

*Campus* Duque de Caxias

Licenciatura em Química

Bianca Bassetti e Silva

**MICRO-ONDAS  
DOMÉSTICO: Uma  
alternativa verde às  
aulas práticas de  
química orgânica**

Duque de Caxias

2018

BIANCA BASSETTI E SILVA

MICRO-ONDAS DOMÉSTICO: Uma alternativa verde às aulas práticas de química orgânica.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciatura em Química.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Queli Aparecida Rodrigues de Almeida

Duque de Caxias

2018

Catálogo na Publicação  
Serviço de Biblioteca e documentação  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro - IFRJ

S586m Silva, Bianca Bassetti

Micro-ondas doméstico: uma alternativa verde às aulas práticas de química orgânica / Bianca Bassetti Silva. – Duque de Caxias, RJ, 2018.

1 CD ROM.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Licenciatura em Química, 2018.

Orientação: Queli Aparecida Rodrigues de Almeida.

1. Meio ambiente – Química orgânica. 2. Química orgânica – Desenvolvimento sustentável.

CDU: 54

BIANCA BASSETTI E SILVA

MICRO-ONDAS DOMÉSTICO: Uma alternativa verde às aulas práticas de química orgânica.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciatura em Química.

Aprovado em 04, 07, 18.

Banca Examinadora

Queli Aparecida R. Almeida

Prof.<sup>a</sup> Dra. Queli Aparecida R. de Almeida - (Orientadora)  
Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)

Mariana Magalhães Marques

Prof.<sup>a</sup> Ma. Mariana Magalhães Marques - (Membro interno)  
Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)

Thiago Muza Aversa

Prof. Dr. Thiago Muza Aversa - (Membro Interno)  
Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)

André Von Held Soares

Prof. Dr. André Von Held Soares – (Membro Interno)  
Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, à Deus, à Jesus e aos Orixás que me encaminharam e apararam nessa trajetória. Agradeço também aos meus pais Chrizeide e Luis, bem como meu padrasto Ivan por darem ouvidos às minhas reclamações, por toda confiança, carinho e incentivo. Muito obrigada avó Lucy, por acolher a mim e os meus amigos com tanto carinho nas inúmeras noites que passamos em claro estudando na sua casa, sem você isso não seria possível. Agradeço em especial à minha orientadora Queli, por ter não só me orientado no presente trabalho e em minha formação acadêmica, já que suas orientações foram muito além disso. Obrigada, você se tornou muito mais que uma orientadora, uma amiga (quase mãe). Agradeço também ao professor Thiago (BOSS) pelo auxílio neste trabalho e por tantos outros conselhos e orientações. Aos meus amigos que participaram diretamente deste processo, Thainá, Suelen, Geovani, Maximiliano (meus presentes do IF). Obrigada pelo auxílio e pelas piadas em meio à tantas lamentações nas longas horas de estudo em que estivemos juntos, vocês tornaram tudo mais leve. Muito obrigada. Por fim, agradeço aos demais professores do IFRJ – CDUQ, pois foram excelentes professores e referências. Levarei comigo um pouco de cada um dos senhores.

## RESUMO

As aulas experimentais são de grande importância no processo de ensino-aprendizagem, principalmente tratando-se do ensino de ciências, e delas a química talvez seja a área com maior necessidade de aplicação de experimentos para o aprendizado do educando, onde as aulas práticas tornam-se complemento das aulas teóricas. É sabido que uma adversidade recorrentemente declarada por professores é a baixa carga horária disponível além de inúmeros problemas de infraestrutura envolvidos na aplicação de aulas práticas, fato que prejudica de forma significativa a formação dos alunos e limita seu acesso ao saber. Existem experimentos muito relevantes à formação de alunos que necessitam de muitas horas para serem realizados, tornando também maiores os gastos energéticos necessários para sua aplicação, gastos estes que acarretam também em outra significativa problemática que é o impacto ambiental por eles causado, tornando assim este problema ainda maior. Sendo assim, este trabalho objetiva desenvolver propostas de aulas práticas com a utilização do aparelho de micro-ondas doméstico como alternativa para diminuição do tempo reacional bem como aumento de rendimento e diminuição da quantidade de reagentes necessários além da busca por eficiência energética. Tendo em vista que a utilização deste aparelho nas aulas práticas é uma possível solução à situação apresentada, pois este pode modificar as condições reacionais. Fato que se comprova através de pesquisas bibliográficas onde o micro-ondas demonstra poder otimizar o tempo no laboratório, diminuindo o impacto ambiental e econômico causado pelo alto gasto de energia.

Palavras-chave: Micro-ondas. Química Verde. Ensino de Química. Química Orgânica.

## ABSTRACT

Experimental classes are of great importance in the teaching-learning process, especially in the teaching of science, and among them, chemistry is perhaps the area with the greatest need to apply experiments to the student's learning, where practical classes become a complement to theoretical classes. It is well known that a recurring adversity declared by teachers is the low hours available, as well as numerous infrastructure problems involved in the application of practical classes, a fact that significantly impairs students' training and limits their access to knowledge. There are experiments that are very relevant to the training of students that need many hours to be realized, also making the energy expenditures necessary for their application, which also causes another significant problem that is the environmental impact caused by them, thus making this problem even bigger. Thus, this work aims to develop proposals of practical classes with the use of the home microwave apparatus, as an alternative to decrease the reaction time as well as increase in yield and decrease of the amount of reagents required in addition to the search for energy efficiency. Considering that the use of this apparatus in practical classes is a possible solution to the presented situation, since it can modify the reactional conditions. This fact proves, through bibliographic research, where the microwave shows the power to optimize the time in the laboratory, reducing the environmental and economic impact caused by high energy expenditure.

Keywords: Microwave. Green chemistry. Chemistry teaching. Organic chemistry.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Fator E de segmentos industriais.....	19
Figura 2	Localização da região de MO.....	23
Figura 3	Rotação de dipolos (H <sub>2</sub> O) .....	23
Figura 4	Distribuição de calor - Aquecimento convencional X Irradiação MO.....	24
Figura 5	Cálculos de eficiência energética.....	28
Figura 6	Aminocumarina derivada de ácido carboxílico.....	29
Figura 7	Estrutura lamelar da montmorilonita, K-10.....	30
Figura 8	Mecanismo de reação de síntese de cumarina por condensação de Pechmann.....	31
Figura 9	Comparação entre reações divergentes e convergentes.....	33
Figura 10	Exemplos de reações multicomponentes.....	34
Figura 11	Síntese de dihidropirimidinona - reação de Biginelli.....	34
Figura 12	Mecanismo reacional da síntese de dihidropirimidinona.....	35
Figura 13	Acilação do ácido salicílico com anidrido acético.....	37
Figura 14	Mecanismo de reação da síntese de AAS.....	38
Figura 15	Esquema – Síntese de salicilato de metila.....	40
Figura 16	Mecanismo de reação da síntese do salicilato de metila.....	40
Figura 17	Gráfico de respostas – Questão 1.....	43
Figura 18	Gráfico de respostas – Questão 2.....	43
Figura 19	Gráfico de respostas – Questão 3.....	44
Figura 20	Gráfico de respostas – Questão 4.....	45
Figura 21	Gráfico de respostas – Questão 5.....	45
Figura 22	Gráfico de respostas – Questão 6.....	46

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Método convencional VS MO na síntese de cumarina.....	32
Quadro 2	Método convencional VS MO na síntese de 3 componentes....	36
Quadro 3	Método convencional VS MO na síntese de AAS.....	39
Quadro 4	Método convencional VS MO na síntese de salicilato de metila.....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAS	Ácido Acetil Salicílico
CDuC	Campus Duque de Caxias
DHPM	Dihidropirimidinona
EPA	Agência Ambiental Norte Americana
IFRJ	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro
MO	Micro-ondas
ONU	Organização das Nações Unidas
QV	Química Verde
RMC	Reação multicomponentes
VS	Versus

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	14
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	16
3.1 OBJETIVO GERAL.....	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
<b>4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	17
4.1 QUÍMICA VERDE.....	17
4.2 QUÍMICA VERDE E EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA.....	20
4.3 IRRADIAÇÃO MO COMO ALTERNATIVA A MÉTODOS CONVENCIONAIS DE AQUECIMENTO.....	22
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	26
<b>6 RESULTADOS</b> .....	28
6.1 SÍNTESE DE CUMARINA (7-HIDROXI-4-METILCUMARINA) .....	28
6.1.1 Metodologia de síntese.....	30
6.1.2 Avaliação do método proposto em comparação ao método convencional.....	31
6.2 SÍNTESE DE TRÊS COMPONENTES (6-METIL-2-OXO-4-FENIL-1,2,3,4-TETRAHIDROPIRIMIDINA-5-CARBOXILATO) ...	32
<b>6.2.1 Metodologia de síntese</b> .....	35
<b>6.2.2 Avaliação do método proposto em comparação ao método convencional</b> .....	36
6.3 SÍNTESE DO ÁCIDO ACETILSALICÍLICO.....	36
6.3.1 Metodologia de síntese.....	37
<b>6.3.2 Avaliação do método proposto em comparação ao método convencional</b> .....	39
6.4 SÍNTESE DO SALICILATO DE METILA.....	39

<b>6.4.1 Metodologia de síntese</b> .....	40
6.4.2 Avaliação do método proposto em comparação ao método convencional.....	41
6.5 O EVENTO “DIA VERDE” .....	42
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	49
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	50
<b>APÊNDICES</b> .....	54

## 1 INTRODUÇÃO

Data do início dos anos 60 a observação e preocupação da humanidade frente a questões ambientais, que surgiram como consequência do crescimento do industrialismo (TAVOLARO, 2001).

Iniciou-se um grande movimento em relação a questões ambientais, tendo em vista a alta concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera (que acarretaria em mudanças climáticas e danos irreparáveis ao ecossistema) devido ao alto consumo de derivados de petróleo, principalmente por parte dos países mais desenvolvidos.

Em 1962 o movimento ambientalista ganhou novo impulso com a publicação do livro “A Primavera Silenciosa”, de Rachel Louise Carson que alertava sobre o uso indiscriminado de pesticidas agrícolas, ressaltando a necessidade da proteção do ecossistema e da saúde humana (OLIVEIRA, 2012).

Estas ideias foram fortalecidas com a publicação de um livro em 1972 pelo Clube de Roma denominado “*The Limits to Growth*” (Os limites do crescimento), escrito por Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers, e William W. Behrens III, esta publicação levou em consideração cinco variáveis, sendo elas: População mundial, industrialização, poluição, produção de alimentos e esgotamento de recursos. De acordo com essas variáveis utilizou-se um sistema computacional (*World3*) para simular as consequências da interação entre os humanos e o planeta terra, e através deste demonstrou-se que se estas variáveis permanecessem com o mesmo crescimento, a terra teria seus recursos esgotados em menos de 100 anos (TAVOLARO, 2001).

Tendo em vista estas e outras manifestações da preocupação com esta problemática, surgiu a necessidade de realizar-se conferências mundiais sobre meio ambiente. Através da Organização das Nações Unidas (ONU), destacou-se a primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, em Estocolmo, na Suécia, em 1972 e, posteriormente a ECO 92, onde criou-se o conceito de desenvolvimento sustentável (ALONSO, 2007).

Com o crescimento de movimentos como estes, a preocupação para com o ambiente tem se disseminado a todas as áreas de conhecimento, abrangendo assim também a área da química. A precaução para lidar-se com a química faz-se

necessária, não só pelo fato desta ter um enorme poder de impacto à natureza e à saúde humana, mas também pela imagem negativa associada constantemente à química, que é frequentemente vista como a principal “culpada” tratando-se do impacto ambiental causado pela atividade humana irresponsável. Para lidar com estas cobranças na área da química, em 1991 a Agência Ambiental Norte Americana (EPA) criou o programa “Rotas Sintéticas Alternativas para a Prevenção da Poluição”, caracterizando assim, o nascimento da Química Verde (LENARDÃO, 2003).

A Química Verde (QV) almeja a reconstrução da forma de se lidar com a atividade química, podendo definir-se como o uso de técnicas e metodologias que têm por fim a redução ou eliminação da utilização ou geração de substâncias nocivas. Para tal a Química Verde é conceituada em 12 tópicos: prevenção, economia atômica, síntese de produtos menos perigosos, projeto de produtos seguros, solventes e auxiliares mais seguros, busca pela eficiência de energia, uso de fontes renováveis de matéria-prima, evitar a formação de derivados, catálise, desenho para a degradação, análise em tempo real para a prevenção da poluição e química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes (LENARDÃO, 2003).

Apesar de todo esforço para corrigir a conduta humana inadequada a sociedade permanece agindo como se a natureza fosse uma fonte inesgotável de recursos, sendo ela capaz de reverter qualquer dano sofrido, resultando em uma arriscada relação entre a humanidade e o meio ambiente, assumindo-se como consequência o esgotamento de recursos (TIEZZI, 1988).

Posto isso, é crucial o papel do professor, já que a educação é a mais eficaz estratégia para o desenvolvimento de pensamentos críticos em relação ao contexto socioambiental, objetivando a formação de cidadãos responsáveis de forma a refletir em mudanças de hábitos, que mesmo sendo considerados de baixo impacto, são de grande importância para alcançar a sustentabilidade em seu mais abrangente significado. Deste modo, é primordial para profissionais da área de química, trabalhar a produção, aplicação e ensino desta de forma responsável frente às demandas presentes em relação ao meio ambiente (JACOBI, 2005).

## 2 JUSTIFICATIVA

A química é uma disciplina vista de forma muito distanciada da realidade e do cotidiano do educando. Ressalta-se, deste modo, a necessidade de contextualização, que é mais efetiva quando trabalhada com situações reais, como por exemplo: O papel da química em reação ao meio ambiente e à saúde humana. A experimentação, tratando-se do Ensino de Química é um importante recurso pedagógico que contribui não só com a contextualização, bem como na construção de conceitos e possibilita o desenvolvimento e exercício de habilidades (BUENO, 1998).

Entretanto, encontra-se nas escolas brasileiras muitas barreiras para a execução de experimentos. Os professores comumente relatam diversos obstáculos para lecionar, como a dificuldade de compreensão de fenômenos químicos por parte dos alunos, o conhecimento teórico prévio escasso ao acompanhamento das aulas, e a falta de tempo para aplicação de atividades. Além de problemas relacionados à infraestrutura escolar (LÔBO, 2012).

