

A Orientação do Momento de Dipolo: Em Defesa da Lógica e da Tradição do Uso de Setas no Ensino do Fluxo de Elétrons em Química Orgânica

The Orientation of the Dipole Moment: In Defense of the Logic and Tradition of the Use of Arrows to Indicate the Electron Flow in Organic Chemistry

Igor Sande,^a Leonardo Antonelli,^a Silvio Cunha^{a,b,*}

^aUniversidade Federal da Bahia, Instituto de Química, Salvador-BA, CEP 40170-115, Brasil

^bUniversidade Federal da Bahia, INCT de Energia e Ambiente, Salvador-BA, CEP 40170-290, Brasil

*E-mail: silviodc@ufba.br

Submissão: 22 de Janeiro de 2025

Aceite: 2 de Julho de 2025

Publicado online: 8 de Julho de 2025

In chemistry, arrows are used to indicate the flow of electrons from a donor to an acceptor site. There are two conventions for the direction of the dipole moment: the chemical convention (pointing toward to the negative charge) and the physical convention (pointing in the opposite direction). Chemical convention is widely adopted in chemistry publications and textbooks. This preference arises from its alignment with common practices in chemistry, particularly in representing reaction mechanisms, where electron flow is represented using curved arrows consistent with the chemical convention. The chemical direction of the dipole moment also enables chemists to qualitatively and efficiently derive various physicochemical properties, such as molecular polarity, boiling points, relative solubility, and infrared band relative intensities, that are very useful for identifying diagnostic signals in chemical transformations. Additionally, mastering this convention allows one to logically predict the movement of electrons in chemical reactions and thus assess whether certain transformations or products are reasonable. These capabilities grant chemists, especially in organic chemistry, a powerful predictive and planning tool, underscoring the critical role of the dipole moment in the chemical sense as an indispensable resource for advancing understanding and practice in the field.

Keywords: Language of chemistry; conventions in chemistry; organic chemistry teaching; electron flow.

1. Introdução

Na simbologia da química, a seta do momento de dipolo aponta para a densidade de carga negativa, enquanto na física é o oposto. Em um artigo recente intitulado “Uso de setas no contexto da aprendizagem em química e a importância do seu simbolismo”, os aspectos históricos e as razões didáticas do emprego de vários símbolos de setas foram elegantemente discutidos.¹

Também recentemente, um outro artigo² resgata uma argumentação³ sobre o sentido da seta representativa do momento de dipolo em livros texto de química, sugerindo que os livros de química, quando revisados, façam a indicação do vetor momento de dipolo da mesma forma que os livros de física, o que foi apoiado pela IUPAC.

O ensino do momento de dipolo de moléculas orgânicas é assunto basilar na educação das novas gerações de profissionais da química, desde o estágio inicial até a entrada na pós-graduação. Não por coincidência, foi um tema presente no Exame Unificado de Química da Sociedade Brasileira de Química (EUQ), Figura 1.⁴

A linguagem científica é dinâmica e sistematicamente aprimorada para melhor expressar a compreensão da natureza. Ela é transmitida de várias maneiras entre gerações, através da convivência entre mestres e aprendizes nos espaços de fazer e ensinar ciência, dos artigos científicos e, principalmente, dos livros texto. Os livros didáticos proporcionam o ensino da ciência, praticada por uma dada comunidade, às novas gerações de aprendizes,⁵ consolidando o conhecimento consagrado como correto por esta comunidade de praticantes. É natural que os livros texto sejam periodicamente revisados para refletir a linguagem e o conhecimento compartilhados e aceitos por esta comunidade científica.⁵

Em função da continuada reflexão sobre estratégias didáticas para o ensino teórico de química orgânica,⁶ defendemos aqui o ensino da representação tradicional da seta do momento de dipolo em química orgânica, em contraponto aos textos da física e contrariando o ponto de vista dos artigos mencionados.^{2,3} Nossa defesa se baseia na lógica que o simbolismo das setas representa para a forma de pensar química orgânica,¹ mantendo a aderência ao sentido da seta para indicar

