



Área: Engenharia de alimentos

COEFICIENTE CINÉTICO DE DEGRADAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA EM EFLUENTE DE FRIGORÍFICO

Alisson Santa Catarina*, Jean Pereira, Marcelo Hemkemeier**

Curso de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, RS
*E-mail: *161614@upf.br; **150358@upf.br*

RESUMO – Os compostos orgânicos presentes nos alimentos acabam tornando os efluentes gerados nas indústrias de alimentos com altos valores de carga orgânica. Uma maneira de tratar esse efluente é por meio de processos biológicos, sendo este mais viável em termos de custo, operação e manutenção. Um exemplo de tratamento biológico são as lagoas de estabilização. As vantagens de se optar por lagoas de estabilização são os fenômenos da natureza empregados. Pensando na eficiência das lagoas de estabilização usadas nas indústrias de alimentos e se estas conseguem suprir toda a demanda de matéria orgânica, é necessário que conheçamos os valores dessa remoção de carga orgânica. Para este fim, utilizamos meios que possibilitam calcular o valor da cinética de degradação de matéria orgânica (K) para efluentes industriais. O estudo foi aplicado por meio da coleta de amostras mensais de efluente da Cooperativa de Produção Agropecuária Cascata LTDA de Pontão-RS. A partir dos valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio e da Demanda Química de Oxigênio obtidos através das análises, foram calculados o K, verificando também a interferência da temperatura sobre ele. Os valores determinados para o K foram diferentes dos valores fornecidos pela literatura, sendo que os coeficientes calculados foram significativamente menores ($p < 0,05$). A temperatura por sua vez, não teve influência direta nos valores do K. Por outro lado, a temperatura influenciou a quantidade de matéria orgânica que entrava na lagoa, sendo que a maior carga orgânica calculada foi com a temperatura mais baixa.

Palavras-chave: Coeficiente de remoção de matéria orgânica. Lagoas de estabilização. Degradação de carga orgânica. Indústrias de alimentos.

1 INTRODUÇÃO

O relatório mundial das nações unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos publicou em 2017 que o aumento do despejo de esgoto não tratado e as águas residuais inadequadamente tratadas da indústria, resultaram na diminuição da qualidade da água em todo o mundo. Além disso, o relatório dos impactos sobre os recursos hídricos de 2020 ressalta a queda da qualidade hídrica em decorrência das temperaturas mais elevadas e da redução do oxigênio dissolvido. Então, quando o tratamento do efluente não é realizado corretamente pela indústria, pode ocorrer contaminação dos recursos hídricos, diminuindo assim a qualidade do afluente. Dessa forma faz-se necessário um estudo sobre como se comportam as velocidades de degradação da matéria orgânica, que é expressa pelo coeficiente cinético de degradação de matéria orgânica (K). O K é um valor que abrange duas cinéticas, a cinética química e principalmente a cinética microbiológica, logo, é o valor que representa essas duas velocidades.

As condições hídricas e biológicas podem afetar uma série de fatores nas lagoas e influenciar o K. Alguns fatores são controláveis/adaptáveis e outros não (JORDÃO & PESSOA, 2005). Os fatores não controláveis são: a evaporação da água, que por sua vez pode alterar a concentração de sólidos, da matéria orgânica e dos elementos presentes. Da precipitação pluviométrica, ou seja, chuvas que podem provocar diluição desfavorável ao processo. E principalmente da temperatura, pois ela apresenta relações com outros fatores, como a radiação solar, a velocidade da fotossíntese e a velocidade do metabolismo dos microrganismos (JORDÃO & PESSOA, 2005).

A dificuldade de tratabilidade de efluentes como o de abatedouro, pode influenciar o K também, diminuindo o seu valor comparado ao de efluente doméstico e, conseqüentemente, subestimando o valor da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na saída. O Efluente dos matadouros possui uma elevada vazão e grande carga de sólidos em suspensão, nitrogênio orgânico e uma DBO₅ em torno de 4.200 mg/L (AGUILAR, 2002). Dependendo das configurações da lagoa, temperatura ambiente e tempo de residência, corre-se o risco da DBO estimada estar acima do permitido pela legislação quando o sistema estiver operando, colocando em risco o funcionamento da indústria.

