



Glifosato: um problema da ciência e da tecnologia para a sociedade

Glyphosate: a problem from science and technology to society

Andressa Kuhnen Silva

Núcleo de Pesquisa em Ensino de Ciências (NUPEC), Universidade Federal de Goiás (UFG), Campus Samambaia, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil.

Laboratório de Ressonância Magnética Nuclear, Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás (UFG), Campus Samambaia, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil.
andressa.kuhnen@gmail.com

Luciano Moraes Lião

Laboratório de Ressonância Magnética Nuclear, Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás (UFG), Campus Samambaia, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil.
lucianolião@ufg.br

Simone Maria Teixeira de Sabóia-Morais

Laboratório de Comportamento Celular, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Goiás (UFG), Campus Samambaia, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil.
simonesaboias@gmail.com

Francisco Gambarra Neto

Laboratório de Ressonância Magnética Nuclear, Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás (UFG), Campus Samambaia, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil.
chicogambarra@gmail.com

Agustina Rosa Echeverría

Núcleo de Pesquisa em Ensino de Ciências (NUPEC), Universidade Federal de Goiás (UFG), Campus Samambaia, 74690-900, Goiânia, GO, Brasil.
echeverria.ufg@gmail.com

Resumo:

Numa definição inicial - sempre é possível se complexificar as definições - podemos dizer que a Química é a ciência que estuda as substâncias, suas transformações e as energias envolvidas nelas. Daí depreende-se que o conceito de Reação Química é central nessa ciência como também o é para a sua aprendizagem. No presente artigo trataremos o conceito de Reação Química relacionado à problemática ambiental abordado no curso superior de Química da Universidade Federal de Goiás (UFG) - Brasil. O glifosato (GLI), princípio ativo presente em diversos herbicidas, como o Roundup, é frequentemente utilizado na agricultura e estudos demonstram que a sua toxicidade pode ser causada pela presença de seu produto de degradação, o ácido aminometilfosfônico (AMPA). Um dos problemas associados a sua utilização é a diminuição dos níveis de testosterona em peixes do sexo masculino, o que pode promover a feminização e desmasculinização desses animais. Dessa maneira, através da análise de



Ressonância Magnética Nuclear (RMN) foi possível monitorar por 96h aquários que continham doses de glifosato diluídas em água. Constatou-se que os animais absorveram concentrações de glifosato levando a sua feminização, e que isso ocorreu devido à absorção do glifosato, e não dos seus produtos de degradação. As implicações ambientais de reações químicas derivadas da utilização de agrotóxicos na agricultura, exemplificadas no caso do GLI, foram discutidas nas aulas da disciplina de Química Ambiental, numa abordagem interdisciplinar de conceitos estruturantes da Química.

Palavras-chave: reação-química; agrotóxicos; glifosato; peixes.

Abstract:

Initially we may define Chemistry - it is always possible to make definitions more complex - as the science that studies the substances, their transformations and the energies involved in those transformations. Hence it follows that the concept of Chemical Reaction is a central one in this science as it is for the process of learning it. In this paper we will work with the concept of chemical reaction related to environmental problems, which are discussed in the Bachelor of Science Degree in Chemistry of the Federal University of Goiás (UFG) – Brazil. Glyphosate (GLI), active ingredient presented in several herbicides such as Roundup, is often used in agriculture. Studies show that its toxicity can be caused by the presence of its product degradation, the aminomethylphosphonic acid (AMPA). One of the problems associated with its use is the reduction of testosterone levels in male fish, which can promote the feminization and demasculinization of these animals. In this way, through the analysis of Nuclear Magnetic Resonance (NMR) it was possible to monitor for 96 hours aquariums containing doses of glyphosate diluted in water. It was found that those animals absorbed concentration of glyphosate that lead to their feminization, and that this was due to the absorption of glyphosate, and not of its degradation products. The environmental implications of chemical reactions derived from the use of pesticides in agriculture, exemplified in the case of GLI, were discussed during the Environmental Chemistry course in an interdisciplinary approach about structuring concepts of Chemistry.

Keywords: chemical reaction; agrochemicals; glyphosate; fish.

Resumen:

En una definición inicial - siempre es posible profundizar las definiciones - podemos decir que la Química es la ciencia que estudia las sustancias, sus transformaciones y las energías involucradas en ellas. De ahí se desprende que el concepto de Reacción Química es central en esa ciencia como también lo es para su aprendizaje. En el presente artículo trataremos el concepto de Reacción Química relacionado a la problemática ambiental abordado en el curso superior de Química de la Universidad Federal de Goiás (UFG) - Brasil. El glifosato (GLI), principio activo presente en diversos herbicidas, como el Roundup, es frecuentemente utilizado en la agricultura y los estudios demuestran que su toxicidad puede ser causada por la presencia de su producto



de degradación, el ácido aminometilfosfónico (AMPA). Uno de los problemas asociados a su utilización es la disminución de los niveles de testosterona en peces masculinos, lo que puede promover la feminización y desmasculinización de estos animales. De esta manera, a través del análisis de resonancia magnética nuclear (RMN) fue posible monitorear por 96h acuarios que contenían dosis de glifosato diluidas en agua. Se constató que los animales absorbieron concentraciones de glifosato lo que provocó su feminización, y que esto ocurrió debido a la absorción del glifosato, y no de sus productos de degradación. Las implicaciones ambientales de las reacciones químicas derivadas de la utilización de agro tóxicos en la agricultura, explicadas en el caso del GLI, fueron discutidas en las clases de la asignatura de Química Ambiental, en un abordaje interdisciplinario de conceptos estructurantes de la Química.

Palabras clave: química; agro tóxicos; glifosato; peces.