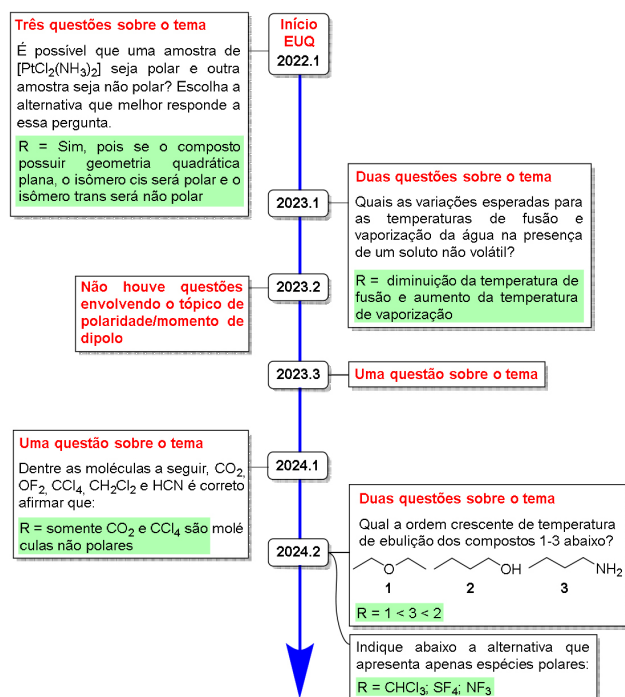


Figura 1. Panorama do tema polaridade/momento de dipolo no Exame Unificado de Química da Sociedade Brasileira de Química (EUQ)

o fluxo de elétrons proposto por Robinson e universalmente aceito na comunidade de químicos desde 1922.⁷

2. A Orientação do Momento de Dipolo e seu Emprego no Ensino de Química Orgânica

O momento de dipolo é uma grandeza vetorial definido como sendo o produto da carga q pela distância r ($\mu = q \cdot r$), e sua unidade é o Debye (D). Nos livros didáticos de química orgânica a orientação do momento de dipolo é, majoritariamente, designada por uma seta apontada para o polo negativo. Na Figura 2 estão ilustrados vários exemplos de informações coletadas em um conjunto representativo de livros, tanto da graduação quanto da pós-graduação. Dos livros consultados (Tabela 1S), apenas um faz a adesão à orientação adotada pela física.²⁷ Importa destacar que o universo de livros analisados envolve obras publicadas de 1952 a 2022, o que indica a perenidade e a consolidação da representação majoritária do momento de dipolo como apresentado na Figura 2.

Diferentemente da seta empregada na física, na seta empregada em química orgânica há a inserção de um pequeno traço ortogonal na cauda da seta simulando o sinal +, que quando orientado na molécula ou na ligação em análise informa que a densidade de carga positiva está nesta região da molécula/ligação, e a cabeça da seta indica a região de densidade de carga negativa, Figura 2.

No livro do Professor Constantino consta uma abordagem excelente correlacionando o momento de dipolo com aspectos da física, e há um comentário muito interessante,

uma ponderação sobre a dualidade da representação e o efeito didático, que conclui pela adoção da orientação tradicional e convergente da notação de fluxo de elétrons da química: “O sentido do vetor seria, por convenção, da carga negativa para a positiva, mas essa convenção, desafortunadamente, não é universalmente aceita; em muitos livros de Química Orgânica é adotada a orientação oposta, da carga positiva para a negativa. Amenizando a confusão que resulta, geralmente quem usa essa orientação oposta costuma colocar um pequeno traço na cauda da seta, deixando assim claro de que lado está a carga positiva. Neste texto usaremos apenas essa notação, porque é a mais usada em livros de Química Orgânica, e porque achamos que o traço mostrando onde está a carga positiva tem efeito didático positivo, eliminando a desorientação do estudante ao não saber de que lado estão as cargas.”³⁰

