

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE TÉRMICA DOS COMPLEXOS DE LANTÂNIO E
GADOLÍNIO COM ACECLOFENACO SOB CONDIÇÃO NÃO
ISOTÉRMICA:**

Com a determinação da energia de ativação por termogravimetria

LAÍS DA SILVA MENDOZA KARDEK DE MELO

Dourados- MS

2022

LAÍS DA SILVA MENDOZA KARDEK DE MELO

**ANÁLISE TÉRMICA DOS COMPLEXOS DE LANTÂNIO E
GADOLÍNIO COM ACECLOFENACO SOB CONDIÇÃO NÃO
ISOTÉRMICA:**

Com a determinação da energia de ativação por termogravimetria

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química, desenvolvida na Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal da Grande Dourados como requisito para a obtenção do título de Mestre em Química.

Orientador: Prof. Dr. Tiago André Denck Colman

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Sequinel

Dourados- MS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

M528a	<p>Melo, Laís da Silva Mendoza Kardek de.</p> <p>Análise térmica dos complexos de latânio e galdolínio com aceclofenaco sob condição não isotérmica: com a determinação da energia de ativação por termogravimetria. / Laís da Silva Mendoza Kardek de Melo. – Dourados, MS : UFGD, 2022.</p> <p>Orientador: Prof. Tiago André Denck Colman.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Estudo cinético. 2. Método isoconversional. 3. Complexos de lananídeos. I. Título.</p>
-------	---

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA/ FACET**

Termo de Aprovação

Após a apresentação, arguição e apreciação pela banca examinadora foi emitido o parecer APROVADO, para a dissertação intitulada: “ANÁLISE TÉRMICA DOS COMPLEXOS DE LANTÂNIO E GADOLÍNIO COM ACECLOFENACO SOB CONDIÇÃO NÃO ISOTÉRMICA: Estudo cinético dos complexos de La (III) e Gd (III) por termogravimetria”, de autoria de **Laís da Silva Mendoza Kardek de Melo**, apresentada ao Programa de Pós- graduação em Química da Universidade Federal da Grande Dourados.

Documento assinado digitalmente



TIAGO ANDRE DENCK COLMAN

Data: 19/09/2022 15:24:04-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

_Prof. Dr. Tiago André Denck Colman (Orientador)
Presidente da Banca Examinadora (UFGD)

Documento assinado digitalmente



DANIEL ARAUJO GONCALVES

Data: 21/09/2022 16:48:50-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

_Prof. Dr. Daniel Araújo Gonçalves
Membro Examinador (UFGD)

Documento assinado digitalmente



RICHARD PEROSA FERNANDES

Data: 19/09/2022 15:34:25-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

_Prof. Dr. Richard Perosa Fernandes
Membro Examinador (UFMT)

Dourados/MS, 03 de setembro de 2022.

Agradecimentos

Meu primeiro agradecimento é a Deus, acredito firmemente que sem Ele não poderia ter os outros agradecimentos. De modo especial agradeço pela força e capacidade que me deu para conseguir concluir mais esta etapa, a conclusão do mestrado. Escrevendo esse agradecimento me veio a música que me acompanhou mentalmente ao longo desse processo, que tem a seguinte frase, “Aquilo que parecia impossível, aquilo que parecia não ter saída [...] estou aqui.” Estou aqui, e só tenho a agradecer.

A minha família de origem, nossa! Muito obrigada! Obrigada minha querida irmã-Viviane por todo suporte, oração e palavras de conforto. Você foi essencial na realização deste trabalho. Agradeço às minhas amadas tias Celina e Antônia, pelas orações e por toda ajuda da melhor maneira possível. Aos meus amados pais (Rosângela e Vismar), obrigada pela educação que me deram, se conheço e busco a Verdade é pelo exemplo dos senhores e pela base que me deram para formar meu caráter.

Um agradecimento muito especial, ao meu amor. Querido marido (que na época que iniciei o mestrado era namorado) muito obrigada, por tudo. Pelas palavras encorajadoras com carinho e conforto. Pelos momentos de distrações que aliviaram muito essa jornada. Obrigada pelo seu suporte, cuidado e ser tão amoroso comigo. Te amo!

Ao querido professor Tiago, sou muito grata por ter aceitado meu pedido de orientação, se não fosse o seu SIM, muito provável que não estaria aqui me tornando mestre em Química. Obrigada professor pelos seus ensinamentos, sua compreensão e paciência, e até mesmo por todas as vezes que me mostrou seu lado humano, generoso e acolhedor.

