

**Características Físico-Químicas e Toxicológicas do  
Nicosulfurom e suas Implicações Ambientais**

*Physicochemical and Toxicological Characteristics of Nicosulfuron and its  
Environmental Implications*

**Aline Mayumi Mizukami  
Giovanna Maria Gomes  
Katherly Tainá Grego Lira  
Marina Queiroz Ferretti  
Pâmela Maria Dias  
Victor Campos Ferreira**

Recebido em 15 de setembro, 2021 aceito em 11 de janeiro, 2022

Registro DOI: <http://dx.doi.org/10.22280/revintervol15ed3.515>

**RESUMO**

O Nicosulfurom é um herbicida aprovado nas culturas de milho e soja no Brasil para o controle de ervas daninhas monocotiledôneas, dicotiledôneas e gramíneas. Seu uso está ao redor de 50 toneladas por ano. A solubilidade do composto em água é alta e está diretamente relacionada ao pH, atingindo 29200 mg/L com pH 8,8. O coeficiente de partição octanol-água encontrado para o composto indica pouca tendência de bioacumulação (Log Kow < 2,7) e o coeficiente de partição de carbono orgânico encontrado indica baixa aderência ao solo (Koc < 75), conferindo ao composto a mobilidade nos compartimentos ambientais. O nicosulfurom foi encontrado em alguns corpos de água nos Estados Unidos, Canadá, Alemanha, França e Brasil. Em um total de 1303 amostras coletadas nestes países, a frequência de detecção do nicosulfurom foi de 15%. Quando encontrado, as concentrações variaram de 0,016 µg/L a 1,5 µg/L. Os estudos de toxicidade realizados em cães permitiram calcular um critério para consumo humano, resultando em um critério de potabilidade de 7,5 mg/L. Para proteção da vida aquática, foram encontrados dados de toxicidade aguda e crônica para diferentes organismos. O critério foi calculado a partir do valor do teste agudo CE50 da planta aquática *Lemna gibba*, organismo mais sensível ao nicosulfurom, e utilizando um fator de avaliação de 100, resultando na concentração de 17 ng/L. Considerando o critério de potabilidade calculado neste trabalho e os dados de ocorrência do nicosulfurom nos países citados, o composto não apresentou risco para a saúde humana. Com base nos dados de ocorrência em águas superficiais e no critério de proteção da vida aquática calculado, o nicosulfurom apresentou risco nos países onde foi detectado, mas no Brasil, devido à baixa sensibilidade do método analítico empregado, não é possível analisar o risco. Recomenda-se a realização de testes crônicos, inclusive para plantas aquáticas, a fim de diminuir as incertezas quanto ao fator de avaliação, e a utilização de métodos analíticos mais sensíveis no Brasil.

**Palavras-chave:** Nicosulfurom. Herbicida. Toxicidade. Critério de potabilidade. Vida aquática.

**ABSTRACT**

Nicosulfuron is a herbicide approved in corn and soy fields in Brazil to control monocots, dicotyledonous and gramineous weeds. Around 50 tons of nicosulfuron is used per year. The compound has high water solubility, directly related to pH, reaching 29200 mg/L with pH 8.8. Octanol-water partition found shows that it has a low bioaccumulation (Log Kow < 2,7) tendency. The organic carbon partition coefficient indicates low soil adhesion (Koc < 75), and mobility between environmental compartments. The nicosulfuron was found in some surface and ground waters in USA, Canada, Germany, France and Brazil. In a total of 1303 samples collected in these countries, the nicosulfuron's detection frequency was 15%. When detected, the concentrations varied from 0,016 µg/L to 1,5 µg/L. The toxicity studies performed on dogs allowed the calculation of human consumption criteria, resulting in a potability criteria of 7,5 mg/L. For protection of aquatic life, acute and chronic toxicity data for different organisms were found. The criteria was calculated from the acute test value EC50 of the aquatic plant *Lemna gibba*, the most sensitive organism in the studies, and using an assessment factor of 100, resulting in a concentration of 17 ng/L. Considering the potability criteria calculated in this paper and nicosulfuron's occurrence data from the listed countries, the compound didn't present risk to human health. Based on the concentrations found in surface waters and the calculated criteria for protection of aquatic life, nicosulfuron presented risk in all countries where it was detected, but in Brazil, due to the low sensibility of the analytic method used, it is not possible to analyze the risk. The execution of chronic tests is recommended, including aquatic plants, in order to decrease the uncertainties related to the assessment factor, and the use of more sensitive analytic methods in Brazil.

