

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **DINÂMICA DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO E DA REAERAÇÃO NO RIO MORATO - PARANÁ**

*Karollyn Larissa de Quadros<sup>1</sup>; Ana Lia Warcheski<sup>2</sup>, Maria Clara Pontello<sup>3</sup>;*

*Grenda Izabeli Menezes da Silva<sup>4</sup>; Michael Mannich<sup>5</sup>*

**Abstract:** Determining the reaeration coefficient (K), which represents the rate at which atmospheric oxygen is transferred to water, is essential to understanding the dynamics of dissolved oxygen (DO) in river environments, especially in headwater rivers with low anthropogenic interference. In this study, the nocturnal depletion method was used to estimate K in a third-order river. This method consists of monitoring the natural reduction of DO during the night, when photosynthesis is absent and the respiration of aquatic organisms is the main responsible for oxygen consumption, thus allowing the isolation of the reaeration process. The measurements also showed significant variations in DO throughout the day and night, mainly influenced by water temperature. This thermal relationship, observed both throughout the daily cycle and in the longitudinal gradient of the river (in the upstream-downstream direction), reinforces the importance of considering physical and spatial factors in the analysis of water quality. The average values of K and R ranged from 3.03 and -1.00 upstream to 9.88 and -7.19 at the most downstream point. The results obtained not only expand the understanding of natural reaeration processes, but also provide fundamental data for studies applied to the conservation and management of preserved aquatic ecosystems.

**Resumo:** A determinação do coeficiente de reaeração (K), que representa a taxa com que o oxigênio atmosférico é transferido para a água, é essencial para compreender a dinâmica do oxigênio dissolvido (OD) em ambientes fluviais, especialmente em rios de cabeceira com baixa interferência antrópica. Neste estudo, utilizou-se o método da depleção noturna para estimar o K em um rio de 3ª ordem. Esse método consiste em monitorar a redução natural do OD durante o período noturno, quando a fotossíntese é inexistente e a respiração dos organismos aquáticos é a principal responsável pelo consumo de oxigênio, permitindo assim isolar o processo de reaeração. As medições também evidenciaram variações significativas no OD ao longo do dia e da noite, influenciadas principalmente pela temperatura da água. Essa relação térmica, observada tanto ao longo do ciclo diário quanto no gradiente longitudinal do rio (no sentido montante-jusante), reforça a importância de se considerar fatores físicos e espaciais na análise da qualidade da água. Os valores médios de K e R variaram de 3,03 e -1,00 a montante para 9,88 e -7,19 no ponto mais a jusante. Os resultados obtidos não apenas ampliam o entendimento sobre os processos naturais de reaeração, mas também fornecem dados fundamentais para estudos aplicados à conservação e gestão de ecossistemas aquáticos preservados.

**Palavras-Chave** – Oxigênio dissolvido, coeficiente de reaeração, método da depleção noturna.

1) Mestranda no Programa de Pós Graduação em Eng. Ambiental UFPR. Av. Cel. Francisco H. dos Santos, nº 100, Curitiba - PR. ([karollyn@ufpr.br](mailto:karollyn@ufpr.br))

2) Graduanda em Engenharia Ambiental UFPR. Av. Cel. Francisco H. dos Santos, nº 100, Curitiba - PR. ([lia@ufpr.br](mailto:lia@ufpr.br))

3) Graduanda em Engenharia Ambiental UFPR. Av. Cel. Francisco H. dos Santos, nº 100, Curitiba - PR. ([mariaciarapon@ufpr.br](mailto:mariaciarapon@ufpr.br))

4) Mestranda no Programa de Pós Graduação em Eng. Ambiental UFPR. Av. Cel. Francisco H. dos Santos, nº 100, Curitiba - PR. ([grenda@ufpr.br](mailto:grenda@ufpr.br))

5) Professor no Departamento de Engenharia Ambiental UFPR. Av. Cel. Francisco H. dos Santos, nº 100, Curitiba - PR. ([mannich@ufpr.br](mailto:mannich@ufpr.br))

## INTRODUÇÃO

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) em corpos d'água é um dos principais indicadores da qualidade ambiental de sistemas aquáticos, refletindo diretamente o equilíbrio entre processos de produção e consumo de oxigênio. Dentre esses processos, a reaeração, que é a transferência de oxigênio da atmosfera para a água, desempenha papel fundamental na recuperação do OD, especialmente em trechos de rios sujeitos à introdução de cargas orgânicas. A taxa de reaeração (K) é um parâmetro essencial em modelos de qualidade da água, como o clássico modelo de Streeter-Phelps, amplamente utilizado para prever a variação do OD ao longo do tempo e da distância.