Ao meu coorientador, o prof. Thiago que me acompanhou desde da graduação, tenho um carinho pelo senhor e sua família. Obrigada por tudo professor, pelos ensinamentos e conhecimentos passados.

Agradeço aos colegas de laboratório, de modo especial, a Jeniffer pelas conversas e desabafos em 2021, e ao Berna pela parceria ao longo de todo mestrado, desde quando estávamos remotos discutindo sobre as disciplinas até quando voltamos presencialmente. Obrigada aos dois pelas companhias na hora do almoço.

À CAPES pela bolsa concedida.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização desse trabalho.

Muito obrigada!

Resumo

A complexação dos metais de lantanídeos com uma classe de fármacos, os anti-inflamatórios não esteroides, pode apresentar fármacos promissores com grande atividade biológica cancerígena e bacteriana. Com a necessidade de compreender melhor as interações físicas e químicas destes novos complexos o objetivo deste trabalho é caracterizar dois compostos de lantânio e gadolínio com aceclofenaco utilizando a Análise Térmica por curvas TG-DSC e a análise cinética dos compostos aplicando a termogravimetria. Realizar um levantamento bibliográfico de artigos recentes que estudaram a cinética de reações do estado sólido aplicando a análise térmica. Os resultados obtidos determinaram que o composto de lantânio é o menos estável comparado com o composto de gadolínio, possui também menor energia de ativação e uma linearidade menor. O composto de gadolínio além de ter uma maior energia de ativação, também possui maior linearidade, ou seja, o modelo estático aplicado aos compostos foi de $r^2 = 0,95$ para o composto de lantânio e de $r^2 = 0,98$ para o composto de gadolínio, sendo assim, os resultados da caracterização e o estudo cinético realizados foram considerados satisfatórios.

Palavras chaves: estudo cinético, método isoconversional, complexos de lantanídeos.

Abstract

The complexation of lanthanide metals with a class of drugs, the non-steroidal anti-inflammatory drugs, may present promising drugs with great carcinogenic and bacterial biological activity. With the need to better understand the physical and chemical interactions of these new complexes, the objective of this work is to characterize two compounds of lanthanum and gadolinium with aceclofenac using Thermal Analysis by TG-DSC curves and kinetic analysis of the compounds applying thermogravimetry. To carry out a bibliographic survey of recent articles that studied the kinetics of solid state reactions applying thermal analysis. The results obtained determined that the lanthanum compound is the least stable compared to the gadolinium compound, it also has a lower activation energy and a lower linearity. The gadolinium compound, in addition to having a higher activation energy, also has higher linearity, that is, the static model applied to the compounds was $r^2= 0.94$ for the lanthanum compound and $r^2= 0.98$ for the gadolinium compound. gadolinium, thus, the results of the characterization and the kinetic study performed were considered satisfactory

Keywords: kinetic study, isoconversional method, lanthanide complexes.

Referências

- [1] REIS, I. F. **Obtenção de Complexos de Lantanídeos com Espiropiranos e Estudo de suas Propriedades Eletrônicas**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pósgraduação Multicêntrico em Química de Minas Gerais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, cap. 1, p 10, 2019.
- [2] TENORIO, K. V. **Síntese e caracterização: uma abordagem termogravimétrica, espectroscópica e estrutural de complexos de lantanídeos trivalentes La(III), Ce(III) e Pr(III) com um ligante monocarboxilato**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, p 16, 2018.
- [3] FREITAS, C. H. **Partição de complexos de lantanídeos entre as fases de um reservatório de petróleo**. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia das Radiações, Belo Horizonte – MG, p 88, 2007.
- [4] COLMAN, T. A. D. **Síntese, caracterização e estudo termoanalítico dos nicotínatos de lantanídeos (III) e de ítrio (III), no estado sólido**. Tese (Doutorado) - Programa de Pósgraduação em Química, Unesp, Araraquara – Sp, p 107, 2016.
- [5] TEIXEIRA, J. A. **Síntese, caracterização e estudo termoanalítico dos p-aminobenzoatos de lantanídeos (III) e ítrio (III), exceto promécio, no estado sólido**. Tese (Doutorado) - Programa de Pósgraduação em Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara – Sp, p 28, 2018.
- [6] VASCONCELOS, E. S. **Complexos de íons lantanídeos com carboxilatos aromáticos: dependência das propriedades fotoluminescentes com a natureza e a posição de substituintes elétron-doadores**. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Química – UFPB, João Pessoa – PB, p 173, 2014.
- [7] NOVA, S. P. V. **Novos macrociclos de lantanídeos: marcadores fotônicos projetados para aplicações biotecnológicas**. Tese (Doutorado)- Programa de Pós-Graduação em Química – UFPE, Recife – PE, p 203, 2003.
- [8] ARMELAO L., QUICI S., BARIGELLETTI F., ACCORSI G., BOTTARO G., CAVAZZINI M., TONDELLO E. Design of luminescent lanthanide complexes: From molecules to highly efficient photo-emitting materials, *Coordination Chemistry Reviews*, v 254, p 487-505, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2009.07.025>

