SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DOS MALEATOS HIDRATADOS DE LANTÂNIO, NEODÍMIO E ÉRBIO

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF LANTANIUM, NEODYMIUM AND ERBIUM MALEATES.

MELO¹, ROSEANE MARIA DE. , LIMA¹, FRANCISCO JOSÉ SANTOS, SILVA¹, ADEMIR. OLIVEIRA DA e BRAGA², CLÁUDIO CÉSAR DE MEDEIROS,

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
CCET – Departamento de Química

²Centro Federal de Educação Tecnológica – CEFET-RN
E-mail: ro_mmelo@yahoo.com.br, limafjs@yahoo.com,
ademiros@ufrnet.br, claudio@cefetrn.br

Received 8 January 2009; received in revised form 13 January 2009; accepted 18 January 2009

RESUMO

Os maleatos lantânio, neodímio e érbio, foram preparados a partir dos óxidos com ácido clorídrico em suspensão aquosa. Os compostos obtidos foram estudados através da complexometria com EDTA, condutância molar, termogravimetria (TG), espectroscopia na região do infravermelho, difratometria de raios X pelo método do pó e modelagem molecular. As curvas TG foram obtidas em atmosfera de ar sintético. Os resultados possibilitaram estabelecer a estequiometria e o grau de hidratação dos compostos, que apresentaram fórmula geral: $M(\text{Mal})_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$. As curvas TG também permitiram verificar a estabilidade térmica, bem como o processo de decomposição térmica, destes compostos. Os difratogramas de raios X, pelo método pó, mostraram que todos os compostos possuem estrutura cristalina, porém, sem formação de série isomórfica.

Palavras-chave: maleatos de lantanídeos, lantânio, neodímio, érbio

ABSTRACT

The lanthanum, neodymium and erbium maleates, were prepared starting from the oxides with hydrochloric acid for the formation of the salts, both in aqueous suspension, and after recrystallized and dry, acid maleic was added. The obtained compositions were studied through the with EDTA complexometry, molar conductance thermogravimetry (TG), infrared spectroscopy, rays-X diffractometry for the method of the powder and molecular modelling. The curves TG were obtained in atmosphere of synthetic air. The results made possible to establish the stoichiometry and the degree of hydration of the compositions, that presented general formula: $M(\text{Mal})_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$. The curves TG also allowed to verify the thermal stability, as well as the process of thermal decomposition, of these composed. The rays-X diffraction, for the method powder, showed that all the compositions possess crystalline structure, however, without formation of series isomorphous.

Keywords: lanthanides maleates, lanthanum, neodymium, erbium

Introdução

Os compostos de lantanídeos têm a capacidade de formar compostos de coordenação, com ligantes que apresentam capacidades de doação específicas. Entre estes, os ligantes oxo e nitro-doadores têm sido bastante investigados, devido às suas características de conferir estabilidade termodinâmica aos compostos formados frente ao manuseio em atmosfera normal, um dos requisitos básicos para aplicação no meio tecnológico. Esta propriedade é intensificada pela existência de mais de uma posição de coordenação, no caso um quelante bidentado com possibilidades de formação de ponte para obtenção de dímeros ou polímeros.

