

## O uso do hidróxido de vanádio bivalente para a eliminação da sucralose das águas naturais e de esgoto da indústria alimentar e farmacêutica. Uma avaliação teórica

Volodymyr V. Tkach<sup>1,2\*</sup>, Marta V. Kushnir<sup>1</sup>, Nataliia M. Storoshchuk<sup>1</sup>, Sílvio C. de Oliveira<sup>2</sup>, Olga V. Luganska<sup>3</sup>, Vira V. Kopiika<sup>3</sup>, Nataliia V. Novosad<sup>3</sup>, Svitlana M. Lukanova<sup>1</sup>, Yana G. Ivanushko<sup>4</sup>, Valentyna G. Ostapchuk<sup>4</sup>, Svitlana P. Melnychuk<sup>4</sup>, Petro I. Yagodynets<sup>1</sup>, José I. Ferrão de Paiva Martins<sup>5</sup>, Lucinda Vaz dos Reis<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Nacional de Chernivtsi, 58012, Rua de Kotsyubyn'sky, 2, Chernivtsi, Ucrânia.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Av. Sen. Felinto Müller, 1555, C/P. 549, 79074-460, Campo Grande, MS, Brazil.

<sup>3</sup>Universidade Nacional de Zaporizhzhia, 69600, Rua de Zhukovsky, 66, Zaporizhzhya, Ucrânia.

<sup>4</sup>Universidade Estatal de Medicina de Bucovina, 58001, Praça Teatral, 9, Chernivtsi, Ucrânia.

<sup>5</sup>Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 4200-465, Rua Dr. Roberto Frias, s/n, Porto, Portugal.

<sup>6</sup>Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, 5001-801, Folhadela, Vila Real, Portugal.

\*Correio eletrônico: [nightwatcher2401@gmail.com](mailto:nightwatcher2401@gmail.com)

Recebido: 24 de março de 2022

Revisado: 8 de maio de 2023

Aceto: 14 de maio de 2023

### RESUMO

**Introdução:** a sucralose é um adoçante, frequentemente usado nas indústrias alimentar e farmacêutica como corretor de sabor, mas que, por ser um composto cloroorgânico, não é ambientalmente acessível, razão por que o desenvolvimento de um sistema de eliminação da sucralose das águas de esgoto é realmente atual. **Metodologia:** o sistema da conversão eletroquímica da sucralose em desoxigalactossacaroses, mediante um processo eletroquímico, assistido pelo hidróxido de vanádio (II) tem sido avaliado teoricamente. O modelo matemático correspondente tem sido desenvolvido e analisado mediante a teoria de estabilidade linear e análise de bifurcações. **Resultados:** a presença do hidróxido de vanádio bivalente tem efeito cata-

lítico para a degradação da sucralose. O estado estacionário se estabelece facilmente e se mantém firmemente, providenciando uma transformação rápida da sucralose em compostos mais biologicamente acessíveis. Quanto à instabilidade oscilatória, esta realizar-se-á com menor probabilidade que no caso da dechlorinação direta.

**Conclusão:** o hidróxido de vanádio pode ser usado para a eliminação catódica da sucralose com a sua conversão em desoxigalactossacaroses com eficácia.

**Palavras-chave:** Sucralose, conversão eletroquímica, prevenção da poluição atmosférica, oscilações eletroquímicas, estado estacionário estável.

## SUMMARY

### The use of bivalent vanadium hydroxide for sucralose elimination from food and pharmaceutical industry wastewater. A theoretical evaluation

**Introduction:** Sucralose is a sweetener, frequently used in food and pharmaceutical industries as a taste corrector, but, being a chloroorganic compound, it isn't environmentally safe, reason why the development of a system with sucralose removal from wastewater is really actual. **Methodology:** The system with electrochemical sucralose conversion into desoxygalactosaccharoses by means of electrochemical process, assisted by vanadium (II) hydroxide has been theoretically evaluated. The correspondent mathematical model has been developed and analyzed by means of linear stability theory and bifurcation analysis **Results:** The presence of vanadium (II) hydroxide has catalytic effect for the sucralose degradation. The stable steady-state is easy to obtain and maintain, providing a rapid sucralose transformation to more "green" products. As for the oscillatory behavior, it will be less probable than in the case of the direct dechlorination. **Conclusion:** Vanadium hydroxide may be used efficiently for the cathodic sucralose elimination with its conversion to desoxygalactosaccharoses.