A modelagem é crucial no planejamento e na gestão de recursos hídricos, sendo aplicada na avaliação de impactos de lançamentos de efluentes, no licenciamento ambiental, e na definição de metas de enquadramento e recuperação de corpos d'água. Apesar de sua importância, a determinação precisa de K ainda representa um desafio, especialmente em rios de pequeno porte e com baixa interferência antrópica, onde as características físicas e hidrodinâmicas variam de forma significativa em pequenas escalas. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo determinar os coeficientes K e R (respiração) para um trecho de rio de 3ª ordem, localizado em uma área próxima à nascente e com mínima interferência humana.

Este estudo possui caráter investigativo, voltado à avaliação da dinâmica do oxigênio dissolvido em condições naturais, sem a influência de descargas de efluentes ou alterações antrópicas significativas. Além de contribuir para a compreensão dos processos naturais de reaeração em rios de cabeceira, os resultados obtidos também fornecem subsídios para a calibração de modelos matemáticos aplicados a corpos d'água semelhantes, contribuindo com o conhecimento sobre riachos com alto grau de preservação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Reserva Natural Salto Morato, localizada no município de Guaraqueçaba, no litoral norte do Paraná, mantida pela Fundação Grupo Boticário. Com 2.252 hectares, a reserva está inserida em um dos últimos remanescentes contínuos da Mata Atlântica. A área de estudo abrange a bacia hidrográfica do rio Morato, principal curso d'água da reserva, composto por trechos de corredeiras, poços e pequenos riachos de baixa ordem. Para compreender a dinâmica do oxigênio dissolvido (OD) em rios de menor ordem, foram realizadas amostragens contínuas de OD em cinco pontos ao longo do rio Morato, conforme apresentado na Figura 1, entre os dias 20 e 27 de fevereiro de 2025. Também foram registrados dados de temperatura e radiação para auxiliar na interpretação das variações observadas.

A amostragem de oxigênio dissolvido (OD), temperatura e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi realizada por meio de sensores instalados em dias intercalados em função da disponibilidade dos equipamentos. Com isso, foi obtido ao menos um ciclo diário completo de medições em cada ponto amostrado. O período de monitoramento nos pontos representativos é apresentado na Tabela 1.

Figura 1 – Delimitação da Reserva Natural Salto Morato e pontos de amostragem no rio Morato

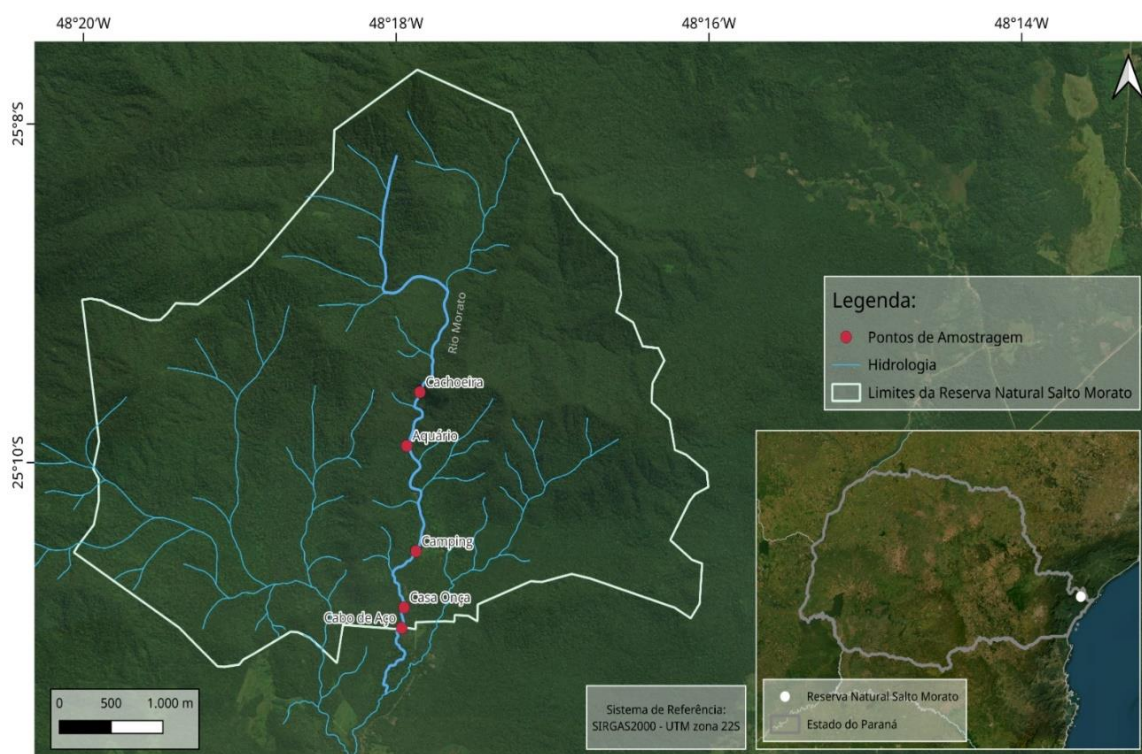


Tabela 1 – Período de amostragem de oxigênio dissolvido (OD), temperatura e radiação PAR nos pontos selecionados