1.1 Lantanídeos

Os lantanídeos são conjuntos ou série de elementos da Tabela Periódica, após o lantânio ($Z = 57$), com números atômicos de 57 (lantânio) a 71 (lutécio). São classificados juntos, porque nesta série de elementos o aumento de um próton no núcleo corresponde a um aumento de elétrons no sub-nível $4f$ e, por isso, constituem o bloco f da Tabela Periódica juntamente com os Actinídeos. As energias relativas dos orbitais nd e $(n-1)f$ são bastante próximas e sensíveis à ocupação destes orbitais. Os átomos neutros apresentam algumas irregularidades nas suas configurações eletrônicas, destacando-se a excepcional estabilidade das configurações $(4f^7)$ dos elementos Európio e Gadolínio. Caracteriza-se pela química nos estados de oxidação $+3$ por ser mais estável em solução e em compostos exceto para o cério que é $+4$. Esses metais são moles e de coloração branca prateada. São eletropositivos e muito reativos. As propriedades químicas dos elementos desse grupo se restringem praticamente às propriedades dos seus compostos trivalentes, onde a maioria de seus íons é colorida tanto no estado sólido como em solução aquosa. A cor surge por causa da absorção de luz de determinados comprimentos de onda, correspondentes a determinadas transições eletrônicas. Estas colorações são devidas a transições $f-f$. As bandas de absorção são geralmente muito finas e de baixa intensidade. Os lantanídeos são usados na calibração do comprimento de onda de instrumentos, dessa forma muitas transições são geralmente possíveis. Os espectros de absorção dos íons lantanídeos são úteis tanto para a determinação qualitativa como para a

análise quantitativa desses elementos (LEE, 1996).

As propriedades magnéticas de seus compostos são muito próximas do comportamento previsto para seus íons livres, o que mostra a pequena interação do ambiente químico com os cátions. Os lantanídeos têm poucas aplicações no estado puro. Porém, a mistura de La e de outros lantanídeos, denominada "mischmetal", é adicionada ao aço para aumentar sua resistência e trabalhabilidade. É ainda usado em ligas de magnésio. Pequenas quantidades de mischmetal são usadas como "pedras de isqueiro". Seu uso se estende em várias áreas, tais como, lentes de Crookes, que protegem contra a radiação ultravioleta (La_2O_3), o (CeO_2) é utilizado para polir vidros e como revestimento de fornos "auto-limpantes". Outros óxidos e compostos de lantanídeos são empregados como material fosforescente em tubos de TV a cores, conversores de radiação, laser's para várias aplicações, catalisadores, etc (COTTON, 1988).

1.2 Ácido Maleico

Em geral, os ácidos dicarboxílicos apresentam o mesmo comportamento químico que os ácidos monocarboxílicos. Podem ser transformados em sais, cloretos de ácido, ésteres, amidas e anidridos. Podem preparar-se diferentes compostos derivados tanto por transformação de um dos grupos carboxila apenas, como por transformação desses dois grupos.

O ácido maleico ($C_4H_4O_4$) é um sólido cristalino incolor que possui isomeria geométrica *cis*, é obtido comercialmente pela oxidação catalítica do benzeno ou do but-2-eno que se converte ao isômero *trans* termodinamicamente mais estável, portanto, seu ponto de fusão e densidade é menor fazendo assim pontes de hidrogênio intermoleculares em menor quantidade que a intramolecular do que o seu isômero, por isso, apresenta maior solubilidade em água, como mostra a Figura 01 (SOLOMONS, 1990).

1.3 Compostos Derivados do Ácido Maleico

Sais do ácido maleico com íons neodímio e samário foram sintetizados por Oczko e colaboradores, com investigações direcionadas à estrutura cristalina, magnetismo e fotofísica

destas espécies, sendo determinadas as estequiometrias $\text{LnMal}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, onde $\text{Ln} = \text{Nd}$ e Sm e $\text{Mal} =$ ânion derivado do ácido maleico, HMal . Os compostos de partida foram os respectivos óxidos dissolvidos em solução aquosa de ácido maleico. A Figura 02 ilustra a estrutura cristalina dos sais sintetizados (OCZKO, *et al.*, 2002).

Compostos de lantanídeos em solução com o ácido maleico também foram sintetizados por Panyushkin e colaboradores, onde foram determinadas as composições LnMal para o sal e LnMalA_2 para os complexos onde $\text{Ln} = \text{Pr}$, Nd , Sm , Eu , Tb , Ho , Er e Yb e $\text{A} =$ acetilacetona. A síntese destes compostos teve os óxidos dissolvidos em ácido clorídrico para obtenção dos respectivos cloretos para em seguida serem refluxados em um condensador de refluxo sob vácuo (2×10^3 Pa) com acetilacetona (PANYUSHKIN, *et al.*, 2002).