- [9] BÜNZLI J-C. G. Benefiting from the Unique Properties of Lanthanide Ions. *ACS Publications*, v 39, p 53-61, 2006. <https://doi.org/10.1021/ar0400894>
- [10] NARENDRA S. C., SAPANA J., PAYAM Z., NARENDRA P. S. C. Lanthanide complexes as anticancer agents: a review. *Polyhedron*, v 207, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2021.115387>.
- [11] FRICKER, S. P. The therapeutic application of lanthanides. *Chemica Society Reviews*, v 35, p 524– 533, 2006.
- [12] MARTINS, T. S.; ISOLANI, P. C. Terras raras: aplicações industriais e biológicas. *Química Nova*, v 28, 2004.
- [13] FONSECA, N. M.; PONTES, J. P. J.; PEREZ, M. V.; ALVES, R. R.; FONSECA, G. G. Brazilian society of anesthesiology update of the regional anesthesia guideline for using anticoagulants. *Brazilian Journal of Anesthesiology*, 2020
- [14] NIROOMAND, S.; KHORASANI-MOTLAGH, M.; NOROOZIFAR, M.; JAHANI, S.; MOODI, A. Photochemical and DFT studies on DNA- binding ability and antibacterial activity of lanthanum (III)- phenanthroline complex. *Journal of Molecular Structure*, v 1130, p 940-950, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2016.10.076>.
- [15] MALGORZATA T. K., ZABISZAK M., NOWAK M., JASTRZAB R. Lanthanides: Schiff base complexes, applications in cancer diagnosis, therapy, and antibacterial activity. *Coordination Chemistry Reviews*, v 370, p 42-54, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2018.05.012>.
- [16] SIJIA G., MUJIE H., ZHE S., DANPING L., CHANGJIAN X., LING F., SHUO L., KANG Z., QIUXIANG P. A new mixed-ligand lanthanum(III) complex with salicylic acid and 1,10-phenanthroline: Synthesis, characterization, antibacterial activity, and underlying mechanism, *Journal of Molecular Structure*, v 1225, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129096>.
- [17] KACZMAREK M. T., ZABISZAK M., NOWAK M., JASTRZAB R. Lanthanides: Schiff base complexes, applications in cancer diagnosis, therapy, and antibacterial activity. *Coordination Chemistry Reviews*, v. 370, p. 42-54, 2018.

- [18] ZHOU M. X., REN N., ZHANG J. J., WANG D. Q. Synthesis, crystal structure, thermal, luminescent property and antibacterial activity of lanthanide ternary complexes with p-chlorobenzoic acid and 5, 5'-dimethyl-2, 2'-bipyridine. *Journal of Molecular Structure*, v 1200, p 127049, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.127049>.
- [19] SHAHRAKI S., SHIRI F., HEIDARI M. H., DAHMARDEH S. Anti-cancer study and whey protein complexation of new lanthanum (III) complex with the aim of achieving bioactive anticancer metal-based drugs. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, v 37, p. 2072-2085, 2019. <https://doi.org/10.1080/07391102.2018.1476266>.
- [20] TAHA ZA., HIJAZI AK., MOMANI W. A. Lanthanide complexes of the tridentate Schiff base ligand salicylaldehyde-2-picolinoylhydrazone: Synthesis, characterization, photophysical properties, biological activities and catalytic oxidation of aniline. *Journal of Molecular Structure*, v. 1220, p. 128712, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.128712>.
- [21] ZHOU X., ZHAO X., WANG Y., WU B., SHEN J., LI L., LI Q. Eu(III) and Tb(III) Complexes with the Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drug Carprofen: Synthesis, Crystal Structure, and Photophysical Properties. *Inorganic Chemistry*, v 53, p 12275-12282, 2014. <https://doi.org/10.1021/ic501252x>.
- [22] ZHAO X., LING Y., ZHANG Y., BAI J., DONG Y. A low-toxic luminescent terbium(III)-loxoprofen complex for bio-optical imaging. *Optik*, v 260, p 169128, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169128>.
- [23] SOLEYMANI J., HASANZADEH M., SHADJOU N., SOMI M., JOUYBAN A. Spectrofluorimetric cytosensing of colorectal cancer cells using terbium-doped dendritic fibrous nano-silica functionalized by folic acid: a novel optical cytosensor for cancer detection. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, v. 180, p. 113077, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2019.113077>.
- [24] MOHAMMADZADEH A., JOUYBAN A., HASANZADEH M., SHAFIEI-IRANNEJAD V., SOLEYMANI J. MOHAMMADZADEH. Ultrasensitive fluorescence detection of antitumor drug methotrexate based on a terbium-doped silica dendritic probe. *Analytical Methods*, v. 13, n. 37, p. 4280-4289, 2021. <https://doi.org/10.1039/D1AY01098K>.