O tratamento dos efluentes das indústrias de carne tem sido uma das maiores preocupações do setor, tendo em vista que o mercado consumidor internacional e, principalmente o externo, vem aumentando suas exigências quanto a qualidade ambiental do processo produtivo (PACHECO & WOLFF, 2004). A possível superestimação do K resulta também problemas no momento de dimensionar corretamente um sistema de tratamento de efluentes. Sendo assim, para que o dimensionamento das lagoas de estabilização seja adequado a atender as exigências feitas pelas legislações vigentes, é necessário levar em consideração, entre outros fatores, o valor da DBO no efluente gerado e a estimativa para a DBO lançada. Para isso, são realizados cálculos que tornam o sistema de tratamento suficientemente dimensionado para a vazão de efluente que será lançado pela atividade industrial.

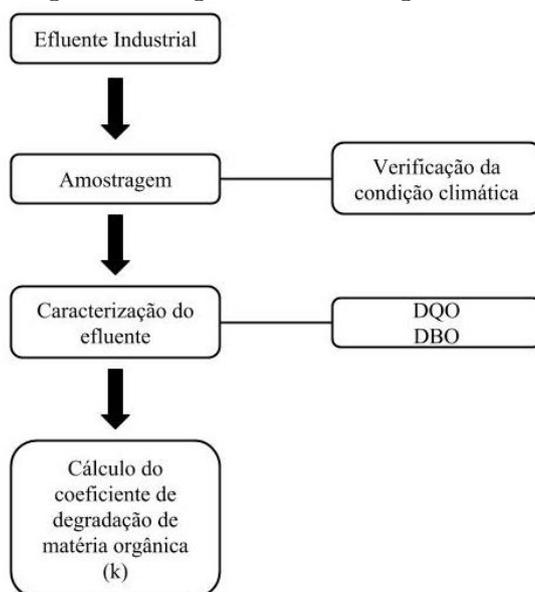


Os objetivos do trabalho foram: (I) verificar o K nas lagoas facultativas de um frigorífico, de modo a aumentar a acuracidade na estimativa da DBO efluente de lagoas de estabilização; (II) calcular o K para os regimes hidráulicos dispostos na literatura; (III) comparar os valores calculados do K com a literatura; (IV) quantificar a remoção da DBO e da Demanda Química de Oxigênio (DQO) de uma lagoa facultativa tratando efluente de frigorífico. Por fim, (V) avaliar as possíveis mudanças do K em função das oscilações da temperatura ambiente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada para alcançar os objetivos propostos está apresentada na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma da metodologia adotada



Fonte: elaborado pelos autores (2018)

2.1 Coleta, armazenamento e transporte

As amostras foram coletadas durante o segundo semestre de 2018 nas lagoas facultativas da Cooperativa de Produção Agropecuária Cascata LTDA de Pontão-RS, sendo registrado as condições climáticas, a data e o horário. A coleta foi realizada no efluente bruto e tratado da 4ª lagoa (última lagoa), visto que dela pode-se relacionar a carga orgânica de entrada e de saída do efluente gerado. Foi coletado 0,5L de amostra da entrada e da saída em recipiente apropriado.

O armazenamento foi efetuado no próprio recipiente da coleta em temperatura ambiente e transportado no mesmo dia até o prédio do curso da Engenharia Ambiental - G2 da Universidade de Passo Fundo, Campus I. Lá foram realizadas as análises para a quantificação de DQO, DBO e de Sólidos Suspensos Totais (SST).

2.2 Caracterização do efluente

O método para as análises de DQO, DBO e SST foram respectivamente por espectrofotometria, volumetria e gravimetria (APHA, 2012). Com as análises esperou-se obter os valores de DQO, DBO e SST do efluente para posteriormente calcular o K.

