA DE TABELAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
RESUMO GERAL	8
ABSTRACT	9
INTRODUÇÃO GERAL	10
CAPÍTULO 1	13
INTRODUÇÃO	14
<i>Aspectos históricos da Demanda Bioquímica de Oxigênio</i>	15
<i>Metodologia</i>	15
<i>Biossensores</i>	16
<i>Biossensores bioluminescentes</i>	18
<i>Células de combustível microbiano</i>	20
<i>Novas tecnologias</i>	22
Conclusões e as vantagens do uso da interdisciplinaridade na pesquisa científica	24
REFERENCIAS.....	25
CAPÍTULO 2	31
INTRODUÇÃO	32
METODOLOGIA	33
<i>Modificações propostas na análise</i>	33
<i>Análises estatísticas</i>	35
RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
<i>Variações de temperatura na região</i>	35
<i>Análises estatísticas</i>	36
<i>Implicações das mudanças de temperatura na análise</i>	38
CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS.....	40
CONCLUSÕES GERAIS	42

LISTA DE ABREVIATURAS

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

OD – Oxigênio Dissolvido

InPAA – Instituto de Pesquisa em Aquicultura Ambiental

nm – Nanômetros

UV – Ultravioleta

EAB – *Electroactive Bacteria*

MFC - *Microbial Fuel Cells*

BIS – Bureau of Indian Standarts

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

TABELA 1. Estatísticas Descritivas referentes ao teste T pareado para os tratamentos de 20°C e 28°C respectivamente..... 35

TABELA 2. Estatísticas Descritivas referentes ao teste T pareado para os tratamentos de 20°C e 25°C respectivamente..... 36

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

FIGURA 1. Esquema produzido com base no esquema desenvolvido por (PARKHEY e MOHAN, 2019), detalhando o funcionamento de um biossensor MFC comparado a um biossensor tradicional..... 20

Capítulo 2

FIGURA 1. *Esquema detalhando a metodologia de coleta e análise*..... 33

FIGURA 2. Método Iodométrico para determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio..... 34

GRÁFICO 1. Temperaturas mínimas, máximas, médias \pm desvio padrão verificadas para cada estação (n=600)..... 35

GRÁFICO 2. Gráfico de Intervalos com o plot de médias e intervalos de confiança (95%) para os tratamentos de 20°C e 28°C..... 36

GRÁFICO 3. Gráfico de Intervalos com o plot de médias e intervalos de confiança (95%) para os tratamentos de 20°C e a 25°C..... 37

RESUMO GERAL

O método tradicional de detecção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) mede as diferenças nas concentrações de oxigênio dissolvido (OD) antes e depois de um período de 5 dias de incubação, à uma temperatura constante de 20°C. Apesar de extremamente tradicional e aceito na comunidade científica, o método (DBO₅₂₀) apresenta grandes dificuldades experimentais, sendo a maior delas o tempo necessário para obtenção dos resultados (5 dias), dificultando de forma expressiva o monitoramento ambiental. A quantificação da DBO é de extrema importância para muitas empresas, laboratórios de pesquisa e órgãos ambientais, que comumente encontram-se em situações emergenciais (como acidentes ambientais as degradações naturais do ambiente) que requerem tomadas de decisões operacionais rápidas e eficazes em busca da diminuição de possíveis danos ao ambiente; tornando necessária a obtenção de resultados em períodos de tempo menores do que os cinco dias estipulados pela metodologia tradicional. Dessa forma, esta dissertação divide-se em dois capítulos que buscam alternativas para a realização da análise, reduzindo o tempo estipulado para completar o experimento. O primeiro capítulo revisa trabalhos científicos das mais diversas áreas de ensino que foram desenvolvidos buscando à redução do tempo de análise. Após uma extensa revisão bibliográfica, observou-se um aumento constante no desenvolvimento de métodos e tecnologias sustentáveis para estimar a DBO. As diversas metodologias e tecnologias disponíveis, como os biosensores, já fornecem alternativas para reduzir o tempo de análise e realizar o monitoramento ambiental em tempo real ou reduzido, acrescentando vantagens exclusivas aos novos métodos. A partir do segundo capítulo desenvolve-se um experimento que avalia diferentes cenários para a utilização do método, considerando à elevação da temperatura de acordo com a localização geográfica de realização do teste, reduzindo o período de incubação das amostras. Dessa forma, o trabalho estudou o efeito da temperatura no tempo de determinação da DBO, de acordo com as condições climáticas de países tropicais, nos quais o Brasil insere-se. Os resultados demonstraram que o aumento da temperatura diminui o período de incubação para 3 dias e produz resultados semelhantes aos da metodologia tradicional para rios e riachos ($p=0,941$; $f=0,07$). De forma extremamente simples e concisa corrobora-se que o aumento de temperatura pode ser aplicado para a realização do método em ambientes tropicais, sem comprometimento dos dados. Dessa forma demonstra-se que tudo o que foi estudado, incluindo à alteração de temperaturas, à criação de biosensores e o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis aplicadas exclusivamente ao método, geraram respostas extremamente positivas. A redução do tempo de análise torna possível qualificar corpos d'água e estações de tratamento de forma mais fiel e precisa, além de fornecer dados mais frequentes, facilitando o monitoramento ambiental e fornecendo benefícios incalculáveis ao meio ambiente e a todos os consumidores da extensa cadeia que depende de recursos hídricos de qualidade.

Palavras-chave: DBO; Temperatura; Qualidade de Água; Interdisciplinaridade.

ABSTRACT

The traditional Biochemical Oxygen Demand (BOD) detection method measures differences in dissolved oxygen (DO) concentrations before and after a 5-day incubation period at a constant temperature of 20°C. Despite of being extremely traditional and accepted in the scientific community, the method (DBO₅₂₀) presents larges experimental difficulties being the biggest of them the time needed to obtain the results (5 days), significantly hindering environmental monitoring. The quantification of BOD is extremely important for many companies, research laboratories and environmental agencies, which commonly find themselves in emergency situations (such as environmental accidents or natural degradations of the environment) that require quick and effective operational decision-making in search of reduction of possible damage to the environment; making it necessary to obtain results in shorter periods of time than the five days stipulated by the traditional method. Thus, this dissertation is divided into two chapters that seek alternatives for carrying out the analysis, reducing the time stipulated to complete the experiment. The first chapter reviews scientific works from the most diverse areas of education that were developed in order to reduce the analysis time. After an extensive literature review, there has been a steady increase in the development of sustainable methods and technologies to estimate BOD. The various methodologies and technologies available, like the biosensors, already provide alternatives to reduce analysis time and perform environmental monitoring in real or reduced time, adding unique advantages to the new methods. From the second chapter on, an experiment is developed to evaluate different scenarios for using the method, considering the temperature rise, according to the geographic location of the test, reducing the incubation period of the samples. Therefore, the work studies the effect of temperature on the time needed to determine BOD, according to the climatic conditions of tropical countries, in which Brazil is located. The results show that increasing the temperature decreases the incubation period for 3 days, producing similar results to traditional methodology for rivers and streams ($p=0,941$; $f=0,07$). In a simple and concise way, it is corroborated that the temperature increase can be applied to perform the method in tropical environments, without compromising the data. Thus, it is shown that all that was studied, including the temperature change, the creation of biosensors and the development of sustainable technologies applied exclusively to the method, generated extremely positive responses. The reduction in analysis time enables the qualification of water bodies and treatment stations with more accurately and precisely, in addition to providing more frequent data, facilitating the environmental monitoring and providing incalculable benefits to the environment and all consumers in the extensive chain that depends on quality water resources.

Keywords: BOD; Temperature; Water Quality; Interdisciplinarity.

INTRODUÇÃO GERAL

Dentre todos os atuais problemas da humanidade esperando por soluções, a crescente demanda por água limpa e de qualidade tornou-se um dos temas em discussão de extrema urgência.

De acordo com o CEBDS (2020), 83% dos brasileiros têm acesso à água potável, mas não de forma regular. O relatório mostra que o sistema de coleta e tratamento de esgoto é um dos mais carentes, atendendo somente 46% da população. De acordo com Oliveira *et al.* (2015), a rede de tratamento de esgoto insuficiente aumenta os riscos de transmissão de diversas enfermidades.

Para gerir uma estação de tratamento de água e de esgoto não é necessário somente dinheiro. O Brasil precisa de mão de obra especializada, mais investimentos em pesquisas e a revisão constante de legislações, aumentando os índices de fiscalização. Porém, toda essa carência têm levado nossos recursos hídricos à uma constante perda de qualidade.

No mundo, existem diversos parâmetros-chave responsáveis por demonstrar de forma prática e objetiva a qualidade ambiental e sanitária de um sistema. A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é uma delas, sendo uma medida indireta da carga orgânica de sistemas aquáticos, considerada como um dos parâmetros principais da CONAMA 357 (2005), que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes [...]”.

Comumente, utilizam-se as concentrações de oxigênio dissolvido para se estimar o material orgânico degradado por microrganismos aeróbicos, como parte de seus processos metabólicos essenciais em um certo período (PND, 2015; EATON, 2017). Quanto mais elevadas as concentrações de material orgânico, menores os valores de oxigênio disponíveis no meio, levando à perda de biodiversidade e à degradação de ambientes aquáticos (FERREIRA *et al.*, 2017), prejudicando os usos primordiais da água. Grande parte da deterioração de sistemas de água doce é decorrente de fontes antropogênicas e as taxas de material orgânico flutuam devido a efluentes de resíduos domésticos, industriais e agropecuários (VIGIAK *et al.*, 2019).

A DBO é um parâmetro utilizado como indicador do grau de poluição orgânica na água, refletindo possíveis concentrações de poluentes orgânicos biodegradáveis (SAWYER *et al.*, 2003). Sendo assim, a tomada de decisão perante os prováveis

efeitos negativos causados ao meio ambiente é extremamente necessária. Muitas empresas e órgãos ambientais usualmente encontram-se em situações emergenciais que requerem tomadas de decisões operacionais rápidas e eficazes, tornando necessária a quantificação da demanda bioquímica de oxigênio em períodos menores do que os cinco dias estipulados pela metodologia tradicional.

Do ponto de vista de alguns pesquisadores, existem grandes entraves na metodologia. A falta de uniformização de comunidades bacterianas, as temperaturas que não se ajustam a diferentes ambientes e o próprio tempo de análise podem acarretar limitações, fornecendo variações significativas nos resultados (GUYARD, 2010).

Dessa forma, de acordo com o clássico trabalho de Van't Hoff e Arrhenius (1915) sobre reações químicas, o aumento da temperatura resulta no aumento da velocidade das reações. Consequentemente, aplicando esta teoria aos processos biológicos, o aumento da temperatura promoveria o aumento da atividade enzimática dos microrganismos autóctones, aumentando exponencialmente as taxas de crescimento e de consumo do oxigênio, reduzindo o tempo final da reação.

O oxigênio é um dos gases dissolvidos em água mais importantes, por apresentar um papel fundamental nos processos respiratórios de diversos organismos (TUNDISI, 2008), mantendo todos os processos metabólicos necessários para o pleno desenvolvimento dos organismos estabilizados (NÓBREGA, 2014). As baixas concentrações dessa substância decorrentes de fontes difusas e pontuais de poluição podem levar à perda de biodiversidade e à degradação de ambientes aquáticos (FERREIRA *et al.*, 2017), afetando não somente o meio ambiente, mas a sociedade dependente dos diversos usos da água como um todo.

Ao esmiuçar o método e criar alternativas para otimizá-lo, soluciona-se problemas relacionados principalmente ao diagnóstico da qualidade da água, facilitando e encurtando o tempo necessário para a tomada de decisão. Ao encurtar o tempo, mitigar os possíveis problemas relacionados torna-se menos custoso, tanto para empresas, como para os futuros consumidores de água, de forma a diminuir possíveis impactos ambientais e socioeconômicos.

A dissertação divide-se em dois capítulos que buscam alternativas aplicáveis para a realização da DBO, reduzindo o tempo necessário para completar o experimento. O primeiro, aponta trabalhos científicos das mais diversas áreas de ensino que foram desenvolvidos baseados na premissa da redução do tempo de

análise, com a conseguinte proposta de métodos sustentáveis, baratos e com baixa necessidade de manutenção, como os biossensores específicos para DBO.

No segundo capítulo são avaliados diferentes cenários para a utilização do método, considerando a elevação da temperatura de acordo com a localização geográfica, a estação do ano e o clima base da região, reduzindo o período de incubação das alíquotas. Dessa forma, este estudo busca estudar o efeito da temperatura no tempo de determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio, de acordo com as condições climáticas de países tropicais.

CAPÍTULO 1

Preparado e publicado de acordo com as normas da Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais - ISSN 2179-6858.

Aspectos Históricos da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e métodos alternativos com redução no tempo de análise.

