

QUÍMICA VERDE EM MÉTODOS SINTÉTICOS: APLICAÇÃO DE NOVAS METODOLOGIAS EXPERIMENTAIS NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE QUÍMICA

Green Chemistry in synthetic methods: application of new experimental technologies in teacher formation of chemistry

Queli Aparecida Rodrigues de Almeida [queli.passos@ifrj.edu.br]
Geovani Aristeu Lima Silva [geovaniaristeu@hotmail.com]

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, RJ, Brasil
Avenida Republica do Paraguai, 120 – Duque de Caxias, RJ

Recebido em: 23/04/2019

Aceito em: 11/12/2019

Resumo

A Química Verde surgiu da necessidade de uma atividade química menos prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente. Diariamente nas instituições de ensino existem atividades experimentais de conceitos químicos que geram resíduos, utilizam compostos de toxicidade elevada, gasto de energia, uso de quantidades de reagentes além do necessário, entre outras práticas. Este artigo tem como objetivo propor a utilização e a avaliação de métodos sintéticos, baseados em Química Verde, na formação de professores de Química. A pesquisa foi realizada no IFRJ *campus* Duque de Caxias, no curso de Licenciatura em Química, nas disciplinas de Química em sala de aula IV e na disciplina optativa Química Verde. Buscou-se a reflexão sobre metodologias verdes, além de suas implementações e importância de formar professores de Química que conheçam tal filosofia. Os resultados mostram que um método sintético verde pode contribuir para a formação de professores conscientes do papel social da Química perante um futuro sustentável. Os métodos de síntese devem ser repensados e a formação de professores de Química deve ser vista como estratégica para essa reflexão.

Palavras-chave: Química Verde; Formação de professores; Métodos sintéticos.

Abstract

Green Chemistry arose from the need for a chemical activity less harmful to human health and the environment. There are experimental activities that generate waste, use compounds of high toxicity, energy expenditure, use of quantities of reagents beyond what is necessary, among other practices. This article aims to propose the use and evaluation of synthetic methods, based on Green Chemistry, in the training of chemistry teachers. The research was carried out at the IFRJ *campus* Duque de Caxias, in the course of Chemistry Degree, in the subjects of Chemistry in classroom IV and the optional discipline Green Chemistry. We sought to reflect on green methodologies, in addition to their implementations and the importance of training Chemistry teachers who know this philosophy. The results show that a synthetic green method can contribute to the formation of teachers aware of the social role of Chemistry in the face of a sustainable future. The methods of synthesis must be rethought and the training of chemistry teachers should be seen as a strategy for this reflection.

Keywords: Green Chemistry; Teacher training; Synthetic methods.

Introdução

Do início do século XIX até os dias de hoje, o homem degradou e poluiu mais o meio ambiente que em 10.000 anos de história (Farias e Fávoro, 2011). Com todos esses séculos de poluição dos recursos naturais, alguns ecossistemas do planeta começaram a dar sinais de adoecimento (Martine e Alves, 2015). Diversos problemas estão sendo notados nas três biotas ambientais, como por exemplo: altos níveis de material particulado e óxidos na atmosfera (Braga *et al.*, 2001), água doce contaminada por rejeitos industriais e esgoto doméstico sem tratamento (Freitas, 1997) e a bioacumulação de agrotóxicos em terras agrícolas (Lemos e Musafir, 2014). Não se pode esquecer, também, do tão famigerado buraco na camada de ozônio, resultante do lançamento de clorofluorcarbonos (CFCs) à atmosfera. Os CFCs podem interferir no equilíbrio da regeneração de ozônio em volta do planeta (Rocha-Filho, 1995).

Com o passar das décadas, diversos acordos e encontros entre as nações do planeta foram promovidos em prol do clima e da natureza. Nestes, algumas atitudes foram acordadas e ações foram tomadas para identificação de agentes poluidores. Políticas públicas buscando limitar e/ou mitigar a formação de compostos poluentes surgiram e um ramo da química se desenvolveu: a Química Verde. Essa filosofia surgiu como uma proposta de tecnologia química que aponta para a prevenção da contaminação (Panizzolo *et al.*, 2012).

É urgente pensar em metodologias sintéticas que sejam inócuas ao meio ambiente e à saúde humana, tanto na indústria quanto nas instituições de ensino. Serrão e Silva (2010) descrevem que as instituições de ensino necessitam ser pioneiras na divulgação da Química Verde, pois a formação de profissionais cada vez mais conscientes dos problemas ambientais e das possíveis soluções estimulará procedimentos mais limpos.

A experimentação com métodos de síntese baseados nos ideais verdes é de extrema importância. Repensar a experimentação, somando-a à Química Verde, pode ser um caminho em comum às demandas sustentáveis do planeta e precisa deixar de ser apenas um conceito para ser uma atitude responsável (Pinto *et al.*, 2009).

A filosofia verde no Brasil é um assunto em ascensão; entretanto, ainda é uma área desconhecida por muitos e carece de reflexões na academia (Serrão e Silva, 2010). O foco deste trabalho vai de encontro a essa carência, que é integrar a Química Verde e a experimentação na formação de professores de química.

Referencial teórico

Surgimento da Química Verde

Em 1991, a agência ambiental norte-americana *Environmental Protection Agency* (EPA) criou um programa de rotas sintéticas alternativas para a prevenção de poluição (Lenardão *et al.*, 2003). Esse programa financiava pesquisas que estariam dispostas a rever seus processos de modo a minimizar a formação de compostos nocivos ao meio ambiente, sem que o produto final do processo perdesse sua aplicação ou as características químicas.

Dois anos depois, a EPA expandiu seu programa de rotas sintéticas alternativas e a Química Verde surgiu como uma área da química preocupada com processos ambientalmente corretos (Farias e Fávoro, 2011). A Química Verde comumente se define como “o desenho, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o

uso e a geração de substâncias nocivas à saúde e ao ambiente” (Anastas e Warner, 1998). A Química Verde apresenta doze tópicos (Figura 1) que são responsáveis pela busca de uma conduta química mais verde. Em uma síntese, quanto mais princípios forem contemplados, maior a contribuição para a diminuição de impactos negativos gerados com a atividade química.