**Keywords:** Sucralose, electrochemical conversion, atmosphere pollution prevention, electrochemical oscillations, stable steady-state.

## RESUMEN

El uso do hidróxido de vanadio bivalente para la eliminación de la sucralosa de las aguas naturales y residuales de las industrias alimentaria y farmacéutica. Una evaluación teórica

**Introducción:** la sucralosa es un edulcorante usado con frecuencia en las industrias alimenticia y farmacéutica como corrector de sabor, pero por ser un compuesto cloroorgánico, no es ambientalmente accesible, por lo que el desarrollo de un sistema de su eliminación es realmente actual. **Metodología:** el sistema de conversión electroquímica de la sucralosa en desoxigalactosacarosas, mediante un proceso electroquímico, asistido por el hidróxido de vanadio bivalente ha sido evaluado teóricamente. El modelo matemático correspondiente ha sido desarrollado y analizado mediante la teoría de estabilidad lineal y análisis de bifurcaciones. **Resultados:** el hidróxido de vanadio bivalente tiene efecto catalítico para la degradación de la sucralosa y su conversión en compuestos más biológicamente accesibles. La inestabilidad oscilatoria se realiza con menor probabilidad en relación con la dechlorinación directa. **Conclusión:** el hidróxido de vanádio puede ser usado para la eliminación catódica de la sucralosa con su conversión en desoxigalactosacarosas con eficacia.

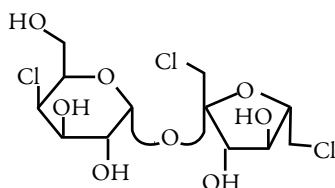
**Palabras clave:** Sucralosa, conversión eletroquímica, prevención de la polución atmosférica, oscilaciones electroquímicas, estado estacionario estable.

## INTRODUÇÃO

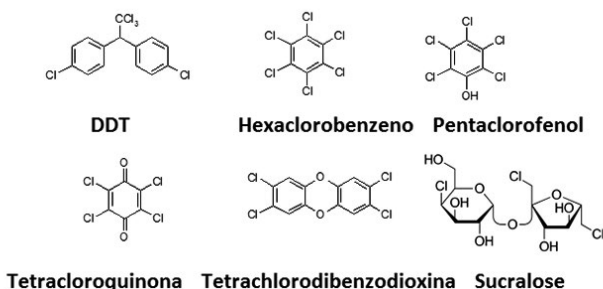
Sucralose, ou seja, (2R, 3R, 4R, 5R, 6R)-[(2R,3S,4S,5S),2,5-bis(clorometil)-3,4,-dihidroioxolan-2-il]oxi-5-cloro-6-hidroximetiloxan-3,4-diol, (número CAS 259-952-2, M=397,6 g/mol, Fig. 1) é um dos edulcorantes mais usados em Portugal e em toda a União Europeia nas indústrias alimentar e farmacêutica, como corretor de sabor [1-5]. O seu número de registro é E955. Trata-se de um derivado triclorossustituído da galactosacarose, que tem o dobro do dulçor da sacarina, o triplo do dulçor do aspártamo e é até mil vezes mais doce que o açúcar comum.

Sucralose é considerada segura para uso de diabéticos e de desportistas. Mas, embora o seja, a sua ação nociva para a saúde humana e para o ambiente ainda está pouco explo-

rada. Outrossim, como a sucralose não é biodegradável, ela se acumula no ambiente [6, 7]. Além disso, a sucralose, quando se descompõe termicamente ou com ação de algumas bactérias, se transforma em compostos tóxicos como dioxinas e tetraclorodibenzofuranos. Ademais, um estudo recente [8] comprova que a sucralose pode entrar no leite materno e comprometer o desenvolvimento de microbiota intestinal dos bebês. Não se deve esquecer, ainda, que a sucralose também faz parte do grupo de compostos halogenorgânicos (Fig. 2). Destarte, o desenvolvimento de um método da eliminação da sucralose do ambiente, principalmente das águas de esgoto e subterrâneas, é realmente atual [9-12].



