



Universidade de São Paulo  
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto  
Departamento de Química  
Programa de Pós-Graduação em Química

**Estudo do pentacloro de nióbio na obtenção de derivados de triarilmetano e de antraceno via reações do tipo Friedel-Crafts e Bradsher e estudos fotofísicos dos compostos obtidos**

Giovanni Stoppa Baviera

Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências, Área: **Química**

RIBEIRÃO PRETO - SP

2022



Universidade de São Paulo  
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto  
Departamento de Química  
Programa de Pós-Graduação em Química

**Estudo do pentacloro de nióbio na obtenção de derivados de triarilmetano e de antraceno via reações do tipo Friedel-Crafts e Bradsher e estudos fotofísicos dos compostos obtidos**

Giovanni Stoppa Baviera

Orientador: Prof. Dr. Paulo Marcos Donate

Co-Orientadora: Profa. Dra. Rogéria Rocha Gonçalves

Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências, Área: **Química**

RIBEIRÃO PRETO - SP

2022

Baviera, Giovanni Stoppa

Estudo do pentacloreto de nióbio na obtenção de derivados de triarilmetano e de antraceno via reações do tipo Friedel-Crafts e Bradsher e estudos fotofísicos dos compostos obtidos. Ribeirão Preto, 2022.

138 p. : il. ; 30 cm

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto/USP. Área de concentração: Química.

Orientador: Donate, Paulo Marcos.

1. 9-antraldeído. 2. Pentacloreto de nióbio. 3. Reação de Bradsher. 4. Reação de Friedel-Crafts. 5. Triarilmetano.

“ Às vezes ficamos com a impressão de que todas as descobertas importantes já foram feitas. Não se iluda. Do mais simples ao mais complexo, ainda há um número enorme de problemas sem solução, esperando que algum brilhante cientista possa esclarecê-los. ”

Prof. Dr. Maurício Gomes Constantino,  
em seu livro Química Orgânica - Curso Básico Universitário, Vol. 2

## **Agradecimentos**

Agradeço, primeiramente, à família que tanto amo, por todo o apoio, dedicação e incentivo durante todo esse período;

Ao Prof. Dr. Paulo Marcos Donate pela paciência, ajuda e disposição durante toda a minha orientação, em que sempre se certificou de que nenhum auxílio me faltasse;

Agradeço à minha co-orientadora Profa. Dra. Rogéria Rocha Gonçalves pelas palavras e conselhos que sempre me incentivaram. Também à Dra. Karmel de Oliveira, juntamente a todos os membros do Laboratório Mater Lumen, pela ajuda, disponibilidade e aprendizado;

À Rafaela, por todo o apoio, ajuda, conselhos e parceria durante esses anos;

Aos amigos e colegas do Laboratório de Síntese Orgânica do DQ-USP.  
À Thais, ao Mike, Hugo, João Pedro, Lucas, pelas tardes de café, pelos almoços juntos e pelas conversas descontraídas;

Aos muitos amigos que a faculdade me concedeu, incluindo, principalmente, o grupo PDP;

Ao técnico e amigo Vinicius Palaretti, pela competência e rapidez na obtenção dos espectros, mas, principalmente, por todos os conselhos e desabafos;

Ao amigo Dr. Daniel Previdi, por toda conversa e por toda ajuda, mesmo estando longe;

À Dra. Shirley, por ter redigido o projeto de pesquisa;

A todos os funcionários do Departamento de Química. Ao pessoal da limpeza e também a todos os funcionários da Cantina do Valter;

A todos os docentes do Departamento de Química, que contribuíram direta ou indiretamente com a minha formação;

À CAPES, pela bolsa de estudos durante o período do mestrado e à FAPESP pelo financiamento do laboratório;

A todos que contribuíram na execução deste trabalho, seja de forma direta ou indireta, deixo aqui os meus mais sinceros agradecimentos.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## Resumo

**BAVIERA, G. S. Estudo do pentacloro de nióbio na obtenção de derivados de triarilmetano e de antraceno via reações do tipo Friedel-Crafts e Bradsher e estudos fotofísicos dos compostos obtidos.** 2022. Dissertação (Mestrado em Química - Programa de Pós-graduação em Química, Departamento de Química, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2022.