RESUMO: No método tradicional de detecção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) mede-se a diferença na concentração de oxigênio dissolvido (OD) antes e depois de um período de 5 dias de incubação a uma temperatura constante de 20°C. O método é consideravelmente demorado e não permite tomada de decisões rápidas na remediação de possíveis eventos ambientais em um curto período de tempo. Esta revisão aponta trabalhos das mais diversas áreas de ensino que foram desenvolvidos baseados na premissa da redução do tempo de análise com a proposta de apresentar métodos sustentáveis, baratos e com baixa necessidade de manutenção. Essas novas iniciativas podem contribuir na busca por métodos inovadores e biosustentáveis, como os atuais biossensores. A constante busca por melhorias do método envolvendo a colaboração de vários pesquisadores com áreas de atuação completamente diferentes, com contribuições extremamente importantes para um objetivo comum, demonstram na prática a importância da interdisciplinaridade na pesquisa acadêmica. Para a DBO, a busca por fontes acerca de novos métodos, tecnologias sustentáveis e de fácil aplicabilidade foi elevada. As diversas metodologias disponíveis fornecem alternativas para a redução do tempo de análise e para o monitoramento ambiental em tempo real ou reduzido.

Palavras-chave: DBO; Interdisciplinaridade; Biossensores; Sustentabilidade, Tratamento de Água.

Historical and Methodological Aspects of Biochemical Oxygen Demand (BOD) and alternative methods with reduced analysis time.

ABSTRACT: In the traditional method of detecting Biochemical Oxygen Demand (BOD), the difference in the concentration of dissolved oxygen (DO) is measured before and after a period of 5 days of incubation at a constant temperature of 20°C. The method is considerably time-consuming and does not allow making quick decisions on remediation of possible environmental events in a short period of time. This review shows works from various areas of teaching that have been developed based on the premise of reducing the analysis time with the proposal to provide sustainable methods, inexpensive and with low maintenance. These new initiatives can contribute to the search for innovative and biosustainable methods, such as the current biosensors. The constant search for improvements in the method involving the collaboration of several researchers with completely different areas of expertise, with extremely important contributions to a common goal, demonstrate in practice the importance of interdisciplinarity in academic research. For the BOD, the search for sources about new methods, sustainable technologies and easily applied was high. The various methods available provide alternatives to reduce the analysis time and for environmental monitoring in real-time or reduced.

Keywords: BOD; Interdisciplinarity; Biosensors; Sustainability, Water Treatment.

INTRODUÇÃO

Existem diversos parâmetros-chave responsáveis por demonstrar de forma prática e objetiva a qualidade de um sistema. A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é uma delas, tratando-se de uma medida indireta da carga orgânica de sistemas aquáticos, considerada como um dos parâmetros principais da legislação vigente brasileira, a Resolução n. 357 - CONAMA (2005).

A DBO utiliza as concentrações de oxigênio dissolvido para estimar o material orgânico degradado por microrganismos aeróbicos, como parte de seus processos metabólicos essenciais em um certo período (PND, 2015; EATON, 2017). A análise indica a quantidade de compostos orgânicos biodegradáveis presentes na água, sendo utilizada principalmente para quantificar o grau de contaminação orgânica presente em sistemas hídricos e estações de tratamentos (DI LOREZO, 2016). Quanto mais elevadas as concentrações de material orgânico, menores os valores de oxigênio disponíveis ao meio, levando à perda de biodiversidade e à degradação de ambientes aquáticos (FERREIRA *et al.*, 2017), prejudicando os usos primordiais da água.

De acordo com Guo e Liu (2020), a técnica é demorada, deixando de exibir resultados em tempo real. Muitas empresas e órgãos ambientais frequentemente encontram-se em situações emergenciais que requerem tomadas de decisões operacionais rápidas e eficazes, tornando necessária a quantificação da Demanda Bioquímica de Oxigênio em períodos menores que os cinco dias estipulados pela metodologia tradicional (ISO 5815-1: 2019).

Em situações práticas, a estimativa da DBO com feedbacks rápidos é extremamente importante para gerenciar estações de tratamento (GUO *et al.*, 2021) e evitar possíveis contaminações ambientais. Durante anos, pesquisadores buscaram encontrar diferentes possibilidades para a realização do método em períodos reduzidos, aumentando a frequência de análises e evitando o uso de compostos insustentáveis ao ambiente. Soluções abrangentes foram encontradas em conceitos interdisciplinares que, de acordo com Moraes (2005), foram introduzidos na pesquisa científica em meados da década de 90. A autora ressalta que a interdisciplinaridade permite tratar de forma conjunta assuntos comuns às diversas áreas de conhecimento, “mediante o estudo de temas comuns, estabelece-se um diálogo entre disciplinas, embora sempre considerando a especificidade de cada área.” (MORAES, 2005, pp. 38-54).

Dessa forma, este artigo revisão comenta à história por trás do desenvolvimento desta antiga metodologia e levanta diversas possibilidades para a realização da análise em períodos de tempo reduzido, introduzindo e comentando métodos que foram trabalhados de forma interdisciplinar.

Aspectos Históricos da Demanda Bioquímica de Oxigênio

O rio Tâmesa, o mais longo da Inglaterra, percorre um total de 346 km desde as colinas de Costwold até sua foz, no estuário do Mar do Norte. Ao longo dos séculos o rio fora cercado pela Grande Londres, evoluindo com grandes ocupações espaciais de forma densa e desordenada (OLIVEIRA, 2015).

A combinação de grandes aglomerações, formas de uso do solo e infraestruturas precárias levaram a um declínio acentuado da qualidade da água desse rio e seus afluentes, agravando a situação precária da saúde pública (OLIVEIRA, 2015).

Em 1898, a Comissão Real do Reino Unido elaborou uma série de relatórios sobre a situação sanitária do país, contudo, diagnósticos, propostas de ação de longo prazo e a regulação do lançamento de efluentes industriais e domésticos deu-se somente entre 1951 e 1964 (OLIVEIRA, 2015; ATTRILL, 1998).

Os relatórios e estudos acarretaram efeitos positivos na qualidade da água, com uma série de altos e baixos ao passar dos anos (OLIVEIRA, 2015), porém a continuidade dos estudos levou ao surgimento de métodos clássicos de pesquisa, como a Demanda Bioquímica de Oxigênio. Em 1909, pesquisadores concluíram que o período de autodepuração de corpos d'água e efluentes completavam-se em um prazo médio de cinco dias, em um ambiente com uma temperatura média de 20º C. O valor encontrado a 20º C e o tempo expresso em dias foi determinado por Phelps (1909), pela reação do azul de metileno para o esgoto de Boston e, posteriormente, pela determinação indireta da demanda bioquímica de oxigênio do esgoto de Washington. Resultados similares também foram computados com os resultados obtidos por Lederer (1914), em Chicago, na comparação dos métodos de diluição e incubação de salitros, usando azul de metileno.

Dessa forma, a DBO foi selecionada como um indicador concreto de poluição orgânica. Ao longo das décadas diversas metodologias foram descritas e replicadas em inúmeros livros e normas, seguindo o padrão proposto pela Comissão Real no início do século XX.

METODOLOGIA

Atualmente, a DBO é determinada pelo método descrito nas Normas Internacionais ISO 5815-1: 2019. O valor encontrado é expresso em miligramas de oxigênio consumido por litro de amostra durante cinco dias de incubação a 20 °C.

Primordialmente, o processo é governado pelas populações de microrganismos e pela temperatura (SABESP, 1997), sendo a temperatura uma característica física que afeta todos os processos metabólicos dos microrganismos (PRICE e SOWERS, 2004). O grande número de substâncias

nocivas encontradas no ambiente (de origem natural e antropogênica, orgânicas e inorgânicas), moveram pesquisadores na busca por alternativas mais rápidas e eficazes para avaliar a qualidade dos ambientes naturais e artificiais, como estações de tratamento de efluentes.

A base de dados utilizada para a realização desta revisão foi o *Science Direct*. Ao todo cinco palavras-chaves nortearam a busca: *Biochemical oxygen demand; Assessment methods; Biosensor; Microbial fuel cell biosensors; Water Treatment*. Além disso, em posse dos artigos disponibilizados pela plataforma, observou-se os estudos citados e correlacionados. Após prévia leitura, foram escolhidos estudos que prezassem pelo critério de busca pela redução do tempo de análise.

Os métodos escolhidos para contextualização variam entre dois principais critérios: o oxigênio consumido e a atividade celular de diferentes microrganismos.

Além disso, todos os estudos citados se baseiam no princípio de obter resultados rapidamente, melhorando o potencial do monitoramento ambiental ao elevar a frequência de análises. (JOUANNEAU, 2014)

Biossensores

Os biossensores são dispositivos utilizados para aferir de forma quantitativa ou qualitativa alvos de interesse, empregando elementos de reconhecimento biológico alocados com um sistema de transdução (ANTONACCI e SCOGNAMIGLIO, 2020). Todo biossensor é composto por três componentes: o elemento biológico imobilizado, responsável por detectar diferentes compostos e gerar um sinal de resposta; o sinal gerado pelo elemento biológico é transformado em uma resposta detectável pelo segundo componente: o transdutor; o terceiro componente é o detector que amplifica e processa os sinais antes de exibi-los (PARKHEY e MOHAN, 2019).

Essa técnica é excessivamente atrativa por unir áreas interdisciplinares, para qual os limites nítidos não podem ser facilmente mensurados (COULET, 1991). Com o passar dos anos, inúmeros biossensores foram desenvolvidos para auxiliar na detecção de metais pesados, tóxicos orgânicos, tóxicos inorgânicos e microrganismos patogênicos (EJEIAN *et al.*, 2018).

A partir da década de setenta foram desenvolvidos detectores extremamente sensíveis às substâncias orgânicas e inorgânicas (KARUBE *et al.*, 1977a, b.; HIKUMA *et al.*, 1979; HIKUMA e YASUDA, 1988; KULYS e KADZIAUSKIENE, 1980; RIEDEL e COLS, 1988, STRAND e CARLSON, 1984, KIM e KWON, 1999, LEHMANN *et al.*, 1999), cujos sensores estimam a DBO com bactérias imobilizadas em contato direto com o eletrodo de medida.

Diferentes modos de imobilização de microrganismos nos sensores foram utilizados, porém, poucos preconizavam materiais inertes e estáveis no meio ambiente. As mudanças começaram a partir

da utilização de hidrogéis biodegradáveis como forma de imobilizar os microrganismos. Hidrogéis de alginato (KUMLANGHAN *et al.*, 2008) e agarose (RAUD *et al.*, 2012; RAUD e KIKAS, 2013) são de fácil manuseio, mas insuficientes quanto à estabilidade mecânica (CHAN *et al.*, 1999). O solegel (KWOK *et al.*, 2005; LIU *et al.*, 2009; LIU *et al.*, 2011) é um polímero mais complexo, porém mais resistente mecanicamente, descrito como quimicamente e fotoquimicamente inerte, além de termicamente estável. Segundo os autores, por meio dessas técnicas consegue-se estimar a DBO em até 90 minutos. Estes resultados comparados ao método atualmente utilizado acrescentam um avanço significativo quanto à agilidade do teste. Ao comprovar sua eficiência e demonstrar redução de custos, atrai-se o interesse de implantação de tecnologias semelhantes no mercado.

Suportes sólidos também são considerados como uma opção sustentável para imobilizar microrganismos, a partir da adsorção das células a esses componentes. Fibras de vidro e náilon foram utilizadas por Arlyapov *et al.* (2012); Rastogi *et al.* (2003a); Rastogi *et al.* (2003b). Compostos sólidos podem ser uma alternativa sustentável para a imobilização de microrganismos e a prévia determinação da DBO (em até 22 minutos), ao utilizarem matéria prima proveniente da reciclagem para o desenvolvimento do material. Além disso, os próprios custos de produção podem diminuir significativamente, acrescentando ainda mais vantagens ao processo.

Por fim, o sistema desenvolvido por Liu *et al.* (2012) é baseado em um biofilme microbiano cultivado na superfície interna de um simples tubo de vidro. O princípio difere, uma vez que os microrganismos não entram em contato direto com a sonda de oxigênio. A alíquota circula em fluxo contínuo dentro do tubo de vidro e o consumo de oxigênio é medido na saída do tubo, que contém o biofilme microbiano, reduzindo o tempo de análise para no máximo 8 minutos. Esta nova técnica, além de fornecer uma redução significativa no tempo de análise, trabalha com processos de simples desenvolvimento em laboratório, levando a uma diminuição de custos e aumentando o potencial de implantação no mercado.

Contudo, segundo Jouanneau (2014), em mais de 30% dos estudos citados, os resultados são irrelevantes para o monitoramento ambiental por não apresentarem dados validados. O autor continua e comenta que em 60% dos casos, os biossensores utilizam apenas uma cepa microbiana, contrariando o método de referência (sementes com combinações de cepas microbianas para estimar a DBO de alíquotas com altas concentrações de material orgânico). Além de todos esses pequenos entraves nas pesquisas, a estabilidade operacional é baixa e a faixa de medição não consegue englobar grandes concentrações de material orgânico (MODIN e WILÉN, 2012).