Introdução

Analisando o processo histórico de estabelecimento da crise ambiental observamos a complexidade de sua estruturação. Com o aprofundamento das discussões da crise ambiental a partir da década de 1960, a Educação Ambiental (EA) tornou-se pauta de grandes eventos, de agendas governamentais e de discussões em meios acadêmicos. Um marco nesse processo foi a reunião de cientistas de países de capitalismo desenvolvido realizada em Roma em 1968 com o objetivo de discutir o consumo, o crescimento da população mundial e as reservas de recursos naturais não renováveis. As conclusões dessa reunião, reunidas no livro *Os limites do crescimento* (Meadows *et al.*, 2007) no qual os autores utilizaram um sistema computacional (World 3) para simular as consequências da interação entre os sistemas naturais da Terra com a população humana, previam um colapso ambiental para o século XXI. Quarenta e três anos depois, o historiador brasileiro Luiz Marques no seu livro *Capitalismo e colapso ambiental* (Marques, 2015) afirma que o êxito das sociedades industriais em multiplicar incessantemente o excedente, não apenas impõem novas forma de escassez, mas sobretudo geram ameaças mais sistêmicas à nossa segurança, e que a equação “mais excedente = mais segurança”, decantada em nossa *forma mentis* ao longo de milênios, converteu-se hoje na equação “mais excedente = menos segurança” (Marques, 2015).

Em 1972, na conferência de Estocolmo foi possível observar duas perspectivas distintas de abordagem da questão ambiental. Por um lado, uma visão reducionista, de caráter conservacionista que foi defendida principalmente pelos países centrais, e por outro lado uma perspectiva alternativa, defendida pelos países de capitalismo subordinado, que relacionava as soluções para o combate da degradação ambiental a medidas que conciliassem o desenvolvimento econômico e social dos países denominados subdesenvolvidos (Caride e Meira 2001). O Brasil, naquela conferência, defendeu que a poluição era o preço que se pagava pelo “progresso”, pois estava vivendo o período do chamado “milagre econômico” que ocorreu a partir de 1968 no contexto do governo militar (Reigota, 2009).

Em 1975 aconteceu em Belgrado, na então Iugoslávia, o Seminário Internacional de EA do qual participaram 120 representantes de 65 países. O evento redundou na famosa Carta de Belgrado que trazia os princípios e os objetivos da EA vinculados à formação de uma população



mundial consciente e preocupada com o meio ambiente e que tivesse conhecimento, aptidão, atitude, motivação e compromisso para trabalhar coletivamente e individualmente na busca de soluções para os problemas existentes.

No Brasil a EA começou a ser discutida na década de 1970, mas somente na década de 1980 começa a ganhar dimensões públicas de alguma relevância com a Lei Federal nº 6.938 que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 1981).

Em 1994 numa aproximação entre o Ministério da Educação e o Ministério do Meio Ambiente se cria o Programa Nacional de Educação Ambiental que se propunha 1) capacitar gestores e educadores; 2) desenvolver ações educativas; e 3) desenvolver instrumentos e metodologias. Desde então, a EA passa a ser pauta das diretrizes curriculares de todos os níveis de ensino, embora o que muitas vezes prevalece nos ambientes educativos, é apenas a explicitação da gravidade dos problemas, suas consequências para o meio ambiente e a proposição de soluções técnicas, sem, no entanto, ir à essência do problema nem procurando analisar as origens causadoras dos mesmos. O ensino de ciências em geral, e de química em particular, tem se caracterizado, na maioria das vezes, pela repetição ritualística de definições que não fazem sentido para os alunos, a não ser para serem aprovados nos exames finais, "totalmente desvinculados da realidade", como bem apontado por Mortimer *et al* (Mortimer *et al.*, 2000).

Assim, é preciso pensar no ensino (seja de nível médio ou superior) como *locus* da transmissão da cultura científica na perspectiva da alfabetização científica dos estudantes, que pode ser adquirida pela abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), cujo principal objetivo é "auxiliar o aluno a construir conhecimentos e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade" (dos Santos e Mortimer, 2002) e, portanto, conseguir trabalhar essa cultura científica com o maior número de alunos possível, levando em consideração para isso, a realidade e o contexto social em que a instituição de ensino está inserida (Reis, 2006). A educação pode ampliar a visão de mundo do indivíduo quando este ver sentido no que aprende, pois se a diferença socioeconômica ainda é um fator que desnivela a educação no Brasil, o ensino ainda pode (mesmo que de forma limitada) contribuir para a formação de novos pensamentos.

Isso vale para todas as áreas do conhecimento. Como abordado por Gasset "é necessário que o aluno não apenas percorra os olhos pelo conteúdo, e sim entenda-o (Gasset, 1971). E é através dessa apreensão de conteúdos que essa nova visão é levada para a vida do estudante, o que também foi defendido por Savater e Paulo Freire (Savater, 1998; Freire, 1969).

É notória a vasta discussão acerca da necessidade da contextualização para o ensino (Wartha *et al.*, 2013; Wartha e Alário, 2005), principalmente em disciplinas nas quais o interesse dos alunos é menor, e essa contextualização pode ser feita de diversas formas, sendo uma delas a apresentação dos temas que são investigadas nas universidades locais e que podem ser debatidos em sala de aula. Nesse sentido, além da apresentação do conteúdo específico exigido pelo currículo, podem-se discutir problemas que fazem parte da realidade desses estudantes.