Metodologia

2.1 Síntese dos Maleatos

Os maleatos hidratados de lantanídeos serão preparados a partir de uma suspensão aquosa dos respectivos óxidos metálicos (exceto cério), por adição lenta de uma solução de ácido maleico numa proporção de 1:4. Os hidratos $\text{LnMal}_y \cdot x\text{H}_2\text{O}$ são obtidos por evaporação lenta das soluções aquosas dos sais correspondentes. Foram caracterizados por titulação complexométrica com EDTA, microanálise de carbono, nitrogênio e hidrogênio, testes qualitativos de solubilidade, análise térmica, condutância molar, espectros infravermelho, difração de raios-x, espectroscopia uv-visível e modelagem molecular (OLIVEIRA, 1975).

2.2 Síntese dos Compostos de Coordenação

s complexos foram obtidos a partir dos maleatos hidratados de terras-raras. O produto obtido foi purificado pela técnica de recristalização, foram mantidos em um dessecador sob vácuo para em seguida serem caracterizados pelas diversas técnicas físico-químicas de análise.

2.3 Caracterização Físico-Química

Os compostos de coordenação, depois de isolados, serão caracterizados e investigados suas propriedades físico-químicas por

microanálise, condutância eletrolítica, difratogramas de raios-x, espectros vibracionais infravermelhos, espectros eletrônicos de absorção e emissão e análise térmica.

Os experimentos citados têm por objetivos estabelecer as propriedades físicas e químicas dos compostos em estudo, e virtualidades relacionadas com o ambiente químico, sítio e número de coordenação. Também obtemos informações da natureza das ligações, possíveis simetrias, geometrias e da reatividade térmica e fotoquímica das espécies complexas obtidas. Programas computacionais serão usados na determinação dos parâmetros de ligação, força do oscilador, polarizabilidades eletrônicas e modelagem molecular dos compostos.

2.4 Titulação Complexométrica e Microanálise de CHN

O método de titulação complexométrica com EDTA foi usado para determinar a massa molar das amostras de maleato de terras raras (lantânio, cério, neodímio, samário, disprósio e érbio). Foi utilizado o alaranjado de ortoxilenol como indicador, a solução tampão de acetato de sódio-ácido acético com $\text{pH} = 5,8$ e piridina como agente complexante auxiliar. O volume do titulante (EDTA) estimou o número de mols de água presentes, o percentual de metal, e propôs as possíveis estequiometrias dos compostos, a partir das equações:

a) Massa molar da amostra (M_{am}):

$$M_{\text{am}} = m_{\text{am}} / [N_{\text{EDTA}} \cdot V_{\text{EDTA(L)}}] \quad (1)$$

b) Números de mols de água de hidratação ($n\text{H}_2\text{O}$):

$$n\text{H}_2\text{O} = [M_{\text{am}} - M_{\text{teórica}}] / M_{\text{H}_2\text{O}} \quad (2)$$

c) Percentual de metal na amostra (%M):

$$\%M = M_{\text{m}} \cdot N_{\text{EDTA}} \cdot V_{\text{EDTA(L)}} / m_{\text{am}} \quad (3)$$

onde m_{am} é a massa da amostra titulada com EDTA, N_{EDTA} e $V_{\text{EDTA(L)}}$ são respectivamente a normalidade e o volume em litros gastos do titulante, $M_{\text{teórica}}$ é a massa molar teórica, $M_{\text{H}_2\text{O}}$ é a massa molar da água, M_{m} é a massa atômica do metal. A microanálise de CHN permite a comprovação das estimativas da titulação

complexométrica e a proposta da fórmula molecular dos compostos.