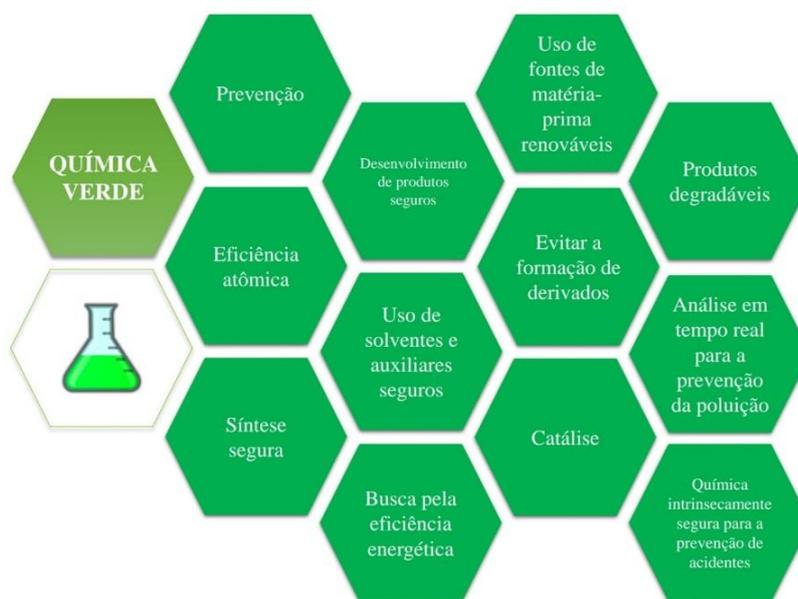


Figura 1. Os doze tópicos da Química Verde, propostos por Anastas e Warner (1998)

Reações químicas sob radiação de micro-ondas: a busca pela eficiência energética das sínteses

A irradiação em micro-ondas (MO) passou a ser aplicada no cotidiano humano ao longo da década de 1940. A partir dos anos 1980, o micro-ondas passou a ser utilizado por químicos em síntese orgânica. Pautado sobre o tópico de eficiência energética, o uso da irradiação de micro-ondas é importante para o desenvolvimento de métodos alternativos de aquecimento, por isso o uso de energia de micro-ondas é uma técnica usada para efetuar transformações químicas rapidamente e, frequentemente, reações que classicamente são realizadas em solução podem ser feitas sem solvente (Silva, Lacerda e Jones, 2005).

O aparelho de micro-ondas emite irradiações eletromagnéticas não ionizantes (Figura 2), com uma frequência que varia de 300 a 300.000 MHz, e seu comprimento de onda é equivalente a variação de 1 mm a 1 m (Zlotorzynski, 1995).

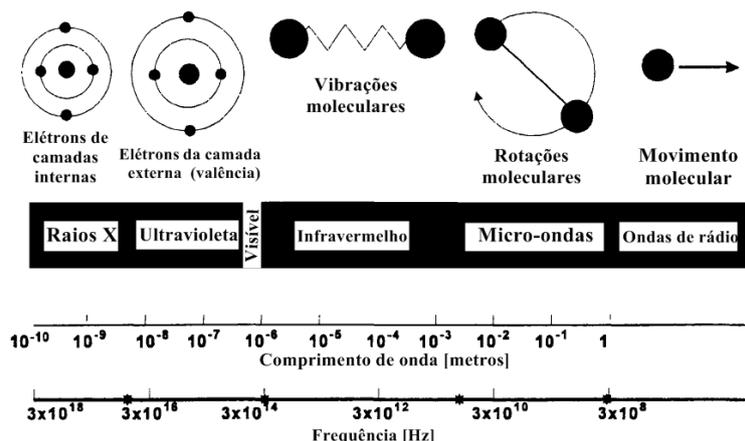


Figura 2. Espectro eletromagnético (Adaptada de Zlotorzynski, 1995)

A partir dos trabalhos de Gedye (1986) e Giguere (1986), a irradiação em micro-ondas passou a ser conhecida como fonte alternativa de aquecimento, frente às formas convencionais (por gás ou eletricidade). As formas convencionais de aquecimento se dão por condução, irradiação e convecção, que por sua vez transferem lentamente a energia para a solução (Rosini, Nascentes e Nóbrega, 2004). Isso influencia diretamente no tempo e rendimento de reação. Já o processo por micro-ondas é chamado de aquecimento dielétrico, no qual a energia eletromagnética da onda de MO é transformada em calor por rotação dipolo (Sanseverino, 2002). Isso faz com que o aquecimento seja mais uniforme ao longo da solução, melhorando a cinética e o rendimento de uma reação.

As aplicações desse tipo de aquecimento em síntese de compostos são diversas. De acordo com a literatura, as micro-ondas são aplicadas em catálise, síntese de heterociclos, síntese de produtos naturais (Souza e Miranda, 2011) e, também, em síntese de compostos em fase sólida (Graebin; Eifler-Lima, 2005), entre outras. Entretanto, seu uso pode ir além da síntese de compostos orgânicos e também atuar na isomerização de complexos da química inorgânica (Arroyo-Carmona *et al.*, 2012); na dessorção de analitos em amostras da química analítica e na química ambiental atuando na redução de SO_2 e NO_x (Zlotorzynski, 1995).

O uso da microescala para uma conduta química sustentável

Adotar um olhar crítico para o cotidiano químico e para o descarte de resíduos a fim de minimizar a quantidade de produtos gerados diariamente é de extrema importância. Mesmo que os resíduos tenham o descarte adequado, o primeiro princípio da Química Verde nos diz que é melhor prevenir sua formação. As técnicas de microescala permitem uma abordagem laboratorial com um grande sentido de responsabilidade para a conservação do meio ambiente, recursos naturais e proteção do ser humano (García-Guerrero, 2005).