Existem experimentos de grande relevância à formação de alunos, que demandam muitas horas para sua realização, e como é sabido, uma adversidade recorrentemente declarada por professores é a baixa carga horária disponível para a aplicação de aulas práticas, fato que prejudica de forma significativa a formação dos alunos e limita seu acesso ao saber. O tempo necessário na experimentação é uma problemática não só para o contexto acadêmico, como também, para o contexto econômico e ambiental, já que, uma reação demorada requer maiores gastos energéticos e causa maiores impactos.

Uma forma possível de se lidar com tais obstáculos em relação à experimentação no Ensino de Química é a utilização de aparelhos alternativos, como o aparelho de micro-ondas doméstico, pois assim, possibilita-se a mudança de condições reacionais que pode levar à obtenção de maior rendimento e menor tempo gasto dentre outras vantagens, obtendo-se, desta forma, experimentos mais ágeis, sustentáveis e econômicos, tanto do ponto de vista energético quanto financeiro (SANSEVERINO, 2002).

A utilização do aparelho de micro-ondas doméstico nas aulas práticas é uma solução viável à situação apresentada, fato que se comprova através de pesquisas

bibliográficas, onde o micro-ondas (MO) demonstra a possibilidade de otimizar o tempo no laboratório, além de diminuir o impacto ambiental e econômico causado pelo alto gasto energético. As metodologias propostas através do uso da irradiação de micro-ondas também é capaz de aumentar o rendimento reacional incorporando uma maior parte do reagente no produto, tendo assim, menores quantidades de subprodutos e resíduos. Sendo assim, o micro-ondas apresenta-se uma alternativa mais verde e produtiva às aulas práticas laboratoriais.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Objetiva-se no presente trabalho, desenvolver propostas de aulas práticas com a utilização do aparelho de micro-ondas doméstico como alternativa para diminuição do tempo reacional bem como aumento de rendimento e diminuição da quantidade de reagentes necessários, além da busca por eficiência energética.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver propostas de experimentos mais verdes através da inserção de irradiação de micro-ondas, além de outros tópicos da Química Verde;
- Demonstrar a eficiência do aparelho de micro-ondas doméstico;
- Disseminar a filosofia da Química Verde e a necessidade da busca por formas mais sustentáveis de se trabalhar com a química;
- Contribuir para a desconstrução do estigma que a química possui de ser prejudicial à saúde e ao meio ambiente.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 QUÍMICA VERDE

Como já relatado anteriormente, a Química Verde (QV) nasce em 1991, quando a EPA criou o programa “Rotas Sintéticas Alternativas para a Prevenção da Poluição” (LENARDÃO, 2003).

A QV almeja a reconstrução da forma de trabalhar a química, ressaltando a necessidade urgente da inserção de conteúdos que a trabalhem de maneira responsável tendo em vista o atual contexto ambiental mundial. Para tal, esta apresenta 12 princípios onde quanto mais princípios forem contemplados, maior a contribuição para a diminuição de impactos negativos gerados com a atividade química (LOPES, 2008).

- I. **Prevenção:** é melhor prevenir a formação de resíduos do que tratá-los posteriormente;
- II. **Economia Atômica:** os métodos sintéticos devem ser desenvolvidos para maximizar a incorporação dos átomos dos reagentes nos produtos finais desejados;
- III. **Sínteses com Reagentes de Menor Toxicidade:** sempre que possível, metodologias sintéticas devem ser projetadas para usar e gerar substâncias que possuam pouca ou nenhuma toxicidade para a saúde humana e o meio ambiente;
- IV. **Desenvolvimento de Compostos Seguros:** os produtos químicos deverão ser desenvolvidos para possuírem a função desejada, apresentando a menor toxicidade possível.
- V. **Diminuição de Solventes e Auxiliares:** a utilização de substâncias auxiliares (solventes, agentes de separação, etc.) deverá ser evitada quando possível, ou usadas substâncias inócuas no processo.
- VI. **Eficiência Energética:** os métodos sintéticos deverão ser conduzidos sempre que possível à pressão e temperatura ambientes, diminuindo seu impacto econômico e ambiental.

- VII. **Uso de Matéria-Prima Renovável:** sempre que possível técnica e economicamente utilizar matéria-prima renovável.
- VIII. **Redução do uso de derivados:** uso de reagentes bloqueadores, de proteção ou desproteção, e modificadores temporários, deverá ser minimizado ou evitado quando possível, pois estes passos reacionais requerem reagentes adicionais e, conseqüentemente, podem produzir subprodutos indesejáveis.
- IX. **Catálise:** catalisadores (tão seletivos quanto possível).
- X. **Desenvolvimento de Compostos Degradáveis:** produtos químicos deverão ser desenvolvidos para a degradação inócua de produtos tóxicos, não persistindo no ambiente.
- XI. **Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição:** as metodologias analíticas precisam ser desenvolvidas para permitirem o monitoramento do processo em tempo real, para controlar a formação de compostos tóxicos.
- XII. **Química Segura para a Prevenção de Acidentes:** as substâncias usadas nos processos químicos deverão ser escolhidas para minimizar acidentes em potencial, tais como explosões e incêndios (FARIAS, 2011).

Inúmeras pesquisas vêm ocorrendo em todo o mundo objetivando encontrar rotas de síntese mais verdes, observa-se então o surgimento progressivo de propostas expostas na literatura como alternativa às rotas clássicas. Daí a importância de formas de avaliar tais propostas, a fim de verificar se estas são realmente rotas mais verdes, e para além disso, compara-las visando encontrar a mais eficiente delas. Para este fim utiliza-se as métricas da Química Verde (divididas em métricas de massa e métricas ambientais), que visam quantificar os denominados “ganhos de verdura” (COSTA, 2012).

As duas mais antigas métricas da Química Verde são o fator ambiental (fator E), e a economia de átomos de Trost (EA). A EA é calculada dividindo o peso molecular do produto pela soma dos pesos moleculares de todas as substâncias envolvidas em dada reação. O EA é um valor teórico que pressupõe um rendimento reacional de 100%, e desconsidera substâncias, como solventes e outros produtos utilizados que não aparecem na equação estequiométrica. Contudo o EA é uma

métrica muito útil para uma rápida avaliação, e pode ser realizada antes mesmo da execução de determinado experimento (SHELDON, 2007).

É sabido que a atividade química oferece inúmeros ganhos que se aplicam a diversos fins, podendo-se citar os produtos de higiene, cosméticos, alimentos, bebidas e fármacos dentre outros. Tratando-se da indústria farmacêutica, esta, por meio de novas rotas de síntese orgânica de fármacos ao longo do tempo proporcionaram notório desenvolvimento quanto à diminuição de mortes, bem como alívio de dores ou outros efeitos ocasionados por inúmeras doenças. Entretanto esta conquista, que representa a solução de muitos problemas relacionados à saúde humana, é acompanhada de um grande déficit quando se analisa o impacto ambiental da atividade da indústria farmacêutica (CUE, 2009).

As indústrias químicas e farmacêuticas são as maiores responsáveis pela geração de resíduos, este fato se dá, pois estas utilizam reações estequiométricas clássicas que geram grandes quantidades de sais inorgânicos compondo toda esta massa residual, acarretando num elevado valor referindo-se ao fator E (quantidade de resíduo gerado para cada quilograma de produto). Relaciona-se a seguir, na Figura 1, o fator E dos principais segmentos industriais (LENARDÃO, 2003).

Figura 1: Fator E de segmentos industriais

Segmento industrial	Produção Anual (Toneladas)	kg - subproduto/ kg - produto (Fator E)
Refinarias de petróleo	$10^6 - 10^8$	<0,1
Química Pesada	$10^4 - 10^6$	<1 - 5
Química Fina	$10^2 - 10^4$	5 → 50
Indústria Farmacêutica	$10 - 10^2$	25 → 100

Fonte: LENARDÃO, 2003.

Verificando-se a Figura 1 nota-se, que a indústria farmacêutica produz de 25 a 100 quilogramas de resíduos para cada quilograma de produto, valores certamente alarmantes, justificando assim, a necessidade de reversão de tal quadro (LENARDÃO, 2003).

Com o aumento gradativo do interesse por formas sustentáveis de exercer atividades, iniciou-se a procura de rotas de síntese mais verdes, visando minimizar

o alto quantitativo de resíduos gerados nesta prática, que além de ser preocupante em relação a seu descarte, ameaça também a biodisponibilidade de matéria prima (CUE, 2009).

#### 4.2 QUÍMICA VERDE E EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA

Conforme relatado anteriormente, é de grande importância o papel do educador frente a esta demanda, pois este interfere diretamente na formação de profissionais que futuramente estarão inseridos nas mais diversas áreas, que vão desde grandes indústrias até pequenos negócios, atuando de forma mais significativa ou menos significativa em relação ao contexto ambiental, mas mesmo tratando-se dos setores considerados de menor impacto, quando somados refletem numa parcela significativa e que merece igual atenção. É então, responsabilidade do educador atuar para a formação de cidadãos mais conscientes e com pensamentos mais sustentáveis, responsabilidade que se torna ainda maior quando se fala do Ensino de Química, dado que esta ferramenta tem grande potencial tanto para ajudar a reverter o contexto ambiental atual como para agravá-lo.

A experimentação no Ensino de Química é um importante recurso pedagógico que contribui com a construção de conceitos e possibilita o desenvolvimento e exercício de habilidades como as de investigação, manipulação e comunicação. Esta ferramenta possibilita amplas aplicações como, por exemplo: demonstração de fenômenos, coleta de dados, teste de hipótese, entre outros (BUENO, 1998).

Em relação à comunicação é de grande importância a valorização de situações problemáticas abertas, pois estas promovem discussões de grande relevância, envolvendo alunos de um determinado grupo, entre grupos distintos e o professor, além de envolver o material didático como fonte de pesquisa (PEREZ, 1996). Para que estas ditas situações-problema sejam construídas, necessita-se que o educando esteja envolvido com dada situação. Daí a importância da contextualização, que preferencialmente deve ser relacionada com situações reais como, por exemplo: O papel da atividade química frente ao atual contexto ambiental (FERREIRA, 2010).

Vale ressaltar que em situações onde as atividades laboratoriais quando orientadas apenas por um roteiro que é seguido pelos alunos como uma “receita de bolo” (passo a passo), dificilmente estará estimulando o raciocínio ou reflexão do educando, desvalorizando assim uma ferramenta que quando bem aplicada tem apenas a acrescentar à experiência acadêmica e engrandece a construção de conhecimento (PEREZ, 1999).

Grande parte das críticas acerca do ensino tradicional ocorre através da análise do distanciamento nele existente entre mestre e aprendiz, onde o educador coloca-se como o único detentor de conhecimento. Deve-se atentar inclusive ao fato de que a ciência ensinada hoje nas escolas responde à questões de gerações passadas, questões que o jovem discente dificilmente teve acesso anteriormente, acarretando em uma maior dificuldade de familiarização do estudante com tais problemáticas. Desta forma, os conceitos passados pelo professor dificilmente estarão ligados ao cotidiano dos alunos, e pode-se dizer que quando não há relação entre o conhecimento prévio do aluno e algo que ele está aprendendo, isto, definitivamente, não se trata de aprendizagem significativa (GUIMARÃES, 2009).

Encontra-se nas escolas brasileiras muitas barreiras para a execução de experimentos de forma adequada, dificultando e desestimulando o educador, levando-o a não desenvolver as aulas práticas de forma adequada ou, muitas vezes, a simplesmente não as aplicar. Os professores comumente relatam diversos obstáculos para lecionar, como a dificuldade de compreensão de fenômenos químicos por parte dos alunos, o conhecimento teórico prévio escasso ao acompanhamento das aulas, e a falta de tempo para aplicação de atividades (LÔBO, 2012). Além de constatarem problemas substanciais relacionados à infraestrutura escolar, onde unidades apresentam-se com qualidade muito inferior ao mínimo necessário para que possibilite ao educador a aplicação de forma adequada de atividades cruciais para a formação do educando (BELTRAME, 2009).

Uma forma possível de se lidar com tais obstáculos em relação à experimentação no Ensino de Química é a utilização de aparelhos que sejam mais eficientes quando comparados às fontes de aquecimento convencionais, como o aparelho de micro-ondas doméstico, que sendo assim, é contemplado em um dos 12 tópicos da Química Verde. Este aparelho possibilita a mudança de condições

reacionais que pode levar a obtenção de maior rendimento reacional e menor tempo gasto dentre outras vantagens (SANSEVERINO, 2002).

Entre os 12 princípios da Química Verde, o desejo de utilizar “solventes mais seguros” e de buscar por “eficiência energética”, podem ser considerados dois princípios de maior relevância para os químicos sintéticos. Os solventes em sínteses orgânicas, podem se fazer desnecessários em determinadas situações apenas pelo emprego do aparelho de micro-ondas (MO), que durante as últimas décadas, em muitas publicações descreve-se sobre seu sucesso em sínteses em meio seco (sem utilização de solventes). Contudo, para as situações onde seu uso é indispensável, buscam-se solventes alternativos mais seguros, que muitas vezes podem ser substituídos até mesmo por água, que pode, sem dúvida, ser considerado o solvente mais limpo disponível, e o uso e liberação da água limpa claramente trará um menor impacto ao meio ambiente (DALLINGER, 2007).