- [25] CAMPOS F. X., NASCIMENTO A. L.C.S., COLMAN T. A. D., GÁLICO D. A., CARVALHO A. C.S., CAIRES F. J., SIQUEIRA A. B., IONASHIRO M. Thermal behavior, spectroscopic studies and free radical scavenging potential of some mefenamate trivalent lanthanides (Sm, Eu, Gd, Tb and Dy). *Thermochimica Acta*, v 651, p 73-82, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2017.03.002>.
- [26] JEAN-CLAUDE G. BÜNZLI. Lanthanide light for biology and medical diagnosis. *Journal of Luminescence*, v 170, p 866-878, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2015.07.033>.
- [27] GÁLICO D. A., LAHOUD M.G., DAVOLOS M.R., FREM R.C., FRAGA-SILVA T. F., VENTURINI J., ARRUDA M. S. BANNACH G. Spectroscopic, luminescence and in vitro biological studies of solid ketoprofen of heavier trivalente lanthanides and yttrium(III). *Journal of Inorganic Biochemistry*, v. 140, p. 160-166. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2014.07.008>.
- [28] GUERRA R. B. **Síntese, caracterização e avaliação da atividade biológica de metalofármacos de sulindaco com íons lantanídeos (III) no estado sólido**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Estadual Paulista/ UNESP, Bauru, p 18, 2015.
- [29] HOLANDA B. B. C. **Síntese e caracterização de complexos de lantanídeos pesados e ítrio(III) com o fármaco ibuprofeno no estado sólido**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Estadual Paulista/ UNESP, Bauru, p 18, 2015.
- [30] DE SOUZA, A. S.; EKAWA, B.; DE CARVALHO, C. T.; TEIXEIRA, J. A.; IONASHIRO, M.; COLMAN, T. A. D. Synthesis, characterization, and thermoanalytical study of aceclofenac of light lanthanides in the solid state (La, Ce, Pr, and Nd). *Thermochimica Acta*, v 683, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2019.178443>.
- [31] BLOKHINA, S.; SHARAPOVA, A.; OL'KHOVICH, M.; PERLOVICH, G. Thermodynamic study of aceclofenac solubility, distribution and sublimation. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, v 137, p 13-21, 2019.
- [32] COLMAN M., SILVEIRA S. R., LAZZAROTTO M., HANSEL F. A., COLMAN T. A. D, SCHNIZLER E. Evolved gas analysis (TG-DSC-FTIR) and (Pyr-GC-MS) in the

disposal of medicines (aceclofenac). *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*, v119, p 157-161, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.03.005>.

[33] BRAGA, R. S. **Análise da metodologia descrita na caracterização termoanalítica envolvendo compostos de aceclofenaco e seus derivados: O que diz a literatura?**. Trabalho de conclusão de curso em Química, Universidade Federal da Grande Dourados, 2021.

[34] MALI K. K., DHAWALE S. C., DIAS R. J., HAVALDAR V. D., KAVITAKE P. R. Interpenetrating networks of carboxymethyl tamarind gum and chitosan for sustained delivery of aceclofenac. *Marmara Pharmaceutical Journal*, v. 21, p. 771-782, 2017. <https://doi10.12991/mpj.2017.20>.