Ponto de amostragem	Período de amostragem (OD e Temperatura)	Período de amostragem (Radiação PAR)
Cachoeira	20/02/2025 - 27/02/2025	26/02/2025
Aquário	20/02/2025 - 27/02/2025	25/02/2025 - 26/02/2025
Camping	21/02/2025 - 27/02/2025	22/02/2025 - 23/02/2025
Casa Onça	20/02/2025 - 24/02/2025	22/02/2025 - 23/02/2025
Cabo de Aço	23/02/2025 - 27/02/2025	sem medição

A concentração de oxigênio dissolvido foi registrada em intervalos de cinco minutos por meio de detecção de fluorescência na água, utilizando-se o sensor óptico submersível miniDOT® Logger da marca PME, que também possui sensor integrado de temperatura. O equipamento foi posicionado de forma a garantir sua completa submersão e permitir a coleta contínua de dados ao longo do período de amostragem. A Figura 2 mostra a disposição do sensor em um dos pontos amostrados.

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR), que corresponde à faixa do espectro solar entre 400 e 700 nm (Alados et al. 1996), foi medida a cada minuto com um sensor submerso miniPAR Logger (PME). Ela é essencial para processos como fotossíntese e evapotranspiração, sendo influenciada pela estrutura do dossel florestal, que limita a penetração da luz nas camadas inferiores (Vilani et al., 2007; Andrade et al., 2014). Dados complementares de radiação global foram obtidos na estação meteorológica dentro da reserva pertencente ao Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) e utilizados para comparar e converter os valores de PAR, com base na relação proposta por Custódio, Silva e Santos (2021).

Figura 2 – Disposição do sensor de oxigênio dissolvido miniDOT® no ponto Aquário



Métodos experimentais têm sido utilizados para estimar o coeficiente de reaeração ( $K$ ) em corpos d'água. O método dos traçadores gasosos é altamente confiável, embora caro, e se baseia na injeção simultânea de um traçador gasoso (como etileno ou propano) e um traçador conservativo, permitindo estimar o  $K$  a partir da razão entre dessorção do gás e absorção de oxigênio. O método da sonda solúvel, por sua vez, é mais acessível, utilizando a taxa de dissolução de uma pastilha de ácido benzoico para inferir a turbulência e, indiretamente, a reaeração, embora com menor precisão. Já o método da pressão sonora correlaciona a pressão acústica média gerada pela turbulência com o  $K$ , exigindo medições de ruído e caracterização geomorfológica dos trechos do rio (Lima, 2023). Por fim, o método delta é baseado em balanço de oxigênio dissolvido, considerando os processos de fotossíntese, respiração e reaeração; ele resolve uma equação diferencial para o déficit de oxigênio e permite estimar o  $K$  a partir da hora do déficit mínimo, com ajustes empíricos propostos por McBride e Chapra (2005) para facilitar sua aplicação.

Foi realizada uma análise para a estimativa do coeficiente de reaeração por trecho pelo método da depleção noturna conforme Hill et al. (2018). O método relaciona dois processos dominantes durante o período noturno (sem fotossíntese) que dominam a dinâmica da taxa de variação de OD como um balanço entre a reaeração ( $KD$ ) e a respiração ( $R$ ) descrito na forma:

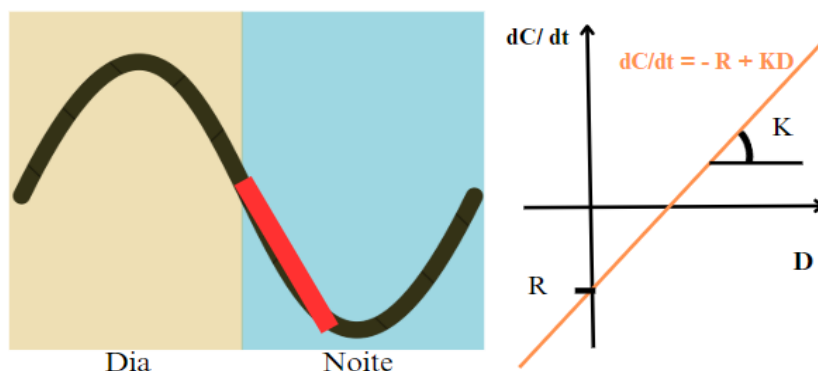
$$dC/dt = -R + KD \quad \text{Equação 1}$$

onde  $t$  representa o tempo (h);  $K$  está em  $d^{-1}$ ;  $R$  em  $mg\ O_2\ L^{-1}\ d^{-1}$ ; e  $D$  é o déficit, expresso pela diferença entre a concentração de OD de saturação e a concentração de OD. A concentração de OD de saturação ( $C_{sat}$ ) é estimada em função da temperatura da água doce (APHA, 2005). A Figura 3 ilustra um perfil arbitrário de OD ao longo do tempo e o ajuste linear realizado entre a  $dC/dt$  e  $D$  para obtenção dos coeficientes linear e angular que representam, respectivamente,  $R$  e  $K$ .

