

## A luminescência dos íons $\text{Nd}^{3+}$ dopados em matrizes borato de sódio em função de $\text{Na}_2\text{O}$

### RESUMO

Sintetizou-se, neste trabalho, duas séries de amostras de composição  $(100 - X)\text{B}_2\text{O}_3 + (X)\text{Na}_2\text{O}$  (mol %) com  $X = 10, 15, 20, 25$  e  $30$ , e outra série similar dopada em 1 wt% de  $\text{Nd}^{3+}$  com o objetivo de observar a influência estrutural do  $\text{Na}_2\text{O}$  por meio dos parâmetros de Judd-Ofelt. Utilizou-se de técnicas ópticas de absorção, fotoluminescência, polarização por reflexão e método de Arquimedes para obter índice de refração e densidade volumétrica das matrizes respectivamente. Os espectros de absorção óptica apresentaram bandas centradas em torno de 876, 804, 748, 739, 685, 624, 580, 523, 511, 460, 429 nm, e os espectros de fotoluminescência centradas em torno de 805, 877 e 1055 nm. Os resultados indicam alterações das bandas em função da concentração de  $\text{Na}_2\text{O}$  conseqüentemente nas propriedades e parâmetros ópticos dos  $\text{Nd}^{3+}$ . Este trabalho apresenta evidências experimentais de relevante modificação estrutural e luminescente dos  $\text{Nd}^{3+}$  advindas do uso de  $\text{Na}_2\text{O}$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** Influência do  $\text{Na}_2\text{O}$ ; Técnicas Ópticas; Judd-Ofelt; Modificação Estrutural.

Clayson Alcides  
[alcidesclayson@gmail.com](mailto:alcidesclayson@gmail.com)  
[orcid.org/0000-0002-4523-2361](https://orcid.org/0000-0002-4523-2361)  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), Uberaba, Minas Gerais, Brasil.

Elias Oliveira Serqueira  
[ELIAS.SERQUEIRA@gmail.com](mailto:ELIAS.SERQUEIRA@gmail.com)  
[orcid.org/0000-0003-1716-9737](https://orcid.org/0000-0003-1716-9737)  
Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), Uberaba, Minas Gerais, Brasil.

## INTRODUÇÃO

Lasers baseado em cristais ou vidros dopados com íons de terras raras (TR), têm se destacado pelo fato de apresentarem altas seções de choque de emissão em vários comprimentos de onda (DE CAMARGO *et al.*, 2002). Tais como nas regiões infravermelho (IR – *Infrared*), infravermelho-próximo (NIR – *Near Infrared*) e visível (VIS) do espectro eletromagnético (ES). Lasers baseados em íons de neodímio ( $\text{Nd}^{3+}$ ) têm sido usados em tratamentos de dor muscular (JEFFREY, CHARES *and* HARMSEN, 1999), tratamentos dentais e cirúrgicos (KLINKE, KLIMM, *and* GUTKNECHT, 1997; POWELL *et al.*, 1994); remoção de tatuagem (KILMER *et al.*, 1993), cicatrizes faciais (TANZI *and* ALSTER, 2004), limpeza arterial (COHEN *et al.*, 1982) e em adição ao seu baixo custo (DE CAMARGO, 2003).

Lasers baseados em  $\text{Nd}^{3+}$  apresentam emissões na região VIS e ultravioleta (UV) estimulados por bombeio nas regiões do IR ou VIS. Tendo a capacidade de serem bombeados por lasers de diodo de alta potência na região entre 650 e 980 nm do ES. As emissões ocorrem em torno de 898, 1070 e 1338 nm advindas das transições entre os níveis  ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ ,  ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$  e  ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$  respectivamente (RAJU, RAJU, *and* REDDY, 2013), sendo largamente utilizadas em telecomunicações (SERQUEIRA, 2010).