[35] IONASHIRO M., CAIRES F. J., GOMES D. J. C. *Giolito: fundamentos da termogravimetria e análise térmica diferencial/calorimetria exploratória diferencial*. 2ª Ed. São Paulo: *Giz*, p192, 2014.

[36] NICHOLAS P. Thermal Analysis. *Polymer Characterization*, p 17-24, 1996. <https://doi.org/10.1016/B978-081551403-9.50004-2>.

[37] SEIFI H., GHOLAMI T., SEIFI S., GHOREISHI S. M., NIASARI M. S. A review on current trends in thermal analysis and hyphenated techniques in the investigation of physical, mechanical and chemical properties of nanomaterials. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v 149, p 104840, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104840>.

[38] VYAZOVKIN S., BURNHAM A., CRIADO J., PÉREZ-MAQUEDA L., POPESCU C., SBIRRAZZUOLI N. ICTAC Kinetics Committee recommendations for performing kinetic computations on thermal analysis data. *Thermochimica Acta*, v. 520, p. 1-19, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2011.03.034>

[39] AFIFY N. A new method to study the crystallization or chemical reaction kinetics using thermal analysis technique. *J. Physics and Chemistry of Solids*, v. 69, P 1691-1697, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jpics.2007.12.016>.

[40] VYAZOVKIN, S, BURNHAM, A, FAVERGEON, L, NOBUYOSHI K., MOUKHINA E., PÉREZ-MAQUEDA L., SBIRRAZZUOLI N. ICTAC Kinetics Committee recommendations for analysis of multi-step kinetics. *Thermochimica Acta*, v.689, p 178597, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2020.178597>.

- [41] STA 449 F1 Jupiter. Nezh, capítulo III- componentes do sistema, disponível em: https://www.cif.iastate.edu/sites/default/files/uploads/Other_Inst/TGA/STA449%20F1%20Operating%20Instructions.pdf.
- [42] RYTLEWSKI P., MRÓZ W., BUDNER B., MORACZEWSKI K., MALINOWSKI R., JAGODZINSKI B. Application of thermogravimetry in the assessment of coatings ability to be metallized. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v 127, p 381–387, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5878-8>
- [43] DRISYA, R., SOUMYAMOL, U.S., SATHEESH CHANDRAN, P.R. Structural, thermal decomposition and luminescent studies on gel grown crystals of poly[tetraaquadinicotinatostrontium(II)] containing ‘ χ ’-shaped hydrophobic channels. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v.134, p.1987–1999, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7868-5>
- [44] FERRARI, VANESSA C. G. M.; AZEVEDO, MARGARETE F. P.; DAVID, LUIS H.; LOURENÇO, VERA L. Study of Cure Kinetics of a Pre-Impregnated Epoxy Resin/Carbon Fiber Using the Isoconversional Method. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.24, n1, p.123-128, 2014. <http://dx.doi.org/10.4322/polimeros.2014.060>.
- [45] ATKINS P., PAULA J. Físico-Química. Livros Técnicos e Científicos, *LTC*, 10^a Ed. Rio de Janeiro, v 1, 2014.
- [46] LEVINE I. N. Físico- Química Fundamentos, Livros Técnicos e Científicos, *LTC*, Rio de Janeiro, 2012.
- [47] SILVA, Valter Henrique Carvalho. **Descrição Alternativa do Comportamento Não-Arrhenius da Constante Cinética em Sistemas Químicos**. 2013. 136 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Química, Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- [48] LIMA L. S. Energia de ativação. *Revista Ciências Elementar*, v 03, p 35, 2015. <https://doi.org/10.24927/rce2015.035>.
- [49] [Atkins] ATKINS P., PAULA J. Físico- Química Fundamentos, Livros Técnicos e Científicos, *LTC*, 3^a Ed. Rio de Janeiro, 2001.
- [50] SOUZA, M. A. F. **Avaliação Termoanalítica e Cinética de Medicamentos Antiretrovirais (Estavudina, Lamivudina, Zidovudina) e síntese de novos produtos**

derivados dos antiretrovirais. Tese de Doutorado, Universidade Federal da Paraíba, p 30-38, 2008.

[51] LIMA, N. G. P. B. **Trissoralen um medicamento de baixa dosagem: estudos termoanalíticos da compatibilidade do fármaco- excipiente e determinação de parâmetros de qualidade para cápsulas magistrais.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande Do Norte, 2014.