A incorporação da EA nos currículos escolares é orientação das diretrizes educacionais do Brasil para todos os níveis (fundamental, médio e superior). No Instituto de Química da Universidade



Federal de Goiás, uma disciplina denominada Química Ambiental, presente no Projeto Pedagógico de Curso desde 2004 propõe abordar de forma interdisciplinar questões químicas e ambientais. Assim, inspirados no famoso livro de Raquel Carson, Primavera silenciosa (Carson, 2010), que em 1962 suscitou um verdadeiro sobressalto na opinião-pública norte-americana ao alertar para a mortandade dos pássaros e outros animais causada pelo pesticida dicloro-difenil-tricloroetano (DDT) (o que veio a ser confirmado posteriormente e levou à proibição da produção e comercialização desse organoclorado), e considerando que o Brasil é um grande produtor de *commodities*, entre elas as oriundas da agricultura e produzidas com intenso uso de agrotóxicos, propomo-nos discutir o conceito de reação química em nível superior a partir da utilização do glifosato na agricultura.

Este é um dos assuntos de maior interesse na atualidade, no Brasil e no mundo. O predomínio da monocultura em grande escala provoca a proliferação desenfreada de pragas para cujo combate se utilizam agrotóxicos. A utilização desses agentes químicos é motivo de intensos debates que envolvem desde as grandes empresas multinacionais que os produzem até pesquisadores decididos a fundamentar as consequências do uso desses produtos. Entendemos que levar este debate sócio científico para os estudantes que estão em formação superior nos cursos de química pode contribuir para a sua formação como cidadãos críticos. Ainda nesse contexto, é válido lembrar que no Brasil, o ensino e a pesquisa são vistos, com frequência, muito mais como uma dicotomia do que como processos que se complementam, embora se afirme que a universidade brasileira se assenta no tripê ensino-pesquisa-extensão. Isso porque se criou uma cultura de que o ensino atrapalha o processo da pesquisa, e/ou vice-versa. Sabe-se da importância que essas duas atividades têm, e trabalhá-las em conjunto possibilita a criação de ideias para melhorias na educação (Maldaner, 2006). Dessa forma, neste trabalho, partindo de uma experiência de investigação laboratorial, propomos uma abordagem interdisciplinar do conceito de reação química vinculada à EA em nível superior.

O glifosato e as reações químicas

Considerando a química como a ciência que estuda as substâncias, suas transformações e as energias envolvidas nesses processos, o conceito de reação química é central no ensino dessa ciência (Lopes, 1995). Esses processos de transformações da matéria são estudados há muito tempo e estão relacionados com as diferentes áreas da química: a termodinâmica das reações, o mecanismo e as etapas da reação orgânica e/ou inorgânica, a química analítica qualitativa e quantitativa da reação e até mesmo os impactos ambientais oriundos desses novos produtos produzidos.

Um bom exemplo de produtos sintéticos criados pelo ser humano são os agrotóxicos, que possuem diferentes rotas e formas de produção e até mesmo diferentes mecanismos de ação depois de serem aplicados no meio ambiente. Ou seja, as reações químicas vão além da fabricação de um produto, estando presentes também após a aplicação dessas substâncias no ambiente, podendo provocar outros tipos de reações além daquelas já esperadas, impactando diretamente no meio ambiente.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, os agrotóxicos (agroquímicos ou defensivos agrícolas, como estão sendo referenciados atualmente) são produtos químicos utilizados na produção



de produtos agrícolas e pastagens, cuja principal finalidade é a de alterar a composição da flora e/ou fauna para preservá-las de seres vivos nocivos para uma determinada plantação (Brasil, 2016). Porém, esses produtos podem causar grandes danos à saúde humana e a todo o ambiente (Langiano e Martinez, 2008; Romano *et al.*, 2009; Tian *et al.*, 2012), sendo o glifosato GLI (N-(fosfonometil)glicina), herbicida não seletivo, um dos componentes principais das misturas dos agrotóxicos para o controle de pragas em plantações com sementes transgênicas, como o milho, feijão, arroz e soja (Romano *et al.*, 2009). Muitos trabalhos têm demonstrado que o GLI apresenta potencial tóxico, podendo atuar como desregulador endócrino, causar câncer e até mesmo microcefalia, como denunciado inúmeras vezes pelo pesquisador argentino Andrés Carrasco (Ferreira *et al.*, 2010; Reis Filho *et al.*, 2007; Gasnier *et al.*, 2009; Glusczak *et al.*, 2006; Modesto e Martinez, 2009; Paganelli *et al.*, 2010; Ecoagência, 2010; Tian *et al.*, 2012).

O GLI pode ser (bio)transformado durante seu tempo de exposição no solo e na água, por microrganismos que o usam como fonte de fósforo, podendo ocorrer por duas principais rotas de reações químicas levando a dois produtos de degradação: o AMPA (ácido aminometilfosfônico), principal produto de biodegradação, e a sarcosina (Figura 1).

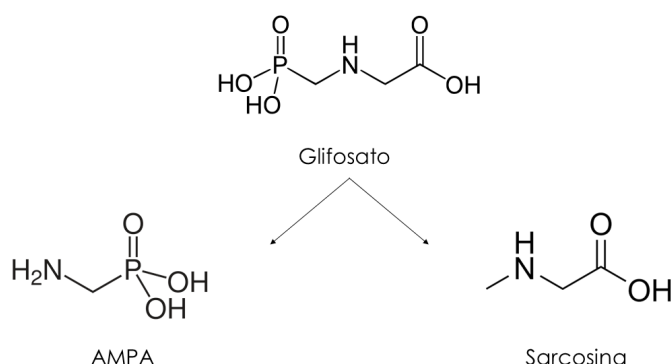


Figura 1: Estruturas moleculares do glifosato e de seus metabólitos (adaptado de Amarante *et al.*, 2002).

