

## MONITORAMENTO E CALIBRAÇÃO DE MODELO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO PASSO FUNDO

Eduardo Pavan Korf<sup>1</sup>

Rogério Luis Casagrande<sup>2</sup>

Marcos Felipe Maule Bedin<sup>2</sup>

Gean Delise Leal Pasquali Vargas<sup>1</sup>

### RESUMO

Passo Fundo é considerado uma referência no interior do Rio Grande do Sul, por se tratar de uma das maiores cidades presentes na região norte do estado. A crescente demanda populacional tem sido responsável pela geração excessiva de esgoto e consequente lançamento de carga poluidora, fato este que acaba por agravar a qualidade da água dos rios que atravessam a cidade, sendo o Rio Passo Fundo o principal deles. Este trabalho objetivou monitorar a qualidade da água em um trecho do Rio Passo Fundo, localizado na zona de influência da área urbana da cidade de Passo Fundo-RS, e realizar a calibração aos dados monitorados utilizando o modelo de qualidade QUAL2K. O monitoramento ocorreu em um período de 117 dias, com início em janeiro de 2011, realizando-se amostragens em cinco pontos selecionados com intervalos mensais. Os parâmetros analisados foram vazão, pH, oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>). Os resultados obtidos apontam que o parâmetro pH está de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05 e 430/11 para corpos hídricos classe 2, conforme enquadramento do rio em estudo. Os demais parâmetros OD e DBO<sub>5</sub> apresentaram desacordo com a resolução em algumas coletas, para classe 2. A variação espacial média apresentou carga expressiva de lançamentos de efluentes, principalmente ao início do percurso em análise que resultou em DBO<sub>5</sub> de 11,07 mg/L, diminuindo a concentração a jusante para próximo de 6,70 mg/L. O aumento da vazão é a causa predominante para a diminuição dessa carga devido à diluição. O modelo QUAL2K permitiu a obtenção dos coeficientes cinéticos e de degradação do rio Passo Fundo, bem como a quantificação das cargas poluidoras, mostrando-se como um instrumento para a gestão dos recursos hídricos, uma vez que se conseguiu observar que a autodepuração é baixa e, em sua maior parte, decorrente do aumento da vazão.

**Palavras-chave:** Modelagem Ambiental; Gestão dos Recursos Hídricos; Coeficientes Cinéticos e de Degradação; Cargas Poluidoras.

### ABSTRACT

**Monitoring and calibration of quality model of Passo Fundo river.** Passo Fundo is considered a reference in the interior of Rio Grande do Sul, because it is one of the largest cities present in the northern region of the state. The growing population demand has been responsible for the excessive generation of effluent and consequent increasing of pollutant load, a fact that ends up aggravating the water quality of the rivers that through the city, being the Rio Passo Fundo the main one. This study monitored the water

<sup>1</sup> PPG em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, Campus Erechim, Erechim, RS, Brasil. Email para correspondência: [eduardo.korf@uffrs.edu.br](mailto:eduardo.korf@uffrs.edu.br)

<sup>2</sup> Engenharia Ambiental, Universidade de Passo Fundo – UPF, Passo Fundo, RS, Brasil.

quality in a section of river Passo Fundo, located in the influence zone from urban area in Passo Fundo city, RS, and performed calibration of data monitored through QUAL2K quality model. The monitoring occurred in a period of 117 days, starting in January 2011, and it was performed sampling in five selected points with monthly intervals. The analyzed parameters were flow, pH, dissolved oxygen (DO) and biochemical oxygen demand ( $BOD_5$ ). The results for pH are according to CONAMA Resolution N°. 357/2005 and 430/11 for Class 2, corresponding classification of the river studied. The other parameters DO and  $BOD_5$  showed disagreement with the legislation in some samples, for class 2. The average spatial variation showed significant load from effluent, mainly in the first point of analysis (11,07 mg/L), decreasing downstream, with concentration of 6,70 mg/L. The flow increasing is the predominant cause for the decreased of this pollutant load due to dilution. The model QUAL2K allowed to obtain kinetic and degradation coefficients of river Passo Fundo, as well as pollutant loads quantification, Therefore, it showed how a tool to water resources management, since it was able to observe that the depuration is low and, for the most part, due to increased flow.

**Keywords:** Environmental Modeling; Water Resources Management; Kinetic and Degradations Coefficients; Polluting Loads.

## INTRODUÇÃO

A cidade de Passo Fundo, localizada no norte do estado do Rio Grande do Sul, tem crescido em proporção acelerada nos últimos anos, o que resultou no aumento da geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos, fato que se agrava pela deficiência em ações de saneamento básico. O saneamento precário e a ausência de esgoto tratado põem em risco as águas superficiais e subterrâneas, além de solos e sedimentos. Esta situação é possível de ser observada no leito do Rio Passo Fundo, o qual corta a cidade e tem sua qualidade afetada devido ao impacto do meio urbano (SEMA/DRH, 2012).

Segundo Montano e Souza (2016), a qualidade de um recurso hídrico é diretamente proporcional à ocupação da bacia hidrográfica e às atividades nela desenvolvida. Neste sentido, a qualidade de vida da população está diretamente influenciada pela qualidade da água, conseqüentemente, o seu diagnóstico, bem como uma avaliação qualitativa, constitui uma ferramenta importante para estabelecer melhorias com o intuito de reduzir a carga poluidora emitida sobre os mananciais e prever ações de prevenção e de recuperação.