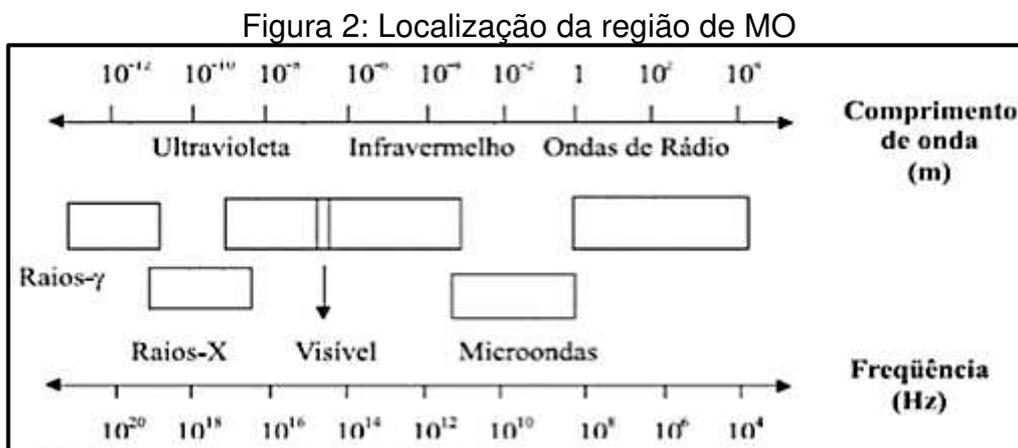
#### 4.3 IRRADIAÇÃO MO COMO ALTERNATIVA A MÉTODOS CONVENCIONAIS DE AQUECIMENTO

Considerando o tópico de eficiência energética, para muitos processos químicos, um grande efeito adverso para o meio ambiente diz respeito aos elevados gastos energéticos quando se utiliza de fontes de aquecimento, fazendo-se necessário o desenvolvimento de métodos mais eficientes que usem fontes alternativas como ultrassom ou MO.

Em particular, o uso de MO como fonte de aquecimento, tornou-se cada vez mais popular no meio científico, e sem dúvidas, em poucos anos o aquecimento por micro-ondas tornar-se-á uma técnica amplamente utilizada na maioria dos laboratórios (DALLINGER, 2007). Data de meados da década de oitenta a primeira utilização de irradiação de micro-ondas em uma síntese orgânica, e desde aí, esta técnica mostrou-se aplicável e altamente proveitosa em reações orgânicas, surgindo então, nos anos 90, aparelhos de MO específicos para utilização laboratorial (BARRETO, 2013).

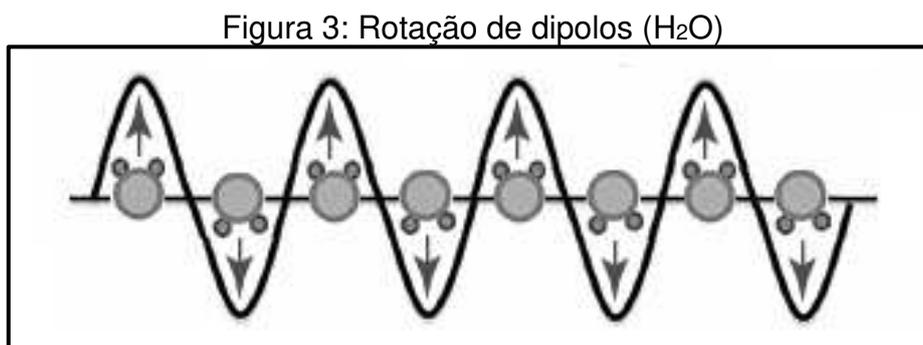
O aparelho de micro-ondas emite irradiações eletromagnéticas não ionizantes, com uma frequência que varia de 300 a 300.000 MHz, e seu comprimento de onda é equivalente a variação de 1 mm a 1 m. Na Figura 2 a seguir

observa-se que a região de MO se encontra entre as regiões de infravermelho e ondas de rádio.



Fonte: SANSEVERINO 2002.

A radiação não ionizante possibilita a translação de íons e rotação de dipolos (Figura 3), entretanto não causando alterações na forma estrutural molecular. Viabilizando assim, a mudança de condições reacionais com potencial para aumento de rendimento e velocidade reacional sem comprometer a integridade do produto (ROSINI, 2004).



Fonte: Elaborada pela autora.

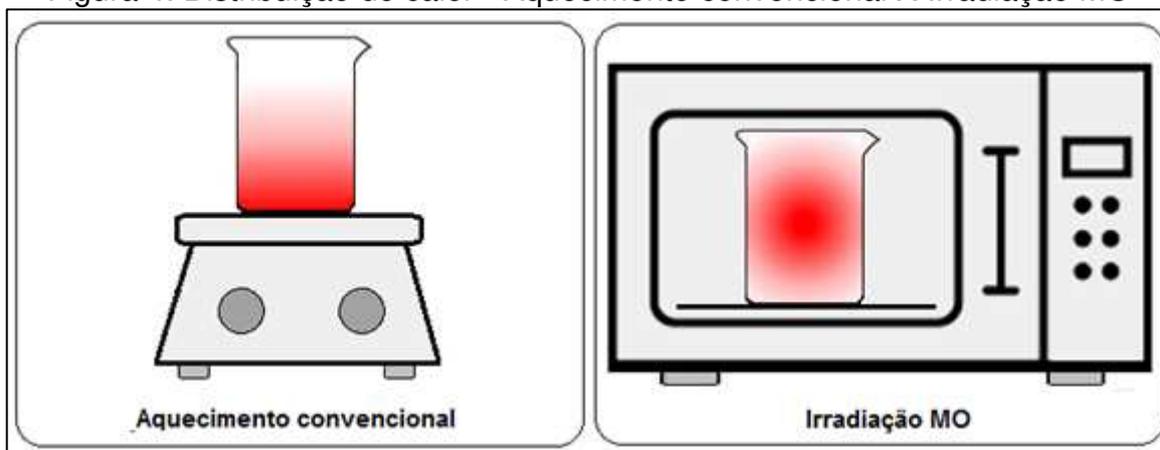
No contexto atual, tanto no meio industrial quanto acadêmico, os químicos são constantemente desafiados pela busca de métodos sintéticos de geração de moléculas alvo que sejam mais benéficos e amigáveis, assim, o aparelho de MO vem sendo cada vez mais empregado em reações orgânicas pela carência de metodologias mais sustentáveis e eficazes, posto que, o aparelho confere redução de tempo reacional, melhora de rendimentos, entre outras tantas vantagens. Fato

que legitima em inúmeras publicações que tem aparecido relacionadas ao assunto, como na publicação: “*Energy Efficiency in Chemical Reactions: A Comparative Study of Different Reaction Techniques*”, onde Gronnow et al. (2005) comprovou uma redução no consumo energético de até 85 vezes em reações utilizando a irradiação por MO como alternativa ao aquecimento convencional.

Estes ganhos estão ligados a três efeitos das MO (efeitos térmicos, efeitos específicos e efeitos não térmicos) conforme relaciona-se a seguir:

**Efeitos térmicos** – Relaciona-se às altas temperaturas atingidas com solventes ou reagentes que possuem dipolo elétrico ou íons, que se alinham ao campo elétrico da onda eletromagnética, deste modo, diferente do aquecimento convencional, o calor distribui-se em todas as direções (Figura 4).

Figura 4: Distribuição de calor - Aquecimento convencional X Irradiação MO



Fonte: Elaborada pela autora.

**Efeitos específicos** – Trata-se da formação de pontos isolados no meio reacional que se encontram em elevadas temperaturas (superaquecimento e aquecimento seletivo), este efeito é denominado específico por aplicar-se apenas às MO, já que não podem ser reproduzidos em formas convencionais de aquecimento.

**Efeitos não térmicos** – Diz respeito à irradiação de MO tornar oportunas as reações pelo alinhamento de espécies carregadas nos estados de transição com

o campo elétrico das ondas eletromagnéticas, que se explica através da diminuição da energia de ativação no estado de transição.

Outrossim, deve-se considerar as colisões que ocorrem entre as moléculas em decorrência das oscilações ocasionadas pelo campo elétrico das ondas eletromagnéticas (BARRETO, 2013).

## 5 METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa exploratória, visto que são poucas as fontes encontradas quanto a utilização de micro-ondas doméstico como alternativa à otimização de experimentos, com isso, busca-se a criação de uma apostila experimental otimizada através da utilização do aparelho de MO. Visando desta forma uma solução para adversidades com as quais se lida a um longo tempo no meio educacional, mais especificamente do Ensino de Química, que são as restrições com tempo e recursos, bem como, almeja-se também diminuir os riscos envolvidos na aplicação de experimentos sendo eles à saúde humana ou ao meio ambiente, contribuindo assim também para desmistificar a visão da química como vilã e auxiliando na formação de profissionais mais conscientes.

Para isto, dividiu-se a metodologia em seis etapas, onde a primeira etapa tratou-se do estudo bibliográfico sobre a utilização do aparelho de micro-ondas doméstico, bem como, sobre seu funcionamento e influencias em reações. Além disso, buscou-se também práticas de química orgânica que possibilitam a utilização do aparelho e que possuam tempo reacional elevado, altos gastos energéticos, uso de solventes nocivos dentre outras características que possam ser alteradas.

A segunda etapa diz respeito a adaptação dos roteiros antigos ao uso deste aparelho, além de outras alterações pertinentes, sem fugir do escopo da disciplina (do curso de licenciatura em química e dos cursos técnicos de petróleo e gás e de química, do IFRJ Campus Duque de Caxias).

A terceira etapa envolveu a realização experimental dos roteiros já com as devidas adaptações, assim como, a observação, coleta de dados e amostragem de produtos para posteriores análises.

Em seguida iniciou-se a quarta etapa, onde analisou-se os resultados obtidos comparando-os com as práticas inalteradas (sem a utilização do aparelho de micro-ondas doméstico e demais modificações), e avaliou-se o desempenho dos experimentos após estas mudanças averiguando a pertinência destas.

Na quinta etapa, efetuou-se o evento “Dia verde – Segunda edição” (realizado no IFRJ Campus Duque de Caxias), onde falou-se sobre a Química Verde e seus 12 tópicos, e apresentou-se os experimentos alterados para os

visitantes. Após a apresentação, o público respondeu a um questionário, a fim de obter retorno quanto a aplicabilidade das práticas expostas.

Na sexta etapa, elaborou-se os roteiros com as mudanças propostas, ressaltando nestes os ganhos possibilitados pela utilização de fonte alternativa de aquecimento (irradiação de micro-ondas), além de outros conceitos da Química Verde, visando a inserção destas adaptações numa apostila experimental de Química Orgânica menos prejudicial ao meio ambiente e a saúde humana.

## 6 RESULTADOS

Objetivando disseminar a Química Verde, e a utilização desta como ferramenta facilitadora no processo de ensino-aprendizagem e como alternativa às atuais demandas ambientais, desenvolveram-se neste trabalho, alterações em quatro sínteses orgânicas, que se encontram dentro do escopo de disciplinas do curso de graduação de licenciatura em química (na disciplina obrigatória de química orgânica experimental II, e optativa de Química Verde), bem como, nos cursos técnico em química (na disciplina obrigatória de química orgânica III) e técnico em petróleo e gás (na disciplina obrigatória de química orgânica II) do IRFJ Campus Duque de Caxias.

Buscou-se englobar nessas sínteses conceitos da Química Verde, onde o maior foco foi no sexto tópico da QV, que diz respeito ao uso de fontes de energia alternativas, para isso, empregou-se o aparelho de MO doméstico, que em prévio levantamento bibliográfico demonstrou ser altamente eficaz. Reafirma-se também, através dos resultados obtidos disponibilizados a seguir no atual trabalho, a aplicabilidade e eficiência da irradiação de MO em sínteses orgânicas.

Para mensurar os ganhos energéticos, utilizou-se como parâmetro as informações disponibilizadas pelos fabricantes dos aparelhos de aquecimento convencional (placa, de aquecimento e mantas de aquecimento) utilizados nos laboratórios do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Campus Duque de Caxias (CDuQ). E informações disponibilizadas pelo fabricante o aparelho de micro-ondas empregado no presente trabalho. Com estes dados estimou-se os ganhos energéticos de acordo com a fórmula disponibilizada a seguir (figura 5).

Figura 5: Cálculos de eficiência energética

$$\left( \frac{1 - W_{MO}}{W_{AQUECIMENTO CONVENCIONAL}} \right) \times 100$$

Fonte: Elaborada pela autora

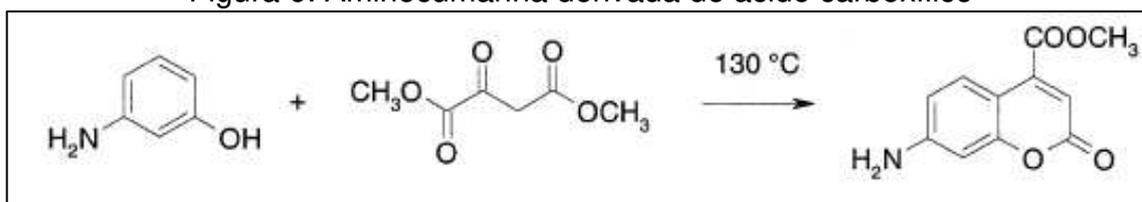
## 6.1 SÍNTESE DE CUMARINA (7-HIDROXI-4-METILCUMARINA)

As cumarinas são compostos de grande importância na Química Orgânica, e têm sido empregadas em muitos produtos farmacêuticos (tais como fármacos para o HIV-1, antibacterianos e anticancerígenos), bem como em cosméticos, indústrias agroquímicas como material de partida ou intermediário. Estas encontram-se em diversas plantas, porém, sua extração é trabalhosa e exige instrumentação sofisticada. Como alternativa à extração, há diversos métodos sintéticos, como a condensação de Pechmann, reação Reformatsky Wittig, condensação de Knoevenagel e rearranjo de Claisen (SINHAMAHPATRA, 2011).

Geralmente, a reação de síntese de cumarina ocorre por condensação de Pechmann, onde se utiliza um catalisador ácido como agente ciclizante, que é mais comumente o ácido sulfúrico concentrado, ácido trifluoroacético ou pentóxido de fósforo ou outros catalisadores homogêneos como cloretos metálicos e ácido sulfônico são relatados como catalisador ácido para o a reação de condensação de Pechmann. A maioria destes catalisadores requer grande quantidade para um rendimento satisfatório, e estes são corrosivos, difíceis de separar e criam graves problemas ambientais devido ao descarte inapropriado de resíduos pós-reação, ou demandam altos gastos para proceder com o descarte correto (SINHAMAHPATRA, 2011).

A síntese de cumarina geralmente é realizada por refluxo, onde utiliza-se manta de aquecimento a altas temperaturas, este aquecimento pode se estender por longas horas dependendo da reatividade do catalisador usado. Toma-se como exemplo uma reação de síntese de uma aminocumarina derivada de ácido carboxílico que pode ser observada a seguir, na Figura 6 (FRERE, 2001).