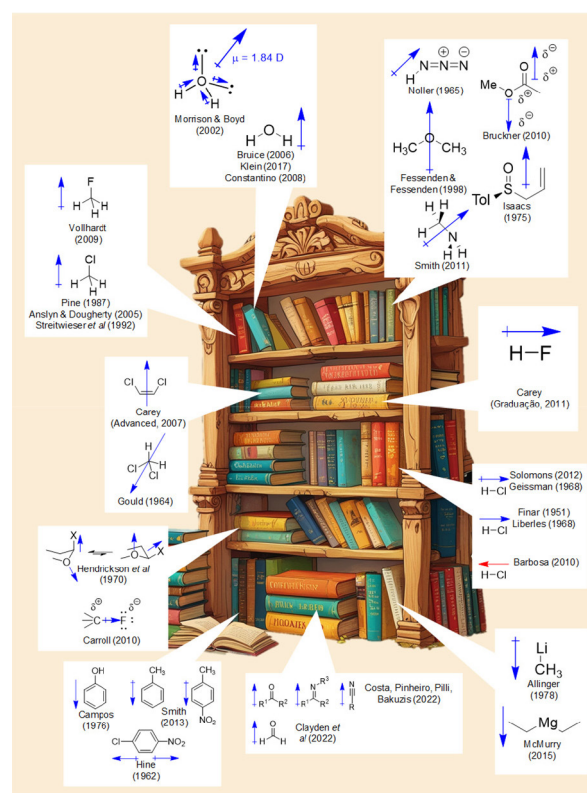


Figura 2. Orientação do momento de dipolo em livros textos de química orgânica, destacando em azul o sentido da seta em química e em vermelho o sentido adotado na física (para uma lista detalhada, ver Tabela S1)

A dedução do momento de dipolo de uma molécula é tema transversal em química ensinado no curso de química geral e revisitado nos cursos de química orgânica, química inorgânica e físico-química. O momento de dipolo é correlacionado com o comportamento da molécula em análise, e é estudado de forma complementar nos cursos mencionados. Em química orgânica, várias habilidades são trabalhadas, Figura 3. Assim, se faz a análise individual das ligações covalentes, classificando-as como ligações polares ou apolares, para então deduzir se a molécula é

polar ou apolar através da soma vetorial do momento de dipolo de cada ligação covalente; é ensinado como fazer a análise das forças intermoleculares entre moléculas da mesma substância para inferir o ponto de ebulição relativo entre substâncias líquidas de massa molecular similares, ou a tendência de solubilidade entre substâncias distintas (sendo ao menos uma no estado líquido); adicionalmente, o momento de dipolo é empregado na explicação do efeito polar na acidez relativa de moléculas similares e em modelos de racionalização de adição à carbonila. A relação do momento do dipolo da ligação e a intensidade do sinal no espectro na região do infravermelho também é trabalhada em alguns textos sobre identificação estrutural de compostos orgânicos.⁸⁻³⁷

3. A Defesa do Sentido do Momento de Dipolo em Química Orgânica

A principal conclusão dos dois artigos que defendem que a orientação do momento de dipolo convencionado na física seja também adotada pela química é a de que “*Physicists correctly draw the electric dipole moment vector, whereas most chemists (14 of 15 faculty surveyed) draw the vector backwards... This convention is backwards and leads to misconceptions when applied to a more quantitative analysis of molecular interactions.*”,³ e que “*No es lógico que la comunidad científica no aplique el mismo criterio en el sentido del momento dipolar, y sería conveniente que*

todos los libros de texto de química aplicaran el mismo criterio que aplican los físicos.”³² Entretanto, a argumentação empregada para sustentar as afirmações são eminentemente critérios da física impostos à química, desconsiderando que a química cria sua própria linguagem.

Nossa defesa da orientação tradicional da química, contrária à da física, está baseada na argumentação a seguir. Nos *Ensaio de História e Filosofia da Química*, de Zaterka e Mocellin,³⁸ há uma pergunta que traduz a preocupação central da nossa defesa: “qual é o lugar do conhecimento químico no espectro dos saberes humanos, considerados pela tradição filosófica como válidos e verdadeiros? Nas análises filosóficas do conhecimento científico, a química contribui por sua especificidade ou como ciência periférica, seguindo os mesmos modelos epistêmicos da física-matemática?”

Como a química tem uma linguagem própria com intenso uso e ensino de símbolos representativos de fenômenos, a química cria sua própria linguagem, não estando a reboque de outras ciências.³⁹ Em certas situações ressignifica símbolos empregados em outras áreas, não sendo diferente no caso das setas. O símbolo da letra grega delta maiúscula (Δ), que significa variação de uma grandeza na matemática e na física (ΔT diferença de temperatura, por exemplo), significa aquecimento quando colocada sob a seta de uma equação química. Da mesma forma, o símbolo de origem grega nabla (∇) significa resfriamento, enquanto na física é parte do operador hamiltoniano. Outros exemplos de símbolos comuns entre química e física cujos