**Keywords:** Nicosulfuron. Herbicide. Toxicity. Potability criteria. Aquatic life



## 1 INTRODUÇÃO

Nicossulfurom é um herbicida pertencente ao grupo químico das sulfoniluréias. No Brasil, seu uso é aprovado para as culturas de milho e soja (MAPA, 2003), visando o controle de ervas daninhas monocotiledôneas, dicotiledôneas e gramíneas (RODRIGUES e ALMEIDA, 2018; LEITE et al., 2017). Segundo dados do IBAMA (2019), a produção de nicossulfurom possuiu valores superiores à 50 toneladas entre os anos de 2009 à 2011, sendo que em 2012 a produção do herbicida começou a cair, chegando a um mínimo de 29,48 toneladas em 2017 e, aumentou discretamente nos anos seguintes, atingindo uma produção de 39,67 toneladas em 2019, ano do último Relatório de Comercialização de Agrotóxicos. O IBAMA (2019) também fornece dados de comercialização do nicossulfurom, que variou entre 54,53 a 88,02 toneladas de 2009 a 2019, em 2019 foram comercializadas 65,17 toneladas do herbicida.

O nicossulfurom possui formulação em grânulos dispersíveis em água ou em suspensão concentrada, sua aplicação pode ser feita com pulverizadores manuais ou com aeronaves agrícolas (MAPA, 2003). Sua taxa típica de aplicação costuma ser menor que a de herbicidas tradicionais (> 1 kg ha<sup>-1</sup>), sendo inferior à 100 g ha<sup>-1</sup>, portanto é esperado que seu potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas seja menor (REGITANO; KOSKINEN, 2008). Entretanto, considerando que ocorrem perdas durante a aplicação do agrotóxico, principalmente nas bordas da plantação, e que essas podem ser maiores no caso de chuvas durante e após a aplicação, o nicossulfurom pode ser carregado pela ação dos ventos, lixiviado através do solo para águas subterrâneas ou atingir águas superficiais por escoamento (EPA, 2018), podendo acarretar em efeitos adversos no ecossistema, que variam de acordo com a concentração e tempo de exposição (SCHULZ, 2004).

### Objetivo

Apresentar informações sobre as características físico-químicas e toxicológicas do nicossulfurom, dados de ocorrência ambiental e como o agrotóxico é regulamentado do ponto de vista ambiental no Brasil e em outros países. Calcular critérios de potabilidade e de proteção da vida aquática, a fim de avaliar seus respectivos riscos.

## 2 METODOLOGIA

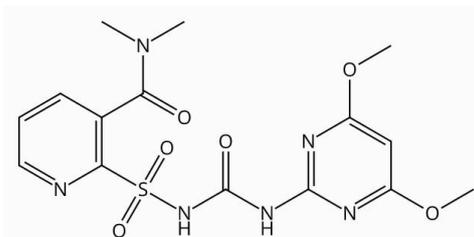
O método utilizado para o levantamento de informações foi o de pesquisa em bases de dados nacionais e internacionais. Inicialmente, foi realizada a busca do uso e quantidade produzida do nicossulfurom no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento (MAPA). As características físico-químicas do herbicida e de seus metabólitos foram levantadas em Lewis, Tzilivakis, Warner & Green (2016), SciFinder, Environmental Protection Agency (EPA) e European Food Safety Authority (EFSA), com a palavra-chave nicossulfurom. Dados necessários para a derivação dos critérios de potabilidade foram extraídos de European Food Safety Authority (EFSA) e EPA, com o descritor: nicosulfuron toxicity. Enquanto os dados para a derivação de critérios de proteção à vida aquática foram extraídos de Lewis, Tzilivakis, Warner & Green (2016), com o descritor nicosulfuron. Bases de dados como Norman Empodata e ScienceDirect foram utilizadas na pesquisa de ocorrência do nicossulfurom com os descritores: nicosulfuron in water, nicosulfuron in groundwater, occurrence nicosulfuron, occurrence nicosulfuron in water, entre outros.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Características físico-químicas