Apesar dos primeiros estudos não fornecerem resultados excelentes, a forma interdisciplinar de trabalho e os resultados preliminares podem ser considerados como um grande avanço para a pesquisa acadêmica. Ao unir pesquisadores das mais diversas áreas de ensino, o trabalho torna-se mais

diverso e completo. Todos os resultados contribuem de forma significativa para o desenvolvimento de novas tecnologias, de forma ilimitada.

Biossensores Bioluminescentes

As técnicas rápidas, econômicas, simples e em tempo real para o monitoramento de ambientes impactados são possíveis graças aos métodos de detecção de luminescência, fluorescência, fosforescência e quimioluminescência. A fluorescência têm sido amplamente utilizada ao longo dos anos na realização de análises ambientais em tempo real. (WANG *et al.*, 2009)

De acordo com Valeur (2002), a fluorescência ocorre quando radiação eletromagnética incide em uma molécula. Segundo o autor, ao absorver um fóton, determinada molécula é levada a um estado de excitação eletrônica, transitando um elétron de seu estado fundamental para um orbital não ocupado. Essa molécula pode voltar ao seu estado fundamental com a emissão de fluorescência, ou seja, ao emitir fótons.

Os olhos humanos só conseguem detectar a luz visível, em um comprimento de onda entre 700 nm e 400 nm, porém, formas de radiação como a ultravioleta (abaixo dos 400 nm) também são emitidas por diferentes substâncias (ATKINS e JONES, 2012). Polímeros, superfícies sólidas, soluções surfactantes, membranas biológicas, proteínas, ácidos nucleicos e células vivas são atualmente utilizadas como sondas e parâmetros para a investigação de sistemas físico-químicos, bioquímicos e biológicos (VALEUR, 2002). As técnicas são de alta sensibilidade, ampla faixa de medição, rapidez e facilidade (WANG *et al.*, 2009).

No campo da Limnologia e da Qualidade de Água diversas análises já foram aprimoradas graças às técnicas de fluorescência (WANG, 2009). A sensibilidade, seletividade e robustez requeridas para os bioensaios levaram ao desenvolvimento de consórcios de microrganismos isolados, geneticamente modificados, testados e desenvolvidos especificamente para atender às necessidades de condições adversas (GIROTTI *et al.*, 2009).

Partindo desses princípios, a década de noventa originaram estudos com microrganismos bioluminescentes na busca por atalhos para a detecção da DBO. Com a utilização de bactérias marinhas com luminescência natural (*Photobacterium phosphoreum*) immobilizados em diferentes substratos, Hyun *et al.* (1993) criaram um biossensor de alta sensibilidade, obtendo resultados em torno de 15 minutos. Segundo Lei, Chen e Mulchandani (2006), é uma técnica com alta sensibilidade porque permite detectar concentrações muito baixas do analito de interesse, devido aos princípios instrumentais envolvidos: a intensidade da emissão de fluorescência é diretamente proporcional à concentração.

Nos anos dois mil, Sakaguchi *et al.* (2003, 2007) desenvolveram novos sistemas de detecção/medição rápida de DBO utilizando biossensores baseados em recombinantes luminescentes de células de *Escherichia coli*, com posterior introdução dos genes *lux A-E* da *Vibrio fischeri* (sob o controle do promotor *tac*, plasmídeo p22luxk). De acordo com os autores, a DBO é estimada pela intensidade de emissão da bioluminescência, sendo esta correlacionada com a energia produzida pela utilização de uma fonte de carbono em condições aeróbicas. Por esse método pôde estimar-se a DBO em 2 horas. Além disso, destacaram que se as técnicas aplicadas em seu estudo passassem por processos de micro fabricação, imobilizando e agrupando células em áreas específicas de uma placa para a detecção da DBO, seria possível miniaturizar o sistema e torná-lo portátil. Dessa forma, a aplicação do método poderia ocorrer em tempo real e no campo, aumentando a praticidade do processo (SAKAGUCHI *et al.*, 2003).

A *Photobacterium phosphoreum* (consórcio naturalmente bioluminescente) foi utilizada para desenvolvimento de um método com os mesmos princípios do anterior, apresentando resultados mais robustos (SAKAGUCHI *et al.*, 2007). O tempo de resposta para a detecção da DBO foi reduzido em mais de 80%, atingindo 25 minutos. O sistema não é de alto custo e pode ser facilmente utilizado no campo e em locais de tratamento de águas residuais, além de detectar as mais diferentes concentrações. Segundo os autores, o sistema poderia ser uma poderosa ferramenta para monitorar compostos específicos ao utilizar um gene promotor e genes recombinantes de consórcios luminescentes.

Além dos estudos citados, Kwok *et al.*, (2005) voltaram a trabalhar com o princípio de microrganismos bioluminescentes para estimar a DBO. Os autores criaram um sensor microbiano em miniatura especialmente para estimar as concentrações da DBO em águas residuais. Com uma cultura de microrganismos capazes de assimilar um amplo espectro de poluentes orgânicos, após sua imobilização na ponta de um sensor sensível ao oxigênio, foi possível estimar as concentrações em 20 minutos. As correlações com o método tradicional são altas, acima de 0,9, demonstrando a efetividade do pequeno “atalho”.

No decorrer do tempo, os grandes avanços descritos por Sakaguchi *et al.* (2007) e Kwok *et al.* (2005) não foram replicados em campo e em laboratório. Na maioria dos estudos a bioluminescência foi abordada como um método viável para avaliação de microrganismos patogênicos e substâncias tóxicas em corpos d'água, principalmente relacionadas ao controle de efluentes e à eficiência das estações de tratamento (AXELROD *et al.*, 2016; PHILP *et al.*, 2003).

Contudo, para a DBO, uma das análises críticas chave tratando-se do diagnóstico da qualidade de água, o processo de implementação de novos métodos tem se mostrado lento e conturbado. Segundo Ejeian *et al.*, (2018) as espécies de *Photobacterium phosphoreum* e *Vibrio fischeri* já são utilizadas e comercializados em consórcios para a detecção de componentes tóxicos. Porém, os sensores desenvolvidos especificamente para DBO com as mesmas espécies ainda não foram

amplamente disseminados. De acordo com Qi *et al.*, (2021), essas espécies apresentam limitações significantes, embora possam ser cultivadas e enriquecidas em grandes quantidades, elas não apresentam a capacidade de utilização de diferentes tipos de matéria orgânica, necessitando de compostos específicos em suas vias metabólicas.

Células de combustível microbiano

As células de combustível microbiano ou *microbial fuel cells* (MFCs) são baseadas na capacidade de oxidação que uma gama de microrganismos apresenta naturalmente (MODIN e WILÉN, 2012).

“A célula de combustível microbiana é um dispositivo eletroquímico no qual um substrato é oxidado no compartimento anódico por bactérias que utilizam os elétrons, provenientes da oxidação no seu metabolismo e em seguida o transferem para o ânodo. Os elétrons gerados movem-se através de um condutor externo até o cátodo onde ocorre redução do composto presente no compartimento catódico, geralmente oxigênio, gerando corrente elétrica.” (LEHNEN, 2014, p. 3) (FIGURA 1).

De acordo com Jiang *et al.*, (2018) os MFCs utilizam microrganismos como sondas, onde a presença de um composto ou uma mudança nos níveis dos analitos de interesse afeta os processos de transferência de elétrons dos microrganismos, criando uma corrente elétrica. Esse fluxo de elétrons gera uma corrente proporcional à atividade de biodegradação microbiana, permitindo que a Demanda Bioquímica de Oxigênio seja estimada (JOUANNEAU, 2014).

Os MFCs foram desenvolvidos especialmente para fornecer energia extra aos microrganismos, porém suas vantagens como biossensores de DBO incluem o tempo de análise mais curto, o intervalo de análise mais amplo e uma manutenção de baixo custo. (PARKHEY e MOHAN, 2019).

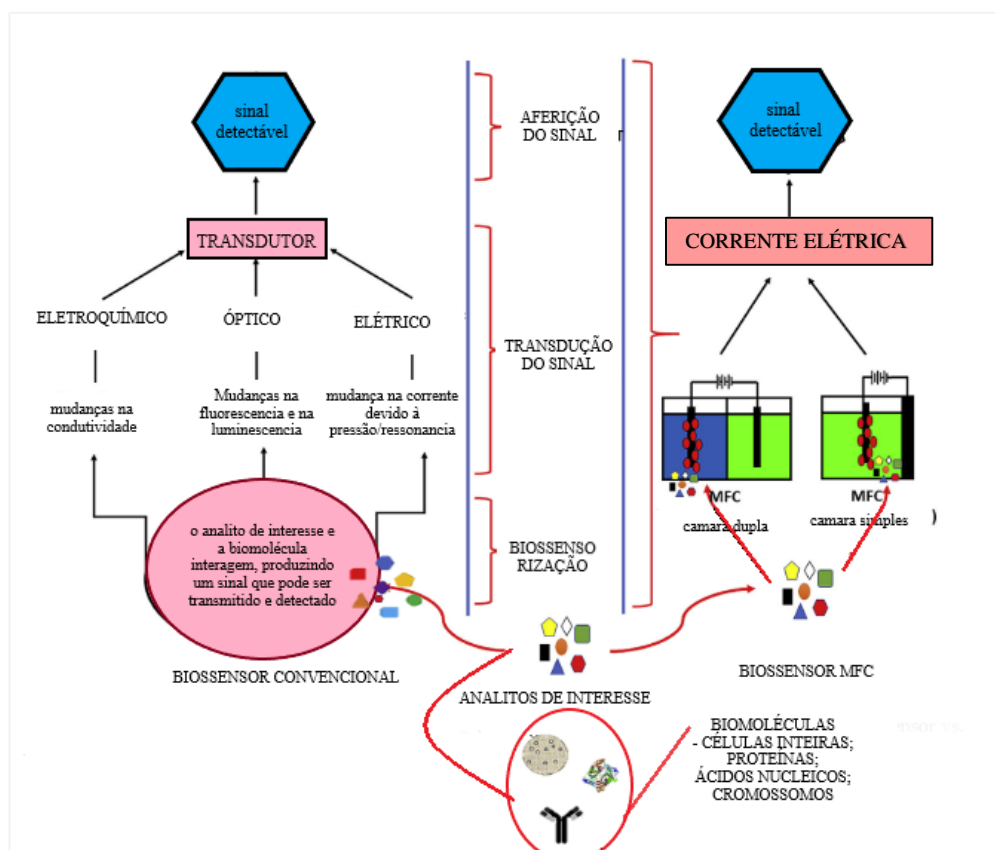


Figura 1. Esquema produzido com base no esquema desenvolvido por (PARKHEY e MOHAN, 2019), detalhando o funcionamento de um biossensor MFC comparado a um biossensor tradicional.

Esse método foi testado e aplicado por diversos autores no começo dos anos dois mil (GRZEBYK e POZNIAK, 2005; RABAEY e VERSTRAETE, 2005; KIM *et al.*, 2003; CHANG *et al.*, 2004, 2005; JANG *et al.*, 2004; KUMLANGHAN *et al.*, 2007; DI LORENZO *et al.*, 2009; MOON *et al.*, 2004; PEIXOTO *et al.*, 2011; MIN e ANGELIDAKI, 2008), porém, poucos foram aplicados em ambientes reais, trabalhando-se somente com padrões de laboratório. Em campo, a variabilidade natural das alíquotas deve ser considerada, e, ao trabalhar somente com padrões conhecidos, a aplicabilidade do futuro sensor é comprometida. Além disso, segundo Di Lorenzo (2016), para os primeiros MFCs reportados usavam-se mediadores com problemas de consistência e possível toxicidade. Sendo assim, considerados inadequados para aplicações ambientais.

Kim *et al.* (2003) produziram um MFC sem mediadores e verificaram uma ótima correlação com o método tradicional DBO5 (ISO 5815-1: 2019) ($r^2=0,999$). Os testes foram realizados em apenas três amostras de água residual, porém os autores relataram a primeira validação em campo de um sensor MFC, demonstrando sua aplicação prática pela primeira vez. O sensor foi operado por um período de 1 ano com altíssima precisão e boa estabilidade. Apesar de trabalharem com um n amostral pequeno, focaram na aplicação prática e na reprodutibilidade dos resultados, conseguindo progressos animadores.

Segundo Modin e Wilén (2012), os sensores desenvolvidos permitem estimar a DBO em tempo reduzido, no entanto, não possibilitam estimar-se com precisão cargas orgânicas elevadas. Sendo assim, estes sensores tornam-se deficientes ao serem aplicados nos mais diversos meios, como efluentes e afluentes contaminados. Para solucionar esse problema, seguindo os mesmos princípios aplicados nos procedimentos anteriores, os autores Modin e Wilén (2012) adicionaram pequenas mudanças aos seus experimentos: uma voltagem externa ao biossensor e um substrato de acetato, aumentando a capacidade e a taxa de oxidação biológica dos microrganismos. Verificaram um tempo de resposta entre 5 e 20 horas, mais longo que para a maioria dos biossensores propostos, tempo considerável se comparado com as demais propostas. Porém, o diferencial do proposto por esses autores é a ampla faixa de medição das concentrações de DBO. Com a adição de maiores concentrações de substrato de acetato, o tempo até a oxidação total aumenta (20h), mas compensa ao permitir aferir altas concentrações de carga orgânica, variando de 32 a 1280 mg/L.