Figura 6: Aminocumarina derivada de ácido carboxílico

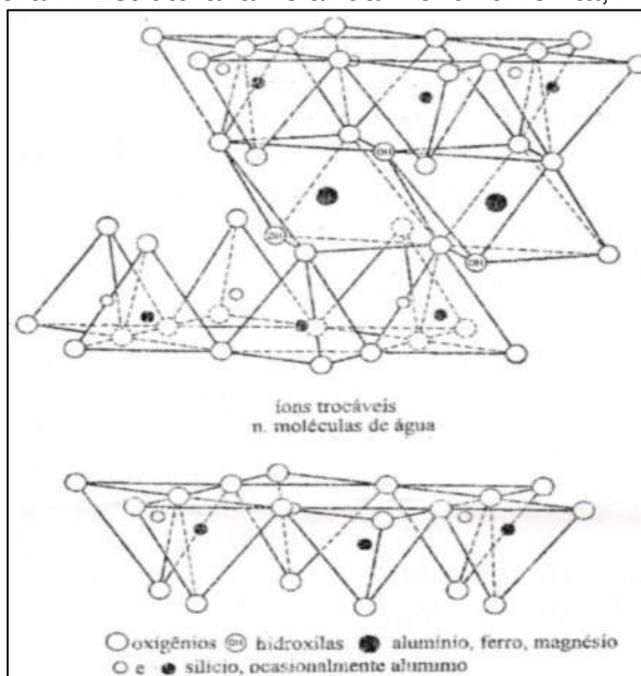


Fonte: FRERE, 2001.

Propõe-se, então, a utilização da argila k-10 montmorilonita como catalisador nesta reação, pois a mesma é muito empregada em reações orgânicas, tendo em vista que se adapta à diversas formas de energia (refluxo em solventes orgânicos, MO ou ultrassom) e aplica-se à princípios da Química Verde em reações que não fazem uso de solventes. Cabe destacar que esta argila pode ser reutilizada ao fim dos experimentos.

Esta argila deriva de um mineral hidrossilicato de alumínio (pertencendo à classe dos k-catalisadores), sua estrutura possui uma forma de “sanduíche”, onde há uma camada octaédrica (Al) localizada entre duas tetraédricas (Si), conforme observa-se na Figura 7, apresentada a seguir (BRAIBANTE, 2014).

Figura 7: Estrutura lamelar da montmorilonita, K-10



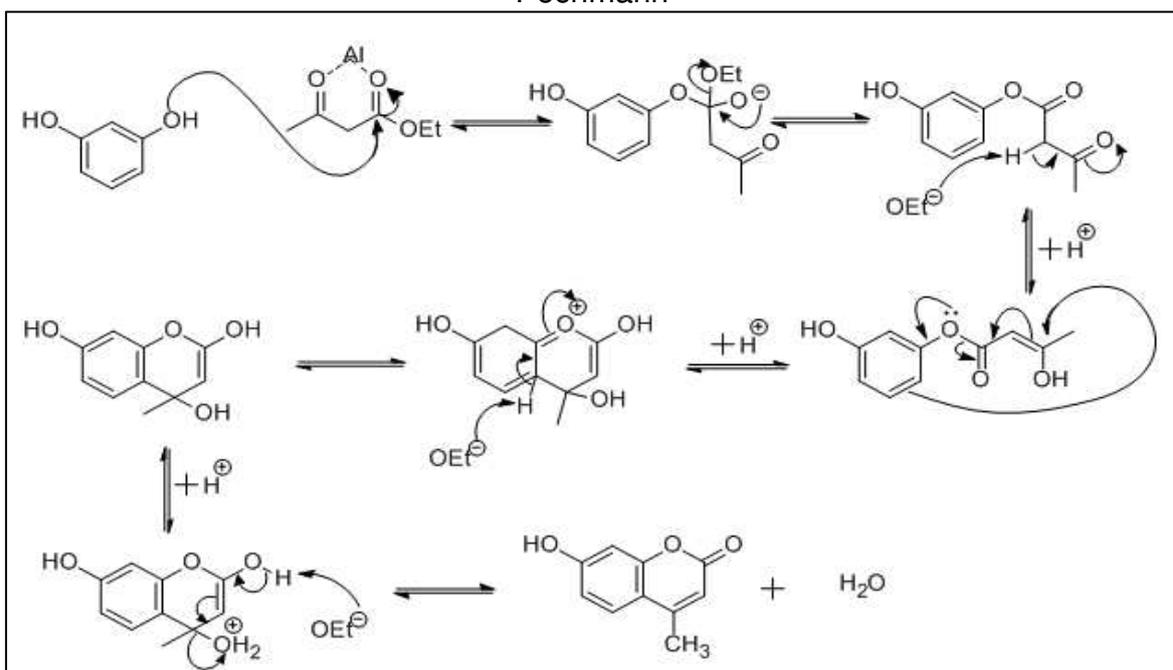
Fonte: BRAIBANTE, 2014

A k-10 foi utilizada principalmente devido a sua propriedade de acidez da estrutura primária pela presença do cátion metálico  $Al^{3+}$ , que age como ácidos de Lewis (necessário na condensação de Pechmann).

### 6.1.1 Metodologia de síntese

A reação de síntese de cumarina ocorre por condensação de Pechmann, que se trata de uma reação entre um  $\beta$ -cetoéster (acetoacetato de etila) e um composto fenólico (1,3-dihidróxibenzeno) na presença de um catalisador ácido (k-10 montmorilonita). O mecanismo desta é descrito a seguir na Figura 8.

Figura 8: Mecanismo de reação de síntese de cumarina por condensação de Pechmann



Fonte: Elaborada pela autora – ChemDraw 12

O acetoacetato de etila complexa na presença do catalisador k-10 montmorilonita, pela sua característica de ácido de Lewis com presença do cátion metálico  $\text{Al}^{3+}$ , seguido de um ataque nucleofílico do resorcinol (1,3-dihidróxibenzeno), formando um intermediário. Ocorre então, a ciclização por adição intramolecular de Michael, e em seguida, a condensação de Pechmann formando o produto.

Através da irradiação em forno micro-ondas doméstico, esta reação foi realizada em aquecimento por 5 minutos. Para isto, adicionou-se num bécher 1,1g de 1,3-dihidróxibenzeno, 1,35g de acetoacetato de etila e 1,5g de argila k-10 montmorilonita. Após o aquecimento separou-se a argila por filtração com éter etílico obtendo-se o produto como rendimento de 80% com a subsequente

evaporação do solvente. Este produto é um sólido com ponto de fusão experimentalmente obtido numa faixa compreendida de 177°C a 178°C, bem próximo ao disponível na literatura que é de 180°C (SHARMA, 2012).

### 6.1.2 Avaliação do método proposto em comparação ao método convencional

Utilizou-se como parâmetro as informações disponibilizadas pelo fabricante (Fisatom) das placas de aquecimento (modelo 753D – potência 1050W) utilizadas nos laboratórios do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Campus Duque de Caxias (CDuQ). E informações disponibilizadas pelo fabricante o aparelho de micro-ondas utilizado (Philco), que tem potência de 2000W.

Esta reação ocorre normalmente através de aquecimento convencional a 130°C durante 2 horas e apresenta baixos rendimentos (36%), demandando assim um alto consumo de tempo e energia (FRERE, 2001). Considerando o tempo de aquecimento necessário no método tradicional (2 horas), o consumo de energia é de aproximadamente 2100W. Sendo assim, o consumo foi de aproximadamente 166,66W em 5 minutos. Com isso, disponibiliza-se a seguir, no Quadro 1, os ganhos energéticos calculados através destas referências, e comparação entre o método tradicional e o proposto no presente trabalho.

Quadro 1: Método convencional VS MO na síntese de cumarina

Método convencional	Método por irradiação de MO
Utiliza H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> como catalisador (que não é reutilizável e é um forte corrosivo)	Utiliza a Argila K-10 montmorilonita como catalisado (que é reutilizável)
Necessita da utilização de solventes	A reação é realizada no estado sólido, evitando o uso de solventes
Longo tempo de reação (2 horas)	Curto tempo de reação (5 minutos)
Altos gastos energéticos (2100W)	Economia energética de 92% em comparação com método convencional (economiza 1933,34W)
Utiliza mais recipientes, aumentando perdas por transferência	Reação “one-pot”, minimizando perdas por transferência
Baixo rendimento reacional (36%)	Alto rendimento reacional (80%)

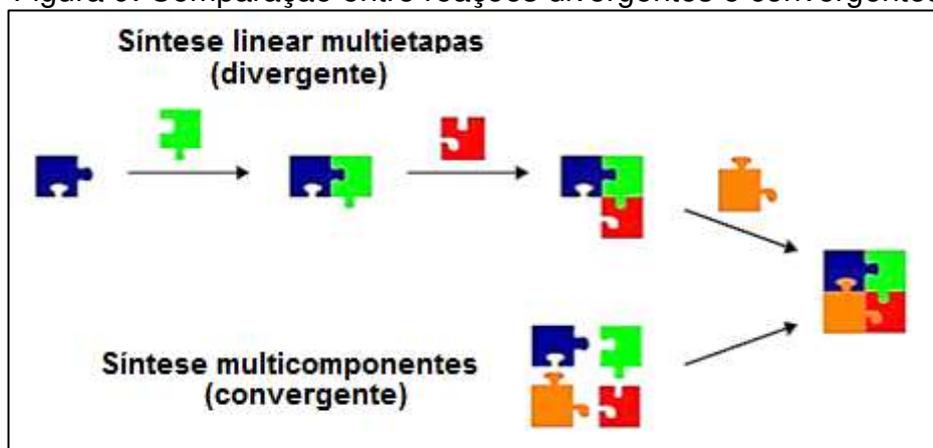
Fonte: Elaborada pela autora.

## 6.2 SÍNTESE DE TRÊS COMPONENTES (6-METIL-2-OXO-4-FENIL-1,2,3,4-TETRAHIDROPIRIMIDINA-5-CARBOXILATO)

As reações multicomponentes (RMCs) são reações em que três ou mais reagentes são incorporados no produto em uma única etapa. Foram descobertas há mais de cem anos e vêm ganhando cada vez mais visibilidade, posto que são eficazes, ambientalmente amigáveis e economicamente viáveis, dentre outras vantagens comparando-as com as reações clássicas. As RMCs possibilitam a formação de compostos com diversos níveis de complexidade e grande variedade estrutural utilizando reagentes estruturalmente simples, e incluem-se no conceito de Química Verde “Economia atômica”, pois a maior parte de todos os reagentes envolvidos encontra-se no produto (SOUZA, 2017).

Um dos principais benefícios das RMCs é o fato de serem altamente convergentes, possibilitando uma considerável redução no tempo reacional e melhora nos rendimentos. As sínteses convergentes, consistem na adição de três ou mais reagentes simultaneamente em um único meio reacional (reação “one-pot”), minimizando as perdas por transferência, portanto, possuem grande eficácia quando comparadas às reações lineares clássicas. Na Figura 9, observa-se um esquema demonstrando a eficiência de reações convergentes comparando-as com as reações denominadas divergentes, levando em consideração o quantitativo de etapas do processo (DÖMLING, 2002).

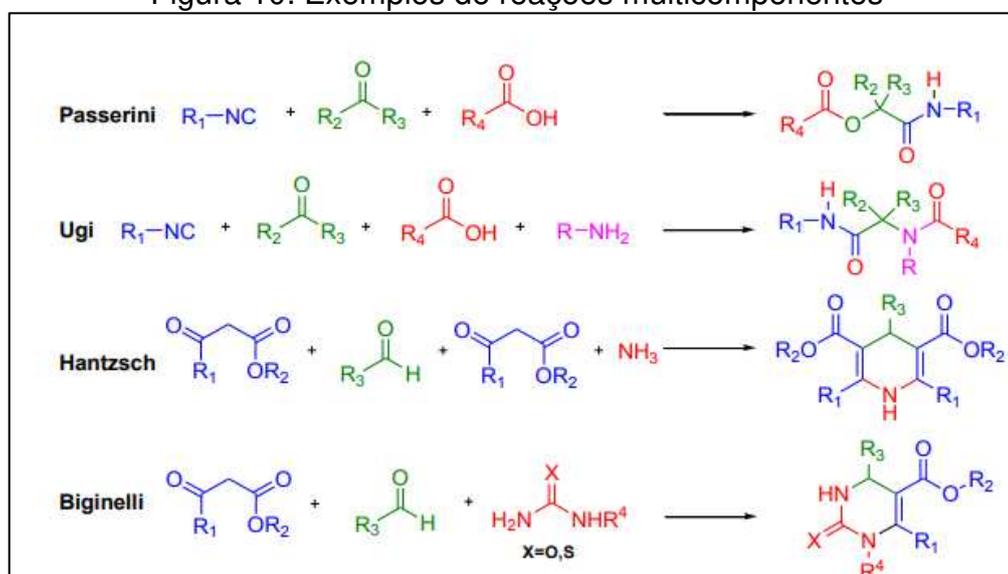
Figura 9: Comparação entre reações divergentes e convergentes



Fonte: SOUZA, 2017.

Apresenta-se, na Figura 10, exemplos de reações multicomponentes (reação de Passerini, Ugi, Hantzsch e Biginelli).

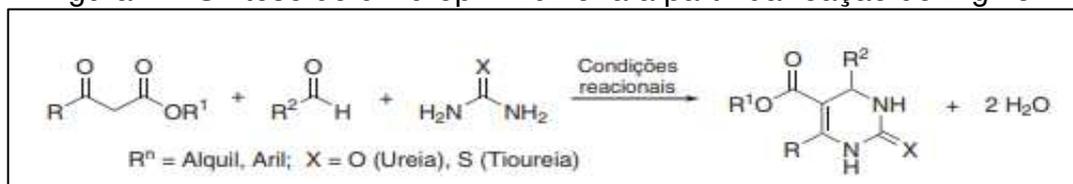
Figura 10: Exemplos de reações multicomponentes



Fonte: SOUZA, 2017.