Nesta dissertação de mestrado, são descritos os resultados obtidos no estudo do uso do pentacloro de nióbio como ácido de Lewis na síntese de triarilmetanos simétricos e de derivados de 9-antraldeído. Os triarilmetanos foram obtidos a partir de reações de Friedel-Crafts envolvendo aldeídos aromáticos e arenos. O pentacloro de nióbio mostrou-se um excelente ácido de Lewis para esse tipo de reação e possibilitou a obtenção de mais de 25 compostos com rendimentos elevados em tempos reacionais curtos, demonstrando grande vantagem sobre outros métodos já existentes. Ainda, o escopo reacional abrangeu aldeídos aromáticos contendo vários tipos de grupos ativantes, neutros e desativantes do anel aromático. No entanto, não foi possível usar aldeídos alifáticos, já que estes não originam carbocátions suficientemente estáveis para que a reação prossiga.

Posteriormente, diversos derivados de 9-antraldeído foram obtidos a partir de triarilmetanos, do diclorometil metil éter e do pentacloro de nióbio, por meio de uma reação do tipo Bradsher envolvendo formilação seguida de ciclização intramolecular. Os tempos reacionais extremamente curtos, os rendimentos reacionais elevados e os compostos inéditos sintetizados, demonstraram a eficiência do método desenvolvido neste trabalho. Levando em conta a carência de métodos sintéticos para obter essa classe de compostos, o desenvolvimento de novas metodologias sintéticas se torna necessário.

Devido as diversas propriedades fotofísicas apresentadas pelos derivados de antraceno, na parte final deste trabalho foram descritos os estudos da fluorescência dos derivados de 9-antraldeído visando verificar potenciais aplicações na área de materiais luminescentes.

Palavras-chave: 9-antraldeído; pentacloro de nióbio; reação de Bradsher; reação de Friedel-Crafts; triarilmetano

## Abstract

BAVIERA, G. S. **Studying niobium pentachloride to obtain triarylmethane and anthracene derivatives via Friedel-Crafts and Bradsher-type reactions and photophysical studies of the obtained compounds** 2022. Dissertação (Mestrado em Química - Programa de Pós-graduação em Química, Departamento de Química, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2022.

We have synthesized several triarylmethane derivatives and 9-antraldehyde derivatives by using niobium pentachloride as Lewis acid. We obtained the triarylmethanes via Friedel-Crafts hydroxyalkylation reaction involving aromatic aldehydes and arenes. Niobium pentachloride proved to be an excellent Lewis acid for this type of reaction: the reaction produced more than 25 compounds in high yields and short reaction times, being advantageous over other existing methods. Furthermore, the reaction scope encompassed aromatic aldehydes containing various types of activating, neutral, and deactivating groups in the aromatic ring. However, aliphatic aldehydes could not be used because they do not generate sufficiently stable carbocations for the reaction to proceed.

Subsequently, we obtained several 9-antraldehyde derivatives by reacting triarylmethanes, dichloromethyl methyl ether, and niobium pentachloride through a Bradsher-type reaction involving formylation followed by intramolecular cyclization. The short reaction times, the high reaction yields, and the novel synthesized compounds demonstrated that the methodology developed here was efficient. Taking into account the lack of synthetic methods to obtain this class of compounds, the development of new synthetic methodologies becomes necessary.

Because the anthracene derivatives present different photophysical properties, we conducted fluorescence studies to verify their potential applications in the area of luminescent materials.

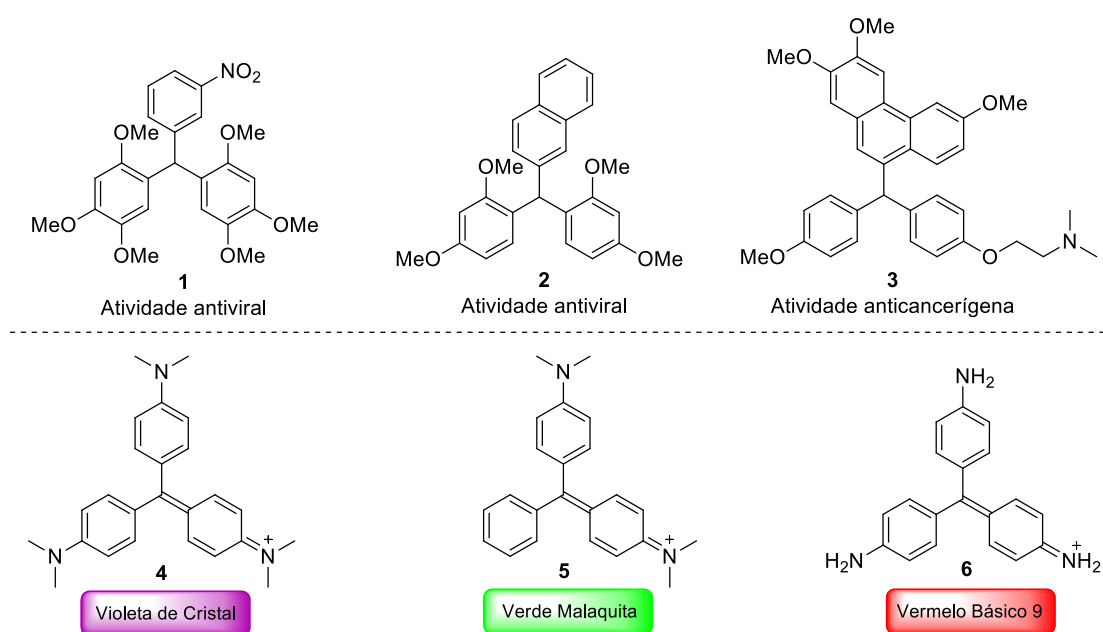
Keywords: 9-anthaldehyde; niobium pentachloride; Bradsher-reaction; Friedel-Crafts reaction; triarylmethanes.