O valor de DBO (mg/L) da primeira amostra foi calculado seguinte a equação (Equação 1) (APHA, 2012). Os valores de DBO (mg/L) das amostras II, III e IV foram calculados a partir da correlação com a DQO/DBO da primeira amostra.

$$DBO = \frac{(OD\ inicial - OD\ final) \times volume\ frasco}{Amostra} \quad (1)$$

sendo:

OD inicial: oxigênio dissolvido inicial (mg/L)

OD final: oxigênio dissolvido final (mg/L)

Volume do frasco: 300 mL

Amostra: valor tabelado (mL)



2.3 Cálculo do coeficiente cinético de matéria orgânica

A literatura dispõe 4 tipos de regimes hídricos para calcular o K, são eles: fluxo em pistão e mistura completa (regimes de primeira ordem), fluxo disperso e mistura completa em série. O método para determinar o K consistiu em aplicar o cálculo de forma a isolá-lo nas equações dos regimes hidráulicos, a partir dos dados de S (DBO solúvel do efluente da entrada da lagoa facultativa) e S_0 (DBO do efluente tratado pela lagoa facultativa) calculados nas amostras. Ressaltamos que não foi calculado o K pelo regime hidráulico de mistura completa em série, pois matematicamente $n = 1$ (número de lagoas em série).

2.3.1 Cálculo do coeficiente cinético de degradação de matéria orgânica pelo regime hidráulico de fluxo em pistão

O regime hidráulico de fluxo em pistão teoricamente é o que possui maior eficiência dos regimes de primeira ordem, além de possuir um regime de escoamento linear. Calculamos o K (Equação 3) isolando-o na equação do regime de fluxo em pistão (Equação 2) presente na literatura (SPERLING, 2005).

$$S = S_0 e^{-K} \quad (2)$$

$$K = \frac{-\ln\left|\frac{S}{S_0}\right|}{TDH} \quad (3)$$

sendo:

K: coeficiente cinético de degradação de matéria orgânica (d^{-1})

S_0 : concentração de DBO total efluente (mg/L)

S: concentração de DBO solúvel efluente (mg/L)

TDH: tempo de detenção (d)

2.3.2 Cálculo do coeficiente cinético de degradação de matéria orgânica pelo regime hidráulico de fluxo em mistura completa

O fluxo de mistura completa é muito adotado devido a simplicidade do cálculo. O K teórico por esse regime possui menor eficiência em comparação ao outro regime de primeira ordem (fluxo em pistão). Por esse motivo é o modelo em que o dimensionamento do sistema de tratamento é mais seguro. Calculamos o K (Equação 5) isolando-o da de fluxo de mistura complexa (Equação 4) presente na literatura (SPERLING, 2005).

$$S = \frac{S_0}{1 + K \cdot TDH} \quad (4)$$

$$K = \frac{S_0}{1 + S \cdot TDH} \quad (5)$$

sendo:

K: coeficiente cinético de degradação de matéria orgânica (d^{-1})

S_0 : concentração de DBO total efluente (mg/L)

S: concentração de DBO solúvel efluente (mg/L)

TDH: tempo de detenção (d)

2.3.3 Cálculo do coeficiente cinético de degradação de matéria orgânica pelo regime hidráulico de fluxo disperso

O cálculo de K pelo regime hidráulico de fluxo disperso necessita do número de dispersão (d), que pode ser obtido através da (Equação 6). Para isso, foi necessário ter os valores de L (comprimento) e B (largura) da lagoa facultativa estudada. Com base no memorial de cálculos da Cooperativa Agropecuária Cascata LTDA, obtivemos $L = 38,36$ m e $B = 12,79$ m. Então (d):

$$d = \frac{1}{\left(\frac{L}{B}\right)} \quad (6)$$

$$d = 0,3334$$



sendo:

d = número de dispersão (adimensional)

L = comprimento da lagoa (m)

B = largura da lagoa (m)

O número de dispersão (d) nos permitiu obter o valor de (a) (Equação 7) e isolar o K da Equação 8, presente na literatura (SPERLING, 2005). Para isso, foi necessário ter o tempo de detenção (TDH) da indústria estudada.

$$S = S_0 \cdot \frac{4ae^{\frac{1}{2d}}}{(1+a)^2 e^{\frac{1}{2d}} - (1-a)^2 e^{-\frac{1}{2d}}} \quad (7)$$

$$a = \sqrt{1 + 4K \cdot TDH \cdot d} \quad (8)$$

$$K = \frac{a^2 - 1}{4 \cdot TDH \cdot d} \quad (9)$$

sendo:

K: coeficiente de degradação cinético de matéria orgânica (d^{-1})

S₀: concentração de DBO total efluente (mg/L)

S: concentração de DBO solúvel efluente (mg/L)

TDH: tempo de detenção (d)

d: número de dispersão (adimensional)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Comportamento do efluente

A Tabela 1 apresenta os resultados das 4 coletas realizadas do efluente de entrada e saída da 4ª lagoa facultativa do sistema de tratamento de efluentes do frigorífico em termos de DQO, DBO e SST.