Pertencente ao grupo das sulfoniluréias, o nicossulfurom possui a fórmula molecular C<sub>15</sub>H<sub>18</sub>N<sub>6</sub>O<sub>6</sub>, nome químico 2 - (((((4,6-dimetoxi-2-pirimidinil) amino) carbonil) amino) sulfonil) -N, N-dimetil-3-piridinocarboxamida e número de registro CAS 111991-09-4. Sua fórmula estrutural é apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Fórmula estrutural do nicossulfurom.



Fonte: Green & Hale, 2005.



Tabela 1 - Características físico-químicas do nicossulfurom.

Característica	Valor	Condição
Solubilidade	7500 mg/L <sup>(a)</sup>	20 °C
	360 mg/L <sup>(b)</sup>	pH 5
	12200 mg/L <sup>(b)</sup>	pH 6,9
	29200 mg/L <sup>(b)</sup>	pH 8,8
Coeficiente de partição octanol/água (Log Kow)	0,61 <sup>(b)</sup>	pH 7 - 20 °C
	0,01 <sup>(c)</sup>	Não informado
	0,44 <sup>(b)</sup>	pH 5
Coeficiente de partição de carbono orgânico (Koc)	0,018 <sup>(b)</sup>	pH 7
	30 mL/g <sup>(a)</sup>	Não informado
Constante de dissociação (pKa)	4,78 <sup>(a)</sup>	25 °C
	7,58 <sup>(a)</sup>	25 °C
Constante de Henry (Kh)	1,48x10 <sup>-11</sup> Pa.m <sup>3</sup> /mol <sup>(a)</sup>	25 °C
Pressão de Vapor	8,00x10 <sup>-7</sup> mPa <sup>(a)</sup>	20 °C
Degradação no solo (aeróbio)	16,4 dias <sup>(a)</sup>	DT50 laboratório (20 °C)
	19,3 dias <sup>(a)</sup>	DT50 campo
	8,9 a 63,3 dias <sup>(a)</sup>	DT50 campo

(a) LEWIS et al., 2016; (b) Green & Hale, 2005; (c) EPA, 2021; (d) EFSA, 2008.

O conjunto das características físico-químicas dos agrotóxicos influencia no comportamento e na dinâmica destes compostos no meio ambiente.

A solubilidade é relacionada à quantidade máxima de uma molécula que se dissolve em água pura. A solubilidade do nicossulfurom a 20 °C na água é considerada alta segundo a classificação arbitrária de uso comum utilizada pela PPDB (LEWIS et al., 2016). O comportamento da solubilidade em água é influenciado pelo pH, e os valores de solubilidade encontrados para o nicossulfurom indicam uma tendência de aumento de solubilidade conforme o pH aumenta (Tabela 1).

O coeficiente de partição octanol/água (Kow) indica a lipofilicidade de um composto. Como os valores encontrados para o Log Kow são valores baixos (Tabela 1), dificilmente o nicossulfurom ficaria aderido à tecidos adiposos. De acordo com a classificação da EPA utilizada pela PPDB (LEWIS et al., 2016), os valores encontrados para o Log Kow indicam que o nicossulfurom é pouco bioacumulativo.

O coeficiente de partição de carbono orgânico (Koc) indica a tendência de adsorção de um composto pela matéria orgânica presente no solo. Segundo a classificação do PSD Pesticide Data Requirement Handbook utilizada pela PPDB (LEWIS et al., 2016), o nicossulfurom é considerado móvel e apresenta um valor baixo de Koc, não se aderindo ao solo (Tabela 1).