Nesses processos ocorrem alguns tipos de reações químicas que são clássicas e recebem nomes específicos. A primeira rota reacional consiste na clivagem oxidativa da ligação carbono-nitrogênio produzindo o AMPA (Galli e Monezuma, 2005; Giesy *et al.*, 2000; Romano *et al.*, 2009). Esse tipo de processo é conhecido como reação de clivagem oxidativa, pois nele ocorre a quebra da ligação através de um processo oxidativo. Nessa reação o oxigênio desenvolve a função de co-substrato e a enzima (denominada GOX por Pollegioni *et al.*, 2011) cataliza a quebra da ligação carbono – nitrogênio. Essa reação também é conhecida como reação enzimática: como o nome já diz, uma reação enzimática ocorre na presença de enzimas e é afetada por alguns fatores externos, como temperatura e pH do meio reacional. Já a segunda rota de degradação do glifosato consiste na clivagem da ligação carbono-fósforo



produzindo a sarcosina (Amarante *et al.*, 2002; Pollegioni *et al.*, 2011), como ilustra a Figura 2. Esse processo em meio aquoso acontece através da reação de hidrólise: a água participa da reação de quebra de uma molécula por meio de seus íons OH^- e H^+ que são incorporados nas novas moléculas que foram originadas a partir da quebra da ligação.

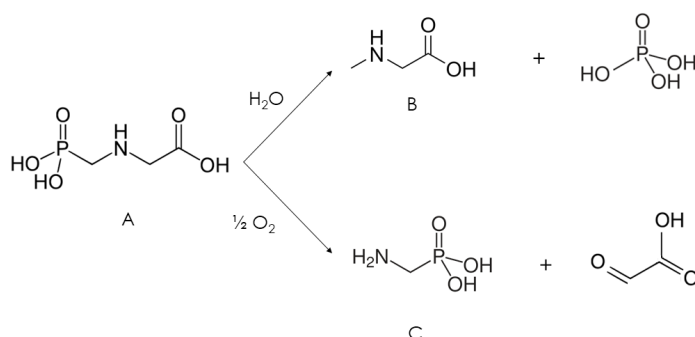


Figura 2: Biodecomposição do glifosato (A) em sarcosina (B) através do processo de hidrólise e em AMPA (C) através do processo de clivagem oxidativa (adaptado de Pollegioni *et al.*, 2011).

Além dos riscos que esse produto causa ao ser humano, trabalhos têm sugerido o GLI como um potencial desregulador endócrino que redunde na diminuição dos níveis de testosterona nos peixes do sexo masculino, podendo promover tanto a sua feminização (devido à conversão de testosterona em estrógeno) quanto a desmasculinização (devido à perda dos caracteres sexuais secundários, como regressão testicular e alterações histopatológicas testiculares) (Gasnier *et al.*, 2009; Romano *et al.*, 2009; Le Mer *et al.*, 2013; Clair *et al.*, 2012; Tian *et al.*, 2012).

Assim, embasados na relevância da contextualização no ensino de ciências como defendido por Paulo Freire, Savater, Wartha e Gasset citados anteriormente, destaca-se a importância de levar o conceito de reação química ao estudante do curso superior de Química através da demonstração de como esse processo ocorre na natureza (por exemplo), por meio da experiência da pesquisa laboratorial realizada na universidade, auxiliando na compreensão do aluno dentro de um tema fundamental como "reações químicas", pois desta forma ele consegue relacionar as teorias que explicam os fenômenos com a prática experimental, facilitando o aprendizado. Além disso, essa proposta de vincular a pesquisa laboratorial com a abordagem dos conceitos estruturantes da química na sala de aula, reforça a importância e os bons resultados que essa parceria pode trazer, tanto para a divulgação da ciência, quanto para o auxílio no aprendizado dos alunos. Portanto, este trabalho buscou discutir a química ambiental no ensino superior como uma proposta interdisciplinar, e através dos conceitos de reações apresentados e dos dados experimentais obtidos, entender se o GLI poderia ser o responsável pelo efeito de desmasculinização dos peixes, ou se isso também competia a seu metabólito principal, o AMPA.



Metodologia

O presente artigo foi parte de um projeto aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa Humana e Animal do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Goiás que está protocolado sob nº 049 desde 2008, seguindo os princípios éticos para pesquisa animal determinados pelo Colégio Brasileiro de Experimentação Animal (COBEA).

No que se refere à metodologia o trabalho teve uma parte experimental característica das investigações das ciências da natureza, com a obtenção e análise de dados laboratoriais, e outra própria da didática das ciências, com a proposta de uma abordagem contextualizada do estudo do conceito de reação química, fundamental no curso superior de Química, e suas implicações para o meio ambiente.

Determinação do teor de glifosato (GLI) em peixes com diferentes tempos de exposição ao agrotóxico por Ressonância Magnética Nuclear (RMN)

Análises de RMN foram realizadas no Laboratório de Ressonância Magnética Nuclear da Universidade Federal de Goiás - UFG. Foram analisadas amostras padrão (GLI Pestanal® e AMPA, Sigma Aldrich, USA), amostras do grupo controle (GC que era composto de água de aquários que continham apenas o GLI) e amostras do grupo experimental (GE que era composto de água de aquários contendo 10 peixes e o GLI nas mesmas condições do GC). Essas amostras foram coletadas nos tempos de 0 e 96 horas de exposição ao agrotóxico, em experimentos realizados no Laboratório de Comportamento Celular do Departamento de Morfologia do Instituto de Ciências Biológicas ICB da UFG.

Os espectros de RMN de hidrogênio (^1H) foram realizados com as amostras ressuspensas em 500 μL de $\text{D}_2\text{O}/\text{TMSP-}d_4$ (óxido de deutério / 3-trimetilsililpropionato de sódio), analisadas no espectrômetro Bruker Avance III 500, utilizando uma sonda para amostras em solução, contendo 4 canais (^1H , ^2H , ^{13}C e XBB) e detecção inversa.