Tabela 1: Resultados obtidos nas análises do efluente do frigorífico

Análises	Condição climática	DQO entrada (mg/L)	DQO saída (mg/L)	DBO entrada (mg/L)	DBO saída (mg/L)	SST entrada (mg/L)	SST saída (mg/L)
Coleta I (21/08/18)	Chuvoso (11° C)	671±6,7 ^a	260±32 ^a	268±6,2 ^a	116±6,3 ^a	-	-
Coleta II (21/09/18)	Ensolarado (25° C)	585±25,5 ^a	214±19 ^a	234±10,2 ^{*a,b}	96±8,6 ^{***a}	56±12 ^a	192 ^a
Coleta III (11/10/18)	Ensolarado (21° C)	594±16,4 ^a	238±23,5 ^a	238±6,6 ^{*a,b}	107±10,6 ^{***a}	76±3,0 ^a	70,3 ^{a,b}
Coleta IV (26/10/18)	Chuvoso (23° C)	526±19,3 ^a	227±50 ^a	210±7,7 ^{*b}	102±22,5 ^{***a}	64±11,8 ^a	76±1,5 ^{a,b}

* Valores obtidos através da relação DBO/DQO de 0,40 (entrada)

**Valores obtidos através da relação DBO/DQO de 0,45 (saída)

Fonte: elaborado pelos autores (2018)

As mudanças que ocorreram nos parâmetros analisados ao longo do semestre, são decorrentes das condições climáticas e de temperatura que variaram devido às épocas diferentes do ano. Pode-se perceber que esse fator foi determinante não só pela entrada de matéria orgânica na quarta lagoa, a qual foi o objeto de estudo, mas também com o fator que pode ser explicado pelo TDH. Levamos em consideração ainda possíveis alternâncias na produção do frigorífico que podem ter proporcionado uma variação da vazão do efluente bruto. Nas coletas em que a condição climática estava ensolarada e com maior temperatura, propiciou-se um ambiente melhor para que acontecesse as reações dentro da lagoa e também fez com que a atividade das algas aumentasse, diminuindo assim a carga orgânica da saída.



A vazão diária do efluente do frigorífico é de 48,25 m³/d, constatado no memorial de cálculos da empresa. Com os valores obtidos nas análises e com a vazão diária do frigorífico, verificamos a Resolução Consema/RS nº 355/2017. Mesmo com as variações dos parâmetros em função das condições climáticas e temperatura, o efluente emitido pelo frigorífico está dentro dos padrões de legislação de emissão considerando os parâmetros DQO e DBO. Entretanto, para o parâmetro de SST, o efluente na segunda análise ficou acima das condições de legislação para o estado do Rio Grande do Sul.

3.2 Coeficientes cinéticos de degradação de matéria orgânica em diferentes regimes hidráulicos

Os dados das análises (Tabela 1) serviram como base para efetuarmos os cálculos do K em diferentes regimes hidráulicos dispostos na literatura. A Tabela 2 apresenta a média dos valores calculados do K.

Tabela 2: Médias do K nos regimes hidráulicos dispostos na literatura

Regime hidráulico	K/DQO (d ⁻¹)	K/DBO (d ⁻¹)
Fluxo em pistão	0,0208 ± 0,0011	0,0177 ± 0,0013
Mistura completa	0,0572 ± 0,0032	0,0510 ± 0,0026
Mistura completa em série	*	*
Fluxo disperso	0,0257 ± 0,0020	0,0217 ± 0,0021

*K não calculado, pois o número de lagoas em série é igual a 1.