O  $\text{B}_2\text{O}_3$  é um excelente formador vítreo (CARVALHO, 2002; AKERMAN, 2000), isso devido as matrizes vítreas compostas por este elemento serem hospedeiras favoráveis para íons terras raras. Os  $\text{Nd}^{3+}$  apresentam transições eletrônicas na faixa do VIS e NIR do ES (JUDD, 1962; OFELT, 1962; CARNALL, FIELDS *and* RAJNAK, 1968). Devido ligações covalentes do  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  com a rede estrutural, adicionou-o na composição no intuito de aumentar a homogeneização e rigidez da matriz (AKERMAN, 2000). E observar uma possível influência deste composto modificador na estrutura próxima aos íons  $\text{Nd}^{3+}$  e no processo de emissão e absorção de energia radiativa. A composição ( $\text{B}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ ) foi então dopada com baixa concentração (1 wt%) de  $\text{Nd}^{3+}$  para prevalecer apenas transições radiativas, visto que a teoria de Judd-Ofelt não faz considerações às transições não radiativas como relaxações cruzadas, e decaimentos via fônons ou multi-fônons (JUDD, 1962; OFELT, 1962; SERQUEIRA, 2005).

## DETALHES EXPERIMENTAIS E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma série de amostra com compostos químicos dado por  $(100-X)\text{B}_2\text{O}_3 + X\text{Na}_2\text{CO}_3$  (mol%), denominada BONA com X variando em 10, 15, 20, 25 e 30, e outra série de amostras de mesma composição química na qual adicionou 1 wt% de  $\text{Nd}^{3+}$  denominada BONAND, foram sintetizadas utilizando forno de resistência elétrica à 1200°C por 1 hora. Após sintetização pelo método de fusão, o melt foi submetido a resfriamento rápido através de prensagem por placa metálica à 300K.

Os espectros de absorção óptica (AO) foram obtidos em temperatura ambiente através do espectrofotômetro Shimadzu UV-2600. Para os espectros de emissão obtidos pela fotoluminescência (PL – *photoluminescence*) utilizou-se laser do estado sólido bombeado por diodo com emissão em 532 nm. Ao aplicar o método de Arquimedes, na obtenção dos valores de densidade, utilizou-se balança eletrônica ATV 220G x 0,0001g Shimadzu e picnômetro. O índice de

refração obtido pelo ângulo de Brewster (REITZ, MILFORD *and* CHRISTY, 1982) através da polarização por reflexão (PR) foi mensurado utilizando polarizador e laser de  $\lambda_{exc} = 632 \text{ nm}$ .

A teoria de Judd-Ofelt foi aplicada aos resultados para analisar a ligação covalente dos elétrons do subnível  $4f$  e suas transições. Os cálculos foram feitos através de *software* computacional para estimar os valores dos parâmetros de intensidade de Judd-Ofelt  $\Omega_{2,4,6}$  pela força de oscilação calculada (PRADEESH *et al.*, 2008)

$$f_{calc} = \frac{8\pi^2 m_e v (n^2 + 2)^2}{3h(2J+1) 9n} \sum_{i=2,4,6} \Omega_i |\langle l^N SLJ || U^i || l^N S' L' J' \rangle|^2 \quad (1)$$

quando comparada com a força de oscilação experimental que é determinada pelos espectros de absorção (JUDD, 1962; OFELT, 1962; CARNALL, FIELDS *and* RAJNAK, 1968).

$$f_{exp} = \frac{m_e c}{\pi e^2 N} \int \alpha(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

Sendo  $n$  o índice de refração,  $v$  a frequência de transição média,  $h$  a constante de Plank e  $m_e$  a massa do elétron;  $S$ ,  $L$  e  $J$  os números quânticos do spin, momento angular orbital e momento angular total respectivamente,  $[(n^2 + 2)^2/9]$  o fator de correção de Lorentz e  $U^i$  operador tensorial de ordem  $i = 2, 4, 6$  (os elementos de matriz dos íons terras raras foram tabelados por CARNALL, FIELDS *and* RAJNAK, 1968). A integral na equação 2 é área sob a banda da curva do coeficiente de absorção  $\alpha(\lambda)$ ,  $c$  a velocidade da luz,  $e$  a carga do elétron e  $N$  a densidade volumétrica dada em íons/cm<sup>3</sup>. O erro pode ser estimado pelos mínimos quadrados (RMS – *Root mean square*) dado por Serqueira (2005)

$$RMS = \sqrt{\left(\frac{f_i^{exp} - f_i^{calc}}{f_i^{exp}}\right)^2} \quad (3)$$