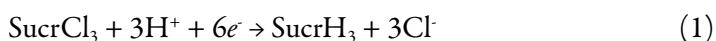
**Fig. 1.** Sucralose



**Fig. 2.** Sucralose entre os compostos cloroorgânicos

Haja vista o requisito de um potencial anódico alto para os processos Fenton e análogos [13, 14], estes não serão ambientalmente compatíveis com a eliminação da sucralose, já que isto implica o formarem-se os compostos tóxicos de cloro nos estados de oxidação positivos. Destarte, os processos catódicos são mais aplicáveis para isto.

A deshalogenização catódica da sucralose, assim como dos outros compostos cloroorgânicos realizar-se-ia, perfeitamente, num sistema, análogo ao descrito em [15, 16]. Nisto, em meio fortemente ácido, poder-se-ia conduzir uma reação de troca iônica conforme (1):

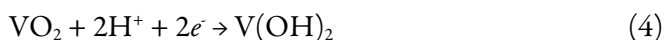


Uma das desvantagens sérias deste processo é a sua concorrência com a evolução de hidrogênio (2)



que soem ocupar os sítios ativos da reação principal. Outra desvantagem é o uso dos valores do pH assaz altos para iniciar esta reação.

Ambos os problemas ter-se-iam resolvido, usando-se o oxihidróxido de vanádio como modificador de eléctrodo, que consegue catalisar a reação conforme (3 – 4):



Por outro lado, o desenvolvimento de novos processos de eletrossíntese, eletroanálise e conversão eletroquímica requer a investigação teórica *a priori* do comportamento do sistema. Esta investigação permite resolver problemas como:

- a incerteza acerca de alguns detalhes do processo eletroanalítico (como se faz em condições concretas a eletrorredução, quais são os modificadores, que se poderiam usar lá);
- a possibilidade de aparição de instabilidades, características para a eletrooxidação de compostos orgânicos, inclusive a eletropolimerização [17-19].

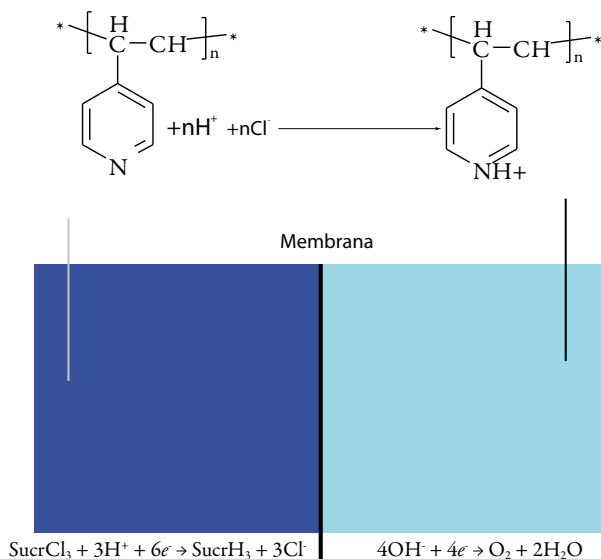
Destarte, o objetivo geral deste trabalho é avaliar o desempenho da conversão eletroquímica da sucralose por meio de um processo catódico, assistido pelo oxihidróxido de vanádio. Outrossim, o comportamento deste sistema comparar-se-á com o dos semelhantes [20, 21].

## O SISTEMA E O SEU MODELO

Este processo já tem sido usado para outros compostos cloroorgânicos (como cloroarenos e ácido tricloroacético), por isso será compatível também para a sucralose. No decorrer da reação catódica, a sucralose transformar-se-á em desoxihexoses e íon cloreto.

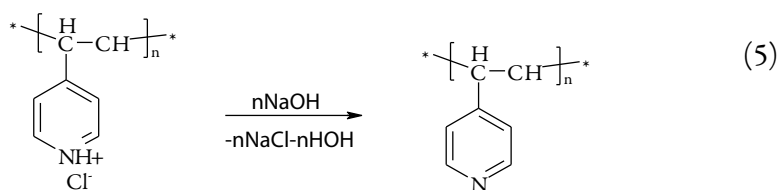
Para evitar a difusão deste para o compartimento anódico com a subsequente evolução de cloro, usa-se eletrólise de membrana, que impeça a passagem do cloreto para o

ânodo. Como o eletrólito anódico não contém íons simples, capazes de oxidar-se com evolução de gases perigosos, no ânodo realiza-se a eletrólise d'água, ou oxidação do íon hidroxila, que rende o oxigênio gasoso, conforme exposto abaixo (Fig. 3).