A dinâmica de variação do oxigênio dissolvido ao longo do dia, segundo McBride e Chapra (2005), segue um padrão tipicamente senoidal (Figura 3a). Esse comportamento apresenta máximos nos horários após a maior incidência solar, devido à intensificação da fotossíntese, e mínimos durante a noite, quando a ausência de radiação solar impede a produção de oxigênio pelos organismos fotossintetizantes e a respiração predomina.



Figura 3 – Método da depleção noturna: a) trechos da série de OD para estimativa pelo método da depleção noturna e b) estimativa de R e K pelos coeficientes linear e angular da reta.



Para suavizar os ruídos da série e garantir uma persistência do comportamento do OD ao longo do tempo foi aplicada a suavização local de Lowess (Locally Weighted Scatterplot Smoothing). Este método consiste em uma técnica estatística utilizada para ajustar curvas a conjuntos de dados ruidosos, aplicando regressões locais ponderadas, onde cada ponto da curva é ajustado com base em uma vizinhança de dados ao redor dele, atribuindo pesos maiores aos pontos mais próximos.

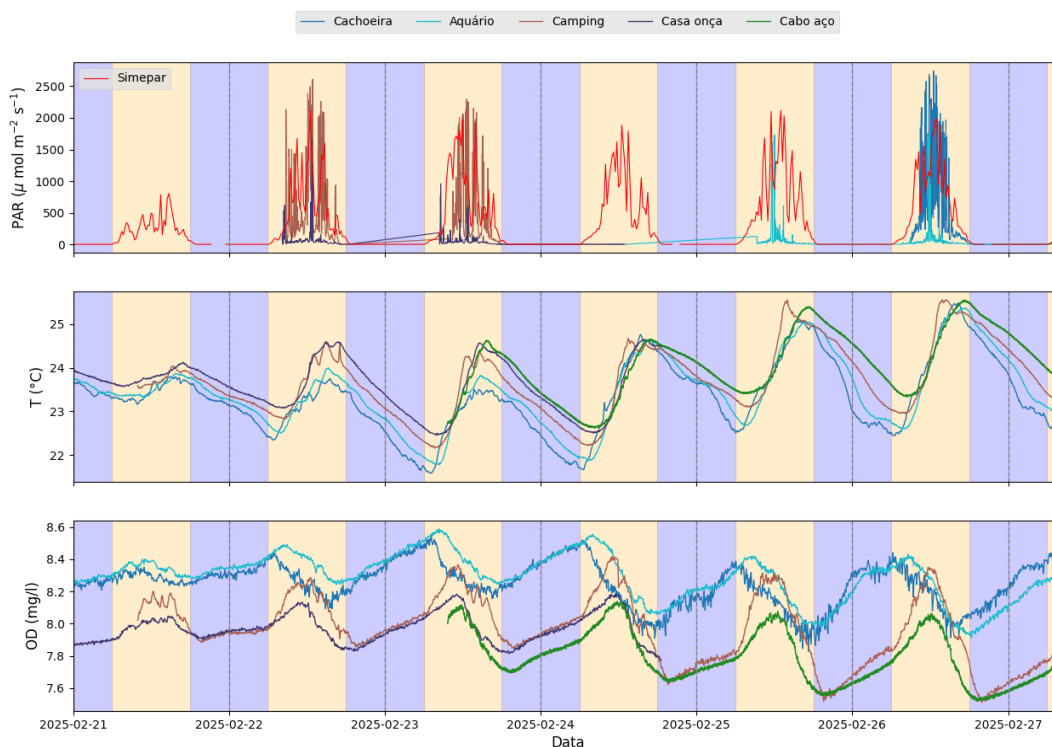
## RESULTADOS

A Figura 4 apresenta as séries de OD, temperatura e radiação ao longo do tempo. Apesar das séries representarem os ciclos diurnos de aumento e redução de OD, o efeito da fotossíntese não é tão marcante. Os picos de OD ocorrem antes do meio dia solar e sofrem forte influência da temperatura. As medições realizadas nas seções do Camping, da Casa Onça e do Cabo de Aço apresentaram uma menor concentração de OD em comparação com as seções a montante, com o menor valor medido no Cabo de Aço (7,519 mg L<sup>-1</sup>) e o maior no Aquário (8,589 mg L<sup>-1</sup>). Esse padrão é consistente uma vez que, ao longo do percurso, o consumo de oxigênio pela respiração dos organismos aquáticos e pela decomposição da matéria orgânica aumenta.