Atualmente, a gama de MFCs propostos para estimar a DBO é extensa (PARKHEY e MOHAN, 2019). Os pesquisadores conseguiram validar seus resultados em campo, fornecendo dados mais robustos e confiáveis.

Testes de campo e de laboratório sugerem que esses sensores são promissores para substituir a metodologia tradicional, pois oferecem aferições rápidas e on-line (JIANG *et al.*, 2018), traduzindo as mudanças na concentração de matéria orgânica instantaneamente em sinais elétricos (KIM, *et al.*, 2003).

Além disso, colocar os MFCs em condições de hibernação é um método de manutenção simples e conveniente, que não afeta os resultados da DBO e prolonga a durabilidade do sensor (GUO *et al.*, 2021). Como os biossensores de MFCs já requerem menos manutenção, comparado a outros biossensores comuns, isso se traduz em ganho para preservação do meio ambiente.

Novas tecnologias

Os primeiros biossensores desenvolvidos datam da década de 70 (KARUBE *et al.*, 1977a, b.; HIKUMA *et al.*, 1979). A técnica é popular e amplamente utilizada pela comunidade científica para qualificar ambientes aquáticos naturais e efluentes (EJEIAN *et al.*, 2018), mas sensores exclusivos para análise de DBO são escassos no mercado.

O primeiro biossensor de DBO comercializado foi lançado pela *Nisshin Denki (Electric) Co. Ltd.* em 1983 (IRANPOUR *et al.*, 1997). Atualmente, no mercado a tecnologia de MFCs foi apresentado pela *Korbi Co., Ltd.* (JOUANNEAU *et al.*, 2014). Recentemente, um biossensor baseado em MFCs sem mediadores foi desenvolvido para monitorar material orgânico biodegradável em águas residuais,

apresentando grande potencial para futuramente ser usado como um biossensor comercial para aferir a DBO (ANAM *et al.*, 2017).

Existem vários biossensores no mercado baseados em técnicas fluorescentes (EJEIAN *et al.*, 2018) e, apesar dos biossensores bioluminescentes citados especificamente para a DBO (SAKAGUCHI *et al.*, 2003, 2007; KWOK *et al.*, 2005) apresentarem um tempo de resposta excelente, desvantagens ainda são constatadas. As espécies disponíveis apresentam limitações metabólicas significantes, não formam biofilmes e não são capazes de fornecer um monitoramento online, em tempo real (QI *et al.*, 2021).

Para suprir essas desvantagens, os pesquisadores entregaram uma nova tecnologia baseada em MFCs (células de combustível microbiano) (GUO e LIU, 2020; QI *et al.*, 2021; GAO *et al.*, 2020). Em um biossensor, bactérias eletroativas (EAB) fixadas no compartimento do ânodo são capazes de oxidar matéria orgânica, liberando elétrons, transferindo-os para o ânodo e, posteriormente, para o cátodo através do circuito MFC (GUO e LIU, 2020). A transferência de elétrons no circuito pode produzir sinais elétricos que serão coletados com registradores de dados e convertidos em concentração de matéria orgânica (GUO e LIU, 2020; QI *et al.*, 2021).

De acordo com QI *et al.* (2021), esses biossensores usam células inteiras como parte do sensor. Apesar da tecnologia ser baseada em princípios semelhantes aos MFCs, os EABs são biossensores de alerta precoce para a qualidade de sistemas hídricos. Como são sensíveis, os biofilmes podem servir como biocátodos e bioânodos (QI *et al.*, 2021). Além disso, quando o material orgânico entra em contato com o biofilme, o ânodo pode parar de produzir elétrons, interrompendo a corrente elétrica e fornecendo um alerta instantâneo da presença de possíveis poluentes no ambiente. Segundo esses mesmos autores, os EABs oferecem pouca seletividade, por reagirem com qualquer composto, mas permitem detectar de forma eficiente a presença de poluição.

A determinação da DBO5 (ISO 5815-1: 2019) ao longo dos 5 dias de incubação pode indicar de forma parcial as concentrações de matéria orgânica, causando possíveis desvios dos valores reais (GUO *et al.*, 2021). Porém, ao conhecer a natureza dos microrganismos envolvidos no processo e utilizá-los como um meio para obter maior precisão, os pesquisadores tornam a análise mais simples e a padronizam, permitindo a comparação dos resultados de diferentes ambientes de forma eficaz.

Segundo Jouanneau (2019) a estimativa rápida da DBO é essencialmente importante para a gestão da estação de tratamento de águas e de efluentes (ETAs, ETEs), uma vez que o tempo de retenção da água em estações de tratamento é de cerca de 3 dias.

Todos esses biossensores podem dispensar o uso de técnicos ou especialistas, dispensando ainda o uso de reagentes analíticos. Muitas empresas e laboratórios não fazem o controle de descartes correto, dessa forma, evitar o uso de reagentes agrega muito ao processo e ao meio ambiente.

Segundo Silva (2011), os biossensores podem ser confeccionados para uso contínuo, em linha no processo, sem descarte.

Conclusões e as vantagens do uso da interdisciplinaridade na pesquisa científica

Os grandes entraves encontrados na metodologia tradicional (ISO 5815-1: 2019) envolvem procedimentos complicados, que requerem experiência e habilidade substancial em trabalhos técnicos, além de um longo período de espera dos resultados (KWOK *et al.*, 2005), o que dificulta a tomada de decisão, prejudicando os futuros usos das águas.

A implantação de todas as tecnologias citadas, incluindo as que não fornecem monitoramento online em tempo real (SAKAGUCHI *et al.*, 2003, 2007; KWOK *et al.*, 2005), já são grandes conquistas, uma vez que de forma indireta contribuem para a manutenção de um ambiente saudável. Ao conseguir resultados em tempo recorde, mitigando possíveis problemas gerados pelas diferentes formas de poluição, beneficia-se toda uma extensa cadeia dependente dos recursos hídricos.

A busca por métodos inovadores e biossustentáveis, como os atuais biossensores, envolveu a colaboração de vários pesquisadores, de diferentes áreas de atuação, demonstrando na prática a importância e a necessidade da transdisciplinaridade e da interdisciplinaridade na pesquisa acadêmica.

O trabalho em conjunto e sem limitações de ideias proporciona resultados extremamente satisfatórios, aprimorando a gama de conhecimentos e conteúdos adquiridos, contribuindo diretamente com inovações tecnológicas na busca por um ambiente equilibrado e sustentável.

Para a Demanda Bioquímica de Oxigênio, a busca por *links* entre novos métodos, tecnologias sustentáveis e de fácil aplicabilidade foi consideravelmente numerosa. As diversas metodologias disponíveis fornecem alternativas para a redução do tempo de análise da DBO e para o monitoramento ambiental em tempo real ou em tempo reduzido.

Ao modificar uma metodologia tão cheia de entraves, principalmente relacionados ao tempo, pesquisadores colaboram com o funcionamento do sistema, proporcionando um tratamento eficaz e de qualidade em um corpo hídrico ou em uma estação de tratamento, contribuindo para a manutenção de um ambiente saudável.

A forma transdisciplinar de trabalho, apesar de disfarçada em grande parte dos estudos, contribui de forma notável na formação de mão de obra especializada. O sujeito torna-se transdisciplinar ao conseguir trabalhar em equipe, identificando seu papel em um todo e contribuindo com o aprimoramento da ciência, sem fronteiras.

Ao diminuir os efeitos negativos causados à biodiversidade, contribuir para o uso otimizado de investimentos necessários para tratar um ambiente impactado e fornecer diversos benefícios indiretos

para instituições, organizações, empresas, estações de tratamento e consumidores finais, a junção de saberes necessárias para estabelecer uma nova metodologia no mercado vence e cumpre o seu papel.

REFERENCIAS

ANTONACCI, A.; SCOGNAMIGLIO, V.. Biotechnological Advances in the Design of Algae-Based Biosensors. **Trends in Biotechnology**, v. 38, n. 3, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2019.10.005>.

ANAM, M.; YOUSAF, S.; SHARAFAT, I.; ZAFAR, Z.; AYAZ, K.; ALI, N.. Comparing natural and artificially designed bacterial consortia as biosensing elements for rapid non-specific detection of organic pollutant through microbial fuel cell. **Int J Electrochem Sci**, v. 12, p. 2836-2851, 2017. <https://doi.org/10.20964/2017.04.49>.

ARLYAPOV, V.; KAMANIN, S.; PONAMOREVA, O.; RESHETILOV, A.. Biosensor analyzer for BOD index express control on the basis of the yeast microorganisms *Candida maltosa*, *Candida blankii*, and *Debaryomyces hansenii*. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 50, n. 4-5, p. 215-220, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2012.01.002>.

ATTRILL, M. J.. **A rehabilitated estuarine ecosystem: The environment and ecology of the Thames estuary**. Great Britain: Kluwer Academic Publishers, 1998.

ATKINS, P. W.; JONES, L.. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

AXELROD, T.; ELTZOV, E.; MARKS, R. S.. Bioluminescent bioreporter pad biosensor for monitoring water toxicity. **Talanta**, v. 149, 290-297, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.11.067>.

BRASIL. **Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005**. Diário Oficial da União, Brasília, 2005.

CEBDS.. **Planejando o Brasil pós pandemia: Água e Saneamento**. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, 2020.

COULET, P. R.. **Biosensor Principles and Applications**. Edited by Pierre R. Coulet and Loïc J. Blum. New York: Marcel Dekker, 1991.

CHAN, C.; LEHMANN, M.; TAG, K.; LUNG, M.; KUNZE, G.; RIEDEL, K.; GRUENDIG, B.; RENNEBERG, R.. Measurement of biodegradable substances using the salt-tolerant yeast *Arxula adenivorans* for a microbial sensor immobilized with poly (carbamoyl) sulfonate (PCS) part I: construction and characterization of the microbial sensor. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 14, n. 2, p. 131-138, 1999.

CHANG, I.S., JANG, J.K., GIL, G.C., KIM, M., KIM, H.J., CHO, B.W., KIM, B.H.. Continuous determination of biochemical oxygen demand using microbial fuel cell type biosensor. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 19, n. 6, p. 607-613, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0956-5663\(03\)00272-0](https://doi.org/10.1016/S0956-5663(03)00272-0).

CHANG, I.S.; MOON, H.; JANG, J.K.; KIM, B.H.. Improvement of a microbial fuel cell performance as a BOD sensor using respiratory inhibitors. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 20, n. 9, p. 1856-1859, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2004.06.003>.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO.. **NTS 003 – DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio: Método de Ensaio**. São Paulo, 1997.

DI LORENZO, M.; CURTIS, T.P., HEAD, I.M., SCOTT, K.. A single-chamber microbial fuel cell as a biosensor for wastewaters. **Water Research**, v. 43, n. 13, p. 3145-3154, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.01.005>.

DI LORENZO, M.. Use of Microbial fuel cells in sensors, In: **Microbial Electrochemical and Fuel Cells: Fundamentals and Applications**. 1. Ed. Reino Unido: Woodhead Publishing, 2016.

DUCKLOW, H.W.; MORÁN, X. A. G.; MURRAY, A. E.. Bacteria in the Greenhouse: Marine Microbes and Climate Change. *IN*: MITCHELL, R.; GU, JI-DONG. (org). **Environmental Microbiology**. 2. ed. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2010.

EATON, A.; FRANSON, M.; ASSOCIATION, A.; ASSOCIATION, A.; FEDERATION, W.; 2017. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23 ed. Washington: American Public Health Association, 2017.

EJEIAN, F.; ETEDALI, P.; MANSOURI-TEHRANI, H, A.; SOOZANIPOUR, A.; LOW, Z, X.; ASADNIA, M.; TAHERI-KAFRANI, A.; RAZMJOU, A.. Biosensors for Wastewater Monitoring: A Review. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 118, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.07.019>.

FERREIRA, A. R. L.; SANCHES FERNANDES, L. F.; CORTES, R. M. V.; PACHECO, F. A. L.. Assessing anthropogenic impacts on riverine ecosystems using nested partial least square regression. **Science of the Total Environment**, v. 583, p. 466–477, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.106>.

GAO, Y.Y.; YIN, F.J.; MA, W. Q.; WANG, S.; LIU, Y.; LIU, H.. Rapid detection of biodegradable organic matter in polluted water with microbial fuel cell sensor: method of partial coulombic yield. **Bioelectrochemistry**, v. 133, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2020.107488>.

GIROTTI, S.; FERRI, E. N.; FUMO, M. G.; MAIOLINI, E., 2009. Monitoring of environmental pollutants by bioluminescent bacteria. **Analytica Chimica Acta**, v. 608, n. 1, p. 2–29, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.12.008>.

GUO, F.; LIU, H., 2020. Impact of heterotrophic denitrification on BOD detection of the nitrate-containing wastewater using microbial fuel cell-based biosensors. **Chem. Eng. J.**, v. 394, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125042>.