Resultados e Discussões

Através dos estudos de reações químicas é possível prever quais os produtos obtidos na etapa final dependendo do tipo de reação química envolvida. Para o glifosato é possível ter em mente os tipos de reações químicas que podem ocorrer, sendo classificadas como: reação de clivagem oxidativa, reação enzimática e reação de hidrólise, e a partir da compreensão desses processos é possível prever os tipos de produtos que podem ser formados. Para verificar se a reação de fato ocorreu, formando os produtos esperados, várias técnicas espectrofotométricas podem ser utilizadas.

Neste trabalho a principal ferramenta de análise para avaliação da reação foi a RMN. Primeiramente com a análise do espectro de RMN de ^1H do glifosato e do AMPA, foi possível identificar os sinais característicos de cada composto, conforme Figura 3.

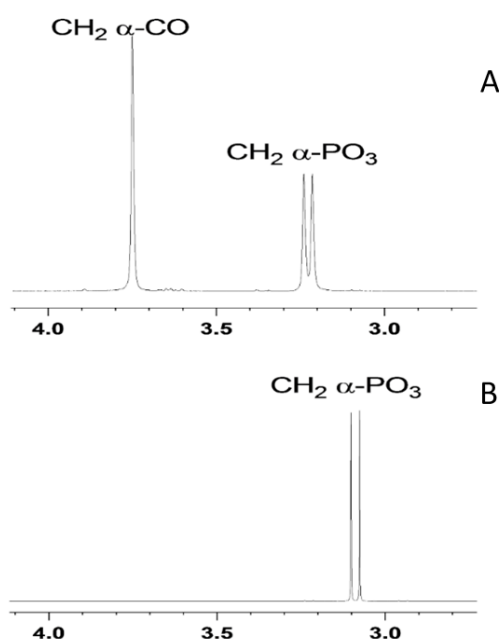


Figura 3: Espectro de RMN de ^1H do glifosato (A) e do AMPA (B) (500 MHz, D_2O).

Analisando as amostras de água dos aquários dos grupos GC e GE, foi possível perceber que os sinais característicos do GLI foram encontrados em todas as amostras analisadas, independentemente do tempo de exposição ao agrotóxico ou do aquário da qual ela foi retirada. Esses sinais permaneceram durante as 96 horas de experimentação e demonstraram que o teor de glifosato diminuiu com o passar do tempo (como pode ser notado pelo menor valor da integral dos sinais na Figura 4 - B), indicando a absorção do GLI pelos peixes. Todavia, o sinal característico do AMPA não foi encontrado em nenhuma amostra, confirmando que não houve degradação do GLI em AMPA na água dos aquários, como mostra a Figura 4.

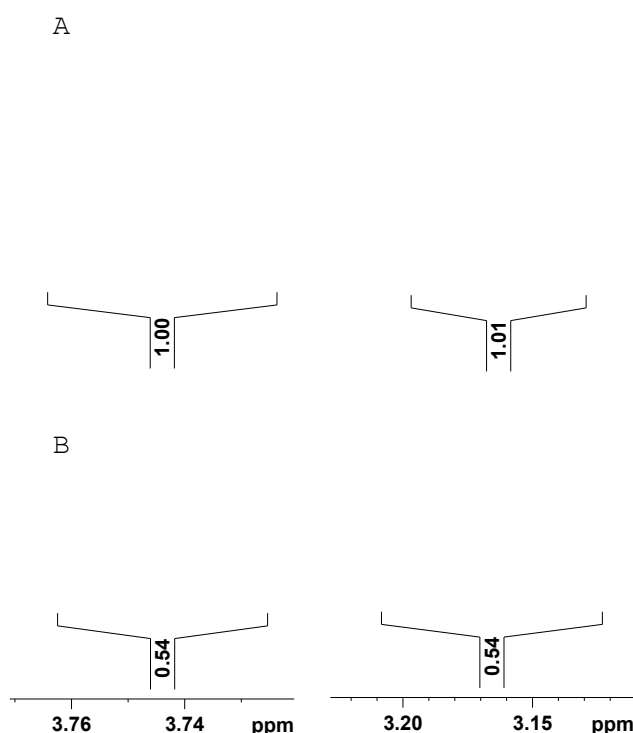


Figura 4: Espectro de RMN de ^1H da água dos aquários do grupo de estudo, com 0 (A) e 96 horas (B) de exposição do GLI (500 MHz)

Pelo acima exposto é possível afirmar que o GLI permaneceu nas soluções experimentais por todo o tempo de exposição dos animais, uma vez que a Ressonância Magnética Nuclear indicou sua presença durante o período do teste, sem que ocorresse sua degradação a AMPA. Portanto, pode-se atribuir ao GLI, por ser o composto precursor da reação, o processo de desmasculinização dos peixes, pois como apresentado na dissertação de Pires (Pires, 2013), a presença de glifosato em concentrações subletais pelo tempo de exposição de 96 horas provoca a redução do número de compartimentos espermáticos e alterações morfológicas e histopatológicas nos testículos desses animais de estudo. Porém, estudos estão sendo realizados para investigar se durante a absorção do GLI, ocorreu a degradação ao AMPA no aparelho digestivo dos animais.

A partir desses resultados, foi possível detectar que o glifosato foi prejudicial para a vida aquática, e partindo desse ponto, foi proposto trabalhar o tema agrotóxicos com os alunos da disciplina de Química Ambiental em nível de graduação em Química na Universidade Federal de Goiás, abordando e discutindo os problemas ambientais que esses compostos podem causar para o meio ambiente e para a vida em geral.



Num primeiro momento foi aplicado um questionário investigativo para identificar as ideias que os estudantes tinham sobre a temática. Os pontos abordados no questionário estavam relacionados com o entendimento do aluno sobre 1) os problemas ambientais locais e globais, 2) o conhecimento prévio sobre os agrotóxicos e suas funções, 3) os tipos de agrotóxicos que eles conheciam e 4) os possíveis riscos da utilização dessas substâncias.