[52] SHARP J. H., WENTWORTH S. A. Kinetic analysis of thermogravimetric data, *Analytical chemistry*, v 41, p 2060-2062, 1969. <https://doi.org/10.1021/ac50159a046>.

[53] VYAZOVKIN S., RIVES V., SCHICK C. Making impact in thermal sciences: Overview of highly cited papers published in Thermochemica Acta. *Thermochemica Acta*, v. 500, p. 1-5, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2010.02.005>

[54] ZHANG X. Applications of Kinetic Methods in Thermal Analysis: A Review. *Engineered Science*, v 14, p 1–13. 2021. <https://dx.doi.org/10.30919/es8d1132>.

[55] BROWN M., MACIEJEWSKI M., VYAZOVKIN S., NOMEN R., SEMPERE J., BURNHAM A., OPFERMANN J., STREY R., ANDERSON H., KEMMLER A., KEULEERS R., JANSSENS J., DESSEYN H., CHAO-RUI L., TONG B., RODUIT B., MALEK J., MITSUHASHI T. Computational aspects of kinetic analysis: Part A: The ICTAC kinetics project-data, methods and results, *Thermochemica Acta*, v. 355, p. 125-143, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(00\)00443-3](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(00)00443-3)

[56] KHAWAM A., FLANAGAN D. Role of isoconversional methods in varying activation energies of solid-state kinetics: II. Nonisothermal kinetic studies. *Thermochemica Acta*, v. 436, p.101-112, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2005.05.015>

[57] LOGVINENKO V., SAPIANIK A., PISHCHUR D., FEDIN V. Thermal decomposition of inclusion compounds and metal–organic frameworks on the basis of heterometallic complex $[\text{Li}_2\text{Zn}_2(\text{bpdc})_3]$. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 138, p. 4453-4461, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08173-0>

[58] LOGVINENKO V., ALIEV S., BOLOTOV V., DYBTSEV D., FEDIN V. Thermal (kinetic) stability of inclusion compounds on the basis of porous metal–organic frameworks. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 127, 779–787, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5398-6>

- [59] DRISYA, R., SOUMYAMOL, U.S., SATHEESH CHANDRAN, P.R. Structural, thermal decomposition and luminescent studies on gel grown crystals of poly[tetraaquadinicotinatostrontium(II)] containing 'χ'-shaped hydrophobic channels. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v.134, p.1987–1999, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7868-5>
- [60] UZUN N., ÇOLAK A., EMEN F., ÇILGI G. The thermal and detailed kinetic analysis of dipicolinate complexes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v.124, p.1735–1744, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5251-y>
- [61] CHENG L., LI W., LI Y., YANG Y., CHENG Y., SONG D. Thermal analysis and decomposition kinetics of the dehydration of copper sulfate pentahydrate. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v.135, p. 2697–2703, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7595-y>
- [62] SUNDARI S., RISHWANA S., KOTRESH T., RAMANI R., SHEKAR R., VIJAYAKUMAR C. Effect of structural variation on the thermal degradation of nanoporous aluminum fumarate metal organic framework (MOF). *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10973-021-10899-9>
- [63] ZDRAVKOVIĆ, J.D., POLETI, D., ROGAN, J., BEGOVIC N., BLAGOJEVIC V., VASIC M., MINIC D. Thermal stability and degradation of binuclear hexaaqua-bis(ethylenediamine)-(μ₂-pyromellitato)dinickel(II) tetrahydrate. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v.123, p. 1715–1726, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-5007-0>
- [64] KOCHETYGOV I., FILATOV E., KURATIEVA N., PLYUSNIN P., NAUMOV D., ZADESENETS A., KORENEV S., TSYGANKOVA A., LOGVINENKO V. Crystal structure and thermal properties of K₃[Ir(C₂O₄)₃].4.25H₂O and K₃[Ir(C₂O₄)₃].0.5KCl.4H₂O. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, V.126, 1541–1548, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5687-0>
- [65] PAPADOPOULOS C., CRISTÓVÃO B., FERENC W., HATZIDIMITRIOU A., CIPRIOTI V., RISOLUTI R., KANTOURI M. Thermoanalytical, magnetic and structural investigation of neutral Co(II) complexes with 2,2'-dipyridylamine and salicylaldehydes

Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 123, p. 717–729, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4976-3>