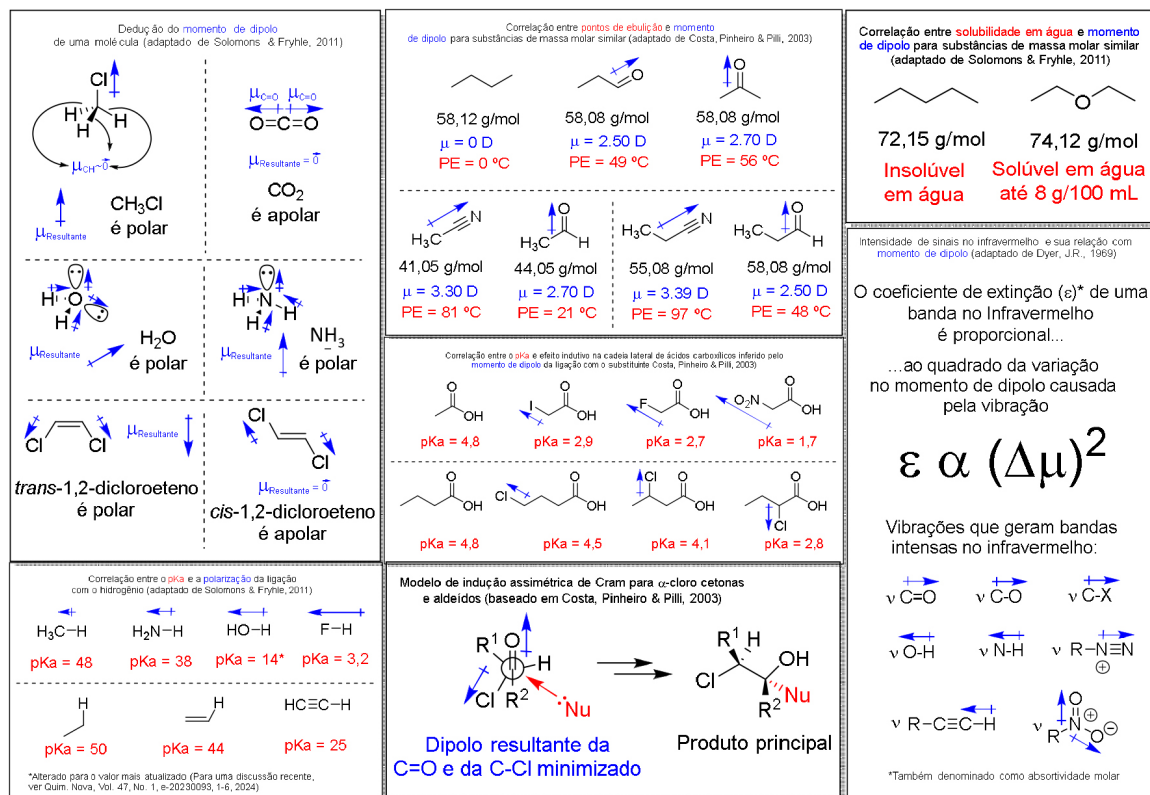


Figura 3. Exemplos de aplicações do momento de dipolo na racionalização de fatos experimentais em textos da química orgânica

significados são diferentes estão descritos na Tabela 1. Dessa forma, é comum e natural que áreas distintas da ciência empreguem o mesmo símbolo com distintos significados. No caso do momento de dipolo, os símbolos são diferentes entre a química e a física, e até mesmo seu significado. Para o leitor que desejar compreender um pouco mais sobre a origem e o significado da representação usada na Física, recomendamos a leitura das referências 2 e 3, e o livro do Professor Constantino²⁹ (páginas 43-45) que se explicam, independente e complementarmente, os aspectos mencionados.

Tabela 1. Comparação entre alguns significados de símbolos comuns à química e à física

Símbolo	Nome e Significado na Física	Significado na Química
C	Coulomb - Quantidade de eletricidade, carga elétrica	Carbono
F	Farad - Capacitância	Flúor
H	Henry - Indutância	Hidrogênio
N	Newton - Força	Nitrogênio
S	Siemens - Condutância	Enxofre
V	Volt - Potencial elétrico, diferença de potencial, força eletromotriz	Vanádio
W	Watt - Potência, fluxo radiante	Tungstênio