Miniaturizar os experimentos, seja de caráter didático ou até mesmo de pesquisa, é uma estratégia sintética verde. Essa metodologia busca diminuir o risco de acidentes durante a manipulação, otimizar o tempo experimental e gerar uma menor quantidade de resíduos ao final da síntese (Cruz e Galhardo Filho, 1995). A microescala é uma ideia que visa construir um imaginário sustentável, uma conduta química que faz uso de planejamento antes da livre experimentação em macroescala. Em uma aula experimental, quase sempre não há a

necessidade de se realizarem experimentos em macroescala, pois, assim que o procedimento acaba, tudo é descartado. A microescala pode ser implementada sem danos ao ensino ou ao rigor analítico (Batista, 2010).

Metodologia

A metodologia da pesquisa proposta neste artigo é um relato de experiência e foi construída inicialmente com ações voltadas para o curso de Licenciatura em Química, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – *campus* Duque de Caxias, com um total de 18 alunos participantes, com faixa etária entre 20 e 33 anos. Os discentes estavam inscritos na disciplina de Química em Sala de Aula IV e na disciplina eletiva Química Verde, no ano de 2018, durante o primeiro semestre letivo. Os alunos dessas duas disciplinas foram escolhidos estrategicamente, pois em ambas há estudos voltados para essa filosofia.

Para propor iniciativas verdes na formação laboratorial dos licenciandos, primeiramente foi feito um levantamento bibliográfico que fornecesse suporte à ideia de Química Verde em atividades experimentais. Foram procuradas publicações em plataformas como SciELO, *Science Direct* e Google Acadêmico. Foram encontrados estudos com viés em tal filosofia nas grandes áreas da Química (Química Geral, Química Orgânica, Química Inorgânica, Físico-Química e Química Analítica) e escolhidas as publicações que apresentaram algum método sintético alternativo, ambientalmente mais seguro em relação ao comumente utilizado.

Métodos sintéticos baseados no uso de micro-ondas e em microescala foram escolhidos, e quatro compostos foram sintetizados a partir de experimentos descritos em artigos previamente selecionados: o *trans*-diclorobis(etilenodiamina)-cobalto(III) e o *cis*-diclorobis(etilenodiamina)-cobalto(III), acetato de cobre (II) e o acetilacetato de manganês (II). Em seguida, os roteiros experimentais foram construídos a fim de se avaliarem os experimentos verdes *versus* roteiros com rotas sintéticas tradicionais (“roteiro marrom”), que também estão disponíveis na literatura. Munidos dos roteiros verdes e dos roteiros marrons para a síntese de cada composto, os licenciandos avaliaram cada método de síntese e responderam a um questionário com perguntas de interesse nessa temática.

A pesquisa se deu de modo qualitativo, centrada na compreensão de respostas descritas em um questionário estruturado como princípio de conhecimento. Segundo Gil (1999), questionário é uma técnica de investigação composta por questões que objetivam coletar o conhecimento de opiniões. A partir das respostas obtidas, os pesquisadores que utilizam os métodos qualitativos buscam explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser feito (Gerhardt e Silveira, 2009).

Resultados e discussão

Síntese do trans-diclorobis(etilenodiamina)-cobalto(III) e sua isomerização no micro-ondas

Para o roteiro verde, a síntese do *trans*-[Co(en)₂Cl₂]Cl seguiu o método descrito por Moura *et al.* (2006). Foram pesados 2,5g de cloreto de cobalto em um bequer e dissolveram-se em 10,0mL de água. Em seguida adicionaram-se 10,0mL de solução aquosa de etilenodiamina 10% e, após isso, foram gotejados lentamente 2,0mL de peróxido de

hidrogênio. A solução foi colocada em banho-maria a 70°C, de modo a restar 1/3 do volume original. A mistura foi filtrada e os cristais lavados com álcool etílico para obtenção do *trans*-[Co(en)₂Cl₂]Cl. A isomerização do complexo em questão se deu pelo método proposto por Marín, González e Núñez (2016), segundo o qual se faz o uso da irradiação do micro-ondas.

Uma solução 0,02M do *trans*-diclorobis(etilenodiamina)-cobalto(III) foi preparada. Em seguida foi submetida a irradiação em um forno micro-ondas doméstico da marca Philco, 110V, por 15s na potência de 100W. Após esse tempo, o *cis*-diclorobis(etilenodiamina)-cobalto(III) é formado.

Para o roteiro marrom, foi escolhida a síntese descrita por Montero (2000-2018). Pesam-se 6,6g cloreto de cobalto em um bécher e o dissolve-se com 50,0mL de água. Adicionam-se 25,0mL de solução aquosa de etilenodiamina 10%. A mistura deve ser colocada em banho-maria a 100°C, enquanto ar é borbulhado à solução por uma hora. Em seguida, adiciona-se 20mL de HCl concentrado. Os cristais são lavados com metanol e éter dietílico a frio para obtenção do *trans*-[Co(en)₂Cl₂]Cl. Para isomerização à *cis*-[Co(en)₂Cl₂]Cl, são pesados 2,5 g do complexo *trans* recém-sintetizado e o mesmo deve ser dissolvido em uma quantidade mínima de água. A solução fica em banho-maria a 110°C por 1,5h. Os cristais devem ser filtrados e lavados com água gelada.

Na síntese do *trans*-diclorobis(etilenodiamina)-cobalto(III), o complexo *trans* possui coloração verde e após a irradiação por micro-ondas por 15 segundos, se isomeriza ao composto *cis*, que é roxo. Cada isômero absorve um determinado comprimento de onda e ambos possuem regiões de absorção bem distintas: o complexo *trans* possui $\lambda = 619\text{nm}$ e o complexo *cis* possui $\lambda = 511\text{nm}$ – e a transformação é bem visível a olho nu (Marín; González e Núñez, 2016).

Síntese do acetato de cobre (II) em microescala

O roteiro verde para essa síntese foi construído através de um método descrito por Arroyo-Carmona *et al.* (2012). A síntese desse complexo faz uso de apenas uma moeda de cobre (ou pelo menos revestida pelo metal) e vinagre branco. Sobre uma moeda de cinco centavos, foram gotejadas 15 gotas de vinagre branco e esperou-se sua evaporação ao longo de 48h. Após esse tempo, cristais de acetato de cobre (II) foram observados na superfície da moeda.