Fonte: elaborado pelos autores (2018)

O K por regime hidráulico de fluxo em pistão manteve um padrão tanto para DQO, quanto para DBO. O que indica que o K não foi influenciado pela variação da condição climática ao longo do semestre, não sofrendo uma queda brusca na velocidade de degradação na 4ª lagoa facultativa.

A literatura diz que o regime por fluxo em pistão tem mais eficiência do que o de mistura completa (SPERLING, 2005). Levando em consideração a dificuldade de tratabilidade desse tipo de efluente, isso se comprovou com os coeficientes determinados. O valor médio do K para o fluxo em pistão, foi menor do que o valor médio do K por mistura completa.

O K pelo regime hidráulico de fluxo disperso, do mesmo modo que os coeficientes calculados pelos regimes anteriores, não sofreu interferência pelas condições climáticas. Foi afetado apenas pela carga orgânica de entrada na 4ª lagoa facultativa, mantendo a velocidade das reações.

Desta forma, mesmo com um aumento gradativo da temperatura climática, os K's mantiveram um padrão no valor de sua velocidade de degradação. Percebemos que a temperatura não teve influência direta na velocidade da degradação de matéria orgânica no sistema de tratamento de efluente do frigorífico estudado.

A eficiência dos regimes hidráulicos segue a seguinte ordem: fluxo pistão > mistura completa em série > fluxo disperso > mistura completa (SPERLING, 2005). Levando em consideração a dificuldade de tratamento dos efluentes gerados por frigoríficos, percebemos que essa ordem se manteve nos coeficientes determinados (Tabela 2). O valor de maior eficiência do K foi pelo regime hidráulico em fluxo em pistão. Já o regime hidráulico de mistura completa foi o de menor eficiência.

Os valores calculados do K em todos os regimes são bem abaixo do descrito na literatura para efluente doméstico. Sendo que em lagoas facultativas secundárias o K é de 0,25 a 0,32 d⁻¹ (SPERLING, 2005). O valor de K para os casos de fluxo disperso em tratamento de efluente doméstico situa-se na faixa de 0,10 a 0,20 d⁻¹ (a 20°C) (JORDÃO & PESSOA, 2005), valor esse acima do calculado para o efluente de frigorífico (0,0217 ± 0,0021).

4 CONCLUSÃO

A diferença de temperatura e condição climática entre as análises não tiveram influência direta (p<0,05) nas velocidades cinéticas de remoção de carga orgânica das lagoas do sistema de tratamento. A DQO de entrada e saída da lagoa também demonstraram não ter uma diferença significativa. Entretanto, as correlações calculadas de DBO demonstraram diferença, e com isso, influenciando a concentração de carga orgânica da entrada e saída da lagoa de estabilização analisada.

Os valores calculados para o K não variaram expressivamente entre uma análise e outra para ambos os regimes hídricos. A matéria orgânica foi degradada com a mesma velocidade, independentemente da quantidade de matéria orgânica que entrava na lagoa. Os valores médios determinados para o K tanto para DBO, quanto para DQO, foram expressivamente menores aos valores que são encontrados na literatura. Por isso, ao fazer os cálculos de dimensionamento



de sistemas de tratamento de efluentes industriais da área de alimentos, a partir de lagoas de estabilização, é prudente a utilização de valores deste coeficiente menores aos valores informados na literatura. Com isso, obtêm-se um sistema de maior acuracidade quanto a remoção da carga orgânica do efluente.

5 REFERÊNCIAS

- AGUILAR, M. I. Nutrient removal and sludge production in the coagulation-flocculation process. **Water Research**, v. 36, p. 2910-2919. 2002.
- APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 23th ed. Washington, 2012.
- JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 906 p.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2017. **Águas residuais, o recurso inexplorado**. Un Water. 2017.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020. **Águas e mudança climática, resumo executivo**. Un Water. 2020.
- PACHECO, J. A. S.; WOLFF, D. B. **Tratamento dos efluentes de um frigorífico por sistema australiano de lagoas de estabilização**. Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, v. 5, n. 1, p. 67-85, 2004.
- SPERLING, M. V.; **Lagoas de estabilização Vol. 3**. 2. ed. Minas Gerais: Editora Desa, 1996.