É importante destacar que, do ponto de vista prático, como na determinação da polaridade de uma molécula, a representação do momento de dipolo, conforme convencionou-se em Química e/ou em Física, não interfere no objetivo final, por exemplo, para saber se uma molécula é polar ou apolar. Contudo, o cerne da defesa em favor da orientação tradicional do momento de dipolo em química orgânica está alicerçado na convergência das orientações das setas representativas do dipolo e do fluxo de elétrons, notadamente quando se explica formas de ressonância, hiperconjugação e mecanismo de reação, Figura 4. Nos dois primeiros casos, fica visível a divergência as duas representações, sendo as da química mais didáticas, por uníssonas. Assim, no nitrobenzeno o movimento dos elétrons por ressonância, do anel para o grupo nitro,

é convergente com a direção do momento de dipolo, bem como o movimento de elétrons no tolueno, por hiperconjugação, da metila para o anel aromático. Quando se aplica a representação do momento de dipolo da física, se cria uma representação divergente do fluxo de elétrons, Figura 4A.

Este cenário inconsistente se mantém quando se escreve os mecanismos de reações orgânicas, como ilustrado para a reação de substituição nucleofílica alifática, Figura 4B. Ao explicitar as ligações polarizadas do nucleófilo e do eletrófilo, e se comparar com o fluxo de elétrons do mecanismo, o fluxo convergente dos elétrons só é evidenciado com a notação química. A convergência dos sentidos das duas setas em química orgânica (do doador para o acceptor de elétrons) tem forte apelo didático pois não confunde o estudante sobre o sentido das setas em química, o que pode diminuir a tendência desse estudante de curso inicial em química orgânica a escrever mecanismos de reações com o fluxo de elétrons invertido (do acceptor para o doador de elétrons). Dessa forma, a indicação convergente do fluxo de elétrons no mecanismo de reação, explicitando o doador e o acceptor de elétrons, e o fluxo de elétron na ligação química/molécula através da representação dos dipolos, reforçam o aprendizado em química orgânica.

A proposta de revisar os livros didáticos de química orgânica com a adesão à representação do momento de dipolo como proposto pela física não prosperou, mesmo com a sugestão feita em 2005 e em 2024 reforçada. O número significativo de livros quem empregam a lógica das setas convergentes para o momento de dipolo e o fluxo de elétrons indica que esta forma de comunicar os fenômenos em química está bem consolidado e testado, e que eventual adesão à representação da física seria contraproducente, e de pouca eficácia pedagógica.

A representação que deve ser usada para descrever o momento de dipolo em química orgânica é a indicada na cor azul na Figura 4, com a seta apontando para a densidade de carga negativa. Esta representação é a aceita como correta, como pode ser verificado na maioria dos livros investigados.^{8-26,28-37} Adicionalmente, essa é a representação considerada correta nos gabaritos do Exame Unificado de Química da Sociedade Brasileira de Química.⁴

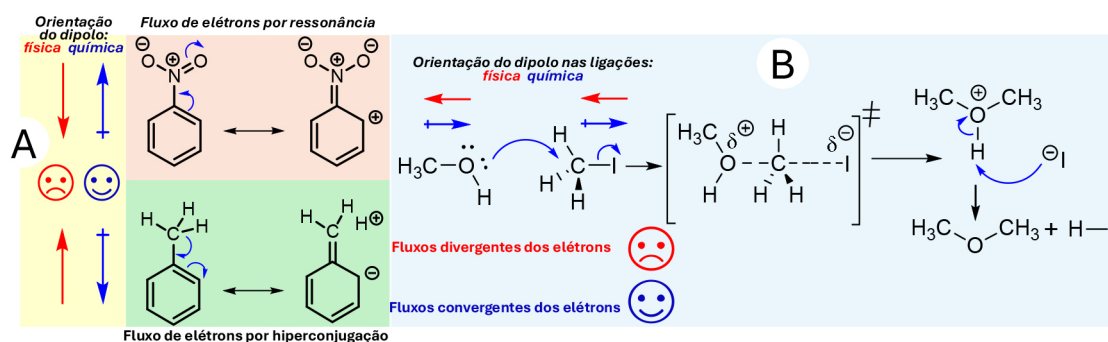


Figura 4. A) Comparação das orientações do momento de dipolo e do fluxo de elétrons por ressonância no nitrobenzeno, e por hiperconjugação no tolueno, destacando em azul o sentido convergente das setas em química orgânica e em vermelho o sentido divergente da física. B) No mecanismo da reação de substituição nucleofílica bimolecular entre metanol e iodeto de metila