**Fig. 3.** Esquema de eletrólise de membrana para a degradação da sucralose.

A membrana é feita de polivinilpiridina (PVP), que retém o íon cloreto em meio ácido, formando sal. A revitalização da membrana, destarte, far-se-á fora do vaso conforme:



Mantendo a regularidade do processo da eliminação da sucralose, bem como a de confecção e revitalização da membrana, obtém-se um processo ambientalmente amigável da eliminação da sucralose. A depender do pH da solução catódica e do potencial do eletrodo de trabalho, o processo pode ser adaptado a qualquer tipo de compostos cloroorgânicos.

Havendo disso em conta, para descrever o comportamento deste sistema em introduzimos três variáveis:

$s$  – a concentração da sucralose na camada pré-superficial;

$v$  – o grau de recobrimento do vanádio tetravalente na matriz do cátodo;

$h$  – a concentração dos prótons na camada pré-superficial.

Para simplificar a modelagem, supomos que o reator esteja sob agitação intensa (destarte, podemos menosprezar o fluxo de convecção), que o eletrólito de suporte esteja em excesso (destarte, podemos menosprezar o fluxo de migração). Outrossim, supomos que o perfil concentracional das substâncias na camada pré-superficial seja lineal, e a sua espessura, constante, igual a  $\delta$ .

Diante do exposto, o comportamento do sistema será descrito por um conjunto de três equações diferenciais de balanço (6), conforme:

$$\begin{cases} \frac{ds}{dt} = \frac{2}{\delta} \left( \frac{\Delta}{\delta} (s_0 - s) - r_3 \right) \\ \frac{dv}{dt} = \frac{1}{V} (r_3 - r_4) \\ \frac{dh}{dt} = \frac{2}{\delta} \left( \frac{H}{\delta} (h_0 - h) + r_3 - r_4 \right) \end{cases} \quad (6)$$

Sendo  $s_0$  e  $h_0$  as concentrações da sucralose e dos prótons na camada pré-superficial,  $\Delta$  e  $H$  os seus coeficientes de difusão,  $V$  a concentração superficial máxima do dióxido de vanádio na matriz, formada na superfície do eletrodo,  $r_3$  e  $r_4$  são, por sua vez, as velocidades das reações (3) e (4), expostas como (7 – 8):

$$r_3 = k_3 s (1 - v)^3 \exp(-av) \quad (7)$$

$$r_4 = k_4 v h^2 \exp\left(-\frac{2F\varphi_0}{RT}\right) \quad (8)$$

Sendo os parâmetros  $k$  as constantes das velocidades das respectivas reações,  $a$  é o parâmetro, que descreve a influência da etapa química na estrutura e na capacitância da DCE,  $F=N_A e$  é o número de Faraday,  $\varphi_0$  é o salto do potencial,  $R$  é a constante universal de gases e  $T$  a temperatura absoluta do vaso.

O comportamento do sistema com a eliminação eletrocatalítica da sucralose é bastante dinâmico, haja vista a mudança periódica da estrutura e condutividade da DCE. Entre-

tanto, a estabilidade do estado estacionário no processo é fácil de obter e manter, o que prevê uma eliminação eficiente da sucralose, conforme descrito abaixo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para investigar o comportamento do sistema com a eliminação eletroquímica da sucralose mediante a redução catódica sobre o hidróxido de vanádio, analisamos o CED (6) por meio da teoria de estabilidade lineal. Os elementos estacionários da matriz funcional de Jacobi expor-se-ão conforme (9):