**Capítulo 1 - Estudo do pentacloreto de nióbio na  
obtenção de derivados de triarilmetano e de antraceno  
via reações de Friedel-Crafts e de Bradsher**

## Introdução

Os derivados de triarilmetano constituem uma classe de compostos orgânicos que possuem como principal característica estrutural a presença de um átomo de carbono central ligado a três anéis aromáticos. Geralmente, são classificados em dois tipos: os triarilmetanos simétricos e os triarilmetanos assimétricos. Os triarilmetanos simétricos possuem no mínimo dois anéis aromáticos iguais, enquanto os triarilmetanos assimétricos possuem todos os 3 anéis aromáticos diferentes entre si. Esses compostos são amplamente conhecidos por suas importantes propriedades biológicas,<sup>1,2</sup> por suas aplicações como materiais fluorescentes<sup>3</sup> e, principalmente, por suas aplicações como corantes.<sup>4,5</sup> Por exemplo, os triarilmetanos simétricos **1** e **2**, reportados recentemente por Revaprasadu,<sup>6</sup> possuem atividades antivirais, enquanto o triarilmetano assimétrico **3**, reportado por Panda,<sup>7</sup> possui atividade anticancerígena (Figura 1). Além disso, os triarilmetanos **4**, **5** e **6**, bem como diversos outros, são corantes amplamente utilizados e com propriedades bem conhecidas.<sup>8</sup>

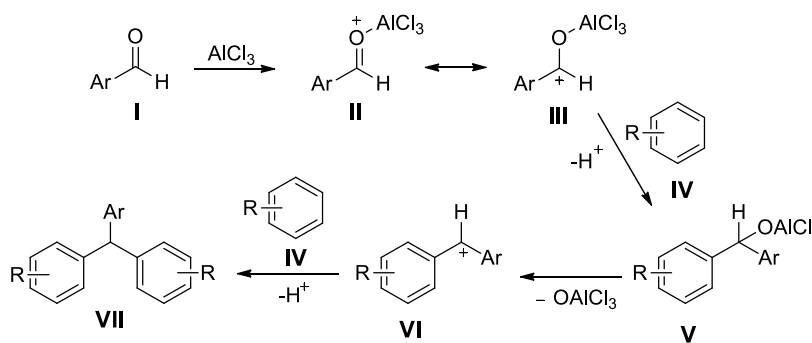


**Figura 1:** Exemplos de triarilmetanos simétricos e assimétricos e suas aplicações.

Devido à importância dessa classe de compostos, muitos métodos sintéticos diferentes foram desenvolvidos no decorrer dos anos.<sup>9,10</sup> A alquilação de Friedel-Crafts, utilizando aldeídos aromáticos e arenos substituídos, é

possivelmente o método sintético mais importante para a obtenção de triarilmetanos simétricos. Um estudo abrangente, publicado em 1987 por Roberts e coautores,<sup>11</sup> sobre a reação de Friedel-Crafts envolvendo arenos e aldeídos, impulsionou o estudo desse tipo de reação com diversos substratos e outros ácidos de Lewis, como H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,<sup>12</sup> AlCl<sub>3</sub>,<sup>13</sup> ZnBr<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>,<sup>14</sup> I<sub>2</sub>,<sup>15</sup> BF<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O,<sup>16</sup> TfOH,<sup>17,18</sup> Bi(OTf)<sub>3</sub><sup>19</sup> e BF<sub>3</sub>·OEt<sub>2</sub>.<sup>20</sup> A maioria desses métodos, no entanto, apresenta algumas desvantagens, como o uso de superácidos, excessos de reagentes, tempos reacionais longos e rendimentos baixos. Apesar da quantidade de métodos propostos ser satisfatória, quando comparados são poucos os métodos que conseguem de fato produzir rendimentos elevados sob condições reacionais suaves.