Nesse sentido, o monitoramento ambiental constitui-se uma ferramenta de avaliação da qualidade em um determinado ambiente. Essa ferramenta destina-se a realizar observações contínuas e sistemáticas em escala temporal e espacial de parâmetros físicos, químicos e biológicos, com o intuito de buscar informações básicas sobre possíveis ações antrópicas ou naturais, que alterem a qualidade do corpo hídrico superficial, devido fontes poluidoras predominantes (Toledo, 2004; Fuzinato, 2009; Magalhães, 2010). Já para avaliação da capacidade de autodepuração de um manancial e até mesmo para diagnóstico da carga poluidora predominante em um recurso hídrico, a modelagem ambiental é a ferramenta mais adequada, pois permite conhecer o comportamento atual de um manancial, por meio de calibrações de dados monitorados, além de prever mudanças na qualidade da água frente a cenários futuros (Chapra, 1997; Pelletier *et al.*, 2006; Chapra *et al.*, 2008; Fan *et al.*, 2009; Knapik, 2009; Cho e Há, 2010).

O modelo QUAL2K, desenvolvido por Chapra *et al.* (2008), constitui uma de solução numérica que permite a modelagem unidimensional da qualidade da água de corpos hídricos. O QUAL2K se baseia em balanços de equações da continuidade relacionadas à quantidade de movimento e massa, para regime permanente, podendo ser utilizado para simular o comportamento de diversos parâmetros da qualidade da água. O modelo permite segmentar o corpo hídrico, simular a presença de tributários e ingresso de cargas poluidoras de origem difusa e pontual, sendo comumente empregado na gestão dos recursos hídricos, para calibração aos dados monitorados na fase de diagnóstico da qualidade dos corpos hídricos. (Rennó e Soares, 2000; Chapra *et al.*, 2008; Fonseca, 2008; Botino *et al.*, 2008; SEMA/DRH, 2012).

A calibração permite ajustar o modelo aos dados monitorados adequando-se os coeficientes referentes às características cinéticas do corpo receptor. Nesse sentido, diversos estudos na literatura relatam contribuições na determinação de coeficientes cinéticos e de degradação de corpos hídricos receptores, bem como avaliação das contribuições de cargas poluidoras, o que constitui uma informação imprescindível para qualidade da água do Rio Passo Fundo, para que se torne possível à simulação futura de cenários de melhoria da qualidade hídrica, bem como estudos de redução de cargas poluidoras para atingir estes cenários (Lima, 1997; Rennó e Soares, 2000; Siqueira, 2005; Kennel *et al.*, 2007; Botino *et al.*, 2008; Fonseca, 2008; Oppa, 2008; Silvino, 2008; Turner *et al.*, 2009; Camargo *et al.*, 2010).

Neste contexto, este trabalho objetivou monitorar a qualidade da água em um trecho do Rio Passo Fundo, localizado na zona de influência da área urbana da cidade de Passo Fundo-RS, e realizar a calibração dos dados monitorados através do modelo de qualidade QUAL2K.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Local de Estudo e Monitoramento

O monitoramento foi realizado no período de aproximadamente seis meses (117 dias), distribuído em um intervalo de 30 dias por amostragem. O planejamento da amostragem seguiu os procedimentos descritos pelas normas NBR 9897 e NBR 9898 (ABNT, 1987), que se referem à forma de coleta e acondicionamento de amostragem.

Foram selecionados seis pontos estratégicos para a realização do monitoramento do rio Passo Fundo. A escolha desses pontos, conforme figura 1, foi realizada conforme metodologia de Bottino (2008), em que o mesmo avalia a diversificação do uso e ocupação do solo e das atividades próximas ao leito do rio em estudo.

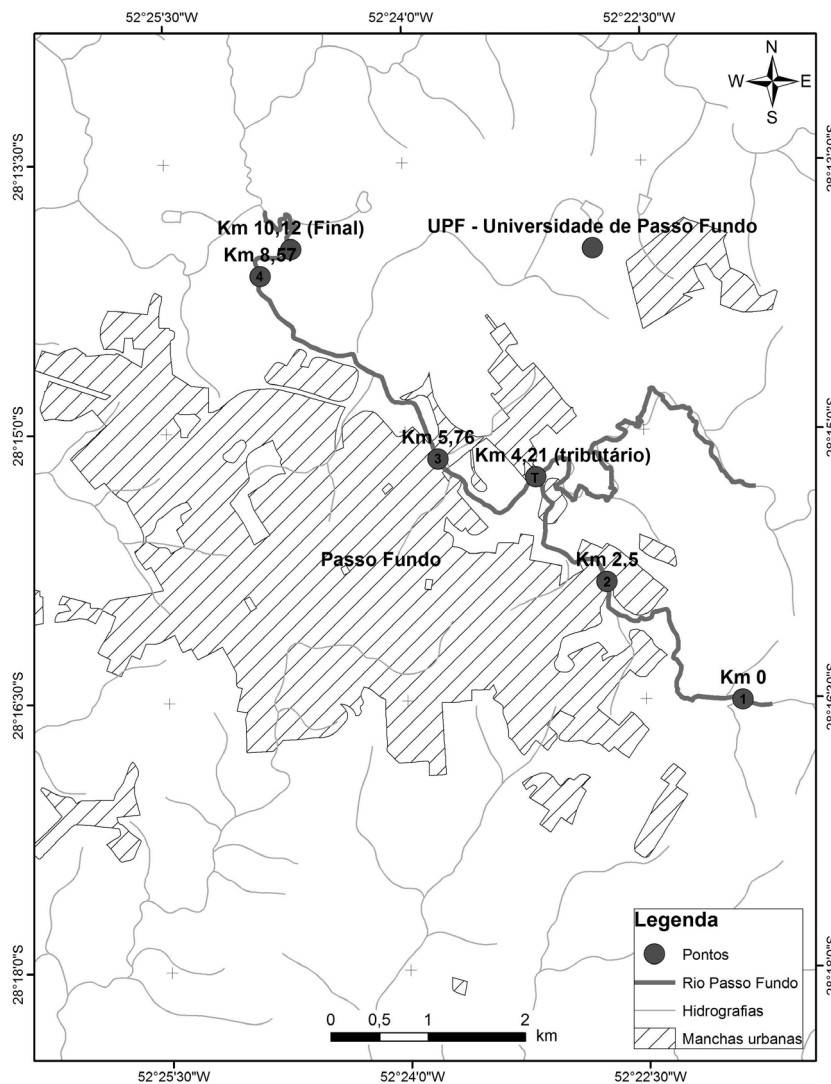


Figura 1. Pontos de Monitoramento do rio Passo Fundo.