Na questão que abordava os problemas ambientais locais ficou claro que a maioria dos estudantes sabiam exemplificar pelo menos um tipo de problema ambiental, sendo os mais citados: desmatamento, enchentes, poluição (no sentido geral) e lixo. Já para os problemas ambientais globais, as respostas que apresentaram maior frequência foram a falta de água, a depleção da camada de ozônio e o aquecimento global. Ao debater em sala de aula a questão ambiental ficou claro que a temática já vem sendo inserida no dia-a-dia dos alunos, fazendo com que eles tenham ideia dos problemas nos quais estão envolvidos, seja local ou mundialmente.

Os estudantes também souberam responder à questão sobre os agrotóxicos e apresentaram resposta com certo grau de elaboração como: *"agrotóxicos são substâncias utilizadas para o combate às pragas e insetos nas plantações (...) e servem para proteger de uma maneira mais barata e acelerar o crescimento da lavoura"*.

Foi importante observar que a maioria soube relacionar o uso de agrotóxicos a pelo menos um problema causado para a saúde humana.

A partir de suas respostas iniciaram-se as discussões em aula, utilizando como guia orientador o livro "A Agricultura Ecológica e a Máfia dos Agrotóxicos no Brasil" (Pinheiro *et al.*, 1993). Esse livro traz uma denúncia com um relato da parte histórica da utilização dos agrotóxicos no Brasil, com especial atenção às matérias jornalísticas de denuncia para os casos de problemas causados por agrotóxicos, empresas envolvidas, posicionamento do governo brasileiro, principalmente nas décadas de 80 e 90 em relação as políticas de utilização desses produtos, os tipos de alimentos que foram muito contaminados e também os Estados brasileiros que mais sofreram. A partir de trechos desse livro a discussão se desenvolveu, principalmente para a exemplificação dos tipos de agrotóxicos existentes e de como eles podem afetar a sociedade.

A realização dessa etapa em sala de aula se mostrou muito importante, pois foi possível a partir dos conhecimentos prévios dos alunos, apresentar dados de pesquisa laboratorial realizada na mesma universidade e discutir um problema que ainda é pouco explorado nas salas de aula, e que muito afeta a população. Apesar dos alunos não terem desenvolvido a parte experimental no Laboratório de RMN (que pode ser realizada em disciplinas específicas como Análise Intrumental e Elucidação de Estruturas), eles tiveram acesso aos resultados espectrais e participaram da interpretação e discussão dos dados. A partir do conceito de reação química trabalhado inicialmente na aula e dos produtos formados pela reação química do GLI no ambiente aquático, demonstrados através do espectro, foi possível discutir os prejuízos e problemas ocasionados por esse agrotóxico. Estima-se que o Brasil tem uma concentração residual de glifosato em água que chega a ser 5 mil vezes maior do que é permitido na União Européia (Repórter Brasil, 2017; FAMA, 2017), e isso tende a piorar com a liberação de novos agrotóxicos pela aprovação da Lei 6.299/2002, 2018, que vai a favor dos grandes produtores rurais e contra a vontade (e a saúde) da população. Essa lei, aprovada recentemente no



Congresso Nacional, quando ainda era o Projeto de Lei 6.299/2002, foi inúmeras vezes alvo de protestos nacionais, incluindo o Ministério Público Federal (MPF), o Instituto Nacional do Câncer (INCA) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), sendo apelidada como “Lei do Veneno”. Mas de outro lado, os deputados do congresso nacional, representantes do setor do agro negócio, esgrimindo o discurso da “modernização da agricultura” a denominavam de “Lei do Alimento mais seguro”. Com ela, algumas importantes mudanças ocorrerão no cenário nacional, indo contra a antiga lei de 1989: flexibilizar o controle dessas substâncias, dando maior poder de decisão ao Ministério da Agricultura (não cabendo mais a opinião da ANVISA e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) sobre a regularização dos novos produtos); substituir a palavra “agrotóxico” por “defensivos fitossanitários” (ou seja, tirar a indicação de produto tóxico do nome, passando a ser somente um produto “defensivo” com conotação boa pela troca das palavras); e alterar as informações sobre os perigos desses produtos, como “substâncias altamente tóxicas, com poder teratogênico, cancerígeno e mutagênico, causadoras de disfunções hormonais, e prejudiciais para o meio ambiente” por simplesmente “riscos inaceitáveis” (Carta Capital, 2018).

Um exemplo mais recente que afeta a saúde das pessoas, e ainda pouco comentado, é o surgimento das alergias alimentares. Para quem acha estranho o aumento substancial de pessoas alérgicas ou intolerantes a diversos tipos de alimentos (como frutas, glúten, leites e seus derivados), alguns estudos vêm sendo desenvolvidos, mostrando outros danos à saúde das pessoas (que não “somente” o câncer). Como discutido anteriormente, o glifosato foi desenvolvido para ser utilizado em alimentos transgênicos. Porém, nos dias atuais estão utilizando esse agrotóxico indiscriminadamente, até mesmo em alimentos não transgênicos para auxiliar e tornar mais rápida a colheita, como por exemplo o trigo, que nem transgênico é, e que pelo uso do glifosato nas plantações tem colaborado para o surgimento de um número cada vez maior de pessoas com a doença celíaca, ou seja, intolerantes ao glúten (Samsel e Seneff, 2013; Fiocruz, 2014; BBC Brasil, 2012; Felipe, 2018). O glifosato “sequestra” (ou na linguagem química, quela) diversas substâncias, como diversos minerais e aminoácidos essenciais (Felipe, 2018). Entre os aminoácidos essenciais sequestrados pelo GLI está o triptofano, que no organismo humano é o precursor da serotonina e que em baixas concentrações está ligada à depressão. Isso pode ter contribuído para o aumento do número de casos de depressão no mundo todo, chegando a 322 milhões de pessoas em 2015 (ONU-BR, 2017).