As medições também mostraram um aumento na concentração de OD durante o período noturno em todos os pontos, fato associado a redução da radiação solar e temperatura do ar, de modo que a temperatura da água diminui, aumentando a Csat. Esse aumento na Csat gera um maior gradiente do oxigênio entre a água e a atmosfera, favorecendo a troca gasosa e, conseqüentemente, o aumento da concentração de OD durante a noite. Com o aumento da radiação solar durante o dia, a temperatura da água se eleva, reduzindo a solubilidade do oxigênio e, conseqüentemente, a Csat, contudo, a fotossíntese dos organismos aquáticos compensa essa redução ao produzir oxigênio diretamente na coluna d'água, resultando no aumento da concentração de OD ao longo do dia.

Além disso, os pontos a montante (Cachoeira e Aquário) e a jusante (Casa Onça e Cabo de Aço) possuem comportamentos levemente distintos. A montante, o OD decai (aumenta) imediatamente após o amanhecer (anoitecer), quando a temperatura aumenta (diminui), esse comportamento é típico da dinâmica de OD regida pela temperatura, que acompanha a Csat quase de forma síncrona (Figura 4) sem construir um ciclo com a participação da fotossíntese e da respiração. Os pontos a jusante, no entanto, apresentam um atraso na série de OD em relação à série de temperatura, indicando que os demais componentes da equação participam da dinâmica. O comportamento da temperatura também sofre alteração ao longo do rio, aumentando aproximadamente 1°C, isso acontece pelo aumento da largura do rio e da abertura do dossel, permitindo maior passagem de raios solares.

Figura 4 – Série de dados de radiação, temperatura e OD nos pontos de amostragem. As faixas amarelas indicam o período diurno, enquanto que as faixas azuis representam o período noturno, com as linhas tracejadas indicando o horário da meia-noite.



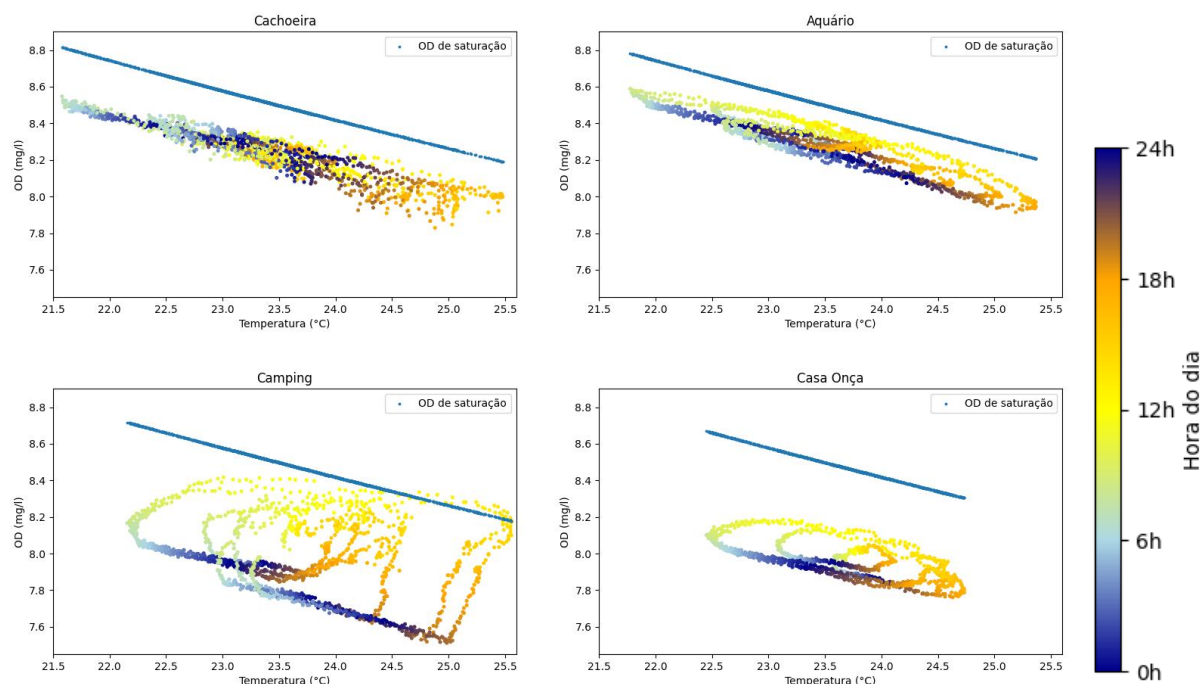
Para melhor entender a relação da dinâmica de OD com a temperatura, um diagrama de fases revela o ciclo envolvendo a respiração e a fotossíntese ou apenas uma relação paralela com a  $C_{sat}$  (Figura 5). Nas seções da Cachoeira e do Aquário, a relação entre OD e temperatura segue um padrão predominantemente linear ao longo do dia, sem formação de ciclos bem definidos. A tendência indica que o OD diminui à medida que a temperatura aumenta, um comportamento esperado devido à menor solubilidade do oxigênio na água mais quente. A ausência de um ciclo marcante sugere que a produção e o consumo de oxigênio são baixas locais, indicando baixa influência da fotossíntese e da respiração na escala temporal analisada.