O trecho escolhido para o monitoramento inicia-se no km 0. Neste ponto observam-se matas ciliares em seu contorno, mostrando que no ano de 2011 a cidade ainda não havia ultrapassado por completo suas margens de preservação permanentes e obrigatórias exigidas por lei. Este ponto localiza-se muito próximo à nascente, o que é caracterizado por baixas vazões.

O segundo ponto escolhido situa-se a 2,5 km do início do trecho em estudo. A escolha foi com base na predominância de residências no entorno do rio, atendendo o objetivo de servir para avaliar a influência da população urbana. O rio Passo Fundo é constituído por vários afluentes; como o arroio Santo Antonio. O ponto tributário (T) no km 4,21 não foi objeto de monitoramento, sendo apenas limite dos trechos considerados na modelagem.

O terceiro ponto em estudo situa-se a 5,76 km de distância do início e foi escolhido para obter uma noção da influência do centro da cidade em comparação às características iniciais ao rio. O quarto ponto está localizado ao término da influência urbana da cidade de Passo Fundo, a 8,57 km de distância do início, e possui uma maior vazão do que o início do percurso. Sua escolha teve por princípio monitorar o comportamento do rio ao longo de toda a influência urbana. O último ponto em estudo foi monitorado a 10,12 km à jusante do primeiro ponto e objetivou-se saber o potencial de autodepuração do rio, após influência do meio urbano.

**Parâmetros Monitorados, Métodos de Análise e Amostragem**

No monitoramento foram analisados alguns parâmetros físico-químicos os quais permitiram caracterizar a qualidade da água do rio em estudo. Estes parâmetros foram comparados com os indicadores das resoluções CONAMA nº 357/05 e nº 430/11 (Brasil, 2005; 2011). Conforme o comitê de gerenciamento da bacia hidrográfica do rio Passo Fundo, o corpo hídrico foi enquadrado como pertencente à classe 2 e a sua regulamentação por portaria específica está atualmente em fase conclusiva.

Os parâmetros monitorados ao longo do Rio Passo Fundo estão representados na tabela 1, juntamente com os métodos utilizados nas análises e os valores admissíveis para esses parâmetros, conforme resoluções CONAMA nº 357/05 e 430/11, para classe 2. Adicionalmente foram realizadas medições *in situ* da vazão em cada ponto durante todas as coletas, de acordo com o método flutuador de Palhares (2007).

Tabela 1. Parâmetros monitorados e métodos analíticos empregados. \*Conforme classe 2 – Resoluções CONAMA nº 357/05 e nº 430/11 (BRASIL, 2005, 2011). \*\*Métodos especificados em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* - Apha (2005).

Parâmetros	Unidade	Princípio/Método**	Fonte	Valores Admissíveis*
Oxigênio Dissolvido	mg/L	4500/Volumetria	APHA (2005)	> 5 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5210/Titulometria	APHA (2005)	< 5 mg/L O <sub>2</sub>
pH	-	potenciometria	-	6,0 a 9,0

Os pontos de coleta foram detalhadamente descritos em uma ficha de coleta, incluindo suas coordenadas, além das condições meteorológicas no dia da coleta e nas últimas 48 h, segundo a NBR 9898 (ABNT, 1987) e a *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Apha, 2005).

**Calibração do Modelo de Qualidade QUAL2K**

Para calibração, o rio foi dividido em quatro trechos, tendo como limite os pontos nessa ordem 1, 2, 3, 4 e 5. Na tabela 2 são apresentadas as características e a representação cada trecho e a representação conforme considera o software QUAL2K, contando a distância decrescente da nascente à foz, o que também é considerado na análise dos resultados.

Tabela 2. Representação dos trechos simulados.

Trecho	Descrição	Descrição adotada no QUAL2K	Comprimento do Trecho (km)	Final do Trecho	Características
1	km 0 a km 4,21	km 10,12 a km 5,91	4,21	Área urbana, com entrada de tributário	Mata ciliar/indústrias
2	km 4,21 a km 5,76	km 5,91 a km 4,36	1,55	Centro da cidade	Residências urbanas
3	km 5,76 a km 8,57	km 4,36 a km 1,55	2,81	BR 285	Residências Urbana/Indústrias
4	km 8,57 a km 10,12	km 1,55 a km 0	1,55	km 10,12	Mata ciliar

A calibração das variáveis hidráulicas do modelo considerando regime permanente seguiu as considerações abaixo relacionadas (Pelletier *et al.*, 2006; Chapra *et al.*, 2008; Fan *et al.*, 2009; Cho e Há, 2010).