Uma das principais reações multicomponentes é a reação de Biginelli, descoberta por Pietro Biginelli em 1891. A síntese de três componentes de Biginelli dá-se através da ciclo-condensação de um  $\beta$ -cetoéster, ureia (ou tioureia) e um aldeído, catalisada por um ácido de Bronsted, obtendo assim, como produto a 3,4-di-hidropirimidin-2-ona multissubstituída conforme observado na Figura 11 (MARQUES, 2012).

Figura 11: Síntese de dihidropirimidinona a partir da reação de Biginelli



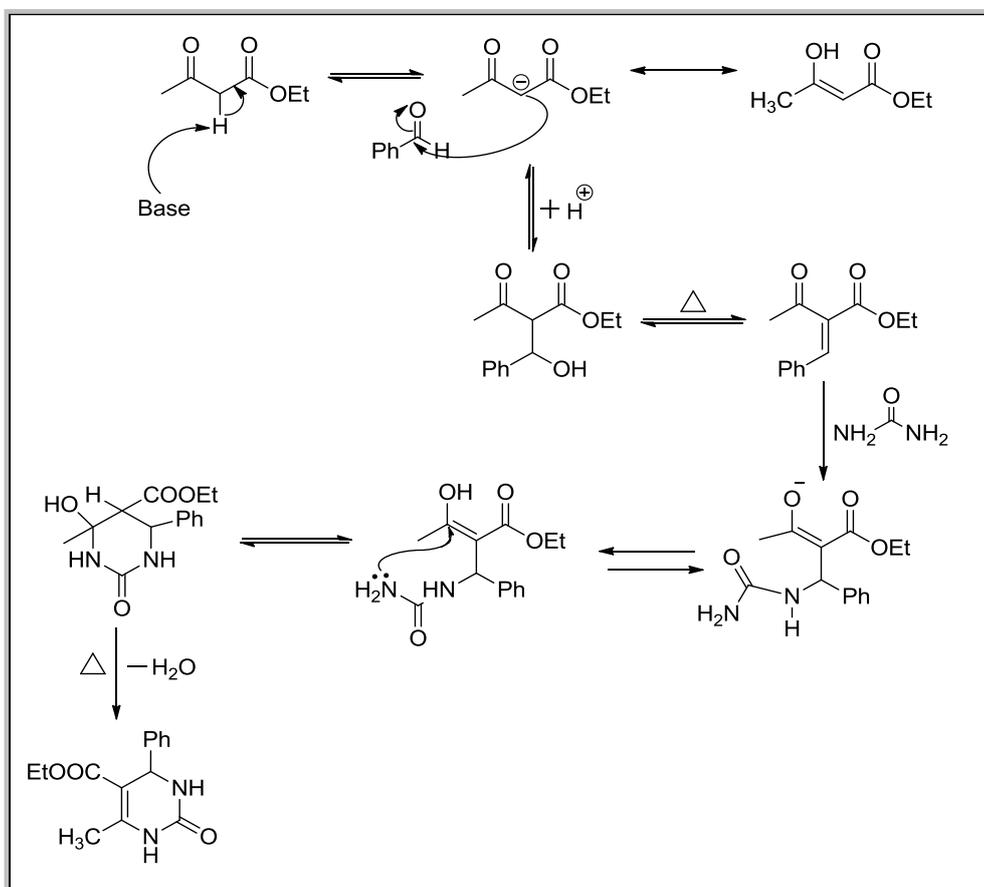
Fonte: MARQUES, 2012.

As Dihidropirimidinonas (DHPMs) e seus derivados são de uma relevante classe de heterociclos nitrogenados e apresentam importantes aplicações terapêuticas, menciona-se dentre outras, as anti-inflamatórias, antitumorais, antifúngicas e antimalariais (SOUZA, 2017).

### 6.2.1 Metodologia da síntese

Através do emprego de irradiação MO, realiza-se esta mesma reação em 5 minutos. Para isto, adicionou-se num bécher 1,1g de benzaldeído, 1,3g de acetoacetato de etila e 0,7g de ureia, homogeneizou-se e levou-se para aquecimento no aparelho de micro-ondas doméstico por 5 minutos. Posteriormente lavou-se o sólido com 1ml de água fria e recristalizou-se obtendo um produto sólido incolor com 75% de rendimento. Disponibiliza-se, na Figura 12, o mecanismo reacional desta síntese.

Figura 12: Mecanismo reacional da síntese de 6-metil-2-oxo-4-fenil-1,2,3,4-tetrahidropirimidina-5-carboxilato



Fonte: Elaborada pela autora – ChemDraw 12.

Conforme a Figura 12, o acetoacetato de etila forma um intermediário de cadeia aberta com o benzaldeído e a ureia, que cicliza após a eliminação de água (reação de ciclocondensação).

O produto foi caracterizado por ponto de fusão, obtendo-se o valor experimental de 210°C que se aproxima do valor teórico, que é de 213 – 214°C (ALVIM, 2013).

### 6.2.2 Avaliação do método em comparação ao método convencional

Utiliza-se como parâmetro as informações disponibilizadas pelo fabricante (Fisatom) das placas de aquecimento (modelo 753D – potência 1050W) utilizadas nos laboratórios do IFRJ – CDuC. Bem como, as informações disponibilizadas pelo fabricante o aparelho de micro-ondas (Philco) empregado no presente trabalho, com potência de 2000W.

A síntese convencionalmente é realizada em sistema de refluxo (a 80°C) sob constante agitação, por duas horas e apresenta rendimento de aproximadamente 75% utilizando um catalisador ácido (OLIVEIRA, 2016).

Deste modo, mensura-se os ganhos energéticos alcançados com a aplicação de irradiação MO comparando-se com a metodologia convencional, e compara-se o método tradicional com o método proposto através de irradiação MO (Quadro 2).

Quadro 2: Método convencional VS MO na síntese de 3 componentes

Método convencional	Método por irradiação de MO
Utiliza um catalisador ácido	Não necessita do uso de catalisador
Longo tempo de reação (2 horas)	Curto tempo de reação (5 minutos)
Altos gastos energéticos (2100W)	Economia energética de 92% em comparação com método convencional (economiza 1933,34W)
Rendimento reacional 75%	Rendimento reacional 75%

Fonte: Elaborada pela autora.

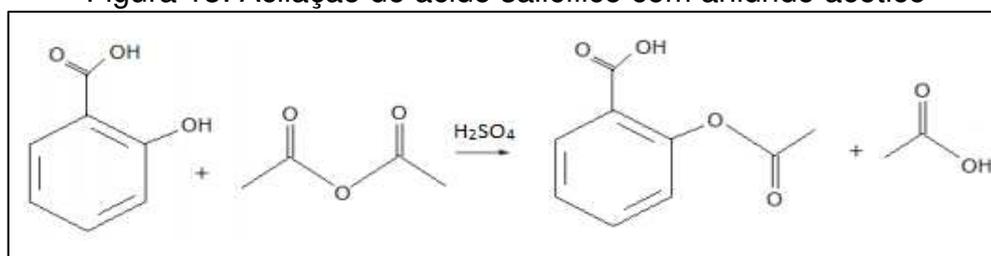
### 6.3 SÍNTESE DO ÁCIDO ACETILSALICÍLICO

Data do século V a.C. os primeiros registros sobre um pó ácido extraído da casca do salgueiro feito por Hipócrates (pai da medicina), onde descrevia seus efeitos no alívio de dores e febre. Desde então, este mesmo pó despertou o interesse de povos em diversas regiões (Oriente Médio, Suméria, Egito e Assíria). Em 1828 farmacêuticos franceses conseguiram isolar o princípio ativo da casca do salgueiro (a salicilina), e, em 1897, com base na estrutura da salicilina, Felix Hofmann e Arthur Eichengrun sintetizaram pela primeira vez o ácido acetilsalicílico (AAS), primeiro fármaco sintético comercializado em tabletes, que foi patenteado em 1899 pela empresa Bayer. Hoje, o AAS é um dos remédios mais produzidos no mundo, considerando-se sua versatilidade e ampla aplicação terapêutica, sendo utilizado como analgésico, anti-inflamatório, antipirético ou no combate à febre entre outras finalidades (STEFANELLI, 2014).

A síntese de AAS tem se mostrado um experimento popular em laboratórios no Ensino de Química. Ressalta-se que o ácido acetilsalicílico é pouco solúvel em água, e seu isolamento é facilmente realizado, tornando assim essa prática bastante acessível, e justificando a presença desta síntese em diversos livros de experimentos de química (OLMSTED III, 1998).

A reação de síntese de AAS dá-se por meio de uma esterificação, onde ocorre a acilação do ácido salicílico com a presença do anidrido utilizando ácido sulfúrico como catalisador, conforme o esquema apresentado na Figura 13.

Figura 13: Acilação do ácido salicílico com anidrido acético

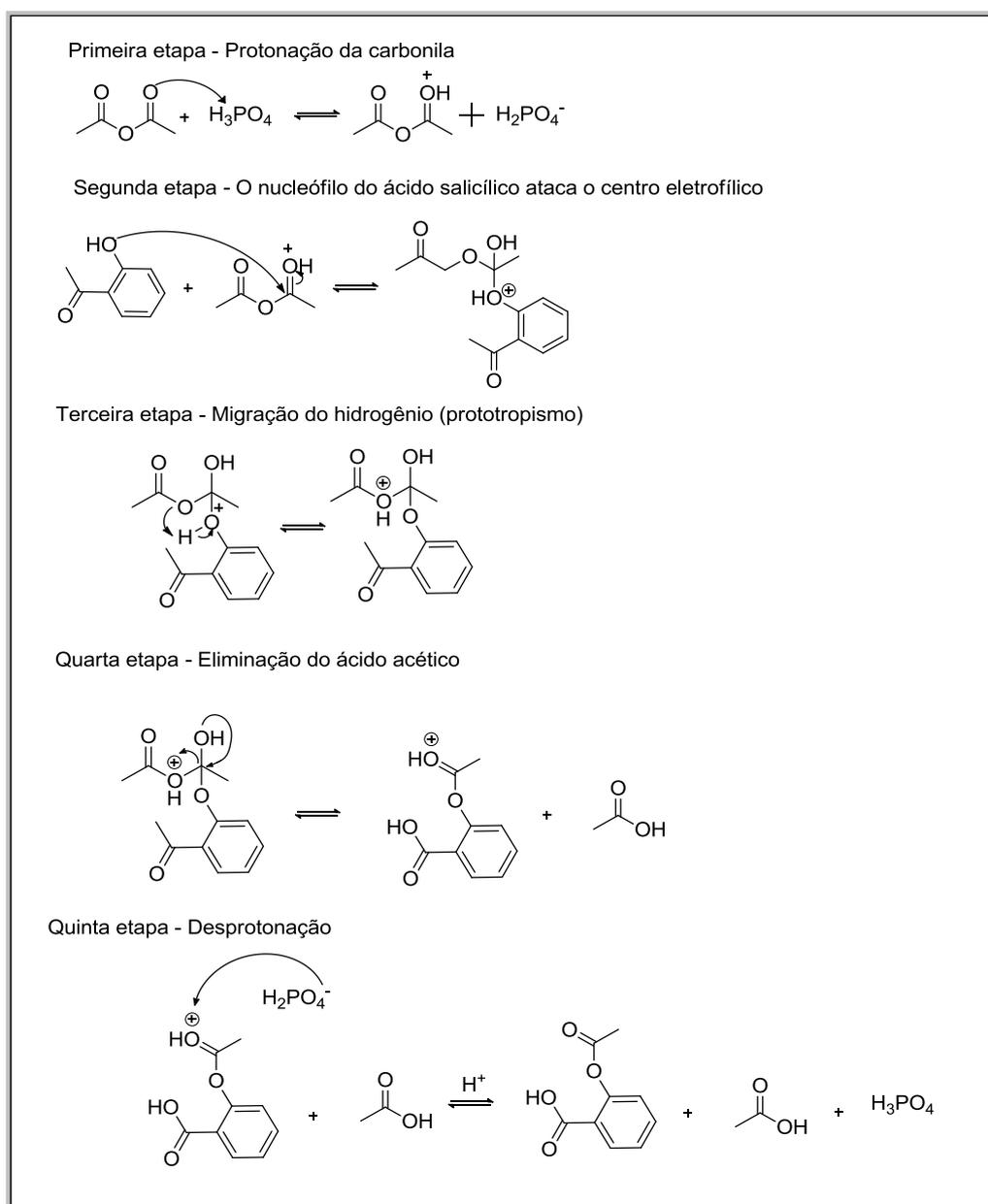


Fonte: STEFANELLI, 2014.

### 6.3.1 Metodologia da síntese

Através do emprego de irradiação MO, realiza-se esta mesma reação em aquecimento por 5 minutos. Para isto, adicionou-se num bécher 1,38g de ácido salicílico, 3,06g de anidrido acético e duas gotas de ácido fosfórico, homogeneizou-se se elevou para aquecimento por irradiação MO. Após este processo, recristalizou-se o sólido utilizando água e obteve-se o produto com 84,44% de rendimento. Disponibiliza-se, na Figura 14, o mecanismo reacional da síntese de AAS.

Figura 14: Mecanismo de reação da síntese de AAS



Fonte: Elaborada pela autora – ChemDraw 12.

O produto foi caracterizado por ponto de fusão, obtendo-se o valor experimental de 133°C que se aproxima do valor teórico, que é de 135°C (SANTIAGO, 2017).

### 6.3.2 Avaliação do método proposto em comparação ao método convencional

A síntese de ácido acetilsalicílico convencionalmente é realizada em refluxo por 2 horas, utilizando uma manta de aquecimento e apresenta rendimento de aproximadamente 75% (PORTO, 2004).

Utiliza-se como parâmetro as informações disponibilizadas pelo fabricante (Fisatom) das mantas de aquecimento (modelo 22E – potência 135W) utilizadas nos laboratórios do IFRJ – CDuC, e pelo fabricante o aparelho utilizado (Philco) que tem potência de 2000W. Com isso pode-se mensurar os ganhos energéticos, além de comparar o método convencional com o proposto neste trabalho (Quadro 3).