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \quad (9),$$

Sendo:

$$a_{11} = \frac{2}{\delta} \left( -\frac{\Delta}{\delta} - k_3(1-v)^3 \exp(-av) \right) \quad (10)$$

$$a_{12} = \frac{2}{\delta} (3k_3s(1-v)^2 \exp(-av) - ak_3s(1-v)^3 \exp(-av)) \quad (11)$$

$$a_{13} = 0 \quad (12)$$

$$a_{21} = \frac{1}{v} (k_3(1-v)^3 \exp(-av)) \quad (13)$$

$$a_{22} = \frac{1}{v} \left( -k_3s(1-v)^2 \exp(-av) + ak_3s(1-v)^3 \exp(-av) - k_4h^2 \exp\left(-\frac{2F\phi_0}{RT}\right) + \right. \\ \left. jk_4vh^2 \exp\left(-\frac{2F\phi_0}{RT}\right) \right) \quad (14)$$

$$a_{23} = \frac{1}{v} \left( -2k_4vh \exp\left(-\frac{2F\phi_0}{RT}\right) \right) \quad (15)$$

$$a_{31} = \frac{2}{\delta} (k_3(1-v)^3 \exp(-av)) \quad (16)$$

$$a_{32} = \frac{2}{\delta} \left( -k_3 s(1-v)^2 \exp(-av) + ak_3 s(1-v)^3 \exp(-av) - k_4 h^2 \exp\left(-\frac{2F\varphi_0}{RT}\right) + \right. \\ \left. jk_4 v h^2 \exp\left(-\frac{2F\varphi_0}{RT}\right) \right) \quad (17)$$

$$a_{33} = \frac{2}{\delta} \left( -\frac{H}{\delta} - 2k_4 v h \exp\left(-\frac{2F\varphi_0}{RT}\right) \right) \quad (18)$$

Observando os membros da diagonal principal (10), (14) e (18), podemos confirmar a presença dos dois elementos, que podem ter valores positivos. Estes elementos podem ser responsáveis pela positiva conexão de retorno, que, por conseguinte, se manifesta no *comportamento oscilatório* no parâmetro eletroquímico, definido pela bifurcação de Hopf.

Estes elementos são:  $ak_3 s(1-v)^3 \exp(-av)$ , se  $a > 0$  e  $jk_4 v h^2 \exp(-2F\varphi_0)/RT > 0$ , se  $j > 0$ , descrevendo a positiva conexão de retorno, que surge durante as reestruturações cíclicas da DCE aquando das etapas química e eletroquímica. Ambos os fatores podem manifestar-se durante os processos semelhantes [16-21]. Outrossim, tanto os cálculos teóricos, como os dados experimentais confirmam que a amplitude e frequência das oscilações são fortemente dependentes da composição do eletrólito de suporte, cujos íons também participam na formação e função da DCE.

Já no caso da negatividade destes elementos é garantida a *estabilidade do estado estacionário*. Para investigá-la, aplicamos ao CED (6) o critério Routh-Hurwitz. Simplificando a análise de determinante da matriz, introduzimos novas variáveis, reexpondo o determinante como:

$$\frac{4}{\delta^2 V} \begin{vmatrix} -\kappa - \Xi & \Sigma & 0 \\ \Xi & -\Sigma - P & -\Delta \\ \Xi & -\Sigma - P & -\eta - \Delta \end{vmatrix} \quad (19)$$

Abrindo os parênteses e aplicando o requisito  $\text{Det } J < 0$ , saliente do critério, obtemos a condição de estabilidade do estado estacionário, exposta conforme (20):

$$-\kappa\eta(\Sigma + P) - \Xi\eta(\Sigma + P) + \Sigma\eta\Xi < 0 \quad (20),$$

O que pode ser rearranjado para (21):

$$-\kappa\eta\Sigma - \kappa\eta P - P\eta\Xi < 0 \quad (21)$$

Descrevendo um sistema controlado pela difusão tanto dos prótons, como da sucralose. A condição (21) é satisfeita de forma garantida, desde que os elementos  $ak_3s(1 - v)^3 \exp(-av)$  e  $jk_4vh^2 \exp(-2F\phi_0)/RT > 0$  tenham valores nulos ou negativos.

Deveras, se supusermos que  $jk_4vh^2 \exp(-2F\phi_0/RT)$  e  $ak_3s(1 - v)^3 \exp(-av)$  tenham valores negativos, o valor geral do lado esquerdo da expressão (21) deslocar-se-á para valores mais negativos. Do ponto de vista de estabilidade isto significará que o valor do expoente, que descreve os desvios dos estados estacionário tenderá a zero, estabilizando o sistema.