GUO, F.; YUAN, L.; HONG, L., 2021. Hibernations of Electroactive Bacteria Provide Insights into the Flexible and Robust BOD Detection Using Microbial Fuel Cell-Based Biosensors. **Science of the Total Environment**, v. 753, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142244>.

GREAT BRITAIN. ROYAL COMMISSION ON SEWAGE DISPOSAL.. **Final Report of the Commissioners Appointed to Inquire and Report What Methods of Treating And Disposing of Sewage (including Any Liquid From Any Factory Or Manufacturing Process) May Properly Be Adopted: General Summary of Conclusions And Recommendations**. London: H.M.S.O, 1915.

GRZEBYK, M., POZNIAK, G.. Microbial fuel cells (MFCs) with interpolymer cation exchange membranes. **Separat. Purif. Technol**, v. 41, n. 3, p. 321-328, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2004.04.009>.

GUYARD, C.. DBO5: un paramètre qui monte. **L' Eau, l'industrie, les nuisances**, v. 334, p. 51-58, 2010.

HIKUMA, M.; SUZUKI, H.; YASUDA, T.; KARUBE, I.; SUZUKI, S.. Amperometric estimation of BOD by using living immobilized yeasts. **Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol**, v. 8, 289-297, 1979.

HIKUMA, M.; YASUDA, T.. Microbial sensors for estimation of biochemical oxygen demand and determination of glutamate. **Methods Enzymol**, v. 137, p. 124-131, 1988.

HYUN, C.-K.; TAMIYA, E.; TAKCUCHI, T.; KARUBE, I.; INOUE, N.. A novel BOD sensor based on bacterial luminescence. **Biotechnol. Bioeng**, v. 41, p. 1107-1111, 1993.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION.. **ISO 5815-1: Water quality — Determination of biochemical oxygen demand after n days (BOD_n)**, 2019.

IRANPOUR, R.; STRAUB, B.; JUGO, T.. Real time BOD monitoring for wastewater process control. **Journal of Environmental Engineering**, v. 123, n. 2, p. 154-159, 1997.

JIANG, Y.; YANG, X.; LIANG, P.; LIU, P.; HUANG, X.. Microbial Fuel Cell Sensors for Water Quality Early Warning Systems: Fundamentals, Signal Resolution, Optimization and Future Challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 292–305, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.099>.

JANG, J. K.; PHAM, T. H.; CHANG, I. S.; KANG, K. H.; MOON, H.; CHO, K. S.; KIM, B. H.. Construction and operation of a novel mediator- and membrane-less microbial fuel cell. **Process Biochemistry**, v. 39, n. 8, p. 1007-1012, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00203-6](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00203-6).

JOUANNEAU, S.; RECOULES, L.; DURAND, M. J.; BOUKABACHE, A.; PICOT, V.; PRIMAULT, Y.; THOUAND, G.. Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD): A review. **Water Research**, v. 49, n. 1, p. 62-82, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.066>.

JOUANNEAU, S.; GRANGE, E.; DURAND, M.-J.; THOUAND, G., 2019. Rapid BOD assessment with a microbial array coupled to a neural machine learning system. **Water Research**, v. 166, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115079>.

KARUBE, I.; MATSUNAGA, T.; MITSUDA, S.; SUZUKI, S.. Microbial electrode BOD sensors. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 19, n. 10, p. 1535-1547, 1977a.

KARUBE, I.; MITSUDA, S.; MATSUNAGA, T.; SUZUKI, S..A rapid method for estimation of BOD by using immobilized microbial cells. **J. Ferment. Technol**, v. 55, p. 243-248, 1997b.

KIM, B. H., CHANG, I. S., GIL, G. C., PARK, H. S., KIM, H. J.. Novel BOD (biological oxygen demand) sensor using mediator-less microbial fuel cell. **Biotechnology Letters**, v. 25, n. 7, p. 541-545, 2003.

KIM, M. N.; KWON, H. S.. Biochemical oxygen demand sensor using *Serratia marcescens*. **Biosens. Bioelectron**, v. 14, p. 1-7, 1999.

KULYS, J.; KADZIAUSKIENE, K.. Yeast BOD sensor. **Biotechnol. Bioeng**, v. 22, 221-226, 1980.

KUMLANGHAN, A.; LIU, J.; THAVARUNGKUL, P.; KANATHARANA, P.; MATTIASSON, B.. Microbial fuel cell-based biosensor for fast analysis of biodegradable organic matter. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 22, n. 12, p. 2939-2944, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2006.12.014>.

KWOK, N.-Y., DONG, S.; LO, W.; WONG, K.-Y.. An optical biosensor for multi-sample determination of biochemical oxygen demand (BOD). **Sens. Actuators**, v. 110, n. 2, p. 289-298, 2005.

LAKOWICZ, J. R.. **Principles of fluorescence spectroscopy**. 3 ed. Springer, 2009. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-46312-4>

LEDERER, A.. The Biochemical Oxygen Demand of Sewages. **Journal Of Industrial & Engineering Chemistry**, v. 6, n. 11, p. 882-888, 1914.

LEHMANN, M.; CHAN, C.; LO, A.; LUNG, M.; TAG, K.; KUNZE, G.; RIEDEL, K.; GRUENDIG, B.; RENNEBERG, R.. Measurement of biodegradable substances using the salt-tolerant yeast *Arxula adenivorans* for a microbial sensor immobilized with poly(carbamoyl)sulfonate (PCS) Part II: application of the novel biosensor to real samples from coastal and islands regions. **Biosens. Bioelectron**, v. 14, p. 295-302, 1999.

LEHNEN, D. R.. **Desenvolvimento de Células de Combustível Microbianas**. Dissertação (Mestrado, em Química), Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LEI, Y.; CHEN, W.; MULCHANDANI, A. Microbial Biosensors. **Analytica Chimica Acta**, v. 568, n. 1–2, p. 200–210, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.11.065>.

- LIU, C. ; MA, C. ; YU, D. ; JIA, J. ; LIU, L. ; ZHANG, B. ; DONG, S.. Immobilized multi-species based biosensor for rapid biochemical oxygen demand measurement. **Biosens. Bioelectron**, v. 26, n. 5, p. 2074-2079, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2010.09.004>.
- LIU, C.; ZHAO, H.; ZHONG, L.; LIU, C.; JIA, J.; XU, X.; LIU, L.; DONG, S.. A biofilm reactor-based approach for rapid on-line determination of biodegradable organic pollutants. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 34, n. 1, p. 77-82, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2012.01.020>.
- LIU, J.; MATTIASSON, B.. Microbial BOD sensors for wastewater analysis. **Water Research**, v. 36, n. 15, p. 3786-3802, 2002.
- LIU, L.; SHANG, L.; GUO, S.; LI, D.; LIU, C.; QI, L.; DONG, S.. Organic-inorganic hybrid material for the cells immobilization: long-term viability mechanism and application in BOD sensors. **Biosens. Bioelectron**, v. 25, n. 2, p. 523-526, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2009.08.004>.
- MIN, B.; ANGELIDAKI, I.. Innovative microbial fuel cell for electricity production from anaerobic reactors. **Journal of Power Sources**, v. 180, n. 1, p. 641-647, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.01.076>.
- MODIN, O.; WILÉN, B. M.. A novel bioelectrochemical BOD sensor operating with voltage input. **Water Research**, v. 46, n. 18, p. 6113-6120, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.08.042>.
- Moon, H.; Chang, I. S.; Kang, K. H.; Jang, J. K.; Kim, B. H.. Improving the dynamic response of a mediator-less microbial fuel cell as a biochemical oxygen demand sensor. **Biotechnology Letters**, v. 26, n. 22, p. 1717-1721, 2004.
- MORAES, SILVIA. Interdisciplinaridade e transversalidade mediante projetos temáticos. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 86, n. 213-214, p. 38-54, 2005. <https://dx.doi.org/10.24109/2176-6681.rbep.86i213/214.834>.
- KWOK, N. Y.; DONG, S.; LO, W.; WONG, K. Y.. An optical biosensor for multi-sample determination of biochemical oxygen demand (BOD). **Sensors and Actuators**, v. 110, n. 2, p. 289-298, 2005. <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.snb.2005.02.007>
- NÓBREGA, M. A. S.; CUNHA, D. A. S.; CABRAL, M. R. P.; SANTIAGO, E. F.. Perceived Environmental Impacts in Urban Ecosystems and Water. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 18, n. 4, p. 195-203, 2014. <https://doi.org/10.1080/10095020.2019.1710438>.
- OLIVEIRA, A. F.; LEITE, I. C.; VALENTE, J. G.. Global burden of diarrheal disease attributable to the water supply and sanitation system in the State of Minas Gerais, Brazil: 2005. **Ciência e Saude Coletiva**, v. 20, n.4, p. 1027-1036, 2015. <https://doi.org/10.1590/1413-81232015204.00372014>.
- OLIVEIRA, M. A.. **Desafios e perspectivas para a recuperação da qualidade das águas do Rio Tiête na Região Metropolitana de São Paulo**. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- OSKAMP, S.. Psychological contributions to achieving an ecologically sustainable future for humanity. **Journal of Social Issues**, v. 56, n. 3, p. 373-90, 2000.
- PARKHEY, P.; MOHAN, S, V.. **Biosensing Applications of Microbial Fuel Cell: Approach toward Miniaturization**. Biomass, Biofuels, Biochemicals: Microbial Electrochemical Technology: Sustainable Platform for Fuels, Chemicals and Remediation. Elsevier B.V., 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64052-9.00040-6>.
- PEIXOTO, L.; MIN, B.; MARTINS, G.; BRITO, A. G.; KROFF, P.; PARPOT, P.; ANGELIDAKI, I.; NOGUEIRA, R.. In situ microbial fuel cell based biosensor for organic carbon. **Bioelectrochemistry**, v. 81, n. 2, p. 99-103, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2011.02.002>.
- PHELPS, E. B.. The Disinfection of Sewage and Sewage Filter Effluents. **Water-Supply Paper**, v. 229, 1909.

PHILP, J. C.; BALMAND, S.; HAJTO, E.; BAILEY, M.J.; WILES, S.; WHITELEY, ANDY.; LILLEY, A.K.; HAJTO, J.; DUNBAR, S.A.. **Whole cell immobilised biosensors for toxicity assessment of a wastewater treatment plant treating phenolics-containing waste. *Analytica Chimica Acta***, v. 487, n. 1, p. 61-74, 2003.

PND..**Environmental Regulatory Document: Method for Performing Biochemical Oxygen Demand (BOD) Measurements after n Days of Incubation in Surface Fresh, Underground (Ground), Drinking, Waste, and Treated Waters.** Moscow, 2015.

PRICE, P. B.; SOWERS, T.. Temperature dependence of metabolic rates for microbial growth, maintenance, and survival. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 101, p. 4631-4636, 2004.

QI, X.; WANG, S.; LI, T.; WANG, X.; JIANG, Y.; ZHOU, Y.; ZHOU, X.; HUANG, X.; LIANG, P.. An Electroactive Biofilm-Based Biosensor for Water Safety: Pollutants Detection and Early-Warning. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 173, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112822>.

RABAEY, K.; VERSTRAETE, W.. Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. **Trends Biotechnol**, v. 23, n. 6, p. 291-298, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2005.04.008>.

RASTOGI, S.; KUMAR, A.; MEHRA, N.; MAKHIJANI, S.; MANOHARAN, A.; GANGAL, V.; KUMAR, R.. Development and characterization of a novel immobilized microbial membrane for rapid determination of biochemical oxygen demand load in industrial waste-waters. **Biosens. Bioelectron.**, v. 18, n. 1, p. 23-29, 2003a.

RASTOGI, S.; RATHEE, P.; SAXENA, T.K.; MEHRA, N.K.; KUMAR, R.; 2003b. BOD analysis of industrial effluents: 5 days to 5 min. **Curr. Appl. Phys.**, v. 3, n. 2-3, p. 191-194, 2003b.

RAUD, M.; KIKAS, T.. Bioelectronic tongue and multivariate analysis: a next step in BOD measurements. **Water Research**, v. 47, n. 7, p. 2555-2562, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.02.026>.

RAUD, M.; TENNO, T.; JÖGI, E.; KIKAS, T.. Comparative study of semi-specific *Aeromonas hydrophila* and universal *Pseudomonas fluorescens* biosensors for BOD measurements in meat industry wastewaters. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 50, n. 4-5, p. 221-226, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2012.01.003>.

RIEDEL, K.; RENNEBERG, R.; KUHN, M.; SCHELLER, F.. A fast estimation of biochemical oxygen demand using microbial sensors. **Appl. Microbiol. Biotechnol**, v. 28, p. 316-318, 1988.

SAKAGUCHI, T., KITAGAWA, K., ANDO, T., MURAKAMI, Y., MORITA, Y., YAMAMURA, A., YOKOYAMA, K., TAMIYA, E.. A rapid BOD sensing system using luminescent recombinants of *Escherichia coli*. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 19, n. 2, p. 115-121, 2003.