- a) Foi utilizada a vazão média de cada ponto monitorado. Esta foi calibrada de acordo com a equação de *manning* realizada pelo modelo e de acordo com o balanço hídrico de emissões/retiradas difusas ao longo do trecho. Utilizou-se coeficiente de *manning* de 0,07, a largura de cada trecho e a declividade do canal calculada a partir das cotas altimétricas a montante e jusante de cada trecho.
- b) O modelo foi calibrado para as variáveis  $DBO_5$  e OD através do ajuste dos dados temporais médios monitorados aos dados previstos pelo modelo. Esses ajustes foram realizados através da inserção das cargas difusas e vazões de contribuições para cada elemento estipulado. Ainda foram ajustados para cada trecho, os coeficientes de degradação da  $DBO_5$  ( $K_1$  ou  $K_d$ ) e o coeficiente de reaeração ( $K_a$  ou  $K_2$ ).
- c) Os demais coeficientes hidráulicos, cinéticos e de degradação para calibração foram adotados como o padrão do próprio modelo, que prioriza os valores adotados da literatura.
- d) A cabeceira do rio foi considerada como condição de contorno de entrada. Nela foram inseridos os valores médios monitorados, para o ponto 1.
- e) A vazão do tributário, foi considerada no trecho 2, em que o mesmo ingressa no rio principal e não como um afluente com entrada pontual.
- f) Considerou-se como contribuição difusa a emissão de carga poluidora de esgoto doméstico do meio urbano. Como a cidade de Passo Fundo caracteriza-se como um divisor de águas, essa contribuição na forma de vazão, foi estimada de acordo com 50 % da população da cidade e segmentada dentro dos trechos 1 e 2, em 60 % da contribuição e nos trechos 3 e 4, como 40 % da contribuição. As vazões de contribuição consideradas foram e estimadas a partir da consideração da quantidade de efluentes equivalente a 80 % do consumo médio humano de água, considerando 200 L/(hab.d). Nos trechos 1 e 2 a vazão considerada foi de 0,0930 m<sup>3</sup>/s e nos trechos 3 e 4 de 0,0620 m<sup>3</sup>/s. A concentração e a carga poluidora correspondente foi obtida por meio da calibração do modelo.
- g) Considerou-se também como contribuição difusa a entrada de tributários ao longo do corpo receptor, sendo que foram estimadas vazões e concentrações/cargas poluidoras para cada um dos 4 trechos, e os valores correspondentes foram obtidos por meio da calibração do modelo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na sequência estão apresentados os resultados do monitoramento espacial e calibração do modelo QUAL2K, para os parâmetros Vazão, pH,  $DBO_5$  e OD, considerando dados médios temporais dos 6 meses de monitoramento.

A tabela 3 apresenta as cargas e concentrações poluidoras de  $DBO_5$  e OD, bem como as vazões de contribuição, consideradas para calibração dos dados monitorados, para a emissão de esgoto doméstico urbano estimada e emissões provindas estimadas de tributários ao longo dos 4 trechos simulados. Perce-

be-se pela análise dos resultados que a carga de esgoto doméstico é maior no segundo trecho analisado, correspondentes aos trechos 3 e 4 simulados e que há uma redução da carga poluidora de contribuição dos tributários quanto mais à jusante dos trechos avaliados.

Tabela 3. Cargas e concentrações poluidoras difusas de  $DBO_5/OD$  e vazões de contribuição.

Tipo	Trecho	Vazão ( $m^3/s$ )	Concentração de OD (mg/L)	Concentração de $DBO_5$ (mg/L)	Carga de $DBO_5$ (kg/d)
Esgoto	10,12-5,76	0,062	0,00	250,00	1339,20
	5,76-0,00	0,093	0,00	250,00	2008,80
Tributário	1	3,60	5,75	7,00	2177,28
	2	5,30	5,75	5,00	2289,60
	3	5,50	5,75	2,00	950,40
	4	0,00	5,75	0,00	0,00

A figura 2 apresenta o comportamento da vazão média do trecho monitorado e a calibração realizada no software QUAL2K. Nota-se que ao longo dos 10,12 km, a vazão média aumenta a jusante do rio, devido à entrada de tributários e contribuições difusas. Com o aumento da vazão, as cargas de efluentes ficam mais diluídas facilitando a autodepuração do meio. Observa-se também, a partir da figura 2, que o modelo respondeu de forma adequada a calibração representando a real vazão do rio em estudo.

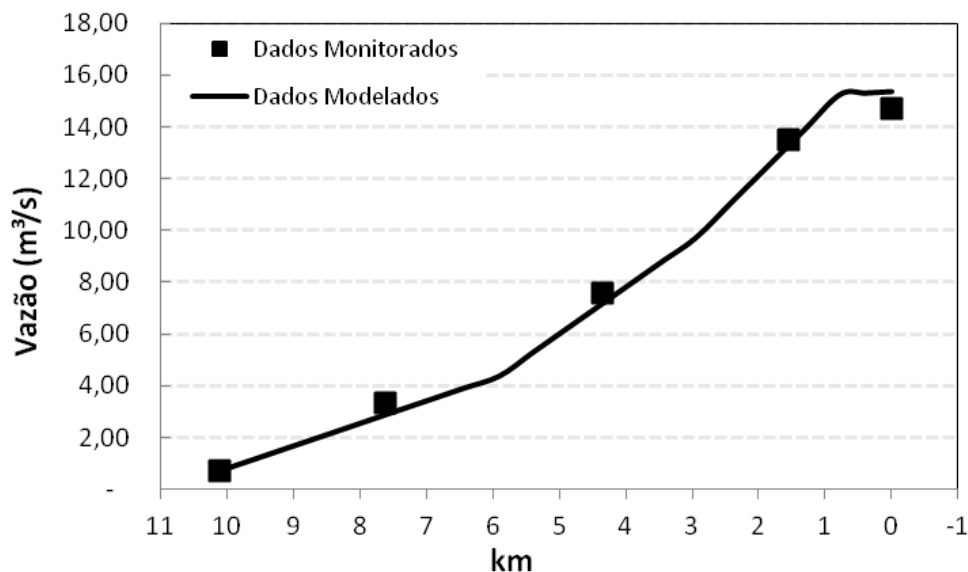


Figura 2. Calibração e comportamento da vazão média do trecho monitorado.