A estabilidade do estado estacionário, por sua vez, é definida pela linearidade da dependência entre o parâmetro químico e a concentração da sucralose.

Já o limite entre os estados estacionários estáveis e instáveis é definido pela *instabilidade monotônica*. Matematicamente, ela se define pela condição de  $\text{Det } J = 0$ , ou:

$$-\kappa\eta\Sigma - \kappa\eta P - P\eta E < 0 \quad (22)$$

Supondo-se o excesso relativo dos prótons, a concentração dos prótons pode ser considerada constante, e o CED (6), por sua vez, transformar-se-á em (23):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{ds}{dt} = \frac{2}{\delta} \left( \frac{\Delta}{\delta} (s_0 - s) - r_3 \right) \\ \frac{dv}{dt} = \frac{1}{v} (r_3 - r_4) \end{array} \right. \quad (23),$$

cujas análises fornecerá os mesmos resultados do ponto de vista do desempenho do processo.

O presente modelo vai sofrer alterações, caso:

- haja duas possibilidades da oxidação de vanádio;
- seja possível a coação de várias formas de vanádio bi- e trivalente;
- exista a possibilidade da dissolução do hidróxido de vanádio em  $V^{2+}$ ;
- seja presente mais um composto cloroorgânico, capaz de participar do processo,

dentre outras situações. Todos os modelos correspondentes serão descritos nos nossos próximos trabalhos.

O hidróxido de vanádio bivalente pode ser depositado facilmente sobre cátodos modificados por:

- polímeros condutores;
- corantes esquáricos;
- materiais de carbono;
- materiais poliméricos inorgânicos.

Assim, o  $V(OH)_2$  fará parte do compósito, em cuja composição desempenhará papel de substância ativa. A matriz, por sua vez, terá função de mediador de transferência. Considerando o compósito na íntegra, pode-se usar o modelo (6) ou o modelo (22).

## CONCLUSÕES

Da análise do processo com a deshalogenização eletrocatalítica da sucralose, baseada num processo catódico, assistido pelo hidróxido de vanádio bivalente, é possível concluir que:

- no presente processo, a ação catalítica do hidróxido de vanádio (II) facilita a obtenção e manutenção do estado estacionário estável neste sistema;
- o processo eletroquímico é controlado pela difusão tanto da sucralose, como dos prótons;
- o comportamento oscilatório é possível neste sistema. Ele é causado pelos efeitos periódicos na estrutura da dupla camada elétrica;
- a amplitude e a frequência das oscilações serão dependentes da composição do eletrólito de suporte.

## CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores não têm conflitos de interesse a declarar.

## REFERÊNCIAS

1. FDA, Aspartame and Other Sweeteners in Food. URL: <https://www.fda.gov/food/food-additives-petitions/aspartame-and-other-sweeteners-food>, acesso aos 29 de março de 2017.
2. S. Schiffman, K.I. Rother, Sucralose, a synthetic organochlorine sweetener: Overview of biological issues, *J. Toxicol. Environm. Health B, Crit. Rev.*, **16**, 399-451 (2013).
3. Sucralose. URL: <http://foodconstrued.com/2015/07/sucralose>, acesso aos 29 de março de 2017.
4. Dr. Edward Group III, *Health begins in the colon*, GC Health, Houston, Texas, 2007.
5. J.C. Bórquez, M. Hidalgo, J.M. Rodríguez, *et al.*, Sucralose stimulates mitochondrial bioenergetics in Caco-2 Cells, *Front. Nutr.*, **7**, 361 (2021).
6. M.B. Abou-Donia, E.M. El-Masry, A.A. Abdel-Rahman *et al.*, Splenda alters gut microflora and increases intestinal p-glycoprotein and cytochrome p-450 in male rats, *J. Toxicol. Environm. Health A*, **71**, 1415-1429 (2008).
7. L. Hou, X. Zhang, D. Wang, A. Baccarelli, Environmental chemical exposures and human epigenetics, *Int. J. Epidemiol.*, **41**, 79-105 (2012).
8. J.A. Aguayo-Guerrero, L.A. Méndez-García, A.N. Manjarrez-Reyna, *et al.*, Newborns from mothers who intensively consumed sucralose during pregnancy are heavier and exhibit markers of metabolic alteration and low-grade systemic inflammation: A cross-sectional prospective study, *Biomedicines*, **11**, 650 (2023).
9. A. Rahn, V.A. Yaylayan, Thermal degradation of sucralose and its potential in generating chloropropanols in the presence of glycerol, *Food Chem.*, **118**, 56-61 (2010).
10. Y. Yang, Z. Liu, Z. H. Zheng, *et al.*, Sucralose, a persistent artificial sweetener in the urban water cycle: insights into occurrence, chlorinated byproducts formation, and human exposure, *J. Environ. Chem. Eng.*, **9**, 105293 (2021).
11. W. Yan, N. Wang, P. Zhang *et al.*, Simultaneous determination of sucralose and related compounds by high-performance liquid chromatography with evaporative light scattering detection, *Food Chem.*, **204**, 358 (2016).