O roteiro marrom ficou por conta do método descrito por Fernández e Marín (2000-2018). Dissolveram-se 2,5g de sulfato de cobre em 50mL de água. Em banho-maria, a solução foi aquecida a 40-50°C sob agitação magnética. Adicionou-se peróxido de hidrogênio à solução até que a cor azul pálida mudasse para azul profundo. Em seguida, foi adicionado 0,8g de hidróxido de sódio à solução obtida, em agitação por 20min, no banho-maria a 55-65°C. A mistura foi resfriada à temperatura ambiente. Após o resfriamento, filtrou-se o sólido obtido e lavou-se o mesmo com água quente. O sólido deve ser dissolvido em uma quantidade mínima de uma solução de ácido acético 10%. A solução resultante foi aquecida em torno de 50°C para a observação da formação de cristais azuis-esverdeados.

Para a síntese do acetato de cobre (II) obtido no roteiro verde, sua caracterização se deu por infravermelho (Figura 3). O espectro resultante foi comparado com os da literatura

(Figura 4) a fim de confirmar do produto formado. No espectro resultante da análise, pôde-se observar a banda característica de carbonila C=O em torno de 1700 cm^{-1} .

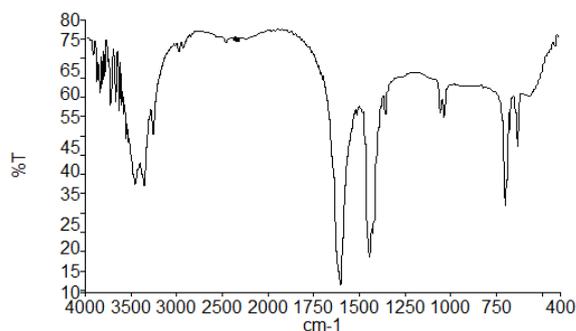


Figura 3. Espectro de FTIR do Acetato de Cobre (II) sintetizado

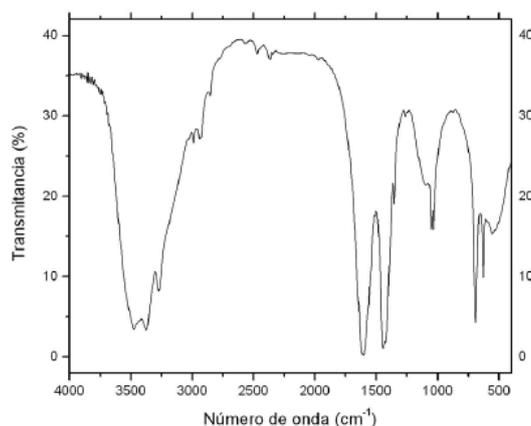


Figura 4. Espectro de FTIR do Acetato de Cobre (II)
(Fonte: Arroyo-Carmona *et al.*, 2012)

Síntese do acetilacetato de manganês (II) em microescala

O roteiro verde foi concebido de acordo com o método proposto por Ribeiro e Machado (2011). Foram pesados 290mg de cloreto de manganês (II) e dissolvidos em 2,5mL de água, sob agitação magnética, até que a dissolução fosse completa. Adicionou-se 0,33mL de acetilacetona, mantendo a agitação magnética. Adicionou-se 1mL de solução 20% de hidróxido de potássio e manteve-se a mistura sob agitação por mais 10min. Após a precipitação, o complexo foi filtrado a vácuo e lavado com água.

Em nossas pesquisas, não se conseguiu encontrar uma segunda rota de síntese para o acetilacetato de manganês (II), somente para o acetilacetato de manganês (III). Manteve-se o complexo com Mn^{+3} , ressaltando sempre essa especificidade. Sendo assim, o roteiro marrom para comparação ficou por conta do procedimento descrito por Pereira (2016), segundo o qual dissolve-se 0,3g de cloreto de manganês (II) em 20mL de água e adiciona-se 1,4g de acetato de sódio anidro. A solução então deve ser aquecida a 90°C sob agitação magnética e, após a dissolução completa, adicionam-se 2,00mL de acetilacetona. Separadamente, dissolve-se 0,1g de permanganato de potássio em 6,0mL de água e em seguida, gotejam-se os 6,0mL da solução recém-preparada, à solução sob agitação, ao longo

de 15 minutos. Após isso, a solução deve ser resfriada a temperatura ambiente. Enquanto o resfriamento ocorre, 1,4g de acetato de sódio anidro devem ser dissolvidos em 5,0mL de água e, após o resfriamento, adicionam-se os 5mL da solução de acetato de sódio anidro à solução em repouso. Por conseguinte, a solução deve ser aquecida a 65°C por mais 15 minutos. Por fim, resfria-se a solução e, em seguida, filtra-a se vácuo para obtenção do composto.

A síntese do acetilacetato de manganês (II) também envolveu caracterização por espectroscopia do infravermelho (Figura 5). Pôde-se observar a banda característica de carbonila C=O em torno de 1700 cm^{-1} , além da banda característica de estiramento do C=C em torno de 1500 cm^{-1} .

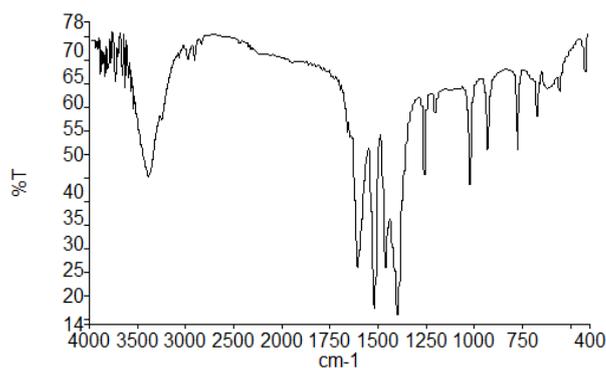


Figura 5. Espectro de FTIR do acetilacetato de Manganês (II)

Avaliação dos métodos experimentais

Um questionário foi elaborado para buscar uma reflexão a respeito do cotidiano químico e seus métodos de síntese, bem como a demanda para difusão da Química Verde na formação dos professores de química. O roteiro com o experimento verde foi o Roteiro 1, enquanto o roteiro marrom (ou não-verde) foi o Roteiro 2. Isso não foi sinalizado em nenhum momento: essa constatação era de competência dos discentes.