2.5 Condutância

O uso de medidas de condutância eletrolítica é de grande utilidade como informação de partida, para a elucidação da provável simetria de um dado complexo. A partir da determinação da interação entre o cátion metálico e o ânion, obtidos em soluções com solventes específicos, pode-se, com a estequiometria proposta, avaliar a possibilidade de coordenação dos ligantes e estimar, em alguns casos, a(s) possível(eis) estequiometria(s) dos complexos (GUTTMAN, 1976).

As soluções dos compostos foram controladas e repetidas por três vezes e o experimento foi realizado a 25 °C. Por meio das medidas da condutância da solução dos sais (lantânio, érbio e neodímio) e do solvente (água), encontraram-se valores da condutância molar dos compostos.

As leituras de condutividade foram realizadas em um condutivímetro digital QUIMIS (modelo Q405). O valor de condutância molar é calculado pela equação:

$$\Lambda_M = (L_{solu} - L_{solv}) \cdot 10^3 K_c / M \quad (4)$$

Λ_M – Condutância Molar (S cm² mol⁻¹)

L_{sol} – Condutância Molar da solução (Siemens - S)

L_{solv} – Condutância Molar do solvente (Siemens - S)

K_c – Constante de cela (= 1 cm)

M – Concentração Molar da solução (Mol/L)

Tabela 01 mostra alguns valores de condutâncias molares em solução aquosa encontrados para alguns compostos.

Tabela 02 mostra intervalos de condutância molar aceitos para diferentes tipos de eletrólitos em solução aquosa numa concentração 10⁻³ M.

2.6 Espectros de absorção na região do infravermelho

Os espectros foram realizados em um equipamento modelo ABB série MB104 BOMEM. Com essa técnica, que é utilizada na identificação das funções químicas através dos diferentes modos vibracionais gerados por

grupos funcionais ao absorverem radiação infravermelho em comprimentos de onda característicos, é possível determinar o grupo funcional existente no complexo (NAKAMOTO, 1978).

2.7 Difração de raio-X

A difração de raio-X foi realizada em um equipamento Shimadzu modelo XRD 6000. É muito utilizada na caracterização de amostras monocristalinas ou policristalinas, o registro das intensidades difratadas coletadas pelo detector corresponde a um difratograma de raios-X da amostra, representando uma “impressão digital”.

2.8 Análise termogravimétrica

As curvas termogravimétricas foram registradas em uma termobalança Shimadzu TGA-50H com razão de aquecimento de 10° C min⁻¹ sob atmosfera dinâmica de ar, permitindo obter a composição e estabilidade de compostos intermediários e resíduos.

2.9 Modelagem molecular

A Modelagem Molecular compreende um número de ferramentas e métodos computacionais e teóricos que tem como objetivo entender e prever o comportamento de sistemas reais.

Além de fornecer dados estruturais, os cálculos teóricos são usados também como interesse químico e farmacológico, bem como para computar calores de formação de moléculas, distâncias interatômicas, energias eletrônicas de HOMO e de LUMO, energias de ionização, densidades eletrônicas atômicas, cargas atômicas líquidas, ordens de ligação, momentos dipolo, e entre outros (RODRIGUES, 2001).

Esses métodos abrangem estudos de minimização de energia de moléculas, análise conformacional, simulações de dinâmica molecular, entre outros; e são aplicáveis de átomos isolados a biomacromoléculas.

Resultados e Discussões

3.1 Microanálise dos compostos de lantânio, neodímio e érbio.

Pela titulação complexométrica e da microanálise de CHN foram obtidos os seguintes

resultados, como mostra a tabela 03 em anexo.

Foi possível estabelecer a estequiometria dos maleatos de lantânio, neodímio e érbio através da complexometria com EDTA, da microanálise de CHN e da análise termogravimétrica apresentando a composição $\text{La}(\text{Mal})_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Nd}(\text{Mal})_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ e $\text{Er}(\text{Mal})_2 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$, com colorações associados aos íons metálicos, sendo branco, lilás e rosa respectivamente, conforme citado por (MOELLER, 1975 E GREENWOOD, 1986).