A especificação (pKa), é o valor negativo do logaritmo da constante de dissociação de um ácido, e demonstra em que forma molecular o composto está no ambiente. Analisando os dados encontrados, conclui-se que há uma grande diferença entre os valores (tabela 1). Isso ocorre, pois, o valor de pKa igual a 7,58 é referente a perda do íon hidrogênio. Sabendo que quanto maior o pKa menor é o Ka e mais fraco é o ácido, desta forma espera-se que o pKa (1) seja menor que o pKa (2) e assim por diante, enquanto houver hidrogênios disponíveis.

A constante de Henry (kH) a 25°C, indica o grau de volatilidade do composto. O valor encontrado da constante para o nicossulfurom (tabela 1) classifica o composto como não volátil segundo a classificação de alguns estudos como o do Van der Werf, HMG (1996) adotada pela PPDB (LEWIS et al., 2016).

Indicativo da tendência de volatilização de um composto em seu estado normal (sólido ou líquido), a pressão de vapor do nicossulfurom sinaliza a volatilidade do herbicida. De acordo com Lewis et al. (2016), compostos com pressão de vapor abaixo de 5 mPa, caso do nicossulfurom (tabela 1), possuem baixa volatilidade. Portanto, unindo os valores obtidos para solubilidade e adsorção, anteriormente considerados altos, com o valor de pressão de vapor de água, espera-se que o composto apresente maior tendência em permanecer na fase condensada.

O quanto um composto persiste no meio é dado pela degradação e a DT50 é a análise utilizada para verificar o tempo que esse composto leva para diminuir sua concentração em 50% da quantidade aplicada. Segundo a EFSA (2008), o nicossulfurom tem de baixa a moderada persistência no solo quando analisado para DT50 em campo (tabela 1). Porém, a classificação das regulamentações dos EUA e do Reino Unido, utilizada pela PPDB (LEWIS et al., 2016), classificam o composto como não persistente no solo.

A degradação do nicossulfurom em solo produz cinco produtos de degradação principais. Dentre eles, o N,N-dimethyl-2-sulfamoylpyridine-3-carboxamide (ASDM) e o 2-[(Carbamimidoylcarbamoyl)sulfamoyl]-N,N-dimethylpyridine-3-carboxamide (AUSN) são os mais frequentes. Cabe ressaltar que tais compostos foram classificados com persistência de moderada a alta no solo, indicando um potencial de serem lixiviados para águas subterrâneas. O ASDM e o AUSN também foram



identificados como os principais produtos de degradação presentes em água (EFSA, 2008).

A partir de testes de toxicidade, a EFSA (2008) relatou que especialistas concluíram que os produtos de degradação do nicossulfurom não são considerados relevantes para os organismos aquáticos devido à baixa toxicidade, sendo considerado relevante apenas o nicossulfurom que apresenta toxicidade para macrófitas.

### Levantamento da ocorrência do nicossulfurom e de produtos de transformação

Foram encontrados estudos sobre a ocorrência do nicossulfurom em águas superficiais e subterrâneas (Tabela 2).

Tabela 2 - Ocorrência do nicossulfurom em água.

País	Ano	Corpo hídrico	Técnica	LD <sup>(a)</sup> (µg/L)	LQ (µg/L)	Nº de amostras	Frequência (%)	Mínimo (µg/L)	Máximo (µg/L)
Estados Unidos <sup>(a)</sup>	1998	Superficial	HPLC-MS <sup>(b)</sup>	-	0,01	130	52	-	0,266
	1998	Subterrâneo	HPLC-MS <sup>(b)</sup>	-	0,01	25	8	-	0,016
Canadá <sup>(b)</sup>	2006	Superficial	Variação da HPLC-MS <sup>(b)</sup>	0,004	-	150	21	0,004	0,525
	2007			0,004	-	120	8	0,005	0,033
Alemanha <sup>(c)</sup>	2008	Superficial	HPLC-MS <sup>(b)</sup> ou MS-MS <sup>(e)</sup>	0,007	-	139	3	0,0126	0,022
				-	0,005	330	17	0,005	1,5
França <sup>(d)</sup>	2018	Superficial	Não especificado	-	-	353	5,1	-	0,079
	2018	Subterrâneo	Não especificado	-	-	39	10,3	-	0,024
Brasil <sup>(f)</sup>	2015 - 2016	Superficial	UPLC-MS/MS <sup>(g)</sup>	0,25	0,49	17	0	-	<0,25