A avaliação das propostas experimentais com base nos tópicos de Química Verde, frente às propostas que não fazem uso da filosofia, se deu por meio de um questionário com perguntas abertas, que seguem apresentadas a seguir:

- 1) Dois roteiros foram analisados para a síntese de um mesmo composto*. Tomando como base os doze tópicos da Química Verde, propostos por Anastas e Warner, qual roteiro contém a rota sintética mais verde? [**exceto na comparação entre acetilacetato de manganês (II) e (III)*]
- 2) Justifique sua escolha da questão anterior, descrevendo quais tópicos da Química Verde embasaram sua decisão pelo método presente no roteiro verde frente ao roteiro não-verde.
- 3) Qual dos roteiros utiliza reagentes mais tóxicos à saúde humana e ao meio ambiente?
- 4) Você acha que o roteiro verde escolhido deve ser inserido na licenciatura em uma disciplina experimental correspondente a ele? Justifique.
- 5) Por que a Química Verde deve ser discutida na formação de professores?

Análise do roteiro para síntese do trans-diclorobis(etilenodiamina)-cobalto(III) e sua isomerização no micro-ondas

Na primeira questão, em que foram questionados sobre qual roteiro apresentava a rota sintética mais verde, todos os dezoito discentes envolvidos responderam que o roteiro 1 era o mais verde. Na segunda questão, todos os licenciandos souberam reconhecer o papel do micro-ondas como método sintético verde para otimizar os processos de um cotidiano químico, bem como o uso e segurança de determinados reagentes no roteiro 2 frente ao roteiro 1 para sintetizar e isomerizar o composto de coordenação proposto (Figura 6).

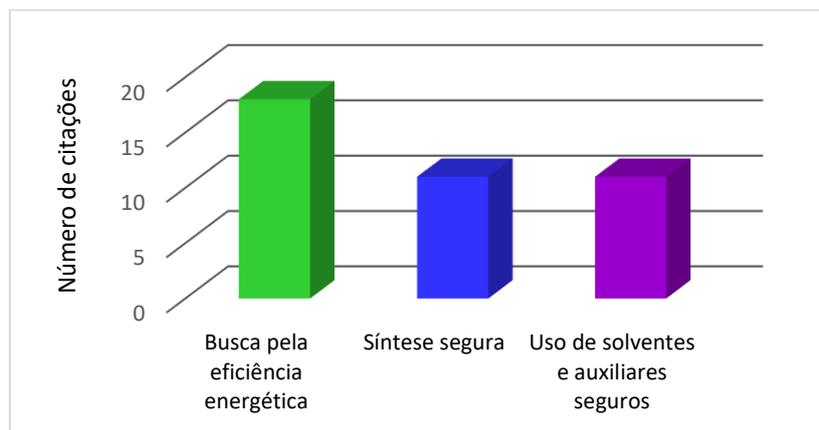


Figura 6. Incidência de tópicos da Química Verde nas justificativas de análise da “síntese do *trans*-diclorobis(etilenodiamina)-cobalto (III) e sua isomerização no micro-ondas”

Na terceira pergunta, quando questionados sobre qual roteiro utilizaria os reagentes mais nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, todos os dezoito discentes apontaram o roteiro 2. Na quarta questão, propôs-se o encontro do roteiro verde estudado com a formação de professores de química, questionando a viabilidade de inserção do mesmo em seu curso. Obtiveram-se respostas como:

Aluno 1: “*Sim, para que práticas mais verdes possam fazer parte da formação dos licenciandos, com o intuito de estimular os mesmos a dar prioridade a práticas que geram o mínimo possível de resíduos.*”

Aluno 2: “*Sim, utiliza menos reagentes e energia por comparação.*”

A fala do aluno 1 corrobora a ideia de Wardencki e colaboradores (2005), os quais afirmam que a Química Verde pode contribuir para o desenvolvimento sustentável por meio da aplicação dos doze princípios. Já o aluno 2 foi mais direto na avaliação da atividade experimental proposta, pois ele discute diretamente os principais ganhos do procedimento verde sobre o procedimento marrom. Sua concepção de que o roteiro verde é vantajoso por utilizar menos energia vai ao encontro da ideia de que “a utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada” (Lenardão *et al.*, 2003, p. 124).

Análise do roteiro síntese do acetato de cobre (II) em microescala

Na primeira questão, todos os discentes responderam que o roteiro 1 era o mais verde. Na segunda questão, quando provocados a justificar a escolha, o tópico que pauta a síntese segura traduz um dos benefícios de se utilizar experimentação em microescala: a maioria dos discentes conseguiu visualizar isso de maneira eficaz. Além disso, a perspectiva da prevenção de formação de resíduos (primeiro tópico) também se mostra como vantagem sintética frente ao roteiro não-verde. Os demais tópicos em evidência resumem as vantagens do processo verde frente ao processo não-verde (Figura 7).