Em 2006, o grupo de Xu reportou a síntese de triarilmetanos simétricos utilizando o AlCl<sub>3</sub> como ácido de Lewis,<sup>13</sup> propondo o mecanismo reacional mostrado no Esquema 1. Inicialmente, a carbonila do aldeído aromático **I** é complexada com o ácido de Lewis, gerando a espécie **II** e facilitando a ocorrência da alquilação de Friedel-Crafts com o areno **IV**, produzindo o alcóxido **V** e, sequencialmente, o intermediário **VI**. Esse intermediário, por sua vez, é um carbocátion duplamente benzílico e relativamente estável, que sofrerá uma segunda alquilação do areno **IV**, originando o triarilmetano simétrico **VII** correspondente.

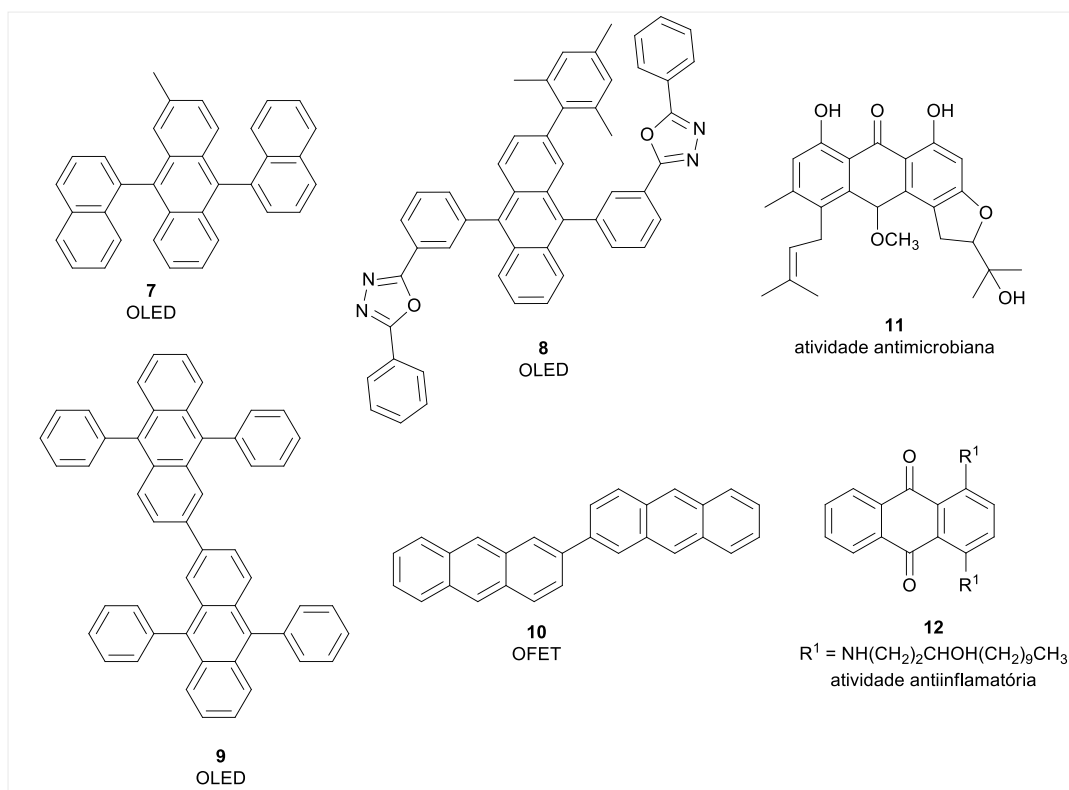


**Esquema 1:** Mecanismo proposto para a alquilação de Friedel-Crafts mediada por AlCl<sub>3</sub> para a formação de triarilmetanos simétricos.