SAKAGUCHI, T., MORIOKA, Y., YAMASAKI, M., IWANAGA, J., BEPPU, K., MAEDA, H., MORITA, Y., TAMIYA, E. 2007. Rapid and onsite BOD sensing system using luminous bacterial cells-immobilized chip. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 22, n. 7, p. 1345-1350, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2006.06.008>.

SAWYER, C. N.; MCCARTY, P. L.; PARKIN, G. F.. **Chemistry for Environmental Engineering and Science**. 5 ed, New York: McGraw-Hill, 2003.

SILVA, L. M. C.. **Desenvolvimento de biossensores eletroquímicos para fenol e uréia com foco na aplicação ambiental**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

STRAND, S. E.; CARLSON, D. A.. Rapid BOD measurement for municipal wastewater samples using a biofilm electrode. **J. Water Pollut. Control Fed**, v. 56, p. 464-46, 1984.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos 2008.

VALEUR, B.. **Molecular Fluorescence: principles and applications**. Weinheim: Wiley-VCH, 2002.

VIGIAK, O.; GRIZZETTI, B.; UDIAS-MOINELO, A.; ZANNI, M.; DORATI, C.; BOURAOUI, F.; PISTOCCHI, A.. Predicting biochemical oxygen demand in European freshwater bodies. **Science of the Total Environment**, v. 666, p. 1089–1105, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.252>.

VREBOS, D.; BEAUCHARD, O.; MEIRE, P. The impact of land use and spatial mediated processes on the water quality in a river system. **Science of the Total Environment**, v. 601, p. 365-373, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.217>.

WANG, X.; LIN, J-M.; LIU, M-L; CHENG, X-L.. Flow-based luminescence-sensing methods for environmental water analysis. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 28, n. 1, p. 75–87, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2008.10.005>

CAPÍTULO 2

Preparado e publicado de acordo com as normas da Revista Research, Society and Development - ISSN 2525-3409.

Aspectos climatológicos da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e as implicações do aumento da temperatura na realização da análise

Climatological aspects of the Biochemical Oxygen Demand (BOD) and the implications of the increase in temperature in carrying out the analysis

Aspectos climatológicos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y las implicaciones del aumento de temperatura en la realización del análisis

Resumo

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um dos parâmetros chave para determinação da qualidade de um ambiente aquático perante as concentrações de materiais orgânicos distribuídos na coluna d'água. O método tradicional (DBO₅₂₀) apresenta grandes entraves, porém o maior deles é o tempo necessário para obtenção dos resultados e a subsequente aplicação de medidas mitigatórias em possíveis ambientes impactados. O clima temperado, encontrado nos países europeus, foi o principal responsável pela definição da temperatura de 20°C e dos 5 dias de incubação para concluir a análise. Contudo, países tropicais apresentam dinâmicas climáticas completamente diferentes, tornando essencial a existência de métodos que se adequem as condições impostas pelo ambiente. Dessa forma, neste estudo, buscou-se reduzir o tempo de determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio, de acordo com as condições climáticas de países tropicais, conseqüentemente elevando a temperatura (25°C; 28°C) de incubação das alíquotas. Os resultados demonstraram a efetividade da mudança para as temperaturas de incubação à 28°C ($p=0,941$; $f=0,07$) para 3 dias, corroborando de forma simples e concisa que o aumento de temperatura pode ser aplicado para a realização do método em ambientes tropicais.

Palavras-chave: DBO; Temperatura; Qualidade de Água.

Abstract

Biochemical Oxygen Demand (BOD) is one of the key parameters for determining the quality of an aquatic environment in view of the concentrations of organic materials distributed in the water column. The traditional method (DBO₅₂₀) presents major obstacles, but the biggest one is the time needed to obtain the results and the subsequent application of mitigation measures in possible impacted environments. The temperate climate, found European countries, was primarily responsible for the 20°C temperature setting and the 5 days of incubation to complete the analysis. However, tropical countries have completely different climatic dynamics, making it essential to have methods that suit the conditions imposed by the environment. Thus, in this study, we sought to reduce the time for determining the Biochemical Oxygen Demand, according to the climatic conditions of tropical countries, consequently raising the temperature (25°C; 28°C) of the incubation rates. The results demonstrated the effectiveness of the change to the incubation temperatures at 28°C ($p = 0.941$; $f = 0.07$), demonstrating in a simple and concise way that the temperature increase can be applied to carry out the method in tropical environments.

Keywords: BOD; Temperature; Water Quality.

Resumen

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es uno de los parámetros clave para determinar la calidad de un medio acuático en vista de las concentraciones de materiales orgánicos distribuidos en la columna de agua. El método tradicional (DBO₅₂₀) presenta grandes obstáculos, pero el mayor es el tiempo necesario para obtener los resultados y la posterior aplicación de medidas de mitigación en

posibles ambientes impactados. El clima templado, encontrado en los países europeos, fue el principal responsable de la definición de la temperatura de 20°C y de los 5 días de incubación para concluir el análisis. Sin embargo, los países tropicales tienen dinámicas climáticas completamente diferentes, por lo que es fundamental contar con métodos que se adapten a las condiciones impuestas por el medio ambiente. Así, en este estudio se buscó reducir el tiempo de determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, de acuerdo con las condiciones climáticas de los países tropicales, elevando consecuentemente la temperatura (25°C; 28°C) de las tasas de incubación. Los resultados demostraron la efectividad del cambio a temperaturas de incubación a 28 ° C ($p = 0.941$; $f = 0.07$) durante 3 días, confirmando de manera simple y concisa que el aumento de temperatura se puede aplicar para realizar el método en ambientes tropicales.

Palabras clave: DBO; Temperatura; Calidad del agua.

1. Introdução

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é uma das análises chave responsáveis por demonstrar de forma prática e objetiva a qualidade de um sistema, sendo considerada como uma medida direta da carga orgânica de sistemas aquáticos. As concentrações de oxigênio dissolvido no primeiro dia e no quinto dia são utilizadas para estimar o material orgânico degradado por microrganismos aeróbicos, como parte de seus processos metabólicos essenciais em um certo período (PND, 2015; APHA, 2017). Quanto mais elevadas as concentrações de material orgânico, menores os valores de oxigênio disponíveis ao meio, levando à perda de biodiversidade e a degradação de ambientes aquáticos (Ferreira et al., 2017), prejudicando os usos primordiais da água.

A DBO convencional (5 dias, 20°C) é uma técnica controlada de tempo e consumo, baseada no tempo de consumo de organismos aeróbicos em uma temperatura constante. Do ponto de vista de Guo e Liu (2020) existem grandes entraves na metodologia, relacionados principalmente a falha em reproduzir resultados rápidos ou em tempo real. Além disso, a falta de uniformização de comunidades bacterianas e temperaturas que não se adequam a diferentes ambientes fornecem variações significativas nos resultados (Guyard, 2010) (Guo et al., 2021).

A quantificação da Demanda Bioquímica de Oxigênio é de extrema importância para muitas empresas e órgãos ambientais que comumente encontram-se em situações emergenciais (como acidentes ambientais) que requerem tomadas de decisões operacionais rápidas e eficazes, tornando necessária a quantificação da demanda bioquímica de oxigênio em períodos de tempo menores do que os cinco dias estipulados pela metodologia tradicional.

O clima temperado encontrado em países europeus foi o principal responsável pela definição da temperatura de 20°C para a realização do método. Em 1909, Phelps concluiu a partir de estudos com o Rio Tâmsa (346 km), que o período de autodepuração completava-se um prazo médio de cinco dias, desde a nascente até a foz, em um ambiente com temperatura média de 20° C (condições baseadas em um verão quente da Grã-Bretanha do século XX) (Oliveira, 2015).

Contudo, a dinâmica climática de cada região difere significativamente devido as variações na constante solar e na órbita da Terra (UFPR, 2020; Fiocruz, 2020). O Brasil apresenta um clima subtropical úmido e mesotérmico, com estações de verão e inverno bem definidas. Em média, as temperaturas no mês mais quente ultrapassam os 22°C, atingindo ainda médias acima dos 30°C, superando de forma expressiva as temperaturas encontradas na atual Inglaterra.

Segundo Van't Hoff e Arrhenius (1915) as elevações de temperatura levam ao aumento da velocidade das reações químicas. Conseqüentemente, aplicando à teoria aos processos biológicos, a elevação da temperatura promoveria o aumento da atividade enzimática dos microrganismos autóctones, aumentando exponencialmente as taxas de crescimento e de consumo, reduzindo o tempo final da reação.

Dessa forma, este estudo busca avaliar o efeito da temperatura no tempo necessário para determinar a Demanda Bioquímica de Oxigênio, de acordo com as condições climáticas de países tropicais. Comprovada a influência da temperatura no tempo necessário para obter resultados, contribui-se de forma significativa para os avanços da técnica. Além disso, soluciona-se problemas relacionados ao tratamento de água, facilitando e encurtando o tempo necessário para a tomada de decisão. Dessa forma, mitigar possíveis problemas relacionados torna-se menos custoso, com benefícios incalculáveis para o meio ambiente e todos os usuários.

2. Metodologia

A pesquisa é de natureza quantitativa (Pereira et al., 2018) e gerou uma quantidade considerável de dados analíticos, possibilitando uma análise com alta acurácia. O presente artigo encaixa-se em uma categoria de Estudo de Caso (EC), trabalhando um fenômeno relevante e de grande interesse para órgãos de fomento e de pesquisa.

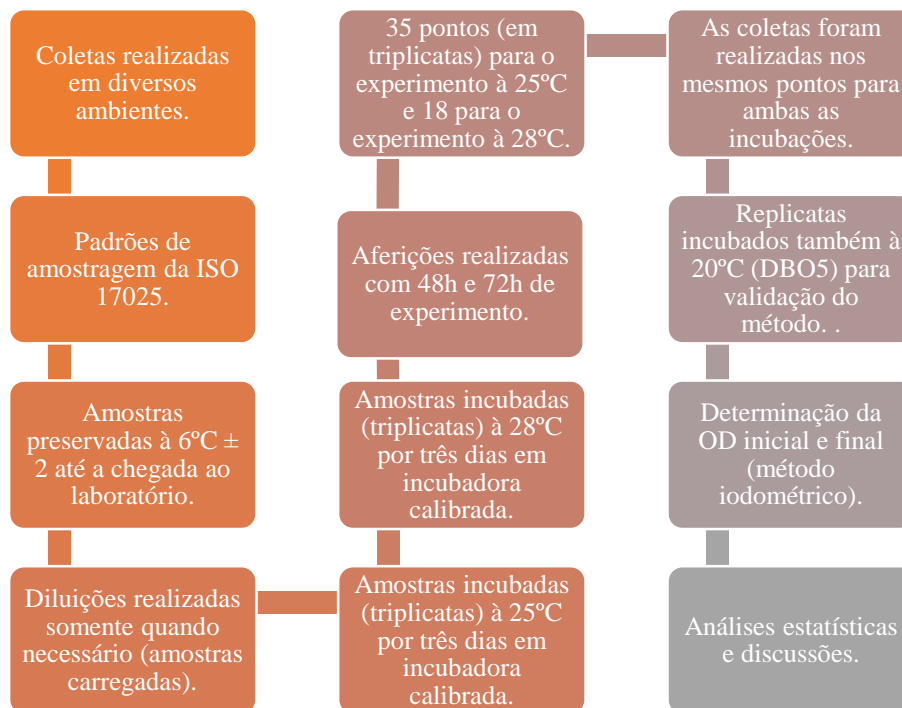
A DBO é de extrema importância e amplamente discutida mundialmente (Poersch et al., 2021), porém as modificações e discussões propostas por este trabalho não são amplamente trabalhadas, sendo assim seguem um padrão de ideias desenvolvido com extensa coleta de dados e leitura.

2.1 Modificações propostas na análise

As escolhas das temperaturas foram baseadas nas temperaturas médias do ar ao longo de todo o ano (2020), obtidas na estação meteorológica do InPAA (Instituto de Pesquisa em Aquicultura Ambiental), com aferições de temperatura do ar realizadas com regularidade (de 2h em 2h). Em posse destes dados, foi possível realizar uma média das temperaturas encontradas em cada estação do ano e propor este estudo, buscando o efeito da temperatura no tempo de análise.

Para iniciar os experimentos e incubações à 25°C foram realizadas 7 coletas de 5 litros de água de rios, como os da bacia Baixo Iguaçu, Rio São Francisco Verdadeiro, Rio Marreco, Rio Tibagi e Rio Ijuí. Todas as coletas foram realizadas pelo Laboratório de Qualidade de Água e Limnologia do INEO/GERPEL (Instituto Neotropical de Pesquisas Ambientais/ Grupo de Pesquisas em Recursos Pesqueiros e Limnologia), e seguiram o padrão estipulado pela ISO/IEC 17025. As amostras foram coletadas e preservadas em caixas térmicas com temperatura controlada de 6°C ± 2, até a chegada ao laboratório, visando promover resultados confiáveis e comparáveis. Os pontos de amostragem foram escolhidos buscando englobar ambientes heterogêneos e reais ao experimento, dessa forma foram analisados 35 pontos de coleta para as incubações à 25°C (Figura 1).

Figura 1. Esquema detalhando a metodologia de coleta e análise.