Adicionalmente, a baixa influência da fotossíntese na dinâmica de OD pode estar associada a condições ambientais locais que restringem a produção primária. O sombreamento causado pela vegetação ripária ou pela própria morfologia do canal limita a incidência de luz solar, fator essencial para a atividade fotossintética. A alta velocidade da água e sua baixa profundidade favorecem a turbulência e reduzem o tempo de residência, dificultando o estabelecimento de comunidades autotróficas e mantendo o OD próximo ao equilíbrio atmosférico. Mesmo que a transparência da água seja alta, essa característica não compensa as limitações impostas pela baixa luminosidade e pela dinâmica hidrológica. Assim, a ausência de variações diurnas marcantes no OD reforça a hipótese de que a produção primária nesses trechos é reduzida, tornando os processos físicos de reaeração os principais responsáveis pela regulação das concentrações de oxigênio dissolvido.

Por outro lado, nas seções do Camping e da Casa Onça, localizadas mais a jusante, a variação do OD ao longo do dia apresenta ciclos bem estabelecidos, sugerindo um balanço dinâmico entre produção e consumo de oxigênio. Esse comportamento cíclico é característico de ambientes onde a fotossíntese contribui significativamente para a dinâmica do OD, elevando sua concentração durante

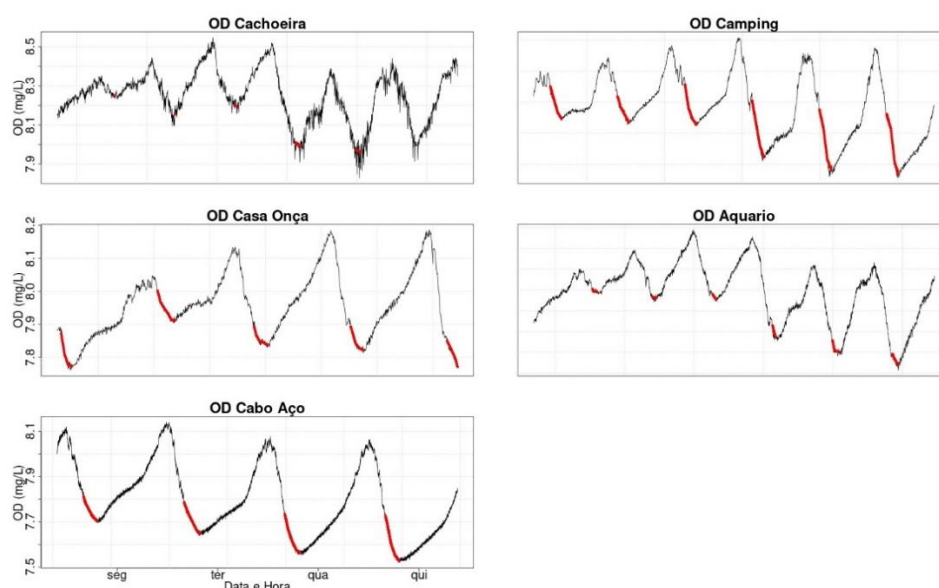
o dia e diminuindo-a à noite devido ao consumo por respiração biológica. Na seção Camping, observa-se um fenômeno de supersaturação em horários próximos ao meio dia solar, o que indica intensa produção primária, impulsionada por elevada atividade fotossintética. Já na seção Casa Onça a formação do ciclo é evidente, mas sem atingir a supersaturação, sugerindo que a produção primária é relevante, porém menos intensa, possivelmente devido à menor abertura do dossel.

Figura 5 – Diagrama de fases: relação entre oxigênio dissolvido (OD) e temperatura para os pontos de amostragem