Dessa forma, a partir da discussão realizada durante a aula sobre o uso do glifosato e suas consequências e desdobramentos, utilizando como aporte os dados experimentais e a discussão das reações químicas envolvidas, apresenta-se a relevância da integração ensino-pesquisa, podendo-se utilizar dados experimentais na exemplificação de problemas abordados em Química Ambiental, e além disso, trabalhar a EA de forma interdisciplinar, integrando diversas áreas do conhecimento para um mesmo tópico: a química dos agrotóxicos.

Conclusões

A realização deste trabalho permitiu mostrar, mais uma vez, os problemas causados pela utilização dos agrotóxicos, que vão além de lavouras contaminadas atingindo também águas,



peixes, solos e saúde humana. Além disso, significou a tentativa de superar a “dicotomia” ensino-pesquisa: mostramos o problema da utilização do glifosato, que foi absorvido pelos peixes após 96h de exposição ao agrotóxico e que causou a feminização desses animais, e através das implicações ambientais das reações químicas derivadas da utilização de agrotóxicos na agricultura, exemplificadas no caso do GLI, foram discutidas essas problemáticas nas aulas da disciplina de Química Ambiental, numa abordagem interdisciplinar de conceitos estruturantes da Química, tentando apresentar o assunto de forma que os alunos desenvolvessem um raciocínio crítico sobre esses problemas, principalmente sobre os efeitos que esse agrotóxico causa para o ambiente e a saúde da população, como o surgimento das “doenças modernas”, que são as intolerâncias alimentares que podem ter relação com esses produtos (e tantos outros problemas já explorados amplamente na literatura).

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Goiás pelo suporte, bem como a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG - 04/2017-PPSUS / Proc.25589), ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq Proc. 563874/2010-4) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro.

Referências

- Amarante, O. P.; Santos, T. C. R.; Brito, N. M.; Ribeiro, M. L. (2002). Glifosato: Propriedades, toxicidade, usos e legislação. *Química Nova*, v. 25, n. 4, p. 589–593.
- BBC Brasil (2012). Agrotóxicos na água podem ser causa de alergia. Disponível em: < https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2012/12/121203_alergias_agrotoxicos_jp.shtml >. Acesso em 28 de jun. de 2018.
- Brasil, Ministério do Meio Ambiente (2016). Agrotóxicos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/agrotoxicos>>. Acesso em 03 nov. de 2016.
- Brasil, Presidência da República (1981). Lei 6.938 -Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em 27 de jun. 2018
- Caride, J.; Meira, P. (2001) Educación ambiental y desarrollo humano. Barcelona: Ariel.
- Carson, R. (2010) Primavera Silenciosa. São Paulo: Gaia.
- Carta Capital (2018). “PL do Veneno”: a nova estratégia da bancada ruralista. Disponível em: < <http://justificando.cartacapital.com.br/2018/06/21/pl-do-veneno-a-nova-estrategia-da-bancada-ruralista/> >. Acesso em 28 de jun. de 2018.
- Clair, É.; Mesnage, R.; Travert, C.; Séralini, G-É. (2012). A glyphosate-based herbicide induces necrosis and apoptosis in mature rat testicular cells in vitro, and testosterone decrease at lower levels. *Toxicology in Vitro*, v. 26, n. 2, p. 269–279.
- Ecoagência (2017) Professor Carrasco é agredido na Argentina. Disponível em: <<http://www.ecoagencia.com.br/adm/fckeditor/editor/fckeditor.html?open=noticias&id=VZISXRFWwJIUspFTTxmWaN2aKVVB1TP>>. Acesso em 03 nov. 2017.



- FAMA – Forum Alternativo Mundial da Água (2017). Brasil tem 5 mil vezes mais agrotóxicos na água do que países europeus. Disponível em: <<http://www.fenae.org.br/portal/fama-2018/noticias/brasil-tem-5-mil-vezes-mais-agrotoxicos-na-agua-do-que-paises-europeus.htm>>. Acesso em 28 de jun. 2018.
- Felipe, S. T. (2018). Deficiência da B12 e glifosato, quem diria? COFASPI – Cooperativa de trabalho e assistência a agricultura familiar sustentável do Piemonte. Disponível em: <<http://cofspi.com.br/deficiencia-da-b12-e-glifosato-quem-diria/>>. Acesso em 28 de jun. 2018.
- Ferreira, D.; Motta, A. C.; Kreutz, L. C.; Toni, V.; Loro, V. L.; Barcellos, L. J. G. (2010) Assessment of oxidative stress in *Rhamdia quelen* exposed to agrichemicals. *Chemosphere*, v. 79, n. 9, p. 914–921.
- Fiocruz – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca (2014). Doença celíaca: intolerância ao glúten ou ao glifosato? Disponível em: <<http://www6.ensp.fiocruz.br/visa/?q=node/6085>>. Acesso em 28 de jun. 2018.
- Freire, P. (1969). O papel da educação na humanização. Disponível em: <<http://www.rcdh.es.gov.br/sites/default/files/Freire,%20Paulo%201969%20Papel%20da%20educacao%20na%20humanizacao.pdf>>. Acesso em 25 de set. de 2017.
- Galli, A. J. B.; MONEZUMA, M. C. (2005). Alguns aspectos da utilização do herbicida glifosato na agricultura. ACADCOM Gráfica e Editora Ltda.
- Gasnier, C.; Dumont, C.; Benachour, N.; Clair, E.; Chagnonb, M-C; Séralini, G-E. (2009) Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines. *Toxicology*, v. 262, n. 3, p. 184–191.
- Gasset, J. O. Y. (1971). Que é filosofia? Rio de Janeiro: Livro Ibero-Americano, p. 53-55.
- Giesy, J. P.; Dobson, S.; Solomon, K. R. (2010). Ecotoxicological Risk Assessment for Roundup® Herbicide. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology: Continuation of Residue Reviews*. New York: Springer New York, p. 35-120.
- Gluszczak, L.; Miron, D. S.; Crestani, M.; Fonseca, M. B.; Pedron, F. A.; Duarte, M. F.; Vieira, V. L. P. (2005). Effect of glyphosate herbicide on acetylcholinesterase activity and metabolic and hematological parameters in piava (*Leporinus obtusidens*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 65, n. 2, p. 237–241.
- Langiano, V. do C.; Martinez, C. B. R. (2007). Toxicity and effects of a glyphosate-based herbicide on the Neotropical fish *Prochilodus lineatus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, v. 147, n. 2, p. 222–231.
- Le Mer, C.; Roy, R. L.; Pellerin, J.; Couillard, C. M.; Maltais, D. (2013). Effects of chronic exposures to the herbicides atrazine and glyphosate to larvae of the threespine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 89, p. 174–181.
- Lopes, A. R. C. (1995). Reações Químicas: fenômeno, transformação e representação. *Química Nova na Escola*, n. 2, p. 7-9.
- Maldaner, O. A. (2006). A formação inicial e continuada de professores de Química, 3rd ed., Ijuí: Editora Unijuí.
- Marques, L. (2015). Capitalismo e colapso ambiental. Campinas, SP: Editora da Unicamp.
- Meadows, D.; Randers, J.; Meadows, S. (2007). Limites do crescimento – A atualização de 30