Fonte: os Autores.

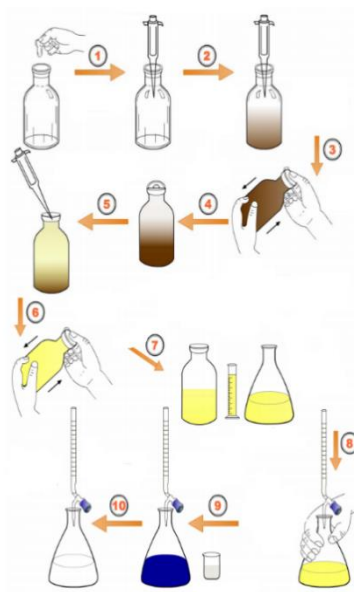
Seguindo os mesmos pressupostos, foram realizadas mais 7 coletas de 5 litros de água nos mesmos ambientes citados anteriormente, porém somente 18 pontos de coleta foram selecionados para as incubações à 28°C. Previamente após a coleta as amostras foram submetidas ao processamento de diluição (quando necessário) e envase. As alíquotas diluídas seguiram um padrão 1/1 (150 ml de amostra e 150 ml de água de diluição) e 1/3 (75 ml de amostra e 225 ml de água de diluição) (APHA, 2017). Sendo assim, foram realizadas aferições com 48 e 72 horas de experimento respectivamente.

Para ambas as temperaturas foram incubadas 3 alíquotas em cada ponto, além da incubação tradicional de 2 alíquotas como controle (20°C).

Inicialmente foi realizada a determinação do oxigênio dissolvido (OD) inicial (APHA, 2017) (Figura 1). Em cada coleta foram transferidas cerca de 150 ml de amostra e 150 ml de água de diluição para 12 frascos de incubação (frascos de Winkler), 2 desses frascos foram utilizados para determinar o OD inicial dentro de 30 minutos. Os demais frascos foram incubados com parâmetros previamente definidos, para determinar a OD final.

As análises foram realizadas empregando-se o método Iodométrico (Figura 2), pela praticidade disposta pelo Laboratório de Qualidade de Água e Limnologia do INEO/GERPEL. Para garantir o controle dos resultados seguiu-se um padrão de controle de qualidade (CQ). Sem os resultados de CQ e das amostras, a confiança nos resultados dos testes analíticos é mínima. Medidas de CQ essenciais para a realização das análises de DBO incluem a calibração do método, padronização de reagentes, calibração de equipamentos e duplicatas (em 5% das amostras) para cada experimento realizado. Todas as medidas de CQ citadas foram seguidas para obtenção de dados com confiança analítica e estatística.

Figura 2. Método Iodométrico para determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio.



Fonte: Istituto, 2014.

2.2 Análises estatísticas

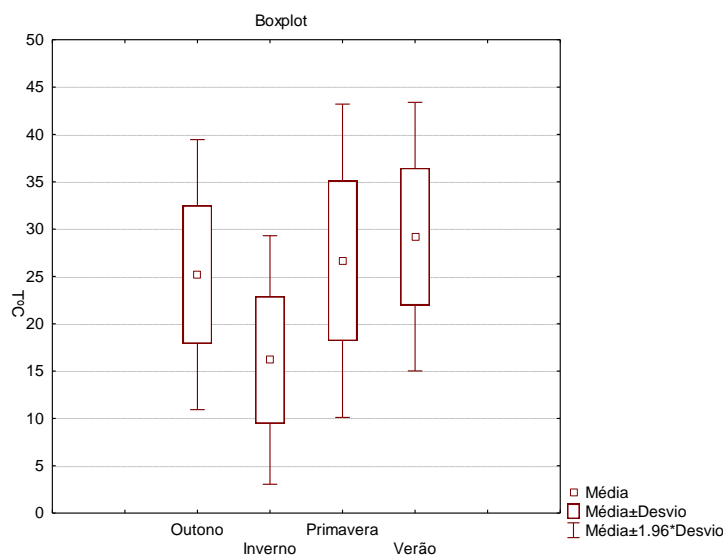
Para a verificação inicial e análise estatística dos experimentos realizados, foram utilizados os softwares Mini Tab e Statistica. Inicialmente, foram calculadas as médias encontradas entre as aliquotas. Posteriormente, os desvios padrões e os erros relativos dos conjuntos de dados. Seguindo os pressupostos de independência, aleatoriedade e normalidade dos conjuntos de dados, os mesmos foram analisados com o teste T pareado. O teste T pareado é extremamente útil para analisar um mesmo conjunto de dados que foram submetidos a duas condições diferentes. Além disso, as médias dos tratamentos foram comparadas por meio do Teste de Tukey. O nível de significância foi de 5% ($p = 0,05$).

3. Resultados e Discussão

3.1 Variações de temperatura na região

Em média, a temperatura no inverno foi de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Outono e primavera apresentaram médias similares ($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) e o verão destacou-se por temperaturas elevadas ($28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) (Gráfico 1). A temperatura do ar é frequentemente utilizada como uma variável preditiva em modelos de regressão da temperatura da água, por ser um componente importante em cálculos relacionados as mudanças líquidas do fluxo de calor na superfície d'água, além de (Webb et al., 2003; Webb et al., 2008). Dessa forma, pressupõem-se uma forte correlação entre as temperaturas da água e do ar (Van Vliet et al., 2011).

Gráfico 1. Temperaturas mínimas, máximas, médias \pm desvio padrão verificadas para cada estação (n=600).



Fonte: os Autores.

Dessa forma, a proposta de modificação das temperaturas de incubação foi aplicada para o outono e primavera simultaneamente ($25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$), enquanto a temperatura de incubação no verão foi mantida em $28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. As alterações não foram propostas para o inverno porque a média encontrada coincide com a temperatura de incubação tradicional da metodologia.

3.2 Análises estatísticas

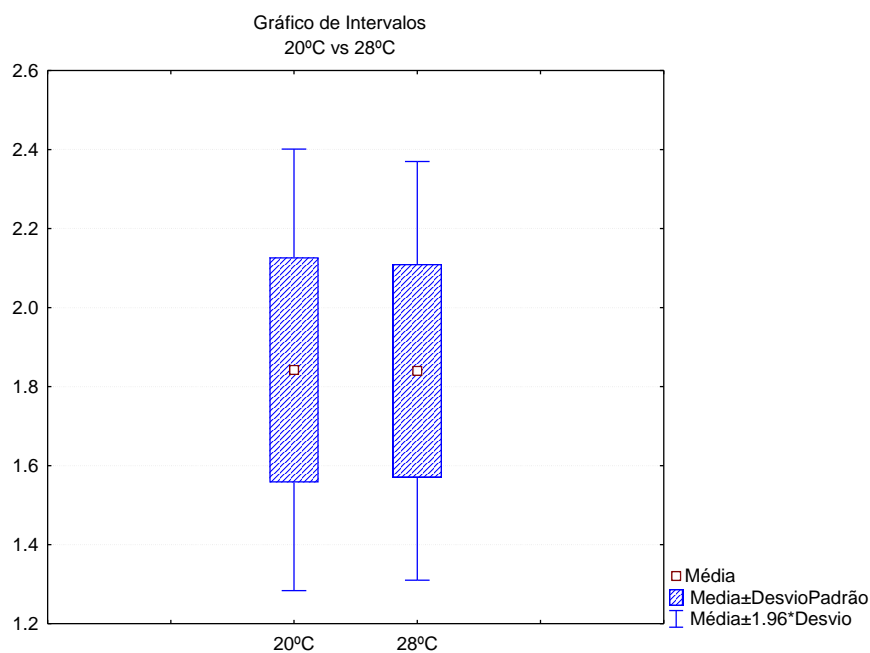
Os melhores resultados foram encontrados com amostras incubadas à 28°C , demonstrando com um teste simples e robusto que o aumento de temperatura não interfere no resultado final da análise ($t= 0,07$; $p= 0,941$), e reduz o tempo para 3 dias de incubação. Os resultados comprovaram a efetividade ou o efeito da mudança da temperatura para as amostras incubadas à 28°C (Tabela 1) (Gráfico 2).

Tabela 1. Estatísticas Descritivas referentes ao teste T pareado para os tratamentos de 20°C e 28°C respectivamente.

Amostra	N	Média	Desvio Padrão	EP Média
DBO 20°C (5DIAS)	16	1.842	1.140	0.285
DBO 28°C (3 DIAS)	16	1.840	1.081	0.270

Fonte: os Autores.

Gráfico 2. Gráfico de Intervalos com o plot de médias e intervalos de confiança (95%) para os tratamentos de 20°C e 28°C.



Fonte: os Autores.

Os resultados mostraram-se insatisfatórios quanto as amostras incubadas à 25° ($t = -2,33$; $p = 0,033$), demonstrando que as diferenças encontradas entre os diferentes tratamentos foram significativas (Tabela 2).

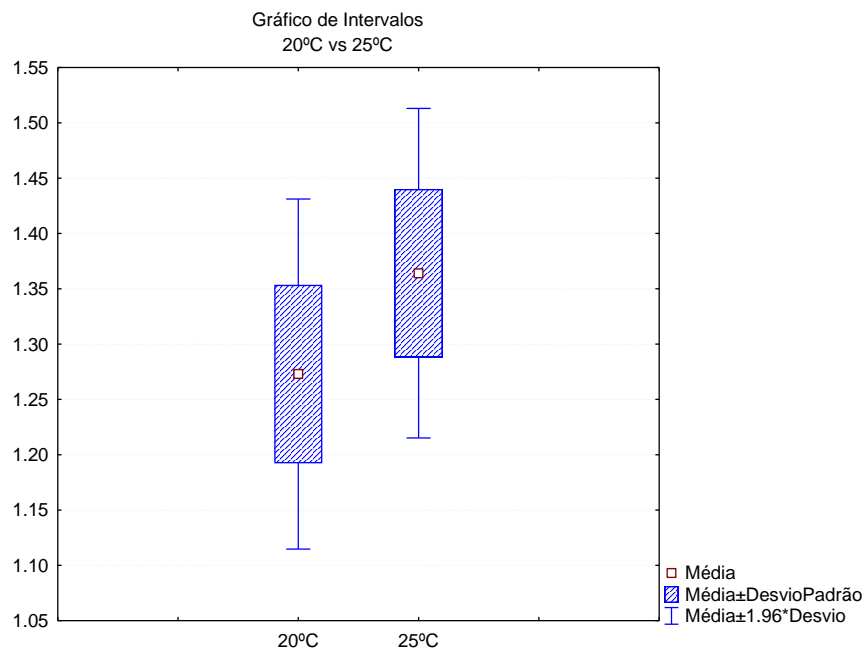
Tabela 2. Estatísticas Descritivas referentes ao teste T pareado para os tratamentos de 20°C e 25°C respectivamente.

Amostra	N	Média	Desvio	
			Padrão	EP Média
DBO 20°C (5 DIAS)	34	1.2729	0.4707	0.0807
DBO 25°C (3DIAS)	34	1.3641	0.4432	0.0760

Fonte: os Autores.

Uma das causas das diferenças encontradas pode estar relacionada ao tempo de incubação. Como esperava-se reduzir o tempo de análise em até dois dias, o aumento de 5°C pode não ter sido suficiente. Caso as amostras permanecessem incubadas por mais um dia, as diferenças seriam menores (Gráfico 2), adequando-se aos resultados obtidos pelo controle (20°C). Contudo, segundo Jouanneau et al., (2019), o tempo de retenção da água em estações de tratamento (ETAs) é de cerca de 3 dias, dessa forma tornaria-se inviável realizar os testes finais no quarto dia de incubação.

Gráfico 3. Gráfico de Intervalos com o plot de médias e intervalos de confiança (95%) para os tratamentos de 20°C e a 25°C.



Fonte: os Autores.

3.3 Implicações das mudanças de temperatura na análise

Estudos conduzidos com a ampliação da faixa de temperatura do método já mostravam-se promissores há alguns anos (Chaudhari et al., 1992). O controle estático de temperatura não é mais utilizado pela Bureau Of Indian Standards (BIS), agência governamental indiana responsável por atividades de normalização e certificação de qualidade. A agência trabalha com uma temperatura de 27°C e 3 dias de análise desde 1993. A modificação foi sugerida e implementada pela nota técnica publicada no ano anterior (Chaudhari et al., 1992).

A alterações propostas pelo presente trabalho são semelhantes as descritas por Chaudhari et al., 1992, demonstrando a efetividade do método em ambientes tropicais. Ao constatar que as médias encontradas entre os tratamentos são semelhantes ($p > 0,05$), aponta-se de forma simples e concisa a eficácia do método perante mudanças de temperatura, concluindo que o controle estático fixado em 20°C pela metodologia tradicional pode ser modificado.

Com essa constatação e a conseqüente redução do tempo de análise, permite-se a obtenção de resultados viáveis sem comprometer a confiabilidade dos dados, adquirindo de forma prática uma alternativa para agilizar a tomada de decisão, reduzindo o tempo de espera de 5 (DBO520) para 3 dias (DBO328).