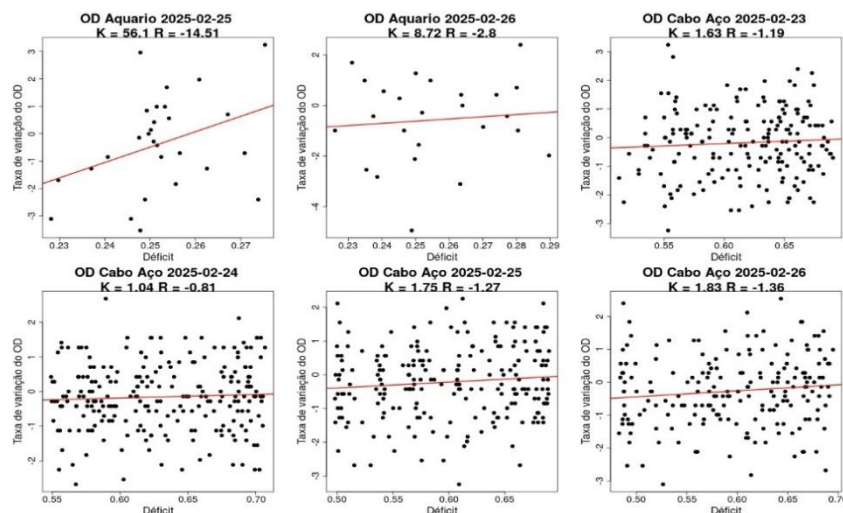
Os resultados do coeficiente de reaeração ( $K$ ) obtidos pelo método de depleção noturna variaram entre os diferentes pontos monitorados, refletindo as características hidrodinâmicas de cada local. A Figura 6 destaca os períodos de aplicação do método, destacando em vermelho os momentos em que a taxa de variação do OD foi utilizada para estimar  $K$ .

Figura 6 – Identificação e suavização dos períodos para aplicação do método de depleção noturna



A relação entre a taxa de variação do OD e o déficit para cada ponto pode ser observado na Figura 7. Cada gráfico representa um dia específico, com os pontos pretos indicando dados observacionais e a linha vermelha representando a tendência. Algumas curvas não apresentaram o comportamento linear bem demarcado para a determinação dos coeficientes. Para a aplicação do método da depleção noturna, foram utilizados os períodos em que K era positivo e R negativo.

Figura 7 – Relação entre o déficit (D) e a taxa de variação de oxigênio dissolvido (OD) ao longo de diferentes dias



Por meio dos coeficientes lineares e angulares das curvas da Figura 7, é possível obter, respectivamente, os coeficientes R e K, mostrados na Tabela 2. Os maiores valores de K foram encontrados no Camping, com um valor máximo de 18,15 d<sup>-1</sup>, indicando um ambiente com elevada atividade biológica. Já os valores mais baixos de K foram observados na Casa Onça, sugerindo condições mais estáveis, com menor turbulência e trocas gasosas reduzidas. Além disso, os valores de respiração (R) mostram grande variação entre os locais, com o Camping apresentando a taxa respiratória mais negativa (-14,63 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), o que pode estar relacionado a uma maior respiração biológica. No extremo oposto, o Aquário apresentou um R próximo de -1,00 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, sugerindo que no local haja um consumo fotossintético menos ativo.

Tabela 2 – Valores dos coeficientes de reaeração (K) e respiração (R) em cada local de amostragem

	Aquário		Camping		Casa Onça		Cabo de Aço	
	K	R	K	R	K	R	K	R
	6,17	-1,26	1,30	-1,58	22,41	-12,45	1,63	-1,19
	34,99	-9,09	3,88	-2,85	5,66	-3,17	1,04	-0,81
	56,10	-14,51	10,01	-6,67	11,16	-6,08	1,75	-1,27
	8,72	-2,80	6,88	-5,97	13,90	-7,98	1,83	-1,36
	-	-	2,32	-3,41	0,34	-0,95	-	-
	-	-	0,71	-2,42	-	-	-	-
<b>Média</b>	<b>26,49</b>	<b>-6,92</b>	<b>4,18</b>	<b>-3,82</b>	<b>10,70</b>	<b>-6,13</b>	<b>1,56</b>	<b>-1,15</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>23,65</b>	<b>6,09</b>	<b>3,61</b>	<b>2,04</b>	<b>8,37</b>	<b>4,44</b>	<b>0,36</b>	<b>0,24</b>

Há algumas limitações na aplicação do método de depleção noturna para avaliação da reaeração. Em situações ideais, espera-se que a curva de variação do oxigênio dissolvido (OD) ao



longo do tempo siga um comportamento típico, muitas vezes descrito por uma tendência senoidal ou por um padrão suavemente ajustado ao equilíbrio entre os processos de consumo e reaeração. Em riachos e nos trechos iniciais de rios, a densa cobertura vegetal restringe a incidência direta da radiação solar, fazendo com que a temperatura tenha um papel mais significativo na variação da concentração de OD. Essa forte influência da temperatura, associada às flutuações térmicas acentuadas nesses ambientes, pode comprometer a precisão das estimativas de reaeração. Os dados de OD medido podem, também, ter capturado o ingresso de escoamento com baixo OD das áreas úmidas no entorno uma vez que houve a ocorrência de chuvas muito intensas no dia 18/02/2025. Além disso, a curta duração da série de dados coletada, com apenas alguns dias de medições, pode limitar a utilização para aplicação do método, uma vez que nem todos os dias atendem as premissas simplificadoras do modelo. Essas alterações afetam diretamente a resposta do sistema, dificultando o ajuste dos modelos clássicos de determinação do coeficiente de reaeração, que partem do pressuposto de condições relativamente estáveis e previsíveis.