3.2 Condutância molar do Lantânio, Neodímio e Érbio

A condutância molar mostrou um comportamento anormal dos eletrólitos em relação aos tipos 1:1, 1:2 e 1:3 em água destilada (Belarmino, 1998), apresentando um alto valor de condutividade iônica.

Os compostos foram 3-4 vezes mais condutores, provavelmente devido ao segundo grau de ionização do maleato. A literatura relata que alguns compostos derivados do ânion maleato são utilizados como eletrólitos em dispositivos eletrônicos, apresentando condutividades 12 vezes mais elevadas comparativas conforme a Tabela 04. (SONG, 2006).

3.3 Análise Térmica

De maneira geral, os compostos perdem as primeiras moléculas de água no início da decomposição de 250 até 180 °C para, em seguida, começarem a decompor moléculas no ânion juntamente com outras moléculas de água que ficaram ligadas mais fortemente. Uma outra etapa é a termodecomposição de pouca estabilidade (possivelmente carbonatos, oxicarbonatos ou dioxicarbonatos) (OLIVEIRA, 1993) para em seguida irem ao óxido metálico, como mostram as Figuras 03, 04 e 05 em anexo.

3.4 Espectros de absorção na região do infravermelho

Os espectros vibracionais, usando-se a técnica de pastilhas de brometo de potássio (KBr), evidenciaram a interação dos ânions maleatos através das frequências de absorção dos grupos $\text{C}=\text{O}$ 1622 cm^{-1} , 1618 cm^{-1} e 1632 cm^{-1} , $\text{C}-\text{O}$ 1420 cm^{-1} , 1419 cm^{-1} e 1431 cm^{-1} e $\text{O}-\text{Ln}$ 644 cm^{-1} , 642 cm^{-1} , 592 cm^{-1} , para lantânio, neodímio e érbio, respectivamente,

(SILVERSTEIN, 1994), em anexo às figuras 09, 10 e 11.

3.5 Difratogramas de raios-x

Os difratogramas de raios-x mostraram indícios de cristalinidade para os compostos, mas não foi observada nenhuma evidência de formação de séries isomorfas, como mostra a figuras 09, 10 e 11, respectivamente.

3.6 Modelagem molecular

A coordenação dos maleatos e das moléculas de água em torno dos íons lantanídeos variou de acordo com o comportamento químico específico de cada um deles. As estequiometrias propostas para os compostos sintetizados foram: $\text{La}(\text{mal})_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Nd}(\text{mal})_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ e $\text{Er}(\text{mal})_2 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$. Observamos que o Nd^{3+} (Figura 13), por ter um potencial iônico maior que o La^{3+} (Figura 12) foi capaz de acomodar mais um maleato na esfera de coordenação e também aumentar o número de moléculas de água coordenadas. No caso do érbio (Figura 14), que possui um potencial iônico maior que o La^{3+} e Nd^{3+} , aumentou o número de moléculas de água na esfera de coordenação, por ser um íon de menor tamanho do que os mencionados, ficando assim, impedido estericamente de acomodar mais um íon maleato, permanecendo com a mesma quantidade de íons maleatos que o lantânio, sendo um deles com estado de oxidação (-1) e outro com estado de oxidação (-2). Isso é possível uma vez que o ácido maleico, assim como o fumárico, apresenta dois hidrogênios passíveis de ionização, sendo um deles mais fácil de ser ionizado. No maleato de neodímio todos são monovalentes.