Este resultado comprova as teorias de Van't Hoff (1984) e Arrhenius (1915) (aumento da temperatura em 10° C duplica a velocidade das reações). Estes resultados indicam que valores acima de 28° C, isto é, a 30° e a 40° C torna-se provável que o tempo de determinação da DBO seja ainda menor. Porém, para trabalhar e reproduzir

resultados em temperaturas mais elevadas o conhecimento das comunidades microbiológicas presentes na amostra é essencial, afim de conhecer as temperaturas ótimas de crescimento e consumo.

Alguns estudos desenvolvidos com efluentes já demonstraram a eficiência do aumento da temperatura na obtenção de resultados (Matos et al., 2014; Matos et al., 2017; Mueller et al., 2018). Contudo, fontes correlacionadas a rios e riachos são escassas, restringindo a discussão dos resultados.

O Brasil conta com uma pequena gama de legislações que incluem a DBO como um dos parâmetros que constantemente devem ser testados, para determinar o estado físico e químico de um corpo d'água. A Resolução, n. 357 - CONAMA, de 17 de março de 2005 é uma ferramenta de controle e busca enquadrar corpos d'água em diferentes classes, de acordo com as condições de qualidade aptas à diferentes formas de uso e consumo. Os corpos d'água continentais passam por avaliação criteriosa e são distribuídos entre cinco classes, sendo as classes especial, um, dois e três destinadas ao abastecimento humano. A classe especial, a classe um e a classe dois buscam a preservação dos ecossistemas e das comunidades. As demais são destinadas à irrigação, recreação, aquicultura e navegação (BRASIL, 2005, p. 4).

A resolução mencionada dispõe de diversos parâmetros para o controle e a manutenção da qualidade da água, porém, as concentrações de material orgânico variam constantemente e, as taxas de consumo de oxigênio modificam-se de acordo com os dias, tornando o monitoramento ambiental regular uma ferramenta de extrema importância. Ao diminuir o tempo de análise e medir as concentrações de oxigênio dissolvido no primeiro e no último dia com o uso de eletrodos convencionais ou do próprio método de iodométrico, as vantagens aumentam.

Apesar dos resultados demonstrarem que o efeito da temperatura na análise pode trazer inúmeros benefícios, a determinação da DBO é padronizada por uma Organização Internacional de Normalização. A ISO é seguida de forma incontestável por inúmeros países, tornando inviável a aplicação de mudanças em laboratórios que operem de acordo com o sistema de qualidade estabelecido. Contudo, as aplicações em laboratórios de pesquisa podem ser replicadas, buscando validação do método perante órgãos de controle.

Nesse caso, a implementação de mudanças necessita de viés econômico. Ao possibilitar um monitoramento ambiental mais preciso e frequente (3 dias de espera), as medidas mitigatórias para possíveis impactos podem ser tomadas com mais rapidez, evitando prejuízos sociais e econômicos a toda a extensa cadeia de consumidores de água, de forma direta ou indireta, evitando gastos desnecessários e contribuindo para a manutenção de um ambiente saudável.

4. Conclusões

O aumento da temperatura mudança diminui o período de incubação e produz resultados semelhantes aos da metodologia tradicional para rios e riachos. Dessa forma, o teste DBO328 pode ser utilizado em países tropicais de forma segura, sem comprometimento dos dados.

As dificuldades para a implementação de mudanças em uma metodologia tradicional são enormes, porém laboratórios de pesquisa e estações de tratamento podem replicar o teste para validar o método perante as autoridades competentes.

Ao reduzir o tempo de espera necessário para completar a análise poupa-se dinheiro e evita-se futuros prejuízos ambientais causados pelas diversas fontes de poluição. Qualificar um ambiente em menos tempo torna os dados mais fiéis e precisos ao verdadeiro estado de um sistema aquático.

Órgãos ambientais e instituições de pesquisa necessitam de métodos mais rápidos e eficazes para melhor

gerenciar ambientes e estações de tratamento. Implantar novas metodologias e melhorar a qualidade do monitoramento ambiental é um dos papéis da universidade, o que torna a pesquisa sobre novos métodos extremamente necessária.

Instituições como o IAT e a CETESB devem trabalhar em conjunto com pesquisadores, aumentando a confiabilidade das mais diversas tecnologias e metodologias em desenvolvimento, corroborando de forma indireta com o equilíbrio do sistema ao trabalhar em prol do meio ambiente.

Como a DBO é uma análise extremamente complexa, estudos envolvendo os demais interferentes também tornam-se necessários para modificar e melhorar a performance da análise. Além disso, sugere-se o desenvolvimento de mais trabalhos voltados às modificações de temperatura em países tropicais, em uma constante busca por resultados comparáveis e discutíveis, que desafiem órgãos de fomento a utilizarem ou deliberem sobre essas mudanças metodológicas no Brasil.

Referências

- Arrhenius, S. (1915). *Quantitative Laws in Biological Chemistry*. Belland Sons, Londres.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). NBR ISO/IEC 17025: *Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaios e calibração*. Rio de Janeiro.
- Brasil. (2005). Resolução n.357 - CONAMA, de 17 de março de 2005. *Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional*. Diário Oficial da União, Brasília.
- Chaudhari, N., Tyagi, P. C., Niyogi, N., Thergaonkar, V. P., & Khanna, P. (1992). BOD test for tropical countries. *Journal of Environmental Engineering*, 118 (2), 298–303.
- Eaton, A., Franson, M., Association, A., Association, A., & Federation, W. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23 ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Ferreira, A.R.L., Sanches Fernandes, L.F., Cortes, R.M.V., & Pacheco, F.A.L. (2017). Assessing anthropogenic impacts on riverine ecosystems using nested partial least square regression. *Science of the Total Environment*, 583, 466–477.
- Fiocruz. (2020). *Estações do Ano*. Disponível em: <<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/infantil/estacoes-ano.html>>. Acesso em: 5 out. 2020.
- Guyard, C. (2005). DBO5: un paramètre qui monte. *L' Eau, l'industrie, les nuisances*, 334, 51-58.
- International Organization for Standardization. (2019). *ISO 5815-1: Water quality — Determination of biochemical oxygen demand after n days (BODn)*.
- Indian Standard. (1993). *IS 3025-44: Methods of Sampling and Test (physical and chemical) for Water and Wastewater, Part 44: Biochemical Oxygen Demand (BOD)*.
- Istituto Tecnico E. Fermi. (2014). *Water Pollution in Urban Areas: Analysis and Treatment*. Educhimica. Disponível em: <<http://www.educhimica.it/COMENIUS/document/COMENIUS%20-%20OD.pdf>>. Acesso em 05 jul. 2019.
- Jouanneau, S., Grangé, E., Durand, M.-J., & Thouand, G. (2019). Rapid BOD assessment with a microbial array coupled to a neural machine learning system. *Water Research*, 166.

- Matos, M. P. B., Matos, A. C. S., da Silva, A. T., Silva, E. F., & Martinez, M. A. (2014). Effect of time-temperature binomial in obtaining biochemical oxygen demand of different wastewaters. *Eng. Agríc.*, 34 (2), 332-340. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000200014>.
- Matos, M. P. B., Matos, A. C. S., da Silva, A. T., Silva, E. F., & Martinez, M. A. (2017). Modelagem da progressão da DBO obtida na incubação de esgoto doméstico sob diferentes temperaturas. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22 (5), 821-828. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017101993>.
- Muller, M., Alison, Y., Guérin-Rechdaoui, S., Bellaton, S., & Rocher, V. (2018). Development and validation of an alternative method for measurement of biochemical oxygen demand in municipal wastewater - Enverdi® BOD. In: *Innover Dans Les Pratiques De Monitoring Et d'exploitation Des Stations d'épuration - Enseignements scientifiques et techniques tirés de la phase I du programme (2014-2017)*. Astee.
- Oliveira, M. A. (2015). *Desafios e perspectivas para a recuperação da qualidade das águas do Rio Tietê na Região Metropolitana de São Paulo*. Tese. Doutorado (Ciências). Universidade de São Paulo.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. Santa Maria/RS. Ed. UAB/NTE/UFSM.
- Poersch, A. C. C., Sebastien, N. Y., Reimcke, J. V. T., & Camozatto, E. E. (2021). Aspectos Históricos da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e métodos alternativos com redução no tempo de análise. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12 (6).
- PND. (2015). *Environmental Regulatory Document: Method for Performing Biochemical Oxygen Demand (BOD) Measurements after n Days of Incubation in Surface Fresh, Underground (Ground), Drinking, Waste, and Treated Waters*. Moscow.
- Sawyer, C.N., Mccarty, P.L., & Parkin, G.F. (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science*, 5 ed. New York: McGraw-Hill.
- UFPR. (2020). *Movimentos da Terra, Estações*. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-1.html>>. Acesso em: 5 out. 2020.
- Van't Hoff, M.J.H. (1884). Etudes de dynamique chimique. *Recl. Trav. Chim.* 3, 333-336. <https://doi.org/10.1002/recl.18840031003>
- Van Vliet, M. T. H. F., Ludwig, J. J. G., Zwolsman, G P., & Weedon, P. K. (2011). Global river temperatures and sensitivity to atmospheric warming and changes in river flow. *Water Resources Research*, 47. doi:10.1029/2010WR009198
- Vigiak, O., Grizzetti, B., Udias-Moinelo, A., Zanni, M., Dorati, C., Bouraoui, F., & Pistocchi, A. (2019). Predicting biochemical oxygen demand in European freshwater bodies, *Science of the Total Environment*, 666, 1089–1105.
- Webb, B. W., P. D. Clack, & D. E. Walling. (2003). Water-air temperature relationships in a Devon river system and the role of flow, *Hydrol. Processes*, 17 (15), 3069– 3084.
- Webb, B. W., D. M. Hannah, R. D. Moore, L. E. Brown, & F. Nobilis. (2008). Recent advances in stream and river temperature research, *Hydrol. Processes*, 22 (7), 902– 918.

CONCLUSÕES GERAIS

Durante os dois anos de pesquisa foi possível observar a complexidade de uma análise como a Demanda Bioquímica de Oxigênio. São diversos interferentes e entraves. Todos devem ser trabalhados em conjunto, mas estudá-los separados é essencial para conhecer os processos como um todo.

Esta dissertação compilada em dois capítulos trabalha um dos maiores entraves da metodologia, o tempo. Ao longo dos meses e dos experimentos foi possível comprovar a efetividade do aumento da temperatura na redução do período do teste, sem comprometer ou superestimar os resultados finais. Além disso, foram destacados diversos estudos e variações de métodos que demonstraram de forma prática como reduzir o tempo de espera.

Ao alterar temperaturas, criar biosensores e ou cultivar organismos específicos para produzir respostas, os pesquisadores foram além. Com estudos minuciosos e cautelosos, englobando áreas de ensino diferentes chegaram a um objetivo em comum: aprimorar a capacidade de monitoramento ambiental, reduzindo os danos antropogênicos causados ao ambiente aquático.

Por si só a redução no tempo da análise fornece benefícios incalculáveis ao meio ambiente e a todos os consumidores da extensa cadeia que depende de recursos hídricos de qualidade. Ao reduzir o tempo, torna-se possível qualificar corpos d'água e estações de tratamento de forma mais fiel e precisa, além de fornecer dados mais frequentes, facilitando o monitoramento ambiental.

As dificuldades para a implementação de mudanças em uma metodologia tradicional são enormes, porém laboratórios de pesquisa e estações de tratamento podem replicar os testes para validar o método perante autoridades competentes. Métodos validados fornecem resultados fiéis e comparáveis com diferentes laboratórios, aumentando o poder dos testes e demonstrando na prática que é possível modificar sem comprometer.

Instituições como o IAT e a CETESB devem trabalhar em conjunto com pesquisadores, aumentando a confiabilidade das mais diversas tecnologias e metodologias em desenvolvimento, corroborando de forma indireta com o equilíbrio do sistema ao trabalhar em prol do meio ambiente.

Como a DBO é uma análise extremamente complexa, estudos envolvendo os demais interferentes também tornam-se necessários para modificar e melhorar a

performance da análise. Além disso, sugere-se o desenvolvimento de mais trabalhos voltados as modificações de temperatura em países tropicais, em uma constante busca por resultados comparáveis e discutíveis, que desafiem órgãos de fomento a utilizarem ou deliberem sobre essas mudanças metodológicas no Brasil.

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas daUnioeste.

Pd POERSCH, ANA CARLA CASAGRANDE
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO: ASPECTOS
HISTÓRICOS, METODOLÓGICOS, CLIMATOLÓGICOS E
SOCIECONÔMICOS / ANA CARLA CASAGRANDE POERSCH;
orientador Nyamien Yahaut Sebastien . -- Toledo,
2021.
44 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de
Toledo) -- Universidade Estadual do Oeste do
Paraná, Centro de Engenharias e Ciências Exatas,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais,
2021.

1. DBO. 2. TEMPERATURA. 3. QUALIDADE DE ÁGUA .
4. INTERDISCIPLINARIDADE. I. Sebastien , Nyamien
Yahaut , orient. II. Título.