(a) BATTAGLIN et al., 2000; (b) STRUGER et al., 2011; (c) NORMAN EMPODATA, 2013; (d) FREDON AUVERGNE RHÔNE-ALPES, 2019; (e) BARIZON et al., 2019;

(f) Cromatografia líquida de alta eficiência acoplada à espectrometria de massa; (g) Espectrometria de massa em tandem; (h) Cromatografia líquida de ultra eficiência acoplada à espectrometria de massa em tandem; (-) = Não informado.

Considerando todos os corpos d'água, inclusive o do Brasil, em um total de 1303 amostras, a frequência de detecção do nicossulfurom foi de 15%, cujas concentrações variaram de 0,016 µg/L a 1,5 µg/L.

Uma vez que as frações dos produtos de degradação AUSN e ASDM são as principais em solos e que estes também são os principais em águas, considera-se relevante destacar a ocorrência destes em corpos d'água.

O AUSN foi encontrado em águas subterrâneas na Suíça, com 0,047 µg/L de concentração máxima (KIEFER et al., 2019). Já o ASDM foi detectado na França em águas subterrâneas, com valor máximo de 0,428 µg/L, e em águas superficiais, cuja concentração máxima foi 0,100 µg/L (FREDON AUVERGNE RHÔNE -ALPES, 2019).

### Cálculo do critério de potabilidade e avaliação do risco

Para calcular o critério de potabilidade para o ser humano, é necessário saber qual é a ingestão diária aceitável (IDA) - também conhecida como dose de referência (DRf) ou ingresso diário tolerável (IDT) - que pode ser obtida através de um cálculo utilizando o valor do nível de efeito adverso não observado (NOAEL), ou seja, a maior dose que não provoca efeito adverso, e uma fonte de incerteza (FI), sendo 10 para contabilizar a extrapolação interespecies e 10 a variabilidade intraespecie, totalizando FI igual à 100 em todos os estudos encontrados (UMBUZEIRO, 2012).

Para o nicossulfurom, foram encontrados três valores de IDA e seus respectivos NOAEL de estudos realizados em cães, cujos efeitos críticos foram diminuição do peso corporal (tabela 4). Não se encontrou o valor de IDA nas monografias da ANVISA.

Tabela 3 - Valores de ingestão diária aceitável (IDA) e nível de efeito adverso não observado (NOAEL) do nicossulfurom

IDA/TDI/DRf	NOAEL utilizado
1,25 mg/kg pc/dia <sup>(a)</sup>	125 mg/kg pc/dia
1,41 mg/kg pc/dia <sup>(b)</sup>	141,1 mg/kg pc/dia
2 mg/kg bw/dia <sup>(c)</sup>	200 mg/kg pc/dia

(a) U. S. Environmental Protection Agency, 2009; (b) Health Canada, 2008; (c) European Food Safety Authority, 2008.

Para o cálculo do critério de potabilidade, utilizou-se a menor dose de ingestão diária encontrada na literatura. Como o nicossulfurom



apresenta baixo Log Kow e alta solubilidade (tabela 1), adotou-se um fator de ingestão de 20%. Diante disto, empregando um peso corporal de 60 kg (WHO, 2017) e o consumo diário de água de 2 L (WHO, 2017), é possível calcular o critério de potabilidade multiplicando IDA, peso corporal e fração de ingestão de água, e posteriormente dividindo pelo consumo de água, obtendo assim um valor de 7,5 mg/L (UMBUZEIRO, 2012).

O maior valor encontrado de nicossulfurom em águas superficiais foi de 1,5 µg/L, na Alemanha. Esta concentração é 5000 vezes menor que o critério de potabilidade calculado, que é de 7,5 mg/L, o que caracteriza as águas analisadas como potáveis, mesmo que contaminadas pelo agrotóxico. Todas as técnicas analíticas encontradas permitem sua utilização para a avaliação do risco para o consumo humano, até mesmo o método utilizado no Brasil, que teve os maiores LD e LQ.