Quadro 3: Método convencional VS MO na síntese de AAS

Método convencional	Método por irradiação de MO
Longo tempo de reação (2 horas em refluxo)	Curto tempo de reação (5 minutos)
Altos gastos energéticos (270W)	Economia energética de 38% em comparação com método convencional (economiza 103,34W)
Utiliza mais recipientes, aumentando perdas por transferência	Reação “one-pot”, minimizando perdas por transferência

Fonte: Elaborada pela autora.

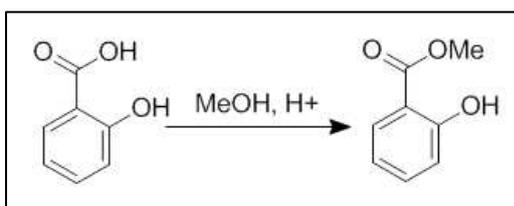
### 6.4 SÍNTESE DO SALICILATO DE METILA

Analisando-se uma planta (*Securidaca longepedunculata* Fers - Polygalaceae) amplamente utilizada em muitas regiões da África para o tratamento de febre, dor, inflamações e doenças reumáticas (além de sua aplicação no controle de pragas e como repelente contra insetos), e constatou-se que mais de 90% da fração volátil analisada é constituída de salicilato de metila (JAYSEKARA, 2002).

O salicilato de metila pode representar mais de 95% do óleo essencial de algumas plantas, sendo assim é possível sua extração para utilização na indústria

farmacêutica (considerando-se seu efeito analgésico e anti-inflamatório), contudo, a utilização do salicilato de metila sintético é mais viável, tendo em vista que os custos envolvidos em sua síntese são mais baixos que os de sua extração (CAVALEIRO, 2007). Disponibiliza-se a seguir o esquema geral de síntese do salicilato de metila (Figura 15).

Figura 15: Esquema - Síntese de salicilato de metila

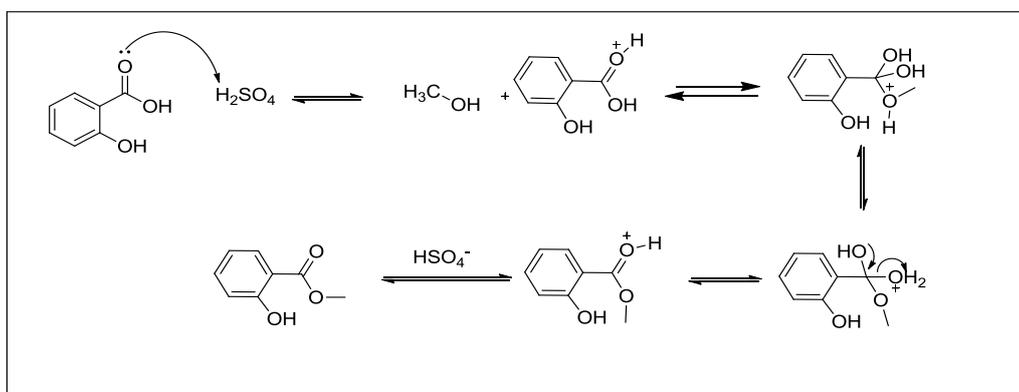


Fonte: Elaborada pela autora – ChemDraw 12.

#### 6.4.1 Metodologia da síntese

Através da irradiação de MO, realiza-se esta mesma reação em apenas 1 minuto. Para isto, adicionou-se num bécher 7,5g de ácido salicílico, 0,8g de metanol e 0,15ml de ácido sulfúrico, homogeneizou-se e levou-se para aquecimento no aparelho de micro-ondas doméstico, por 1 minuto, obtendo-se um produto oleoso com 90% de rendimento. Disponibiliza-se a seguir, na Figura 16, o mecanismo de síntese deste.

Figura 16: Mecanismo de reação da síntese do salicilato de metila



Fonte: Elaborada pela autora – ChemDraw 12.

Conforme a Figura 16, o par de elétrons do oxigênio carboxílico ataca o hidrogênio do meio ácido (protonação do oxigênio), e a dupla ligação se desfaz com o ataque nucleofílico do carbono carbonílico formando um intermediário. Em seguida, há uma transferência de prótons intramolecular. O par de elétrons do meio ácido ataca o hidrogênio do grupo hidroxila ligado ao carbono carbonílico desprotonando o oxigênio e formando o produto (salicilato de metila), com a subsequente liberação de água.

O produto foi caracterizado por ponto de ebulição, obtendo-se o valor experimental de aproximadamente 223°C que se aproxima do valor teórico, que é de 221°C a 225°C (ANVISA, 2005).

#### 6.4.2 Avaliação do método proposto em comparação ao método convencional

A síntese de salicilato de metila convencionalmente é realizada sob refluxo durante 5 horas, utilizando uma manta de aquecimento e apresenta rendimento próximo de 62% (ZANDONÁ, 2013). Desta forma, em 5 horas de refluxo em aquecimento convencional (manta de aquecimento com potência de 135W), consome-se 675W.

Considerando as informações disponibilizadas pelo fabricante do aparelho de micro-ondas utilizado, bem como dos aparelhos tomados como referência neste trabalho, pode-se mensurar os ganhos obtidos em relação a economia energética do método empregado, e compara-se a metodologia proposta com a convencional (Quadro 4).

Quadro 4: Método convencional VS MO na síntese de salicilato de metila

Método convencional	Método por irradiação de MO
Longo tempo de reação (5 horas em refluxo)	Curto tempo de reação (1 minuto)
Altos gastos energéticos (675W)	Economia energética de 95% em comparação com método convencional (economiza 641,67W)
Utiliza mais recipientes, aumentando perdas por transferência	Reação "one-pot", minimizando perdas por transferência

Rendimento reacional de 62%	Rendimento reacional de 90%
-----------------------------	-----------------------------

Fonte: Elaborada pela autora

## 6.5 O EVENTO “DIA VERDE” – SEGUNDA EDIÇÃO

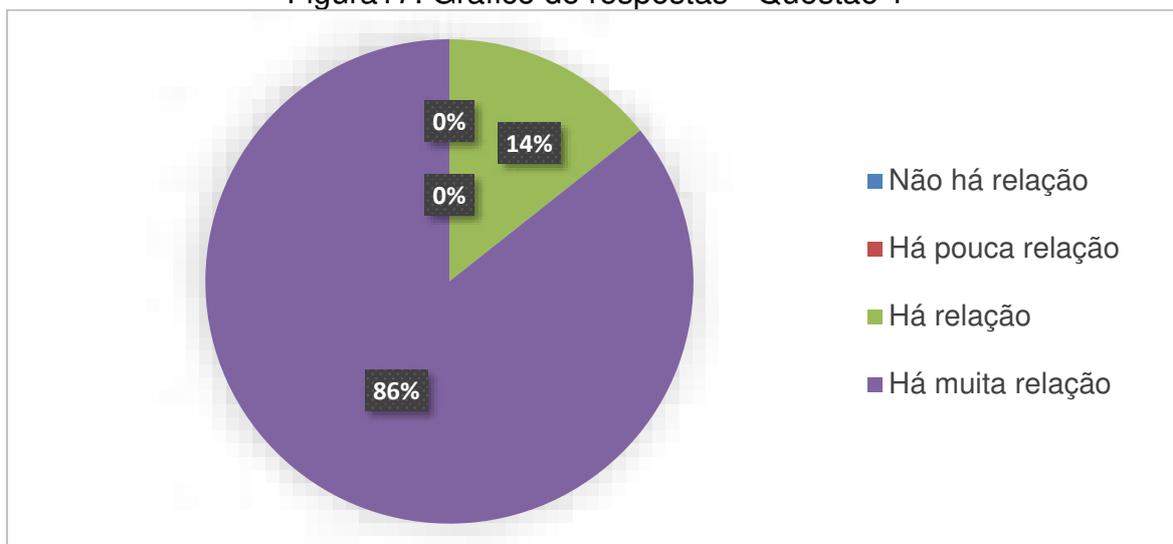
O evento “Dia verde: Repensando práticas de laboratório no ensino de química de forma sustentável – Segunda edição”, ocorreu no dia 17 de maio de 2018, no laboratório de Química Orgânica do IFRJ – CDuC. Neste evento recebeu-se alunos do ensino médio-técnico, alunos de licenciatura em química e seus professores, bem como professores e alunos de outras instituições (50 visitantes no total).

Os visitantes inicialmente aprendiam sobre a Química Verde e seus doze tópicos e então seguiam, divididos em grupos, para a visita no laboratório onde havia a exposição de experimentos (alterados com a inserção de irradiação M.O, bem como de outros conceitos de Química Verde) nas bancadas. Ao fim da visita respondia-se a um questionário (Apêndice E) a fim de obter retorno sobre questões do atual trabalho, como sobre sua aplicabilidade, viabilidade, importância, aceitação, aspectos positivos e aspectos negativos.

Disponibiliza-se a seguir uma listagem com as questões inseridas no questionário aplicado (disponível no apêndice), bem como os gráficos referentes às respostas obtidas nas respectivas questões.

**Questão 1** (Figura 17) - Existe relação entre a química e o meio ambiente?

Figura17: Gráfico de respostas - Questão 1

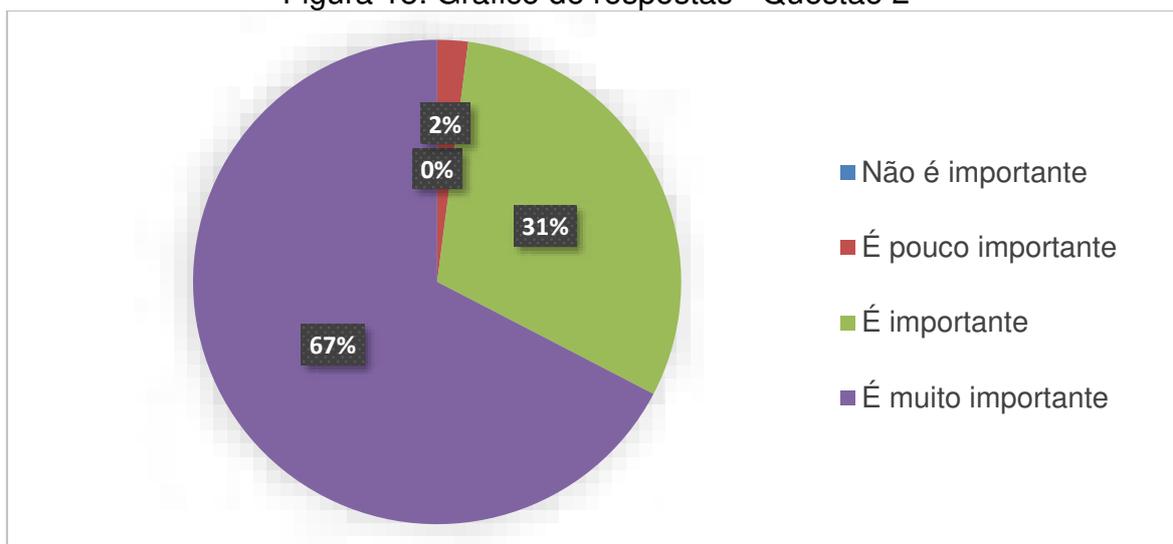


Fonte: elaborado pela autora.

De acordo com o gráfico (Figura 17), 100% dos visitantes que responderam ao questionário admitiram haver relação entre a química e o meio ambiente, dentre estes, 86% acreditam que “há muita relação” entre estes temas.

**Questão 2** (Figura 18) - É importante a inserção dos conceitos de Química Verde nas aulas práticas de química?

Figura 18: Gráfico de respostas - Questão 2



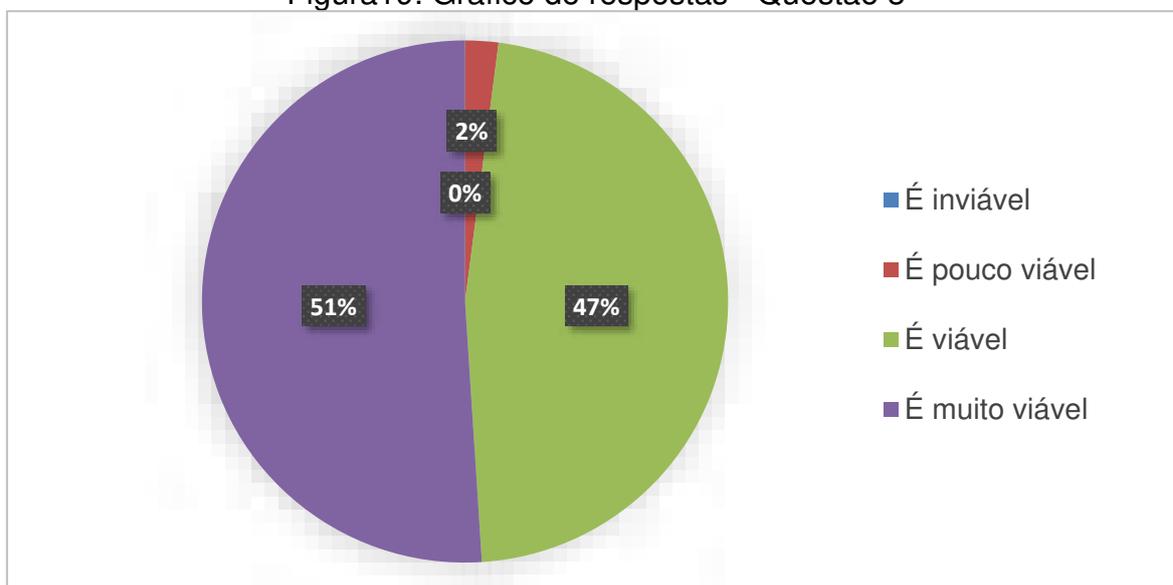
Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme o gráfico (Figura 18), respectivo à questão 2, todos os visitantes que estiveram presentes no “Dia Verde – Segunda edição”, e responderam ao

questionário, consideram relevante a inserção dos conceitos de QV nas aulas práticas de química. Dentre eles 2% consideram “pouco importante”, 31% “importante” e 67% “muito importante”, demonstrando-se assim, que a maioria dos visitantes reconhece a importância da filosofia da Química Verde em seu amplo significado.