Apesar do mecanismo proposto no Esquema 1 utilizar aldeídos aromáticos, os autores também obtiveram sucesso ao empregar aldeídos

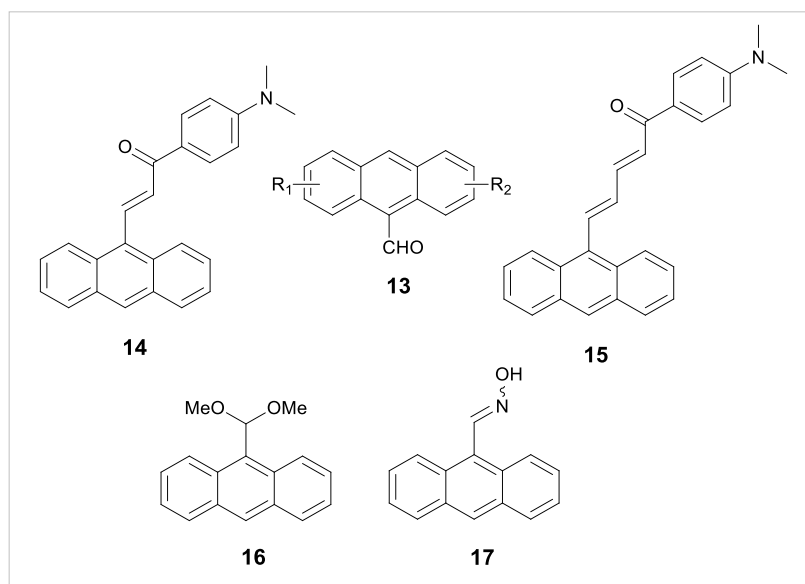
alifáticos, produzindo derivados de diarilmetanos. Outros métodos também empregam aldeídos alifáticos, como acetaldeído, valeraldeído e hexanal.<sup>13,14,18</sup>

Outra classe de compostos aromáticos que possuem aplicações importantes é a dos derivados de antraceno. O antraceno é um hidrocarboneto aromático constituído por três anéis benzênicos fundidos em uma estrutura linear estendida, cujo sistema  $\pi$ -conjugado resultante faz com que esse composto e vários de seus derivados possuam interessantes propriedades fotofísicas e fotoquímicas.<sup>21,22</sup> Essas propriedades tornam esses compostos aplicáveis em diversos materiais orgânicos. Por exemplo, os derivados de antraceno **7** e **8**, quando utilizados em OLEDs, são emissores de luz azul,<sup>23,24</sup> o derivado de antraceno **9**, por sua vez, emite a luz verde,<sup>25</sup> enquanto o biantraceno **10** foi utilizado como semicondutor orgânico na fabricação de um dispositivo OFET.<sup>26</sup> Além disso, vários derivados de antraceno possuem também atividades biológicas, como as antraquinonas **11** e **12**, que possuem, respectivamente, atividades antimicrobiana e anti-inflamatória (Figura 2).<sup>27,28</sup> Devido a essas importantes aplicações, diversos métodos sintéticos de derivados de antraceno vêm sendo publicados na literatura, especialmente nos últimos anos, como mostra uma revisão bibliográfica publicada por nosso grupo de pesquisa em 2021.<sup>29</sup>



**Figura 2:** Exemplos de derivados de antraceno e suas aplicações.

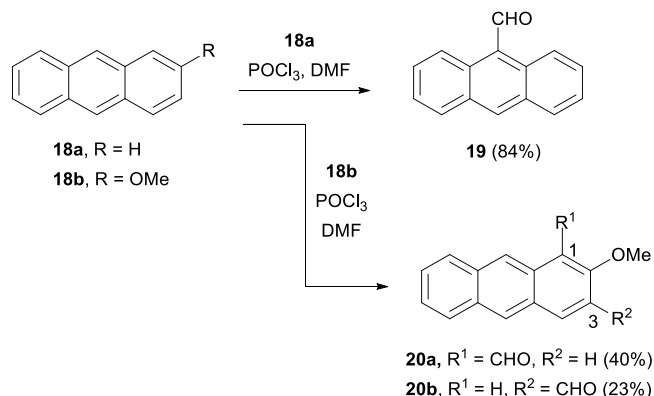
Os 9-antraldeídos (**13**), mostrados na Figura 3, constituem uma importante classe de derivados de antraceno que são utilizados como materiais de partida para múltiplas funcionalizações e aplicações. Por exemplo, preparados a partir do 9-antraldeído, os derivados de chalcona **14** e **15** mostraram uma resposta óptica não linear significativa,<sup>30</sup> enquanto o antraldeído dimetilacetil **16** pode ser introduzido regioselectivamente a carboidratos como grupos protetores.<sup>31</sup> Além disso, o 9-antraldeído oxima **17** pode ser convertido em um grande número de compostos funcionalizados cíclicos e heterocíclicos com diversas aplicações (Figura 3).<sup>32</sup>



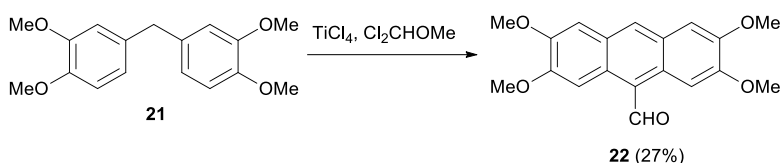
**Figura 3:** Exemplos de derivados de 9-antraldeído com importantes aplicações.