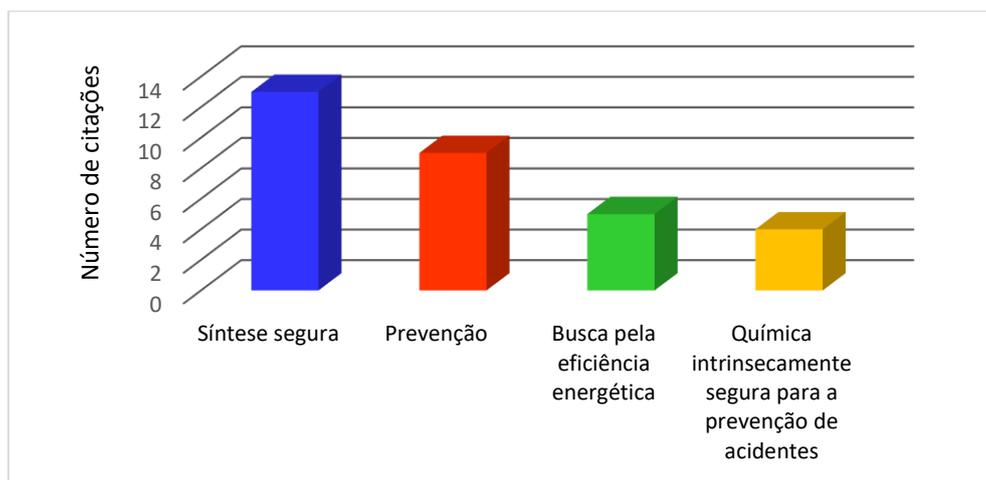


Figura 7. Incidência de tópicos da Química Verde nas justificativas de análise da “síntese do acetato de cobre (II) em microescala”

Na terceira pergunta, todos os discentes apontaram o roteiro 2. Na quarta questão, propôs-se o encontro do roteiro verde estudado com a formação de professores de Química, questionando a viabilidade de inserção do mesmo em seu curso. Obtiveram-se respostas como:

Aluno 5: “*Sim, rápida de ser feita, apenas o tempo para evaporar é grande, é barata e o resíduo é mínimo.*”

Aluno 6: “*Sim, porque a prática tem um menor impacto ambiental e que isso pode ser trabalhado tanto em laboratório quanto em sala de aula.*”

A partir das respostas dos alunos 5 e 6, observa-se que a concepção de ambos discute a menor geração de resíduos, o principal foco do método sintético de microescala. Evitar a geração de resíduos é melhor do que tratá-lo (Anastas e Warner, 1998) e a formação de professores de química é fundamental na propagação dessa concepção. A educação em química é fundamental para educar ambientalmente, visando mudanças na formação de novos alunos, com maior atenção às questões ambientais (Moradillo e Oki, 2004; Melo et al., 2011).

Análise do roteiro acetilacetato de manganês (II) em microescala

Na primeira questão, todos os discentes responderam que o roteiro 1 era o mais verde. Na segunda questão, o tópico de eficiência energética apareceu na resposta de dez licenciandos: o método sintético do roteiro 2 faz uso de aquecimento em dois momentos, ao passo que, no roteiro 1, em nenhum momento. O processo todo ocorre em temperatura ambiente. Além disso, o roteiro 1 possui menos etapas, o que previne a formação de resíduos; utiliza reagentes de menor toxicidade; utiliza menos solventes; não faz uso de aquecimento e pode ser considerado seguro. A microescala é um método que abrange diversos pontos dos tópicos da Química Verde, mostrando ser uma alternativa interessante para um cotidiano sustentável (Figura 8).

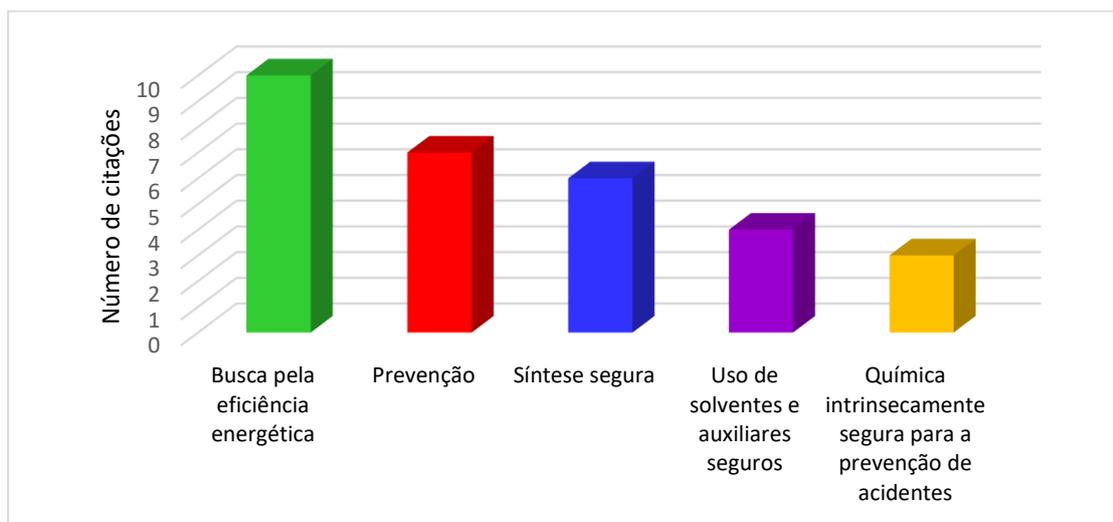


Figura 8. Incidência de tópicos da Química Verde nas justificativas de análise da “síntese do acetilacetato de manganês (II) em microescala”

Na terceira pergunta, todos os dezoito discentes escolheram o Roteiro 2. Na quarta questão, propôs-se o encontro do roteiro verde estudado com a formação de professores de Química, questionando a viabilidade de inserção do mesmo em seu curso. Obtiveram-se respostas como:

Aluno 7: “*Sim. Além de ser menos prejudicial, esta síntese verde ocorre mais rapidamente.*”

Aluno 8: “*Sim, seria bastante interessante para os alunos verem práticas alternativas.*”

O aluno 7 vislumbra dois pontos na comparação entre os roteiros da síntese do complexo de manganês: a toxicidade de reagentes e a quantidade de etapas da síntese. No que tange à toxicidade, Warner e colaboradores (2004) explicam que incorporar materiais menos perigosos em sínteses pode ser considerado como a parte básica da filosofia verde. No roteiro 1, há menos reagentes e os que são utilizados possuem toxicidade mais baixa que os da síntese marrom. Quando o tempo de prática é pensado, a quantidade de etapas do roteiro marrom (roteiro 2) é maior, o que confere um maior tempo de execução. Além disso, fazem uso de aquecimento, enquanto a síntese do roteiro verde ocorre em temperatura ambiente. O aluno 8 descreve a possibilidade da experimentação baseada nos tópicos da filosofia verde, para otimizar as aulas práticas.