#### Cálculo do critério para proteção da vida aquática e avaliação do risco

Foram encontrados na literatura resultados de toxicidade do nicossulfurom para diferentes organismos aquáticos. Os valores analisados são de concentração letal ou efetiva para 50% dos organismos teste (CL50 ou CE50) de testes agudos, e valores de concentração de efeito não observado (CENO) de testes crônicos (tabela 4).

Tabela 4 - Concentração letal ou efetiva para 50% dos organismos teste (CL50 ou CE50) e concentração de efeito não observado (CENO) do nicossulfurom.

Tipo de teste	Espécie teste	Tempo de exposição	Endpoint	Valor (mg/L)
Agudo	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Peixe) <sup>(a)</sup>	96 horas	CL50	65,7
	<i>Daphnia magna</i> (Invertebrados) <sup>(a)</sup>	48 horas	CE50	90,0
	<i>Arabaena flos-aquae</i> (Algas) <sup>(a)</sup>	72 horas	CE50	7,8
	<i>Lemna gibba</i> (Planta aquática) <sup>(b)</sup>	7 dias	CE50	0,0017
Crônico	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Peixe) <sup>(a)</sup>	21 dias	CENO	10
	<i>Daphnia magna</i> (Invertebrados) <sup>(a)</sup>	21 dias	CENO	5,2
	<i>Unknown species</i> (Algas) <sup>(a)</sup>	96 horas	CENO	100

(a) LEWIS, et al., 2016; (b) EFSA, 2008.

O cálculo do critério para proteção da vida aquática é feito a partir da divisão do menor valor de toxicidade disponível por um fator de avaliação pré-definido na metodologia (UMBUZEIRO et al., 2011).

Quando não há valor de CENO para a espécie mais sensível e ela apresenta uma CE50 menor que o valor mais baixo das CENO, deve ser aplicado um fator de avaliação de 100 à menor CE50 (LEPPER, 2005; UMBUZEIRO et al., 2011). Portanto, o critério para proteção da vida aquática é obtido a partir da razão entre 0,0017 mg/L e o fator de avaliação de 100, resultando em 17 ng/L.

O nicossulfurom foi detectado em concentrações acima do critério calculado em todas as ocorrências em águas superficiais, portanto, todas apresentaram risco à vida aquática, exceto o Brasil, pois para as águas analisadas no país, não é possível avaliar o risco, uma vez que o limite de detecção é superior ao critério de proteção à vida aquática.

Para poder adotar um fator de avaliação menor, isto é, para calcular um critério com maior confiabilidade, são necessários mais dados de testes crônicos, incluindo testes em plantas aquáticas.

#### Regulamentação

O herbicida nicossulfurom é comercializado no Brasil, e registrado pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), no entanto ele não possui regulamentação para concentrações em água. Não foram encontradas concentrações máximas permitidas em água na Portaria de Potabilidade Nº 888 de 2021 (BRASIL, 2021) ou regulamentação no CONAMA Nº396 de 2008 (BRASIL, 2008) e CONAMA Nº357 de 2005 (BRASIL, 2005).

O nicossulfurom é registrado nos Estados Unidos pela EPA (2018), entretanto, o herbicida não está presente na tabela de critérios nacionalmente recomendados para saúde humana, nem na tabela de critérios para vida aquática (EPA, 2021). A Diretiva (UE) 2020/2184 do Parlamento Europeu e do Conselho (2020) não possui regulamentação específica para o nicossulfurom ou seus principais metabólitos, apenas regulamenta uma concentração de 0,1 µg/L de agrotóxico individualmente e de 0,5 µg/L para mistura em água para consumo humano. Estes valores estão baseados no princípio da precaução de modo a assegurar um elevado nível de proteção da saúde (EUROPEAN COMMUNITIES, 2020).