Entretanto, os métodos para a obtenção de 9-antraldeídos são bastante limitados. A formilação do antraceno não substituído **18a** pelo método de Vilsmeier-Haack pode facilmente gerar o 9-antraldeído **19** com bom rendimento (Esquema 2).<sup>33</sup> No entanto, quando são usados antracenos substituídos, como o 2-metoxiantraceno **18b**, a seletividade da formilação torna-se difícil de controlar e pode originar mais de um produto formilado.<sup>34</sup> No caso do 2-metoxiantraceno **18b**, as posições 1 e 3 do anel do antraceno competem pela formilação, gerando os antracenos **20a** e **20b**. Por outro lado, a formilação de Rieche de diarilmetanos utilizando o diclorometil metil éter ( $\text{Cl}_2\text{CHOMe}$ ) e  $\text{TiCl}_4$  pode levar à formação de 9-antraldeídos substituídos por meio de uma reação direta do tipo Bradsher. Por exemplo, Yamato e colaboradores<sup>35</sup> utilizaram o diarilmetano **21**, construído a partir do veratrol, e obtiveram o 9-antraldeído substituído **22** com um rendimento de 27%.

#### Formilação de Vilsmeier



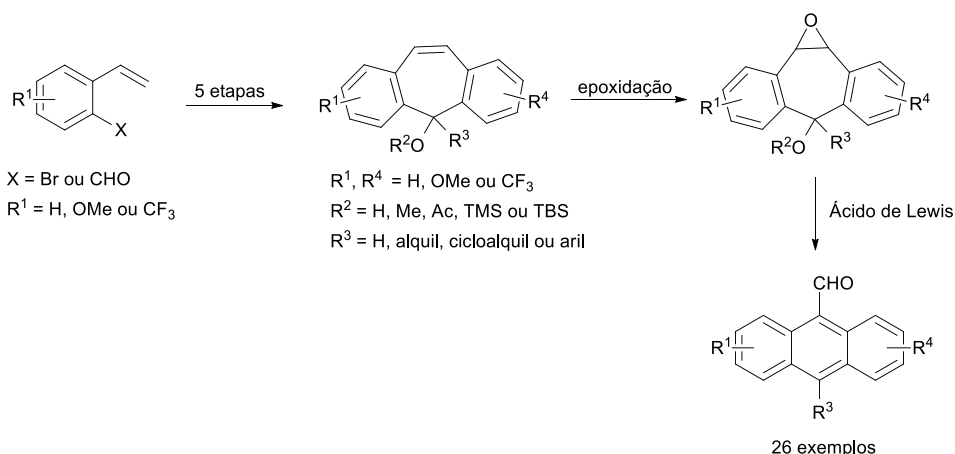
#### Formilação de Rieche



**Esquema 2:** Formilação de Vilsmeier e formilação de Rieche na síntese de antracenos aldeídicos.

No entanto, o método proposto por Yamato depende exclusivamente da construção do substrato (diarilmetano), que deve ser previamente projetado de forma com que a formilação inicial seja dirigida e ocorra na posição *orto* da ligação entre os dois anéis aromáticos, possibilitando a ocorrência da ciclização intramolecular sequencial que irá originar o anel do antraceno. Por causa disso, a limitação dos possíveis substratos é grande. Além disso, todos os métodos citados anteriormente apresentam muitas desvantagens, como rendimentos baixos, escopos reacionais limitados e tempos de reação longos.

Com base nos trabalhos reportados na literatura, é visível a escassez de métodos eficientes para realizar a síntese de 9-antraldeídos, dada a importância dessa classe de compostos orgânicos. Segundo o nosso conhecimento, o método publicado recentemente pelo grupo de Ploypradith,<sup>36</sup> envolvendo a síntese de 9-antraldeídos substituídos por meio da abertura de epóxidos/rearranjo do semipinacol catalisado por ácido (Esquema 3), é o método mais completo e com escopo reacional mais amplo reportado até o momento.



**Esquema 3:** Síntese de 9-antraldeídos substituídos via abertura de epóxido/rearranjo do semipinacol catalisado por ácido.