“Por que a Química Verde deve ser discutida na formação de professores?”: discussão de falas comuns à análise dos roteiros

A quinta questão do questionário é uma reflexão comum a todos os roteiros. Por esse motivo respostas foram agrupadas em um tópico, visando à discussão de algumas falas pertinentes a esse questionamento. Algumas respostas foram selecionadas para discussão:

Aluno 1: *“Para que os discentes possam desenvolver senso crítico em relação às práticas que irão desenvolver, não somente na graduação, mas também em sua jornada como professor, podendo assim também alcançar seus alunos com essa perspectiva.”*

Aluno 2: *“Para que futuros professores possam ajudar a formar alunos que também tenham consciência de uma química mais limpa.”*

Aluno 3: *“Pois está diretamente ligada a busca de formas mais eficientes e seguras de formação de compostos e processos.”*

Aluno 4: *“Porque é uma demanda muito presente na sociedade.”*

Aluno 5: *“Ao discutir a química verde em sala de aula geramos uma conscientização em relação ao desenvolvimento de metodologias que diminua o impacto ambiental.”*

Aluno 6: *“Porque é um tema novo e é de extrema importância pensar sobre os impactos que o meio ambiente sofre por conta de alguns processos químicos. E mais importante ainda é mostrar uma rota alternativa para que essas práticas sejam menos nocivas ao ambiente.”*

Aluno 7: *“Deve ser discutida para que os futuros professores utilizem alternativas menos prejudiciais e possam conscientizar os seus alunos dos problemas já existentes.”*

Aluno 8: *“Formar professores com conhecimentos sobre QV será interessante para que os mesmos apliquem esses conceitos e possam ter no futuro um impacto em nosso desenvolvimento.”*

A conscientização dos licenciandos, tanto em relação ao papel da Química Verde na sociedade quanto do seu papel enquanto futuro professor, é essencial para uma boa reflexão desse questionamento. Segundo Freire (2008), a conscientização é uma aproximação crítica da realidade. Isso faz com que os discentes assumam o papel de sujeitos que fazem e refazem o mundo. As respostas dadas a esse questionamento evidenciam que um professor é responsável por conscientizar um meio e que as propostas experimentais podem ser eficazes nessa identificação profissional.

Lima e Marcondes (2005) indicam que as atividades experimentais precisam ser planejadas para facilitar o desenvolvimento conceitual e gerar interesse pela ciência. Os métodos sintéticos descritos e avaliados têm a função de construir uma postura profissional que seja preocupada e consciente da função social da química e do impacto de cada atividade

prática no futuro do planeta. Os licenciandos em questão mostraram em suas respostas que a química pode auxiliar na construção de um futuro sustentável. A química é, ao mesmo tempo, produto e produtor: os problemas são gerados e solucionados por ela mesma (Souza e colaboradores, 2012). Porém, a postura de evitar a geração de problemas é a base desta filosofia e essa percepção pode ser vista nas respostas dadas pelos alunos. “O primeiro princípio da Química Verde resume de maneira precisa, embora simplista, o caminho a ser seguido: prevenir é melhor do que remediar” (Lenardão, 2003).

Considerações finais

A Química Verde é um tema que está figurando cada vez mais nas publicações voltadas para a educação, contudo precisa deixar de restringir-se a conceitos e se tornar prática cotidiana. O estudo qualitativo de métodos sintéticos verdes junto à formação de professores de Química se mostrou como um dos caminhos para a difusão dessa filosofia no ensino superior. Agregar valores à experimentação com reflexões críticas sobre o amanhã é de responsabilidade da universidade, e formar profissionais capacitados para isso também.

De acordo com as análises feitas, o emprego de metodologias como micro-ondas e microescala são importantes para o conhecimento da Química Verde num curso de graduação e a longo prazo, pois importam para a reflexão de uma conduta química sustentável. Os alunos de licenciatura em Química serão futuramente profissionais com papel protagonista na formação de outros cidadãos e essa atuação precisa ser visada em prol da disseminação dos ideais verdes.

Por fim, aquilo que se começou a falar na década de 1970 como problemas isolados, hoje se mostra como uma demanda comum a todos. Os sintomas de uma relação desproporcional entre sociedade e meio ambiente nos trazem a urgência de discussões pertinentes a um futuro sustentável. Os roteiros propostos neste trabalho têm relevância para uma difusão mais efetiva da Química Verde na realidade estudada.

Referências

- Anastas, P. T.; Warner, J. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press: New York.
- Arroyo-carmona, R. E.; Bernes, S.; Gonzalez-Vergara, M.; Mendez-Rojas, A.; Perez-Benitez, A. (2012). Síntesis microquímica y microelectroquímica de acetato de cobre (II) a partir de vinagre: Un ejemplo de química verde. *Educación química*, 23, 127-135.
- Batista, M. F. P. (2010). *Química Verde: Atividades laboratoriais no ensino da Química*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física e Química). Universidade da Beira Interior, Covilhã.
- Braga, A.; Böhm, G. M.; Pereira, L. A. A.; Saldiva, P. (2001) . Poluição atmosférica e saúde humana. *Revista USP*, 51, 58-71.
- Cruz, R.; Galhardo Filho, E. (1995). *Experimentos de Química em microescala*. São Paulo: Editora Scipione.

Farias, L. A.; Favaro, D. I. T. (2011). Vinte anos de química verde: conquistas e desafios. *Química Nova*, São Paulo, 34(6), 1089-1093.

Fernández, J. M. L. L.; Marín, J. R. B. (2000-2018). *Experimentación en Química Inorgánica. Universidad de La Rioja*. Acesso em 05 set., 2017, <<https://www.unirioja.es/dptos/dq/docencia/material/eqi/EQI.pdf>>

Freire, P. (2008). *Conscientização: teoria e prática da libertação: uma introdução ao pensamento de Paulo Freire*. São Paulo: Centauro..