4. Conclusões

Em química, e em química orgânica em particular, a orientação da seta do momento de dipolo deve guardar analogia com a seta do fluxo de elétrons, indicando de onde partem os elétrons e para onde vão. Os argumentos da defesa são sedimentados na convergência da lógica das representações das setas empregadas pelos químicos,¹ em contraponto à situação de divergência quando se adota a notação da física para a representação do momento de dipolo.² Aliada à tradição de uso da simbologia para o fluxo de elétrons introduzida por Robinson,⁷ e da singularidade da química que cria sua própria linguagem,^{38,39} fica evidente que a natureza do valor didático da representação da química facilita o aprendizado. Não por acaso, livros didáticos de química orgânica destinados ao ensino da graduação e da pós-graduação empregam, majoritariamente, ao longo dos últimos 70 anos, a representação aqui defendida. Há que continuar assim!

Informações Suplementares

Tabela 1S contendo a relação dos livros consultados com a indicação da página onde o valor do momento de dipolo é apresentado está disponível em <https://rvq.s bq.org.br/>, com acesso livre.

Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos as bolsas do CNPq, de pós-graduação para I. Sande e L. Antonelli, e a bolsa de produtividade em pesquisa de S. Cunha.

Referências Bibliográficas

- Santos, T. G.; Silva, V. V.; Mendonça, A. G. R.; Oliveira, I. T.; Botero, W. G.; Uso de Setas no Contexto da Aprendizagem e Química e a Importância do seu Simbolismo. *Quim. Nova* **2024**, *47*, 1-8. [Crossref]
- Val-Castillo, O.; El Sentido del Momento Dipolar. *An. Quím. RSEQ* **2024**, *120*, 32-35. [Crossref]
- Hovick, J. W.; Poler, J. C.; Misconceptions in Sign Conventions: Flipping the Electric Dipole Moment. *J. Chem. Educ.* **2005**, *82*, 889. [Crossref]
- Página web do Exame Unificado de Química da SBQ. Disponível em: <<https://euq.s bq.org.br/>>. Acesso em: 30 maio 2025.
- Kuhn, T. S.; *A Estrutura das Revoluções Científicas*; Perspectivas: São Paulo, 2001.
- Cunha, S.; Topologia dos Orbitais Moleculares de Polienos para Deduzir Energias Relativas e Avaliar Aromaticidade. *Quim. Nova* **2018**, *41*, 948. [Crossref]. Cunha, S.; Topologia Unificada dos Orbitais Moleculares de Fronteira para Explicar Reações Pericíclicas. *Quim. Nova* **2018**, *41*, 699. [Crossref]. Cunha, S.; Estabilidade Relativa de Alcenos: Análise dos Critérios Encontrados nos Livros Textos de Graduação e uma Proposta de Explicação Operacional para Alcenos Dissubstituídos. *Quim. Nova* **2003**, *26*, 948. [Crossref]. Antonelli, L.; De Paula, R.; Cunha, S.; A Propagação do Erro do pKa da Água nos Livros de Química Orgânica. *Quim. Nova* **2024**, *47*, 1. [Crossref]. Antonelli, L.; Nascimento, T.; Cunha, S.; Procedimentos para Desenhar Conformações do Ciclo-hexano, Ciclo-hexeno e Decalinas. *Rev. Virtual Quím.* **2024**, *16*, 494-499. [Crossref].
- Kermack, W. O.; Robinson, R. J.; An Explanation of the Property of Induced Polarity of Atoms and an Interpretation of the Theory of Partial Valencies on an Electronic Basis. *Chem. Soc.* **1922**, *121*, 427-440. [Crossref].
- Allinger, N. L.; Cava, M. P.; Jongh, D. C. de; Jonhson, C. R.; Lebel, N. A.; Stevens, C. L.; *Química Orgânica*, 2ª ed., Guanabara Dois: Rio de Janeiro, 1978.
- Bruice, P. Y.; *Química Orgânica*, vol. 1. 4ª ed., Pearson Prentice Hall: São Paulo, 2006.
- Carey, F. A.; *Química Orgânica*, vol. 1, 7ª ed.; McGraw-Hill-Bookmann: São Paulo, 2011.
- Klein, D.; *Química Orgânica*, vol. 1, 2ª ed.; LTC: Rio de Janeiro, 2016.
- McMurry, J. *Organic Chemistry*, 9th ed. Thomson Learning: Stanford, 2015.
- Solomons, T. W. G.; Fryhle, C. B.; *Química Orgânica*, vol. 1, 10ª ed., LTC: Rio de Janeiro, 2012.
- Vollhardt, K. P. C.; Schore, N. E.; *Química Orgânica: Estrutura e Função*, 6ª ed.; Bookman: Porto Alegre, 2013.
- Anslyn, E. V.; Dougherty, D. A.; *Modern Physical Organic Chemistry*, University Science Books: New York, 2005.
- Carey, F. A.; Sundberg, R. J.; *Advanced Organic Chemistry Part A: Structure and Mechanisms*, 5th ed.; Springer: New York, 2007.
- Carroll, F. A.; *Perspectives on Structure and Mechanism in Organic Chemistry*, 2nd ed., Wiley: New Jersey, 2010.
- Clayden, J.; Greeves, N.; Warren, S.; *Organic Chemistry*, 2nd ed., Oxford University Press: Oxford, 2012.
- Cox, B. G.; *Acids and Bases: Solvent Effects on Acid-Base Strength*, Oxford University Press: Oxford, 2013.
- Hendrickson, J. B.; Cram, D. J.; Hammond, G. S.; *Organic Chemistry*, 3rd ed.; McGraw-Hill: New York, 1970.
- Isaacs, N. S.; *Reactive Intermediates in Organic Chemistry*, 2nd ed.; Wiley-Blackwell: New Jersey, 1975.
- Lowry, T. H.; Richardson, K. S.; *Mechanism and Theory in Organic Chemistry*, 3th ed., Harper & Row: New York, 1987.
- Smith, M. B.; *March's Advanced Organic Chemistry*, 7th Wiley-Interscience, 2013.
- Morrison, R. T.; Boyd, R. N.; *Organic Chemistry*, 6th ed.; Prentice Hall International, Inc.: New Jersey, 1992.
- Pine, S. H.; AL, E. *Organic Chemistry*, 5th ed., New York; Montréal: McGraw-Hill, 1987.