## Conclusões

As metodologias sintéticas propostas e desenvolvidas neste trabalho mostraram-se bastante eficientes e práticas. Inicialmente, diversos derivados de triarilmetano contendo grupos doadores, neutros e retiradores de elétrons do anel aromático foram preparados em ótimos rendimentos, utilizando o pentacloreto de nióbio como ácido de Lewis, em uma reação de arilação de Friedel-Crafts, envolvendo diversos aldeídos aromáticos e arenos. Porém, aldeídos aromáticos contendo grupos  $-\text{OH}$  e  $-\text{NR}_2$ , e também aldeídos alifáticos, não produziram os triarilmetanos correspondentes, mostrando algumas limitações desse método. Além disso, os arenos contendo grupos desativantes também não foram capazes de gerar os triarilmetanos esperados.

Posteriormente, diversos derivados de 9-antraldeído, uma classe importante de antracenos funcionalizados, puderam ser preparados em ótimos rendimentos a partir de uma reação de Bradsher envolvendo diclorometil metil éter, pentacloreto de nióbio e triarilmetanos preparados a partir do veratrol. Essa metodologia também se mostrou abrangente em relação aos substratos e destacou-se, principalmente, pelo tempo reacional extremamente baixo. Em suma, o trabalho sintético aqui desenvolvido foi extremamente positivo, pois possibilita uma síntese rápida e fácil de derivados de triarilmetano e de 9-antraldeídos usando reagentes e métodos facilmente acessíveis. Devido ao número incrivelmente baixo de métodos existentes para realizar a síntese de 9-antraldeídos, o método aqui descrito se torna extremamente útil e necessário.



## Referências bibliográficas

1. Mondal S, Panda G. *RSC Adv.* 2014; 4: 28317–28358.
2. Ricco C, Abdmouleh F, Riccobono C, Guenineche L, Martin F, Goya-Jorge E, Lagarde N, Liagre B, Ali M Ben, Ferroud C, Arbi M El, Veitía MSI. *Bioorg. Chem.* 2020; 96: 103591.
3. Baptista MS, Indig GL. *J. Phys. Chem. B.* 1998; 102: 4678–4688.
4. Muthyala R, Katritzky AR, Lan X. *Dye Pigment.* 1994; 25: 303–324.
5. Lewis LM, Indig GL. *Dye Pigment.* 2000; 46: 145–154.
6. ULAGI, R. MS and KD. *Asian J. Chem.* 2016; 27: 4120–4124.
7. Shagufta, Srivastava AK, Sharma R, Mishra R, Balapure AK, Murthy PSR, Panda G. *Bioorg. Med. Chem.* 2006; 14: 1497–1505.
8. DUXBURY DF. *ChemInform.* 2010; 24: no-no.
9. Kshatriya R, Jejurkar VP, Saha S. *Eur. J. Org. Chem.* 2019; 2019: 3818–3841.
10. Liu X, Wu X, Zhang L, Lin X, Huang D. *Synth.* 2020; 52: 2311–2329.
11. Roberts RM, El-Khawaga AM, Sweeney KM, El-Zohry MF. *J. Org. Chem.* 1987; 52: 1591–1599.
12. Goossens R, Smet M, Dehaen W. *Tetrahedron Lett.* 2002; 43: 6605–6608.
13. Wang X, Wang Y, Du DM, Xu J. *J. Mol. Catal. A Chem.* 2006; 255: 31–35.
14. Kodomari M, Nagamatsu M, Akaike M, Aoyama T. *Tetrahedron Lett.* 2008; 49: 2537–2540.
15. Jaratjaronphong J, Sathalalai S, Techasauvapak P, Reutrakul V. *Tetrahedron Lett.* 2009; 50: 6012–6015.
16. Prakash GKS, Panja C, Shakhmin A, Shah E, Mathew T, Olah GA. *J. Org. Chem.* 2009; 74: 8659–8668.
17. Saito S, Ohwada T, Shudo K. *J. Org. Chem.* 1996; 61: 8089–8093.
18. Wilsdorf M, Leichnitz D, Reissig HU. *Org. Lett.* 2013; 15: 2494–2497.
19. Mohammadiannejad-Abbasabadi K, Mohammadpoor-Baltork I, Tangestaninejad S, Moghadam M, Mirkhani V, Kia R. *Tetrahedron* 2016; 72: 1433–1439.
20. Babu BM, Thakur PB, Nageswara Rao N, Santosh Kumar G, Meshram