Freitas, V. P. (1997). Poluição de águas. *Revista CEJ*, 1(3), 12-20.

García-Guerrero, M. (2005). El laboratorio de química en microescala en las actividades experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, n. Extra.

Gedye, R.; Smith, F.; Westaway, K.; Ali, H.; Baldiseral, L.; Laberge, L.; Rousell, J. (1986). The use of microwave ovens for rapid organic synthesis. *Tetrahedron Letters*, 27 (3), 279-282.

Gerhardt, T. E.; Silveira, D. T. (2009). *Métodos de pesquisa*. Plageder.

Giguere, R. J.; Bray, T. R.; Duncan, S. M.; Majetich, G. (1986). Application of commercial microwave ovens to organic synthesis. *Tetrahedron Letters*, 27 (41), 4945-4948.

Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6ª edição, Editora Atlas SA.

Giordan, M. (1999). *O papel da experimentação no ensino de ciências*. *Química nova na escola*, 10 (10), 43-49.

Graebin, C. S.; Eifler-Lima, V. L. (2005). O uso do forno de micro-ondas na síntese orgânica em fase sólida. *Química nova*, 28 (1), 73-76.

Lemos, H. M.; Musafir, R. E. (2014). *Poluição do Solo*. Acesso em 24 jul., 2017, <http://www.mecanicaufrj.educacao.ws/util/b2evolution/media/blogs/ricardo/Apost_Pol_Solo_s_HML_REM2014.pdf>

Lenardão, E. J.; Freitag, R. A.; Dabdoub, M. J.; Batista, A. C. F.; Silveira, C. C. (2003). "Green Chemistry" – Os 12 Princípios da Química verde e a sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. *Química Nova*, 26(1), 123-129.

Lima, V. A.; Marcondes, M. E. R. (2005). Atividades Experimentais no Ensino de Química: Reflexões de um grupo de professores a partir do tema eletroquímica. *Enseñanza de las Ciencias*, n. Extra, 1-4.

Marín, G. P.; González, X. V.; Núñez, J. M. H. (2016). *Aplicación de la Química Verde en los laboratorios de Química Inorgánica de la universidad nacional, Costa Rica: un estudio de caso*. In: Congreso Internacional sobre la Educación Superior, 4, Pensilvânia. Anais Eletrônicos. Acesso em 01 set., 2017, <<http://www.wcupa.edu/knowledgecrossingborders/documents/track5/aplicacionDePrincipios.pdf>>.

Martine, G.; Alves, J. E. D. (2015). Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade? *Revista Brasileira de Estudos de População*, 32(3), 433-460.

Melo, K. V.; Zófilo, Z. M. S.; Carneiro-Leão, A. M. A.; Oliveira, G. F. (2011). O que sabem e como ensinam os professores: investigando estratégias para as mudanças paradigmáticas e de atitudes enfocando a educação ambiental. *Amazônia – Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 8(15), 45-60.

Montero, A. L. O. (2000-2018). *Práticas de experimentación de química inorgánica*. Universidad de Castilla-La Mancha, Facultad de Ciencias Químicas.

Moradillo, E. F.; Oki, M. C. M. (2004). Educação Ambiental na Universidade: Construindo Possibilidades. *Química Nova* 27 (2), 332-336.

Moura, A. O.; Martins, P. C.; Cunha, L. B. F. R.; Bolzon, L. B.; Pertusatti, J.; Prado, A. G. S. (2006). Estudos cinéticos da aquação do trans-[Co(en)₂Cl₂]Cl. *Química Nova*, 29(2), 385.

Panizzolo, L. (2012). *Aportes de la Química al Mejoramiento de la Calidad de Vida*. 1ª edição, Montevídeu: UNESCO, 306.

Pereira, I. C. S. (2016). Síntese e caracterização do acetilacetato de cobalto (III), ferro (III), cromo (III) e manganês (III). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

Pinto, A. C.; Zucco, C.; Andrade, J. B.; Vieira, P. C. (2009). Recursos Humanos para Novos Cenários. *Química Nova*, 32(3), 567-570.

Ribeiro, M. G. T. C.; Machado, A. A. S. C. (2011). Metal–Acetylacetonate Synthesis Experiments: Which Is Greener. *Journal of Chemical Education*, 88 (7), 947-953.

Rocha-Filho, R. C. (1995). Camada de Ozônio dá Nobel. *Química Nova na Escola*, 2, 10-11.

Rosini, F.; Nascentes, C. C.; Nóbrega, J. A. (2004). Experimentos didáticos envolvendo radiação micro-ondas. *Química Nova*, 27(6), 1012-1015.

Sanseverino, A. M. (2002). Micro-ondas em síntese orgânica. *Química Nova*, 25(4), 660-667.

Serrão, R. G. S.; Silva, M. D. B. S. A. (2010). *Química Verde presente nos artigos da Revista Química Nova: A divulgação científica dos últimos 10 anos*. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, Brasília. Acesso em 05 jun., 2017, <<http://www.s bq.org.br/eneq/xv/resumos/R0184-2.pdf>>

Silva, F. M.; Lacerda, P. S. B.; Jones Junior, J. (2005). Desenvolvimento sustentável e química verde. *Química Nova*, 28(1), 103-110.

Souza, R. O. M. A.; Miranda, L. S. M. (2011). Irradiação de micro-ondas aplicada à síntese orgânica: uma história de sucesso no Brasil. *Química Nova*, 34(3), 497-506.

Souza, S. P. L.; Marques, M. R. C.; Mattos, M. C. S. (2012). Desenvolvimento sustentável e pensamento complexo-estudo de caso: o uso de argilas como catalisadores. *Química Nova*, 35,1891.

Wardencki, W.; Curyło, J.; Namiesńnik, J. (2005). Green Chemistry-Current and Future Issues. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14 (4), 389-395.

Warner, J. C. (2004). *Green Chemistry*. Science Direct, 775-779.

Zlotorzynski, A.(1995). The application of microwave radiation to analytical and environmental chemistry. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 25 (1), 43-76.