anos. Rio de Janeiro: Qualitymark.

- Modesto, K. A.; Martinez, C. B. R. (2009). Roundup® causes oxidative stress in liver and inhibits acetylcholinesterase in muscle and brain of the fish *Prochilodus lineatus*. *Chemosphere*, v. 78, n. 3, p. 294–299.
- Mortimer, E. F.; Machado, A. H.; Romanelli, L. I. (2000). A proposta curricular de química do estado de Minas Gerais: Fundamentos e pressupostos. *Química Nova*, v. 23, n. 2, p. 273–283.
- ONU-BR: Organização das Nações Unidas no Brasil (2017). OMS registra aumento de casos de depressão em todo o mundo; no Brasil são 11,5 milhões de pessoas. Disponível em: < <https://nacoesunidas.org/oms-registra-aumento-de-casos-de-depressao-em-todo-o-mundo-no-brasil-sao-115-milhoes-de-pessoas/>>. Acesso em 28 de jun. de 2018.
- Paganelli, A.; Gnazzo, V.; Acosta, H.; López, S. L.; Carrasco, A. E. (2010). Glyphosate-Based Herbicides Produce Teratogenic Effects on Vertebrates by Impairing Retinoic Acid Signaling. *Chemical Research in Toxicology*, v. 23, n. 10, p. 1586–1595.
- Pinheiro, S.; Nash, N. Y.; Luz, D. (1993). A agricultura Ecológica e a Máfia dos Agrotóxicos no Brasil. Porto Alegre: Edição dos Autores.
- Pires, F. S. (2013). Disrupção endócrina em testículos de *Poecilia reticulata* causada pelo herbicida glifosato. Dissertação: Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas.
- Pollegioni, L.; Schonbrunn, E.; Siehl, D. (2011). Molecular basis of glyphosate resistance – different approaches through protein engineering. *FEBS Journal*, v. 278, p. 2753–2766.
- Projeto de Lei 6.299/2002 (2018). Disponível em: < http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1654426&filename=PRL+1+PL629902+%3D%3E+PL+6299/2002>. Acesso em 30 de jun. de 2018
- Reigota, M. (2009). O que é educação ambiental. 2. ed. São Paulo: Brasiliense (Coleção primeiros passos).
- Reis, P. (2006). Ciência e Educação: que relação? *Interacções*, n. 3, p. 160–187.
- Reis Filho, R. W.; Santos, R. L.; Vieira, E. M. (2007). Poluentes emergentes como desreguladores endócrinos. *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*, v. 2, n. 3, p. 283–288.
- Repórter Brasil (2017). Agrotóxicos: Brasil libera quantidade até 5 mil vezes maior do que Europa. Disponível em: < <http://reporterbrasil.org.br/2017/11/agrotoxicos-alimentos-brasil-estudo/>>. Acesso em 28 de jun. 2018.
- Romano, R. M.; Romano, M. A.; Oliveira, C. A. (2009). Glifosato como desregulador endócrino químico. *Ambiência*, v.5, n.2, p. 359–372.
- Samsel, A.; Seneff, S. (2013). Glyphosate, pathways to modern diseases II: Celiac sprue and gluten intolerance. *Interdisciplinary Toxicology*, v.6, n.4, p.159–184.
- dos Santos, W. P.; Mortimer, E. F. (2002). Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S no contexto da educação brasileira. *ENSAIO – Pesquisa em educação em ciências*, v. 2, n. 2, p. 1–23.
- Savater, F. (1998). O valor de educar. São Paulo: Martins Fontes, p. 29–44.
- Tian, H.; Li, Y.; Wang, W.; Wu, P.; Ru, S. (2012). Exposure to monocrotophos pesticide during sexual development causes the feminization/demasculinization of the reproductive traits and a



reduction in the reproductive success of male guppies (*Poecilia reticulata*). *Toxicology and Applied Pharmacology*, v. 263, n. 2, p. 163-170.

Wartha, E. J.; Alário, A. F. (2005). A contextualização no ensino de química através do livro didático. *Química Nova na Escola*, n. 22, p. 42-47.

Wartha, E. J.; da Silva, E. L.; Bejarano, N. R. R. (2013). Cotidiano e Contextualização no ensino de química. *Química Nova na Escola*, v. 35, n. 2, p. 84-91.