Conclusões

Através dos resultados obtidos, a síntese e caracterização dos cloretos de lantânio, neodímio e érbio foram satisfatórios. Os sais do ácido maleico se apresentaram na forma de um pó fino, higroscópico com coloração dos respectivos óxidos. Foram devidamente recristalizados e caracterizados através da titulação complexométrica com EDTA, que por sua vez, indicaram as fórmulas estequiométricas $\text{La}(\text{Mal})_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Nd}(\text{Mal})_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ e $\text{Er}(\text{Mal})_2 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$. Nas figuras 12, 13 e 14 estão

ilustradas as modelagens propostas dos sistemas moleculares estudados, baseados em suposições experimentais e literárias.

A modelagem molecular foi proposta e, devido ao potencial iônico dos metais La, Nd e Er, o tamanho dos íons e seus estados de oxidação, interferiram tanto na quantidade dos maleatos coordenados ao metal, como também na quantidade de moléculas de água ligadas aos mesmos. Não foi possível observar os modos de coordenação pela condutância, por se tratar de espécies com mais de um hidrogênio ionizável, originando valores de condutância acima dos valores tabelados de referência para eletrólitos do tipo 1:1; 1:2; 1:3; 1:4 e não eletrólito.

Os espectros na região do infravermelho para o lantânio, neodímio e érbio mostraram a coordenação dos ânions maleatos, através das bandas característica C-O, C=O e Ln-O, evidenciados também pelas temperaturas mais elevadas de suas decomposições, confirmadas nas curvas TG's destes compostos. A difração de raios-x não apresentou evidências de séries isomorfas, porém há formação de microcristalitos.

Referências Bibliográficas

1. BELARMINO, L. D., 1998. **Caracterização e Estudos Condutimétricos e Espectroquímicos dos Compostos K_2CrO_7 e $[Cr(H_2O)_4Cl_2]Cl$** . Monografia apresentada ao DQ/CCET da UFRN, sob orientação do Prof. Dr. Francisco José Santos Lima.
2. COTTON, F. A. and Wilkinson, F. R. S.; **Advanced Inorganic chemistry**. A comprehensive text. 5ª Ed., Ch.20, 955-79 (Ln) e Ch. 21, 980-1017 (An), wiley-Interscience Publication, New York, (1988).
3. GREENWOOD, N. N. and Earnshaw, A.; **Chemistry of The Elements**. Ch.20, 1102-10, 3ª Ed., Pergamon Press, Printed in Great Britain, (1986).
4. GUTTMAN, V.; **Empirical Parameters for Donor and Acceptor Properties of Solvents**. *Electrochim. Acta.* 21, 661-70, (1976).
5. LEE, J. D.; **Química Inorgânica Não Tão Concisa**. Ed. Edgard Blucher LTDA, SP, 1996.
6. MOELLER, T.; **The Chemistry of The Lanthanides**. *Comprehensive Inorganic Chemistry*, Vol.4, Ch.44, 1-101, Pergamon Press, (1975).
7. NAKAMOTO, K.; **Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds**, 1978.
8. OCZKO, Legendziewicz, J., Wickleder, M. S., Meyer, G., 2002; **Crystal structure, magnetism and photophysics of the lanthanide maleates $RE(C_4O_4H_3)_3 \cdot 8H_2O$ (RE=Nd, Sm) – Alloys and Compounds**, 341, 255–262.
9. OLIVEIRA, C. S.; Melios, C. B.; Crespi, M. S.; Ribeiro, C. A.; Ionashiro, M. 1993, **Preparation and thermal decomposition of solid state compounds of 4-methoxybenzylidenepyruvate and trivalent lanthanides and yttrium**. *Thermochim. Acta*, v. 219, p. 215-224.
10. OLIVEIRA, W.; **Compostos de Adição entre Nitratos, Cloretos e Percloratos de Ítrio e Alguns Lantanídeos (III) e a 2,6-Lutidina-N-óxido (2,6-LNO)**. Tese de Doutorado apresentado ao Instituto de Química da Universidade de São Paulo sob a orientação do Prof. Dr. Geraldo Vicentini, em 1975.
11. PANYUSHKIN, V. T., Bukov, N. N., Abramov, D. E., 2003; **Structure and vibration spectra of neodymium biglycinate**. *Polyhedron*, 22, 271-277.
12. RODRIGUES, C. R. **Modelagem Molecular**. *Química Nova na Escola*, Edição Especial, fevereiro de 2001.
13. SILVERSTEIN, R. M., Bassler, G. C. e Morrill, T. C. 1994; **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**. 5a. Ed. Guanabara Koogan S.A.
14. SOLOMONS, T. W. G.; **Fundamentals of Organic Chemistry**. 3ª Ed. John Wiley & Sons, printed in the U.S.A. (1990).
15. SONG, Y., Zhua, X., Wang, X., Wang, M. ,2006; **Characteristics of ionic liquid-based electrolytes for chip type aluminum electrolytic capacitors**. *Journ. of Power Sourc* 157, 610–615.