## 4 CONCLUSÃO

Considerando o critério de potabilidade calculado neste trabalho e os dados de ocorrência do nicossulfurom em águas no Brasil, Estados Unidos, Canadá, Alemanha e França, o composto não apresentou risco para a saúde humana. Com base nos dados de ocorrência em águas superficiais e no critério de proteção da vida aquática calculado, o nicossulfurom apresentou risco nos países onde foi quantificado, mas no Brasil, devido à baixa sensibilidade do método analítico empregado, não foi possível avaliar o risco. Recomenda-se a realização de testes crônicos, inclusive para plantas aquáticas, a fim de diminuir as incertezas quanto ao fator de avaliação, e a utilização de métodos analíticos mais sensíveis no Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARIZON, R. et al. Pesticides in the surface waters of the Camanducaia River watershed, Brazil. 28 nov. 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03601234.2019.1693835>. Acesso em: 30 mar. 2021.
2. BATTAGLIN, W.A.; FURLONG, E.T.; BURKHARDT, M.R.; PETER, C.J. Occurrence of sulfonylurea, sulfonamide, imidazolinone, and other herbicides in rivers, reservoirs and ground water in the Midwestern, United States, 1998. 5 abr. 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969799005367?via%3Dihub>. Acesso em: 30 mar. 2021.
3. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Potabilidade nº 888, de 07 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
4. CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicada no DOU nº 053, de 18 mar. 2005. p. 58-63.
5. CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Publicada no DOU nº 66, Seção 1, 7 abr. 2008. p. 64-68.
6. EFSA. European Food Safety Authority. Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance nicosulfuron, 29 jan. 2008. Disponível em: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/rn-120>. Acesso em: 30 mar. 2021.
7. EFSA. European Food Safety Authority. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water, 25 mar. 2010. Disponível em: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1459>. Acesso em: 26 abr. 2021.
8. EUROPEAN COMMUNITIES. Diretiva (UE) 2020/2184 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2020 relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano (reformulação), 16 dez. 2020. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/ALL/?uri=CELEX:32020L2184>. Acesso em: 01 jun. 2021.
9. FREDON AUVERGNE RHÔNE -ALPES (França). Rapport annuel d'activités 2018. Saint-Priest: Fredon, mar. 2019. Disponível em: [https://www.eauetphyto-aura.fr/wp-content/uploads/2019/07/18\\_Bilan-activites\\_Eau-phyto\\_FREDON-AuRA.pdf](https://www.eauetphyto-aura.fr/wp-content/uploads/2019/07/18_Bilan-activites_Eau-phyto_FREDON-AuRA.pdf). Acesso em: 20 abr. 2021.
10. GREEN, J., & HALE, T. Increasing and Decreasing pH to Enhance the Biological Activity of Nicosulfuron. Weed Technology, 2005. Disponível em: <https://scifinder->



n.cas.org/searchDetail/reference/60634605c86f395246132c13/referenceDetails/fulltext. Acesso em: 30 mar. 2021.