**Questão 3** (Figura 19) - É viável a aplicação dos conceitos de Química Verde nas aulas práticas de química?

Figura19: Gráfico de respostas - Questão 3

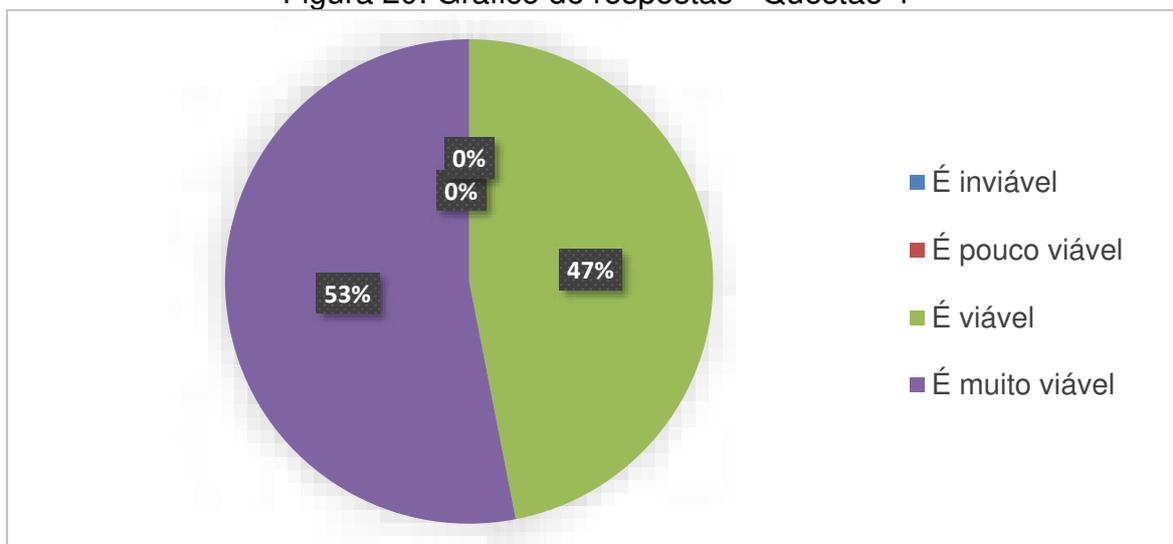


Fonte: Elaborado pela autora.

Como observado no gráfico (Figura 19), os visitantes consideram viável a aplicação dos conceitos de Química Verde nas aulas práticas de química, onde 2% considera “pouco viável”, 47% “viável” e 51% “muito viável”. Vale lembrar que ao início do evento, explicou-se cada um dos doze conceitos de Química Verde, e a cada demonstração de experimento mencionou-se os conceitos abordados.

**Questão 4** (Figura 20) - É viável a utilização do aparelho de micro-ondas doméstico em aulas práticas de química?

Figura 20: Gráfico de respostas - Questão 4

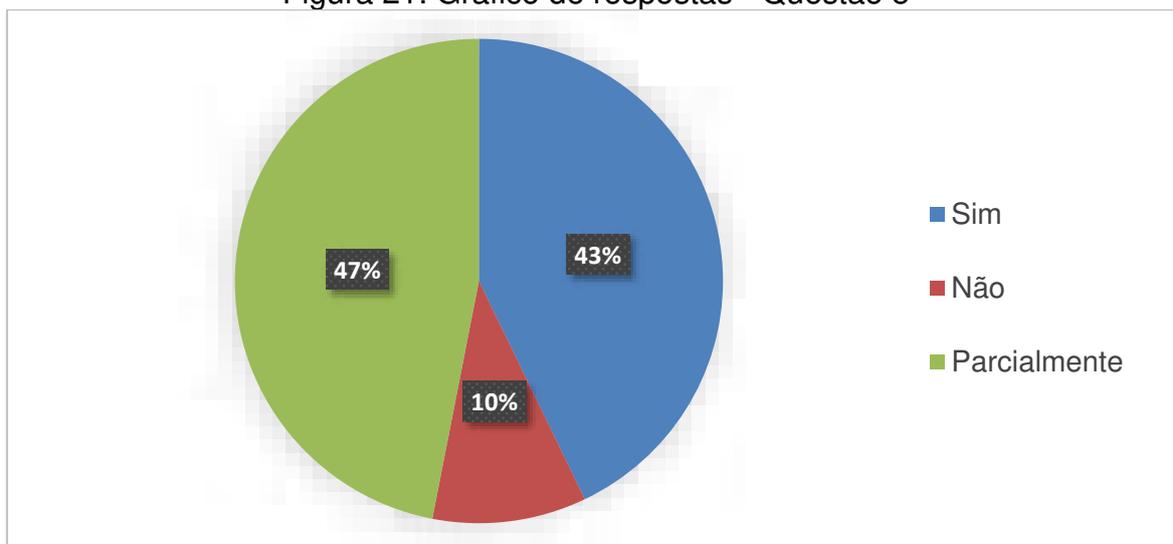


Fonte: Elaborado pela autora

Quanto a questão 4 (Figura 20), 100% dos visitantes considera viável a utilização do aparelho de MO doméstico em aulas práticas de química. 47% respondeu “é viável” e 53% “é muito viável”.

**Questão 5** (Figura 21) - Relembrando experimentos que já tenha visto até hoje, você vê a inserção de conceitos de Química Verde neles?

Figura 21: Gráfico de respostas - Questão 5

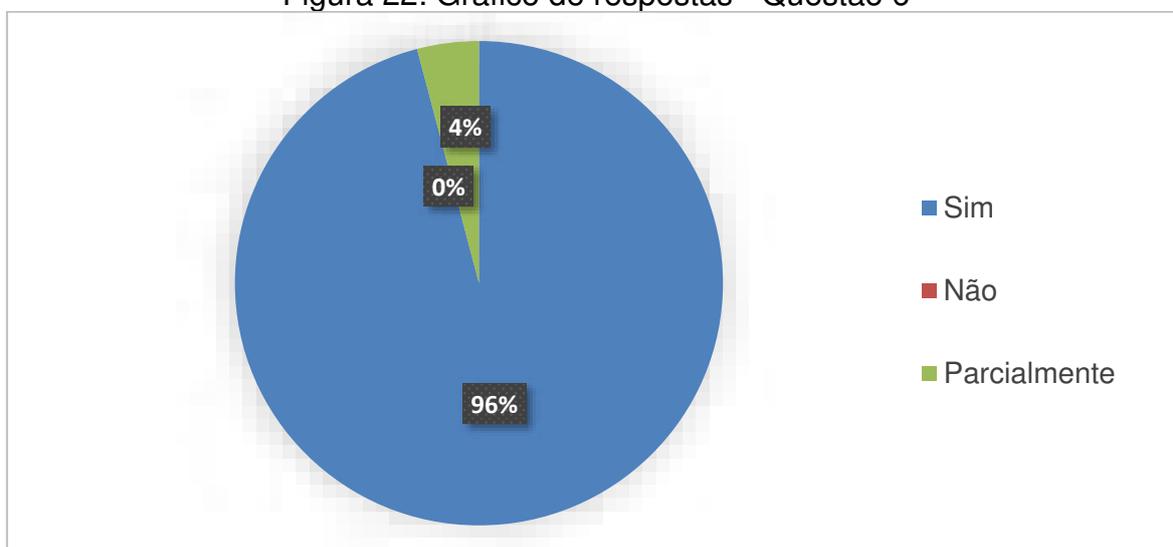


Fonte: Elaborado pela autora

De acordo com o gráfico (Figura 21), 10% dos alunos não conseguiram lembrar de sequer um experimento que tenha visto em sua carreira acadêmica onde foi inserido algum conceito de Química Verde, 43% respondeu “sim”, e 47% observaram que estes conceitos foram inseridos “parcialmente” em alguma prática que se recorde.

**Questão 6** (Figura 22) - Você conseguiu observar a aplicação de conceitos de Química Verde nos experimentos expostos neste evento?

Figura 22: Gráfico de respostas - Questão 6



Fonte: Elaborado pela autora

Como observado no gráfico (Figura 22), todos os visitantes presentes no evento conseguiram observar a inserção dos conceitos de Química Verde nos experimentos (alterados com o uso de irradiação de micro-ondas) expostos, onde apenas 4% marcaram a opção “parcialmente”. Acredita-se que os visitantes em questão tiveram neste evento seu primeiro contato com a Química Verde, deste modo o tempo pode ter sido insuficiente para a assimilação e compreensão de seus conceitos, justificando a dificuldade por parte destes em visualizar a forma com que esses conceitos se aplicam na prática, e ressaltando a necessidade de divulgação da Química Verde.

**Questão 7** - Você gostaria que houvesse a inserção de conceitos de Química Verde em suas aulas experimentais? justifique.

Nesta questão foi unânime a resposta afirmativa dos visitantes, que em suas justificativas citaram fatos como a importância da conscientização de alunos e professores, a necessidade de se otimizar o tempo em laboratório, a preocupação com o impacto causado pela atividade química, a busca por formas mais seguras de experimentação, entre outros fatores. Alguns professores, inclusive relataram em suas respostas o interesse em inserir as metodologias expostas no evento em suas aulas práticas. Cita-se a seguir algumas das respostas obtidas.

- a) “Sim, porque a química acontece além da formação de produtos, por isso, deve-se ensinar todas as etapas ao estudante. Desde a formação à causas e efeitos dela”.
- b) “Sim, pois tornariam as aulas mais rápidas, com métodos de eficiência energética e gerariam menos resíduos”.
- c) “Sim, pois algumas práticas têm contato com substâncias danosas à saúde e a Química Verde torna esse risco desnecessário”.
- d) “Sim, a utilização da Química Verde expõe aos alunos conceitos importantes da química, bem como pode ajudar nas questões que nos cercam e são pertinentes ao nosso cenário econômico, social, enfim, divulgação e desmistificação da química como causa de coisas ruins e mostra benefícios dela para os processos na sociedade”.
- e) “Sim, inclusive vou utilizá-los pois viabilizam algumas práticas. Pretendo utilizá-los”.
- f) “Sim, acho de grande importância para meus alunos de ensino médio”.

Com a análise das respostas obtidas com este questionário, é possível notar que a maioria dos alunos conseguiu entender e visualizar a aplicação dos conceitos de Química Verde, e também puderam compreender as demandas envolvidas no contexto ambiental e acadêmico que tornam a inserção destes conceitos necessária.

Após a coleta e análise de dados, bem como análise dos resultados obtidos em cada uma das metodologias propostas, desenvolveu-se novos roteiros, disponíveis nos apêndices A, B, C e D do presente trabalho.

## 7 CONCLUSÃO

Os experimentos propostos para as aulas práticas de química orgânica demonstraram-se aplicáveis, mais eficientes e mais econômicos quando comparados com os experimentos convencionais. Visto que se alcançou maiores rendimentos, menor tempo reacional e baixo consumo energético entre outros ganhos.

Com a aplicação do questionário ao fim do evento “Dia Verde – Segunda edição” obteve-se retorno de que seria o “público alvo” do presente trabalho (professores e alunos do IFRJ- CDuC e de outras instituições). Os visitantes, através de suas respostas, demonstraram receptividade aos métodos propostos e reconheceram a necessidade da inserção dos conceitos de QV nas aulas práticas de química como meio de buscar formas mais sustentáveis de exercer a atividade química.

Durante o evento pôde-se notar que a maioria dos visitantes tiveram lá seu primeiro contato com a QV, ressaltando a necessidade de divulgação desta filosofia, já que a utilização do aparelho de micro-ondas doméstico, bem como os conceitos da química limpa em sua totalidade, são de grande viabilidade e apresentam-se como solução para diversos problemas já citados anteriormente, que se tratam não só de questões ambientais, como também demandas relacionadas ao contexto acadêmico, como por exemplo a escassez de tempo e de recursos.

A Química Verde é um desafio para aqueles que procuram aplicar os seus princípios na indústria, educação ou pesquisa. Os desafios trazidos por essa prática geram grandes oportunidades para descobertas e aplicações de novas tecnologias químicas, visando a melhora das condições ambientais, e ainda a desconstrução do estigma de que a química é um risco à saúde humana e à natureza.

## REFERÊNCIAS

- ALONSO, A; COSTA, V; MACIEL, D. Identidade e estratégia na formação do movimento ambientalista brasileiro. **Novos estudos – CEBRAP**. São Paulo, n. 79, 2007.
- BARRETO, A. F. S. Reações Multicomponentes de Isocianetos Consecutivas Assistidas por Micro-ondas: Síntese de Ciclopeptóides e Ciclopepsipeptóides Análogos da Verticilida e Sansalvamida A. 2013. 110 f. **Tese** - Curso de Química, Instituto de Química-iq, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- BELTRAME, M. B.; MOURA, G. R. S. Edificações escolares: infra-estrutura necessária ao processo de ensino e aprendizagem escolar. **Revista travessias**. Cascavel. v. 3, n. 2, 2009.
- BRAIBANTE, H. T. S; BRAIBANTE, M. E. F. A versatilidade do K-10, como suporte sólido, em reações orgânicas. **Ciência e Natura**. Santa Maria. v. 36. Ed. Especial II, p. 724-731, 2014.
- CAVALEIRO, C. **Plantas aromáticas e óleos essenciais em farmácia e medicina**. Potencialidades e aplicações das plantas aromáticas e medicinais. Edição da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Centro de Biotecnologia Vegetal, Lisboa, Curso teórico-prático, p. 55-62, 2007.
- COSTA, D. A. Métricas de Avaliação da Química Verde – Aplicação no Ensino Secundário, **Tese de Doutorado**, Faculdade de Ciências do Porto, 2012.
- CUE, B. W.; ZHANG, J. Green process chemistry in the pharmaceutical industry. **Green Chemistry Letters and Reviews**. Londres, v. 2, n. 4, 2009.
- DALLINGER, D; KAPPE, C. O. Microwave-Assisted Synthesis in Water as Solvent. **Chemical Reviews**, [s.l.], v. 107, n. 6, p. 2563-2591, 2007.
- DÖMLING, Alexander. Recent advances in isocyanide-based multicomponent chemistry. **Current Opinion In Chemical Biology**, [s.l.], v. 6, n. 3, p. 306-313, 2002.
- FARIAS, L. A.; FÁVORO, D. I. T. Vinte anos de química verde: conquistas e desafios. **Química nova**. São Paulo. v. 34, n. 6, p.1089-1093, 2011.
- FERREIRA, L. H.; OLIVEIRA, R. C. Ensino Experimental de Química: Uma abordagem investigativa contextualizada. **Química Nova na Escola**. São Paulo, v. 32, n. 2, 2010.
- FRÈRE, S; THIÉRY, V; BESSON, T. Microwave acceleration of the Pechmann reaction on graphite/montmorillonite K10: application to the preparation of 4-substituted 7-aminocoumarins. **Tetrahedron Letters**, [s.l.], v. 42, n. 15, p.2791-2794, 2001.