Outra abordagem que poderia ser utilizada seria o método delta (Chapra e Toro, 1991), no qual as medições são baseadas na identificação do pico de oxigênio dissolvido. No entanto, no nosso caso, o pico de OD ocorre antes do meio dia solar, o que pode ser explicado pelo alto nível de sombreamento da vegetação. Além disso, a orografia da região também pode influenciar a disponibilidade de luz ao longo do dia, onde a incidência solar pode ser reduzida devido ao bloqueio da radiação pelas montanhas durante parte do período diurno.

Os resultados obtidos demonstraram coerência com os valores encontrados na literatura para corredeiras e quedas d'água. Estudos anteriores, como os descritos por Matos (2011), corroboram esses achados, evidenciando a similaridade dos padrões observados e reforçando a validade dos resultados apresentados neste estudo. As limitações encontradas para a aplicação do método da depleção noturna sugerem a adoção de experimentos com traçadores gasosos para rios com as circunstâncias similares às observadas neste estudo.

## CONCLUSÃO

As medições de oxigênio dissolvido (OD) em diferentes seções do rio permitiram estimar o coeficiente de reaeração em um rio de 3ª ordem com baixa interferência antrópica, contribuindo para a compreensão dos processos naturais de oxigenação da água.

Além disso, os dados obtidos ao longo de trechos distintos evidenciaram a variação do OD na seção longitudinal do rio, mostrando um comportamento diretamente influenciado pela temperatura da água: à medida que a temperatura aumenta, o OD tende a diminuir. Essa relação é observada tanto ao longo do dia, devido às variações térmicas diurnas e noturnas, quanto no sentido montante-jusante, refletindo as mudanças naturais nas condições ambientais do curso d'água.

Os resultados obtidos neste estudo contribuem para a compreensão dos processos de reaeração em rios de cabeceira, além de oferecerem subsídios valiosos para a calibração de modelos matemáticos aplicados a corpos d'água com características semelhantes às do rio Morato.

**AGRADECIMENTOS** ao Grupo Boticário por permitir o desenvolvimento da pesquisa na Reserva Natural Salto Morato em associação com a disciplina Ecohidrologia Prática do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná. Essa oportunidade foi fundamental para o desenvolvimento acadêmico e científico dos estudantes, além de reforçar a importância da conservação ambiental.

## REFERÊNCIAS

- ALADOS, I.; FOYO-MORENO, I.; ALADOS-ARBOLEDAS, L. (1996). *Photosynthetically active radiation: measurements and modelling*. Agricultural and forest meteorology, Elsevier, v. 78, n. 1-2, p. 121–131.
- ANDRADE, A. M. D. d.; MOURA, M. A. L.; SANTOS, A. B. d.; CARNEIRO, R. G.; JUNIOR, R. S. d. S. (2014). *Radiação fotossinteticamente ativa incidente e refletida acima e abaixo do dossel de floresta de mata atlântica em coruripe, alagoas*. Revista Brasileira de Meteorologia, SciELO Brasil, v. 29, p. 68–79.
- APHA – American Public Health Association. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater analysis*. American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, 289.
- CHAPRA, S. C.; DI TORO, D. M. (1991). *Delta method for estimating primary production, respiration, and reaeration in streams*. Journal of environmental engineering, v. 117, n. 5, p. 640-655.
- CUSTÓDIO, L. L.; SILVA, B. B. D.; & dos SANTOS, C. A. (2021). *Relationship between photosynthetically active radiation and global radiation in Petrolina and Brasília, Brazil*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 25, 612-619.
- HILL, N. B., RIHA, S. J., & WALTER, M. T. (2018). *Temperature dependence of daily respiration and reaeration rates during baseflow conditions in a northeastern US stream*. Journal of Hydrology: Regional Studies, 19, 250-264.
- LIMA, M. F. D. dos S. (2023). *Estudos de determinação experimental dos coeficientes de reaeração e de dispersão longitudinal em rios*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. p. 104.
- MATOS, Antonio Teixeira et al. (2011). *Coeficiente de reaeração em três trechos do rio Pomba (MG), obtidos nos períodos chuvoso e seco*. Revista Engenharia na Agricultura-REVENG, v. 19, n. 4, p. 361-369.
- MCBRIDE, G. B.; CHAPRA, S. C. (2005). *Rapid calculation of oxygen in streams: Approximate delta method*. Journal of Environmental Engineering, v. 131, n. 3, p. 336-342.
- VILANI, M. T.; SANCHES, L.; COSTA, M. H.; GAIO, D. C.; NOGUEIRA, J. d. S. (2007). *Estimativa da absortância da radiação fotossinteticamente ativa de uma vegetação de transição floresta amazônica-cerrado por três métodos*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 15, n. 3, p. 289–298.
- VON SPERLING, M. (1996). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Editora UFMG.