A figura 3 apresenta comportamento médio do pH do trecho monitorado e a calibração realizada no software QUAL2K, a qual apresentou-se satisfatória. Verifica-se que o pH ficou dentro dos níveis aceitáveis para corpos hídricos classe 2 determinados pela resolução CONAMA nº 357/05 e 430/11 (Brasil, 2005; 2011), para pH de 6 a 9.

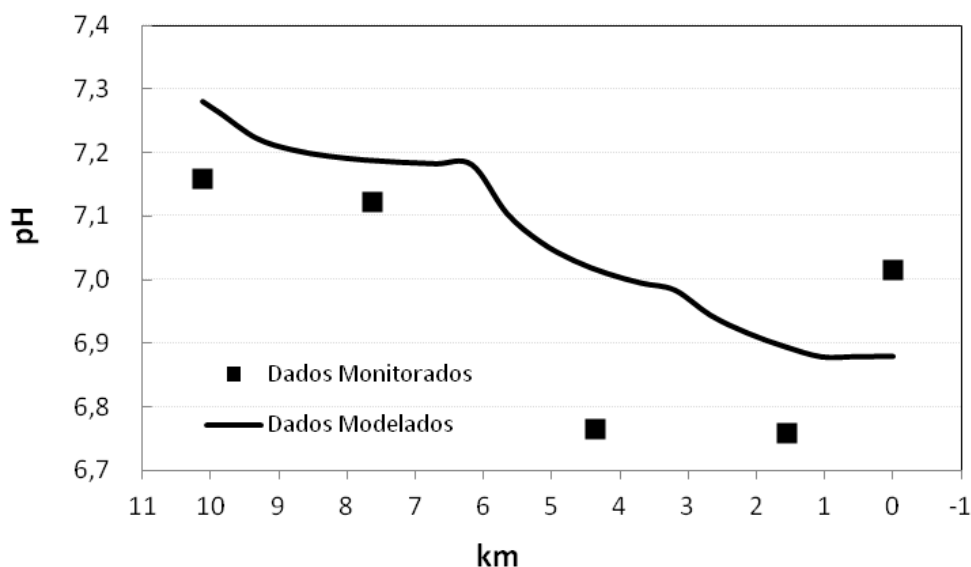


Figura 3. Calibração e comportamento médio do pH ao longo do trecho monitorado.

A figura 4 apresenta comportamento médio da  $DBO_5$  do trecho monitorado e a calibração realizada no software QUAL2K, a qual se apresentou satisfatória. As resoluções CONAMA nº 357/05 e nº 430/11 (Brasil, 2005) define, para classe 2, o limite máximo de  $DBO_5$  de 5 mg/L. Para todos os pontos amostrados os resultados apresentaram-se superiores a este limite, indicando degradação de qualidade, sendo que os valores maiores obtidos foram próximos a nascente do rio.

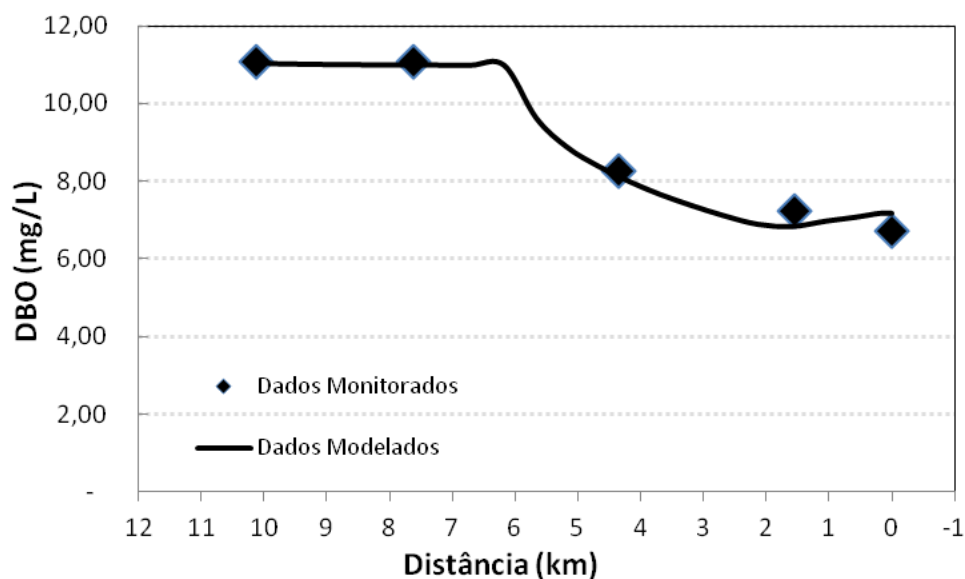


Figura 4. Calibração e comportamento médio da  $DBO_5$  ao longo do trecho monitorado.

Segundo Pereira (2004), a  $DBO_5$  mostra a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável presente na água. Quanto maior a quantidade presente de matéria orgânica, maior será a quantidade de oxigênio necessária para decompô-la. Nos pontos iniciais, conforme visualizado figura 4, o valor de  $DBO_5$  foi elevado, pois há uma baixa vazão e, portanto, alta concentração poluidora. Com o aumento da vazão, há uma diminuição na concentração de carga orgânica, devido sua diluição ao meio aquoso e aumento do poder de autodepuração do corpo receptor devido a condições de fluxo e reaeração.