Figura 01 - Modelagem para o ácido maléico. Está mostrada a superfície de potencial eletrostático para a molécula.

Figura 02 - Estrutura cristalina do $[\text{Nd}(\text{C}_4\text{O}_4\text{H}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_7]^+$ mostrando o empacotamento dos cátions e os ânions hidrogenomaleatos não coordenados, segundo OCZKO e colaboradores, (OCZKO, *et al.* 2002)

Figura 03 - Análise térmica do maleato de érbio.

Figura 04 - Análise térmica do maleato de lantânio.

Figura 05 - Análise térmica do maleato de neodímio.

Figura 06 - Espectro de infravermelho do maleato de lantânio.

Figura 07 - Espectro de infravermelho do maleato de neodímio.

Figura 08 - Espectro de infravermelho do maleato de érbio.

Figura 09 - Difração de Raio-X do maleato de lantânio.

Figura 10 -Difração de Raio-X do maleato de neodímio

Figura 11 - Difração de Raio-X do maleato de érbio.

Figura 12 - Modelagem molecular do maleato de lantânio.

Figura 13 - Modelagem molecular do maleato de neodímio.

Figura 14 - Modelagem molecular do maleato de érbio.

Tabela 01 – Condutâncias molares dos sais e complexos medidas em solução aquosas $10^{-3}M$.

Compostos	Tipo de eletrólito	$\Lambda_M (S\ cm^2\ mol^{-1})$
LiCl	1:1	112,00
CaCl ₂	1:2	260,80
LaCl ₃	1:3	393,50

Tabela 02 – intervalos de condutância molar e tipo de eletrólito para soluções aquosas.

Tipo de eletrólito	1:1	1:2	1:3
	0-200	200-300	300-400

Tabela 03 – Dados teóricos e experimentais dos percentuais de lantanídeos, carbono, e hidrogênio dos maleatos de terras-raras.

	MMT	MME	%MT	%ME	%CT	%CE	%HT	%HE
La(Mal ₂)9H ₂ O	530,21	513,94	26,20	27,0	18,12	17,13	4,38	4,08
Nd(Mal ₃)14H ₂ O	741,70	782,74	18,50	18,5	18,50	19,91	5,30	4,52
Er(Mal ₂)16H ₂ O	684,70	695,49	24,40	24,0	14,00	13,01	5,50	3,94

Legenda para Tabela 03

MMT = Massa molar teórica; MME = Massa molar experimental;

%MT = percentual do metal teórico; %ME = percentual do metal experimental;

%CT = percentual de carbono teórico; %CE = percentual de carbono experimental;

%HT = percentual de hidrogênio teórico; %HE = percentual de hidrogênio experimental;

Tabela 04 – Condutância molar dos sais de lantânio, neodímio e érbio.

Maleatos	La(Mal) ₂ .9H ₂ O	Nd(Mal) ₃ .14H ₂ O	Er(Mal) ₂ .16H ₂ O
	708,70	1430,47	1162,93