[66] LOGVINENKO V., ZAVAKHINA M., BOLOTOV V. PISHUR D., DYBTSEV D. Some basic correlations in the thermal (kinetic) stability of inclusion compounds on the basis of microporous metal–organic frameworks. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 130, 335–342, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10973-017-6317-1>

[67] FUYING D., XINGRONG S., SHENGYU F. Thermal degradation kinetics of functional polysiloxanes containing chloromethyl groups. *Thermochimica Acta*, v. 639, p. 14–19, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2016.07.007>

[68] ZHANG G., LIU J., SONG N., LIU Y., YANG L. Research on the thermal performance and storage life of series of high-energy hydrazine nitrate complexes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 129, p. 1887–1897, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10973-017-6323-3>

[69] MUHAMMAD N., IKRAM M., REHMAN, S., IBRAHIM, M., SCHULZKE C. Structural, thermal kinetics and thermodynamics study of new mixed ligand zinc complexes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 128, p. 627–637, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5842-7>

[70] WANG Y., ZHAO Q., REN N., ZHANG J., GENG L., WANG S. Crystal structures, thermal properties, and luminescent properties of two novel mononuclear lanthanide complexes with 2,4-dichlorobenzoic acid and 2,2':6',2''-terpyridine. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 126, p. 1703–1712, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5728-8>

[71] LOGVINENKO V., SAPCHENKO S., FEDIN V. Thermal decomposition of inclusion compounds on the base of the metal–organic framework [Zn₄(DMF)(ur)₂(ndc)₄]. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 123, 697–702, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4923-3>

[72] WANG, PC., XIE, Q., XU, YG. A kinetic investigation of thermal decomposition of 1,1'-dihydroxy-5,5'-bitetrazole-based metal salts. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 130, p. 1213–1220, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10973-017-6485-z>

- [73] FARHADI A., ESLAMI, A., KUBICKI, M. Direct synthesis of Zn(II) and Cu(II) coordination polymers based on 4,4'-bipyridine and 1,10-phenanthroline and evaluating their effects as catalyst on ammonium perchlorate thermal decomposition. *Journal Therm Anal Calorim*, v.140, p.1779–1789, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08936-9>
- [74] LEI N., JIE Y., ZHE F., XINYU Y., JUNCHENG J., ZHIRONG W., DUNRU Z. Preparation, crystal structure and thermal hazard analysis of [aqua(μ 5-N-(tetrazole-5-ylacetato)-N-(tetrazole-5'-yl-2'-acetato)amine- κ 7O1:O1',O2,N3,N4,O4:O4')]lead(II)]. *Thermochimica Acta*, v. 672 p. 9-13, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2018.12.005>.
- [75] BEGOVIĆ N., VASIĆ M., BLAGOJEVIĆ V., FILIPOVIC N., MARINKOVIC A., MALESEVIC A., MINIC D. Synthesis and thermal stability of *cis*-dichloro[(*E*)-ethyl-2-(2-((8-hydroxyquinolin-2-il)methylene)hidrazinyl)acetate- κ^2 N]-palladium(II) complex. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 130, p. 701–711, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10973-017-6458-2>
- [76] AYODELE B., HOSSAIN M., CHONG S., SOH J., ABDULLAH S., KHAN M., CHENG C. Non-isothermal kinetics and mechanistic study of thermal decomposition of light rare earth metal nitrate hydrates using thermogravimetric analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 125, p. 423–435, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10973-016-5450-6>
- [77] TEXEIRA, J. A., IONASHIRO M., NUNES W. D. G., COLMAN T. A. D., NASCIMENTO A. L. C. S., CAIRES F. J., GÁLICO D. A. Thermal and spectroscopic study to investigate *p*-aminobenzoic acid, sodium *p*-aminobenzoate and its compounds with some lighter trivalent lanthanides. *Thermochimica Acta*, v 624, p59-68, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2015.11.023>.
- [78] ANVISA. *Farmacopeia Brasileira 5 Ed*, v 1, 2010. Disponível em: 8000json-file-1 (www.gov.br)
- [79] NETZSCH. Produtos. Disponível em: <https://analyzing-testing.netzsch.com/pt-BR/products/termogravimetria-calorimetria-exploratoria-diferencial-simultaneas-sta-tg-dsc/sta-449-f1-jupiter>

[80] SHIMADZU. Série TGA- 50. Disponível em:
<https://www.shimadzu.com/an/products/thermal-analysis/thermogravimetric-analysis/tga-50-series/index.html>