A calibração para a  $DBO_5$  apresentou valores únicos para o coeficiente de oxidação da  $DBO_5$  de  $0,20\text{ d}^{-1}$  para todo o percurso em análise, sendo que este valor enquadra o corpo hídrico como receptor de efluentes secundários de menor carga poluidora, segundo Von Sperling (2007). Quando não há mudança na taxa de degradação, segundo Silvino (2008), possivelmente a redução da  $DBO_5$  se dá pela diluição da carga orgânica com o aumento da vazão da montante a jusante, o que se comprova por baixos valores de  $k$  obtidos na modelagem desse parâmetro. Valores típicos de remoção de  $DBO_5$ , segundo Von Sperling (2007), diferenciam os valores do coeficiente  $K_d/K_1$  pela profundidade do rio analisado, o que possivelmente é a explicação para os valores se manterem constante neste estudo, devido à pouca mudança na profundidade. Von Sperling (2007) afirma que os rios mais rasos possuem maiores influencia da biomassa presente nos sedimentos, a qual também pode ter sido um fator que contribuiu para a decomposição da  $DBO_5$ .

A figura 5 apresenta comportamento médio do OD no trecho monitorado e a calibração realizada no software QUAL2K, a qual se apresentou satisfatória. A figura 6 apresenta a comparação entre  $DBO_5$  e OD para o trecho monitorado. Pelos resultados monitorados, pode-se observar que a variação de oxigênio dissolvido ao longo do trecho analisado, apresenta valores abaixo do limite mínimo de  $5\text{mg/L}$ , conforme as resoluções CONAMA nº 357/05 e nº 430/11 (Brasil, 2005; 2011), para rios de classe 2, na maioria dos pontos amostrados, indicando degradação da qualidade hídrica, devido ao lançamento de carga poluidora, como a de esgoto doméstico.

A tabela 4 apresenta os coeficientes cinéticos de reaeração ( $K_a/K_2$ ) utilizados para calibração do OD, em cada trecho simulado.

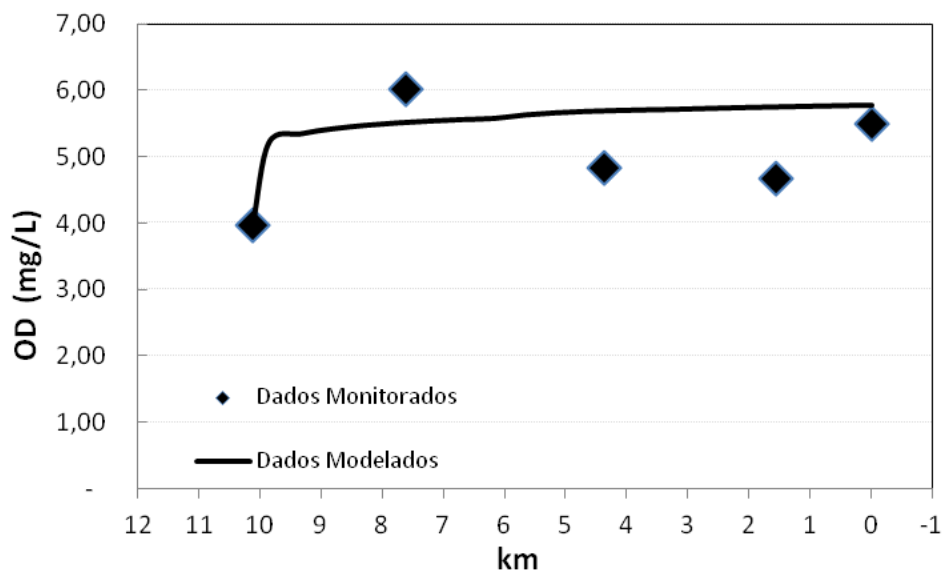


Figura 5. Calibração e comportamento médio do OD ao longo do trecho monitorado.

Tabela 4. Coeficientes cinéticos utilizados na calibração do modelo para OD em cada trecho simulado.

Trecho	Coeficiente de reeraçãoção ( $K_a/K_2$ )	Velocidade de sedimentação
	$d^{-1}$	m/d
1	0,2	1,00
2	0,2	1,00
3	0,4	1,00
4	0,9	1,00

Pela análise da figura 5, nota-se que próximo a nascente (km 10,12) a concentração de OD é muito baixa, o que é explicado pelos altos valores de  $DBO_5$  apresentados neste ponto e comprova a concentração de carga poluidora próxima à nascente, provavelmente devido à emissões industriais clandestinas, pois o oxigênio dissolvido da água foi consumido para depurar a matéria orgânica. Após este ponto o OD aumenta, possivelmente pelo aumento da vazão e conseqüente diluição da carga poluidora e apresenta nova redução devido à influência da carga de esgoto emitida pela área urbana, seguida de leve aumento no último ponto, devido à capacidade de autodepuração do corpo receptor. Pode-se avaliar, pela figura 6, a relação inversa entre  $DBO_5$  e OD. Ao longo do trecho percebe-se claramente a redução da carga orgânica ( $DBO_5$ ) pelo aumento do potencial de reeraçãoção do corpo hídrico.