12. E. Wong, K. Lui, A.S. Day, S.T. Leach, Manipulating the neonatal gut microbiome: Current understanding and future perspectives, *Arch. Dis. Child Fetal Neonatal. Ed.*, **107**(4), 346-350 (2022).
13. Sh. Li, J. Geng, G. Wu, *et al.*, Removal of artificial sweeteners and their effects on microbial communities in sequencing batch reactors, *Sci. Rep.*, **8**, 3399 (2018).
14. V. Ivanov, V. Stabnikov, J.H. Tay, Removal of the recalcitrant artificial sweetener sucralose and its by-products from industrial wastewater using microbial reduction/oxidation of iron, *ChemEngineering*, **2**(3), 33 (2018).
15. E. Escobedo, J. Kim, D. Oh *et al.*, Electrocatalytic dehalogenation of aqueous pollutants by dealloyed nanoporous Pd/Ti cathode, *Catal. Today*, **361**, 63-68 (2021).
16. D.G. Peters, C.M. McGuire, E.M. Pasciak, *et al.*, Electrochemical dehalogenation of organic pollutants, *J. Mex. Chem. Soc.*, **58**, 287-302 (2014).
17. I. Das, N.R. Agrawal, S.A. Ansari, S.K. Gupta, Pattern formation and oscillatory electropolymerization of thiophene, *Ind. J. Chem.*, **47A**, 1798-1803 (2008).
18. K. Aoki, I. Mukoyama, J. Chen, Competition between polymerization and dissolution of poly(3-methylthiophene), *Russ. J. Electrochem.*, **40**, 280-285 (2004).
19. M. Bazzaoui, E.A. Bazzaoui, L. Martins, J.I. Martins, Electropolymerization of pyrrole on zinc-lead-silver alloys electrodes in acidic and neutral organic media, *Synthetic Metals*, **130**, 73-83 (2002).
20. V.V. Tkach, M.V. Kushnir, N.M. Storoshchuk, *et al.*, Sucralose CoO(OH)-assisted electrochemical detection in alkaline media. The theoretical analysis of an interesting possibility, *Appl. J. Env. Eng. Sci.*, **8**, 215-222 (2022).
21. V.V. Tkach, N.M. Storoshchuk, B.D. Storoshchuk, *et al.*, The theoretical description for sucralose cathodic electrochemical determination over a poly(safranin)-modified electrode, *Biointerface Res. Appl. Chem.*, **13**, 520 (2023).

## COMO CITAR ESTE ARTIGO

V.V. Tkach, M.V. Kushnir, N.M. Storoshchuk, S.C. de Oliveira, O.V. Luganska, V.V. Kopyika, N.V. Novosad, S.M. Lukanova, Y.G. Ivanushko, V.G. Ostapchuk, S.P. Melnychuk, P.I. Yagodynets', J.I.F. de Paiva-Martins, L. Vaz dos Reis, O uso do hidróxido de vanádio bivalente para a eliminação da sucralose das águas naturais e de esgoto da indústria alimentar e farmacêutica. Uma avaliação teórica, *Rev. Colomb. Cienc. Quim. Farm.*, **52**(2), 955-968 (2023). <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v52n2.110749>