26. Streitwieser, A.; Heathcock, C. H.; Kosower, E. M.; *Introduction to Organic Chemistry*, 4th ed., Macmillan Publishing Company: New York, 1992.
27. Barbosa, L. C. A.; *Introdução à Química Orgânica*, 2^a ed.; Pearson: São Paulo, 2010.
28. Campos, M. M.; *Química Orgânica*, vol. 1, 1^a ed.; Edgard Blücher: São Paulo, 1976.
29. Constantino, M. G.; *Química Orgânica: Curso Básico Universitário*, vol. 1, 1^a ed.; LTC: Rio de Janeiro, 2008.
30. Smith, M. B.; *Organic Chemistry: An Acid-Base Approach*, CRC Press: Boca Raton, 2011.
31. Robert, J.D; Caserio, M. C. *Basic Principles of Organic Chemistry*, 2nd ed: W. A. Benjamin, Inc., 1977.
32. Bruckner, R.; *Organic Mechanisms Reactions, Stereochemistry and Synthesis*. Tradução: Karin Beifuss, 3rd ed., Berlin: Springer-Verlag, 2010.
33. Schreck, J. O. *Organic Chemistry: Concepts and Applications*, C. V. Mosby Company, 1975.
34. Costa, P. R. R.; Pinheiro, S.; Pilli, R. A.; Bakuzis, P.; *The Chemistry of Carbonyl Compounds and Derivatives*, Royal Society of Chemistry: London, 2022.
35. Costa, P. R. R.; Pinheiro, S.; Pilli, R. A.; Vasconcellos, M. *Substâncias Carboniladas e Derivados*, 2^aed.; Bookman: Porto Alegre, 2003.
36. Geissman, T. A. *Principles of Organic Chemistry*. 3thed. W. H. Freeman and Company: San Francisco and London, 1968.
37. Terra, B.; *Química Orgânica e Noções Elementares de Alguns Assuntos de Bioquímica*. 4^a ed, vols. 1 e 2. Editora Científica, Rio de Janeiro 1952.
38. Zaterka, L.; Mocellin, R. C.; *Ensaio de História e Filosofia da Química*; Ideias e Letras: São Paulo, 2022.
39. Crosland, M. P.; *Historical Studies in the Language of Chemistry*, Dover Publications: New York, 1978.