- HM. *Tetrahedron Lett.* 2014; 55: 1868–1872.
21. Becker HD. *Chem. Rev.* 1993; 93: 145–172.
  22. Czarnik AW. *Acc. Chem. Res.* 1994; 27: 302–308.
  23. Ho MH, Wu YS, Wen SW, Chen TM, Chen CH. *Appl. Phys. Lett.* 2007; 91.
  24. Wu CL, Chang CH, Chang YT, Chen CT, Chen CT, Su CJ. *J. Mater. Chem. C.* 2014; 2: 7188–7200.
  25. Okumoto K, Kanno H, Hamaa Y, Takahashi H, Shibata K. *Appl. Phys. Lett.* 2006; 89: 18–21.
  26. Ito K, Suzuki T, Sakamoto Y, Kubota D, Inoue Y, Sato F, Tokito S. *Angew. Chemie Int. Ed.* 2003; 42: 1159–1162.
  27. Kouam SF, Yapna DB, Krohn K, Ngadjui BT, Ngoupayo J, Choudhary MI, Schulz B. *J. Nat. Prod.* 2007; 70: 600–603.
  28. Corrêa TA, Alves CCS, Castro SBR, Oliveira EE, Franco LS, Ferreira AP, De Almeida MV. *Chem. Biol. Drug Des.* 2013; 82: 463–467.
  29. Baviera GS, Donate PM. *Beilstein J. Org. Chem.* 2021; 17: 2028.
  30. Zhou W, Fang Y, Wu X, Han Y, Yang J, Shen L, Song Y. *RSC Adv.* 2020; 10: 19974–19981.
  31. Ellervik U. *Tetrahedron Lett.* 2003; 44: 2279–2281.
  32. Ahmed SM, Hussain FHS, Quadrelli P. *Monatshefte fur Chemie* 2020; 151: 1643–1658.
  33. Jones G, Stanforth SP. *Org. React.*, 1996, 1–330.
  34. Iwata M, Emoto S. *Chem. Lett.'s.* 1973; 477–478.
  35. Yamato T, Sakaue N, Shinoda N, Matsuo K. *J. Chem. Soc - Perkin Trans. 1.* 1997: 1193–1199.
  36. Phumjan T, Songthammawat P, Jongcharoenkamol J, Batsomboon P, Ruchirawat S, Ploypradith P. *J. Org. Chem.* 2021; 86: 13322–13349.
  37. dos Santos WH, da Silva-Filho LC. *Tetrahedron Lett.* 2017; 58: 894–897.
  38. Yadav JS, Bhunia DC, Vamshi Krishna K, Srihari P. *Tetrahedron Lett.* 2007; 48: 8306–8310.
  39. Constantino MG, De Oliveira KT, Polo EC, Da Silva GVJ, Brocksom TJ. *J. Org. Chem.* 2006; 71: 9880–9883.
  40. Gomes Constantino M, Lacerda V, Aragão V. *Molecules* 2001; 6: 770–776.

41. Moreno VF, dos Santos GC, da Costa GMG, Gomes MHA, Silva-Filho LC da. *J. Heterocycl. Chem.* 2019; 56: 2811–2821.
42. Lakowicz JR. *Principles of fluorescence spectroscopy*, 2006.
43. Schwarz FP, Wasik SP. *Anal. Chem.* 1976; 48: 524–528.
44. Nasalize M. 1966; 22.
45. Santos GC dos, de Andrade Bartolomeu A, Ximenes VF, da Silva-Filho LC. *J. Fluoresc.* 2017; 27: 271–280.
46. Martins GBC, Sucupira RR, Suarez PAZ. *Rev. Virtual Quim.* 2015; 7: 1508–1534.
47. Valeur B. *Molecular Fluorescence: Principles and Applications.* 2001.
48. Pope M, Kallmann HP, Magnante P. *J. Chem. Phys.* 1963; 38: 2042–2043.
49. Serevičius T, Adomenas P, Adomeniene O, Rimkus R, Jankauskas V, Gruodis A, Kazlauskas K, Juršenas S. *Dye Pigment.* 2013; 98: 304–315.
50. Abou-Hatab S, Spata VA, Matsika S. *J. Phys. Chem. A.* 2017; 121: 1213–1222.
51. Nijegorodov N, Mabbs R. *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.* 2001; 57: 1449–1462.
52. Morris J V., Mahaney MA, Huber JR. *J. Phys. Chem.* 1976; 80: 969–974.
53. Alves APL, Junior JÁ, Slana JBA, Cardoso JN, Lopes RSC, Lopes CC. *Quim Nova.* 2010; 2: 245–248.