11. HEALTH CANADA PEST MANAGEMENT REGULATORY AGENCY (Canada). Proposed Re-evaluation Decision: Nicosulfuron. [S. l.], 8 jan. 2008. Disponível em: <https://central.bac-lac.gc.ca/.item?id=prvd2008-01-e&op=pdf&app=Library>. Acesso em: 20 abr. 2021.
12. IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Relatório de Comercialização de Agrotóxicos. 2019. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#hist-comercializacao>. Acesso em: 23 mar. 2021.
13. KIEFER, K. et al. New relevant pesticide transformation products in groundwater detected using target and suspect screening for agricultural and urban micropollutants with LC-HRMS. *Water Research*. 15 nov. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135419307468>. Acesso em: 20 abr. 2021.
14. LEITE, G. L. D. et al. Toxicidade de herbicida, seletividade e hormesis de nicosulfuron em 10 Trichogrammatidae (Hymenoptera) espécie que parasita Anagasta (D Ephemestia) kuehniella (Lepidoptera: Ovos de Pyralidae). *Journal of environmental science and health*, n. 1, p. 70 - 76, 2017.
15. LEPPER, P. Manual on the methodological framework to derive environmental quality standards for priority substances in accordance with Article 16 of the Water Framework Directive (2000/60/EC). Schmallenberg (DE): Fraunhofer Institute Molecular Biology and Applied Ecology, 15 set. 2005. Disponível em: [https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/131519/\\_16manual\\_on\\_the\\_methodological\\_framework\\_to\\_derive\\_environmental\\_quality\\_standards\\_for\\_priori.pdf](https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/131519/_16manual_on_the_methodological_framework_to_derive_environmental_quality_standards_for_priori.pdf). Acesso em: 14 set. 2021.
16. LEWIS, K.A., TZILIVAKIS, J., WARNER, D. and GREEN, A. (2016) An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 4. ed. v. 22. 2016. p. 1050-1064. DOI: 10.1080/10807039.2015.1133242. Disponível em: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/484.htm>. Acesso em: 30 mar. 2021.
17. MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (Brasil). AGROFIT: sistema de agrotóxicos fitossanitários. 2003. Disponível em: [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons). Acesso em: 23 mar. 2021.
18. NORMAN EMPODATA. Database of geo-referenced monitoring and biomonitoring data on emerging substances in the following matrices: water, sediments, biota, SPM, soil, sewage sludge and air, 2013. Disponível em: <http://www.norman-network.net/em-podat/index.php>. Acesso em: 03 abr. 2021.
19. REGITANO, JUSSARA B. KOSKINEN, WILLIAM C. Characterization of Nicosulfuron Availability in Aged Soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, [s. l.], 21 jun. 2008. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf800753p>. Acesso em: 23 mar. 2021.
20. RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. Guia de herbicidas. 7. ed. Londrina, 2018. p. 764
21. SCHULZ, R. Field studies on exposure, effects, and risk mitigation of aquatic nonpoint-source insecticide pollution: a review. *J. Environ. Qual.* v. 33. 1 mar. 2004. p. 30. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/jeq2004.4190>. Acesso em: 23 mar. 2021.
22. STRUGER, J., GRABUSKI, J., CAGAMPAN, S. et al. Occurrence and Distribution of Sulfonylurea and Related Herbicides in Central Canadian Surface Waters 2006–



2008. 25 jul. 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00128-011-0361-5>. Acesso em: 30 mar. 2021.
23. UMBUZEIRO, G. A. (Coord.) et al. Protocolo para Derivação de Critérios de Qualidade da Água para proteção da Vida Aquática no Brasil. Critérios de Qualidade da Água (CQA). 2011.
24. UMBUZEIRO, G. A. (Coord.) et. al. Guia de potabilidade para substâncias químicas. São Paulo: Limiar, out. 2012.
25. University of Hertfordshire. Agricultural substances databases background and support information. [S. l.], jul. 2020. Disponível em: [http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/docs/5\\_1.pdf](http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/docs/5_1.pdf). Acesso em: 4 maio 2021.
26. University of Toronto. Passive air sampling for semi-volatile organic chemicals. The Royal Society of Chemistry, n. 10, v. 22, 21 ago. 2020. p. 1919 - 2134. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/em/d0em00194e>. Acesso em: 03 abr. 2021.
27. U. S. Environmental Protection Agency. Nicosulfuron. Washington: EPA, 27 out. 2009. Disponível em: <https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OPP-2009-0057-0005>. Acesso em: 20 mar. 2021.
28. U. S. Environmental Protection Agency. Nicosulfuron 4SC. Washington: EPA, 15 nov. 2018. Disponível em: [https://www3.epa.gov/pesticides/chem\\_search/ppls/071512-00016-20181115.pdf](https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/ppls/071512-00016-20181115.pdf). Acesso em: 23 mar. 2021.
29. U. S. Environmental Protection Agency. National recommended water quality criteria tables. Washington: EPA, 2021. Disponível em: <https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-tables>. Acesso em: 19 ago. 2021.
30. WHO, World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality, 27 abr. 2017. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>. Acesso em: 26 abr. 2021.