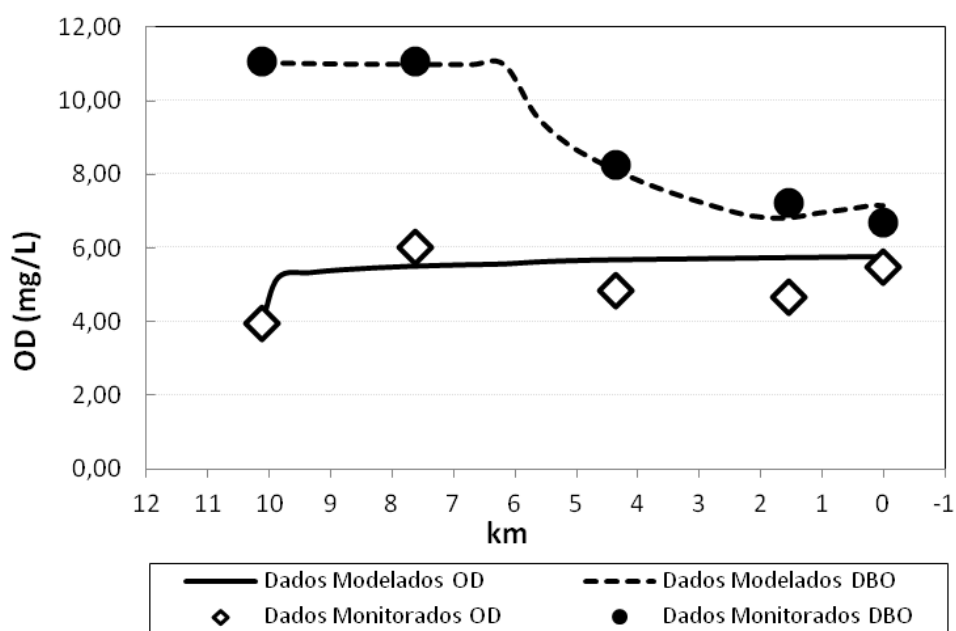


Figura 6. Comparação da  $DBO_5$  versus OD para o trecho monitorado.

Segundo Chagas (2000), as bactérias que decompõem a matéria orgânica (aeróbicas), usam o oxigênio para o processo respiratório, diminuindo a concentração do mesmo no meio. Em casos extremos, com exigência de grande quantidade de OD e dependendo da taxa de aeração do meio, organismos aquáticos sensíveis a níveis críticos de oxigênio podem ter sua sobrevivência comprometida.

Ao analisar os dados de referencia para os tipos de rios e seu comportamento, segundo Von Sperling (2007), observa-se uma característica de rio raso inicialmente, com baixa velocidade em seu meio, tornando-se um rio rápido a jusante, porém mediamente raso. As características de corpos hídricos apresentadas mostram-se satisfatórias na comparação com as reais características do rio estudado.

A calibração dos coeficientes utilizados no modelo (tabela 4) para oxigênio dissolvido reflete a reaeração do percurso em cada elemento, sendo a velocidade de sedimentação constante. Segundo Filho (2005), a concentração do oxigênio pode ser controlada pela sua solubilidade em água, uma vez que, como para outras moléculas de gases apolares com interação intermolecular fraca com água, a solubilidade é pequena devido à característica polar da molécula de água. Neste conceito, Costa *et al.* (2000) afirmam que a reposição de Oxigênio dissolvido nos escoamentos de águas naturais ocorre, principalmente, através da incorporação do oxigênio contido na atmosfera em função da movimentação turbulenta na superfície livre do escoamento.

No caso em estudo, ao analisar os coeficientes da calibração para OD no modelo (tabela 4), nota-se um aumento no coeficiente de reaeração a jusante, o que demonstra que o rio está aumentando a taxa de reaeração ao longo do percurso, proporcionando aumento da autodepuração, eliminando parte da concentração de carga orgânica poluidora do curso hídrico ou diluindo a mesma com o aumento da vazão, declividade e velocidade de escoamento das águas. Comparando-se a magnitude dos valores obtidos com a literatura, nota-se que o mesmo está inferior ao obtido em diversos estudos feitos em rios com proporções maiores que o rio Passo Fundo (Fonseca, 2008; Silvino, 2008; Turner *et al.*, 2009), sendo isto explicado por Von Sperling (2007), por este corpo hídrico ainda ser pouco veloz, sendo um valor típico para corpos hídricos pequenos e velozes, de  $1,15 \text{ d}^{-1}$ , superior a este estudo. Neste caso, os valores baixos obtidos são corroborados por Camargo (2010), que obteve valores de  $0,17$  a  $0,58 \text{ d}^{-1}$ , no rio Fidalgo, em Belo Horizonte – MG, com características semelhantes a este estudo, baixas declividades, pequenas larguras e profundidades.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos concluiu-se que a degradação do corpo d'água do Rio Passo Fundo é resultado das ações antrópicas ao longo de todo o percurso monitorado. A presença da urbanização é o maior responsável pela poluição (pontual e difusa), ambas comprometendo a qualidade das águas superficiais em estudo, devido à alteração de qualidade dos parâmetros  $\text{DBO}_5$  e OD.

Além disso, o aumento da vazão é a causa predominante para a redução da carga poluidora de  $\text{DBO}_5$  e aumento dos níveis de OD, devido diluição e também aumento da capacidade de reaeração. Os coeficientes de reaeração ( $K_2$  ou  $K_a$ ), apresentaram-se baixos, típicos de rios pequenos, rasos e de baixa velocidade e declividade.

O monitoramento da qualidade do corpo hídrico apresentou ser de extrema importância para caracterizar e obter informações sobre a real situação atual da qualidade das águas do rio em estudo, uma vez que obtendo essas informações poderá realizar medidas de gestão e minimização dos impactos antrópicos. O modelo QUAL2K respondeu adequadamente a calibração, uma vez que se conseguiu observar que a autodepuração ao longo do trecho monitorado é baixa e, em sua maior parte, decorrente do aumento da vazão. Este ajuste de calibração poderá ser utilizado para tomada de decisões locais, visando estudos de prognóstico e de redução de cargas poluidoras para atingir classes de enquadramento requerido pelos gestores, na busca de minimização dos impactos.

## REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2005. **NBR ISO/IEC 17025:2005**. Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 28p.
- \_\_\_\_\_. 1987. **NBR 9897**: planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 14p.
- \_\_\_\_\_. 1987. **NBR 9898**: preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 22p.
- APHA, American Public Health Association. 2005. **Standard methods for the examination of the water and wastewater**. 21. ed. Washington: APHA/WEF/AWWA, 937p.
- BOTTINO, F. 2008. **Estudo experimental e matemático de qualidade da água com base na ecologia fluvial de pequenas bacias**: estudo de caso do rio Canha, baixo Ribeira de Iguape, SP. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, 188p.
- BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2011. Resolução CONAMA n°. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a resolução n°. 357, de 17 de março de 2005. D.O.U, 9p.
- CAMARGO, R. de A. et al. 2010. Water quality prediction using the QUAL2Kw model in a small karstic watershed in Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, 22(4):486-498.
- \_\_\_\_\_. 2005. Resolução CONAMA n°. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre as classificações dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. D.O.U, 27p.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Variáveis da qualidade da água. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>>. Acesso em: 15 mar. 2015.
- CHAGAS, W. F. 2000. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da ilha do governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Saúde Pública) - Fundação Oswaldo Cruz, 89p.
- CHAPRA, S. C. 1997. **Surface water quality modelling**. New York: McGraw-Hill, 844p.
- CHAPRA, S. C.; PELLETIER, G. J.; TAO, H. 2008. QUAL2K.: A modeling framework for simulating river and stream water quality. Version 2.11: Documentation. Medford, A.: Tufts University, 109p.
- CHO, J. H.; HA, S. R. 2010. Parameter optimization of the QUAL2K model for a multiple-reach river using an influence coefficient algorithm, **Science of the total Environment**, 408(8):1985-1991.
- COSTA, O. S. 2000. Determinação indireta do coeficiente de reaeração através de dissolução unidimensional de sondas de ácido oxálico. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Alegre. p. 1-8.
- DOMBROSKI, S. A. G. 2000. Nitrificação e desnitrificação de água residuária sintética de Coqueira. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Alegre. p. 1-8.
- FAN, C.; KO, C.; WANG, W. 2009. An innovative modeling approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation, **Journal of Environmental Management**, 90(5):1824-1832.
- FILHO, E. B.; FIORUCCI, A. R. 2005. Oxigênio dissolvido em sistemas aquáticos: A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. **Química Nova na Escola**, (22):1-7.
- FONSECA, W. C. 2008. **Ajuste do Modelo QUAL2K e simulação de cenários para o Ribeirão Claro**. Monografia

(Curso de Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, 62p.

FUZINATTO, C. F. 2009. **Avaliação da qualidade da água de rios localizados na ilha de Santa Catarina utilizando parâmetros toxicológicos e o índice de qualidade de água.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, 243p.

KNAPIK, G. H. 2009. **Reflexões sobre monitoramento, modelagem e calibração na gestão de recursos hídricos: estudo de caso da qualidade da água da bacia do Alto Iguaçu.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, 181p.

LIMA, C. A. A. 1997. **O Uso do modelo Q2K na simulação da qualidade das águas do rio Jacaré – Guaçú.** Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, 177p.

MAGALHÃES, P.A. 2010. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da expectativa francesa.** 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 688p.

MELO, J. L. S.; LIMA, M. A.; SILVA, F.D. 2000. Avaliação da remoção de nitrogênio orgânico e amoniacal em amostras de esgoto doméstico submetido a pós-tratamento em tabuleiros irrigados. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2000, Águas de São Pedro, SP. p. 1-10.

MONTANO, M.; SOUZA, M. P. de. 2016. Integração entre planejamento do uso do solo e de recursos hídricos: A disponibilidade hídrica como critério para localização de empreendimentos, **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 21(3):489-495.

OPPA, F. L. 2008. **Utilização do Modelo Matemático de Qualidade da Água para Análise de Alternativas de Enquadramento do Rio Vacacaí- Mirim.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, 129p.

PALHARES, J. C. P. et al. 2007. **Medição de vazão em rios pelo Método Flutuador:** comunicado técnico 455. Concórdia, SC: Embrapa, 4p.

PELLETIER, G. J.; CHAPRA, S. C.; TAO, H. 2006. QUAL2Kw – A framework for modeling water quality in streams and rivers using a genetic algorithm for calibration, **Environmental Modelling & Software**, 21(3):419-425.

PEREIRA, R. S. 2004. **Poluição hídrica: causas e consequências.** Porto Alegre: IPH/UFRGS, 19p.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. 2000. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental:** relatório técnico parcial. INPE, 60p.

SEMA/DRH, Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. 2012. **Relatório Técnico 3:** consolidação do diagnóstico - RT3. Elaboração dos serviços de consultoria relativos ao processo de planejamento dos usos da água na bacia hidrográfica do Alto Jacuí – etapas A e B. Porto Alegre: SEMA/DRH, 477p.

\_\_\_\_\_. 2012. **Processo de planejamento do uso da água na bacia hidrográfica do rio Passo Fundo – Enquadramento:** relatório síntese final (RS). Porto Alegre: SEMA/DRH, 93p.

SILVINO, A. N. O. 2008. **Avaliação e modelagem da qualidade da água da bacia do rio Coxipó, no município de Cuiabá - MT.** Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) - Universidade federal de Mato Grosso, 145p.

TOLEDO, L. G. 2004. Monitoramento dos impactos ambientais das atividades agrícolas na qualidade das águas superficiais. In: I SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA, 2004, Passo Fundo, RS. p. 11-11.

VON SPERLING, M. 2007. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias:** estudos e modelagem da qualidade da água em rios. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 588p.

SIQUEIRA, E. Q. 1997. O coeficiente de reoxigenação no modelo qual2e: metodologia de previsão. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1997, Foz do Iguaçu, PR. p. 2013-2019.

---

TURNER, D. F.; PELLETIER, G. J.; KASPER, B. 2009. Dissolved oxygen and pH modeling of a periphyton dominated, nutrient enriched river. **Journal of Environmental Engineering**, 135(8):645-652.