GIL-PEREZ, D et al. ¿Tiene sentido seguir entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? **Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 2, p. 311-320, 1999.

GIL-PÉREZ, D. New trends in science education. **International Journal Of Science Education**, [s.l.], v. 18, n. 8, p. 889-901, 1996.

GRONNOW, M. J. et al. Energy Efficiency in Chemical Reactions: A Comparative Study of Different Reaction Techniques. **Organic Process Research & Development**, [s.l.], v. 9, n. 4, p.516-518, 2005.

GUIMARÃES, C. C. Experimentação no ensino de química: Caminhos e descaminhos Rumo à aprendizagem significativa. **Química Nova na Escola**. São Paulo, v. 31, n. 3, 2009.

JACOBI, P. R. Educação ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. **Educação e pesquisa**, v. 31, n. 2, 2005.

JAYASEKARA, T. K. et al. Identification of methyl salicylate as the principal volatile component in the methanol extract of root bark of *Securidaca longepedunculata* Fers. **Journal of mass spectrometry**, v. 37, n. 6, p. 577-580, 2002.

LEAL, A. L.; MARQUES, C. A. Conhecimento químico e a questão ambiental na formação docente. **Química Nova na Escola**. São Paulo, n. 29, 2008.

LENARDÃO, E. J. et al. "Green Chemistry" – Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**. São Paulo. v. 26, n. 1, p.123-129, 2003.

LÔBO, S. F. O trabalho experimental no ensino de Química. **Química nova**. São Paulo. v. 35, n. 2, p. 430-434, 2012.

OLIVEIRA, L. D. OS limites do crescimento 40 anos depois: Das Profecias do Apocalipse Ambiental ao Futuro Comum Ecologicamente Sustentável. **Revista Continentes** (UFRRJ). Rio de Janeiro, ano 1, n. 1, 2012.

OLMSTED III, John A. Synthesis of aspirin: A general chemistry experiment. **Journal of chemical education**, v. 75, n. 10, p. 1261, 1998.

PORTO, C. L. utilização de microondas em síntese orgânica. 2004. 51 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** - Curso de Bacharelado e Licenciatura em Química, Instituto de Química e Geociências, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2004.

PRO BUENO, A. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Murcia. Se Pueden enseñar contenidos procedimentales em lãs clases de ciências? **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 16, n. 1, p. 21-41, 1998.

RANU, B. C; HAJRA, A; DEY, S. S. A Practical and Green Approach towards Synthesis of Dihydropyrimidinones without Any Solvent or Catalyst. **Organic Process Research & Development**, v. 6, n. 6, p.817-818, 2002.

ROSINI, F.; NASCENTES, C. C.; NÓBREGA, J. A. Experimentos didáticos envolvendo radiação microondas. **Química nova**. São Paulo. v. 27, n. 6, p. 1012-1015, 2004.

SANSEVERINO, A. M. Microondas em Síntese Orgânica. **Química nova**. São Paulo. v. 25, n. 4, p. 660-667, 2002.

SANTIAGO, J.C.C. et al. Síntese e determinação do ponto de fusão da aspirina. **57º Congresso Brasileiro de Química**. Gramado. 2017.

SHARMA, R. K.; GULATI, Shikha; MEHTA, Shilpa. Preparation of gold nanoparticles using tea: a green chemistry experiment. **Journal of Chemical Education**, v. 89, n. 10, p. 1316-1318, 2012.

SHELDON, R A. The E Factor: fifteen years on. **Green Chemistry**, [s.l.], v. 9, n. 12, p. 18-43, 2007.

SINHAMAHPATRA, A et al. Mesoporous zirconium phosphate: An efficient catalyst for the synthesis of coumarin derivatives through Pechmann condensation reaction. **Applied Catalysis A: General**, [s.l.], v. 394, n. 1-2, p.93-100, 2011.

SOUZA, V. P. Síntese de dihidropirimidinonas fluorescentes via reação multicomponente de biginelli e estudo fotofísico visando aplicação como sondas moleculares. 2017. 123 f. **Dissertação** - Curso de Programa de Pós-graduação em Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

STEFANELLI, A. R. Contribuição ao estudo da acilação de ácido salicílico incentivada por micro-ondas. 2014. 125 f. **Dissertação** - Curso de Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2014.

TAVOLARO, S. Movimento ambientalista e modernidade: sociabilidade, risco e moral. 1ª Ed. São Paulo. **Annablume/FAPESP**. p. 226. 2001.

TIEZZI, E; FERREIRA, F. R. C; BRANDAO, L. E. L. **Tempos históricos, tempos biológicos**: A terra ou a morte: Os problemas da nova ecologia. São Paulo: Nobel, 1988. 204 p.

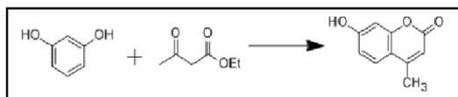
VIEIRA, L. C. C. Síntese de uma coleção de cumarinas, possíveis inibidores da enzima acetilcolinesterase. **Dissertação** - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

ZANDONÁ, G. L. Síntese, caracterização e estudo da reatividade de salicilatos e benzoatos de alquila resorcinólicos com íons metálicos. 2013. 80 f. **Dissertação** - Curso de Programa de Pós-graduação em Química, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2013.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – Roteiro 1

#### Síntese de cumarina



#### Materiais e reagentes

- |                             |                        |                                      |
|-----------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| ○ 1 Argola;                 | ○ 1 Forno micro-ondas; | ○ 1 Vidro de relógio;                |
| ○ 1 Balança semi-analítica; | ○ 1 Funil de vidro;    | ○ 1,1g de 1,3-Diidroxibenzeno;       |
| ○ 1 Bécher de 50ml;         | ○ 1 Papel filtro;      | ○ 1,35g de Acetoacetato de etila;    |
| ○ 1 Bécher de 150ml;        | ○ 1 Suporte universal; | ○ 1,5g de Argila K10 montmorilonita; |
| ○ 1 Espátula;               | ○ 1 Haste de vidro;    | ○ 25ml de Éter etílico.              |

#### Procedimento

- Adicionar num bécher de 50ml 1,1g de 1,3-diidroxibenzeno ( $C_6H_4(OH)_2$ ) e dissolver em 1,35g de acetoacetato de etila ( $C_4H_8O_2$ );
- Em seguida acrescentar 1,5g de argila K10 montmorilonita e homogeneizar utilizando uma haste de vidro até a obtenção de uma mistura pastosa e levar a mistura resultante para aquecimento no forno de micro-ondas caseiro por 5 minutos;
- Após o tempo de aquecimento filtrar a mistura obtida utilizando uma pequena quantidade de éter conforme o esquema a seguir, onde utiliza-se suporte universal, argola, papel filtro e funil de vidro e um bécher de 150ml para recolher o filtrado;



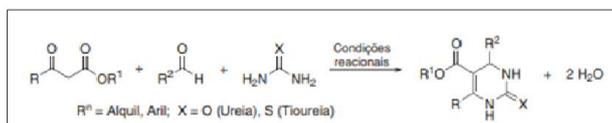
- Posicionar o papel filtro com o produto final num vidro de relógio para evaporação do solvente com o objetivo de obter um sólido branco.

#### Contexto da química verde neste experimento

- Evita-se a utilização do  $H_2SO_4$  como catalisador, substituindo-o pelo catalisador ácido sólido K10 Montmorilonita (que pode ser reutilizado posteriormente);
- A reação é feita no estado sólido, evitando o uso de solventes;
- Redução significativa do tempo de reação com irradiação de MO;
- Reação "one-pot" evitando perdas por transferência;
- Engloba os seguintes conceitos da Química Verde: I (Prevenção), II (Economia Atômica), III (Sínteses com Reagentes de Menor Toxicidade), V (Diminuição de Solventes e Auxiliares), VI (Eficiência energética), IX (Catálise) e XII (Química Segura para a Prevenção de Acidentes).

## APÊNDICE B – Roteiro 2

### Síntese de dihidropirimidinona



#### Materiais e reagentes

- Água destilada;
- 1 Forno micro-ondas;
- 1 Vidro de relógio;
- 1 Argola;
- 1 Funil de vidro;
- 1,3g de acetoacetato de etila
- 1 Balança semi-analítica;
- 1 Papel filtro;
- 1,5g de benzaldeído;
- 2 Bécher de 50ml;
- 1 Suporte universal;
- 0,7g de Ureia;
- 1 Espátula;
- 1 Haste de vidro;
- Gelo.

#### Procedimento

- Adicionar num bécher de 50ml 1,1g de benzaldeído, 1,3g de acetoacetato de etila ( $C_4H_8O_2$ ) e 0,7g de ureia, homogeneizar utilizando uma haste de vidro até a obtenção de uma mistura pastosa e levar a mistura resultante para aquecimento no forno de micro-ondas caseiro por 5 minutos;
- Após o tempo de aquecimento recristalizar o sólido com água destilada conforme o esquema a seguir, onde utiliza-se suporte universal, argola, papel filtro e funil de vidro e um bécher para recolher o filtrado;



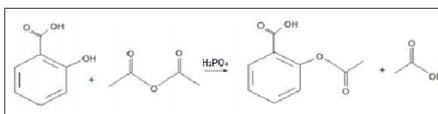
- Recolher o filtrado num bécher de 150ml e levar para banho de gelo para a obtenção de um sólido incolor com maior grau de pureza.

#### Contexto da química verde neste experimento

- Evita-se a utilização de catalisador ácido;
- Redução significativa do tempo de reação com irradiação de MO;
- Engloba os seguintes conceitos da Química Verde: I (Prevenção), II (Economia Atômica), III (Sínteses com Reagentes de Menor Toxicidade), V (Diminuição de Solventes e Auxiliares), VI (Eficiência energética) e XII (Química Segura para a Prevenção de Acidentes).

## APÊNDICE C – Roteiro 3

### Síntese de AAS



#### Materiais e reagentes

- |                             |                        |                              |
|-----------------------------|------------------------|------------------------------|
| ○ Água destilada;           | ○ 1 Forno micro-ondas; | ○ 1 Vidro de relógio;        |
| ○ 1 Argola;                 | ○ 1 Funil de vidro;    | ○ 2 gotas de Ácido fosfórico |
| ○ 1 Balança semi-analítica; | ○ 1 Papel filtro;      | ○ 1,38g de Ácido salicílico; |
| ○ 2 Bécher de 50ml;         | ○ 1 Suporte universal; | ○ 3,06g de Anidrido acético; |
| ○ 1 Espátula;               | ○ 1 Haste de vidro;    | ○ Gelo.                      |

#### Procedimento

- Adicionar num bécher de 50ml 1,38g de ácido salicílico, 3,06g de anidrido acético e duas gotas de ácido fosfórico, homogeneizar utilizando uma haste de vidro até a obtenção de uma mistura pastosa e levar a mistura resultante para aquecimento no forno de micro-ondas caseiro por 5 minutos;
- Após o tempo de aquecimento recrystalizar o sólido com água destilada conforme o esquema a seguir, onde utiliza-se suporte universal, argola, papel filtro e funil de vidro e um bécher para recolher o filtrado;



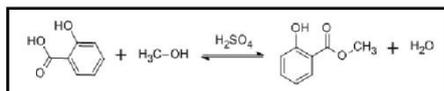
- Recolher o filtrado num bécher de 150ml e levar para banho de gelo para a obtenção de um produto sólido com maior grau de pureza.

#### Contexto da química verde neste experimento

- Redução significativa do tempo de reação com irradiação de MO;
- Engloba os seguintes conceitos da Química Verde: I (Prevenção), II (Economia Atômica) e VI (Eficiência energética).

## APÊNDICE D – Roteiro 4

### Síntese de Salicinato de metila



#### Materiais e reagentes

- 1 Balança semi-analítica;
- 1 Espátula;
- 1 Forno micro-ondas;
- 7,6g de Ácido salicílico;
- 0,15ml de Ácido sulfúrico;
- 0,8g de Metanol.

#### Procedimento

- Adicionar num bécher de 50ml 7,6g de ácido salicílico, 0,8g de metanol e 0,15ml de ácido sulfúrico, homogeneizar utilizando uma haste de vidro até a obtenção de uma mistura pastosa e levar a mistura resultante para aquecimento no forno de micro-ondas caseiro por 1 minuto;
- Observar a formação do produto desejado através do odor característico.

---

#### Contexto da química verde neste experimento

- Redução significativa do tempo de reação com irradiação de MO;
- Engloba os seguintes conceitos da Química Verde: I (Prevenção), II (Economia Atômica) e VI (Eficiência energética).

## APÊNDICE E – Questionário



Considerando o que você aprendeu sobre a química verde e os experimentos expostos no evento responda o seguinte questionário:

1- Existe relação entre a química e o meio ambiente?

- Não há relação
- Há pouca relação
- Há relação
- Há muita relação

2- É importante a inserção dos conceitos de química verde nas aulas práticas de química?

- Não é importante
- É pouco importante
- É importante
- É muito importante

3- É viável a aplicação dos conceitos de química verde nas aulas práticas de química?

- Inviável
- Pouco viável
- Viável
- Muito viável

4- É viável a utilização do aparelho de micro-ondas doméstico em aulas práticas de química?

- Inviável
- Pouco viável
- Viável
- Muito viável

5- Você conseguiu observar a aplicação de conceitos de química verde nos experimentos expostos neste evento?

- Sim
- Não
- Parcialmente

6- Relembrando experimentos que já tenha visto até hoje, você vê a inserção de conceitos de química verde neles?

- Sim
- Não
- Parcialmente

7- Você gostaria que houvesse a inserção de conceitos de química verde em suas aulas experimentais? Justifique.