Há controversas, segundo Reisfeld (1984), em relação ao significado dos parâmetros de Judd-Ofelt. No entanto, alguns autores (DE CAMARGO *et al.*, 2002; REISFELD *and* JORGENSEN, 1984; SERQUEIRA, 2005; PECORARO *et al.*, 2000; JUDD, 1962; OFELT, 1962; CARNALL, FIELDS *and* RAJNAK, 1968; TAKEBE, MORINAGA *and* IZUMINATI, 1994) consideram os parâmetros de intensidade de Judd-Ofelt como uma proporção de interação entre os estados eletrônicos dos íons lantanídeos com o campo ligante. Sendo estudado (MARKUS *et al.*, 2013) sobre diversos sistemas vítreos dopados com TRs, verificou-se que os parâmetros de intensidade de Judd-Ofelt são proporcionais ao acréscimo de elétrons do subnível  $4f$ . Os autores do estudo notaram que variando o ambiente químico em torno do íon percebe-se diferença nos valores dos parâmetros de Judd-Ofelt da ordem de 20%.

## RESULTADOS E DISCUÇÃO

A **Figura 1** mostra os espectros de absorção óptica das amostras vítreas BONaNd (100 – X)B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + (X)Na<sub>2</sub>O (mol%) com X = 10, 15, 20, 25 e 30. Observa-se bandas na faixa do VIS e NIR centradas em torno de: 876, 804, 748, 739, 685, 624, 580, 523, 511, 460, 429 nm, associadas às transições eletrônicas permitidas para os Nd<sup>3+</sup> (CARNALL, FIELDS *and* RAJNAK, 1968; SERQUEIRA, 2005; TAKEBE,

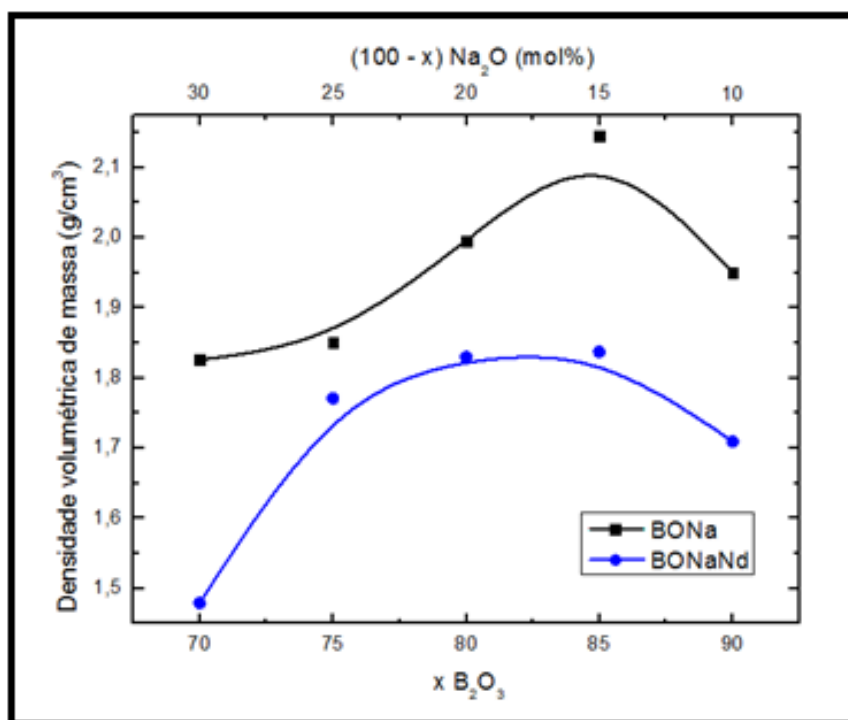


A **Figura 2** mostra os espectros de emissão da série das amostras BONaNd obtidos à 300k utilizando um laser de diodo com emissão em  $\lambda_{exc} = 532 \text{ nm}$ . Observa-se bandas de emissão centradas em torno de 805 nm ( $12\,422\text{cm}^{-1}$ ), 877 nm ( $11\,402\text{cm}^{-1}$ ) e 1055 nm ( $9\,478\text{cm}^{-1}$ ) associadas as transições eletrônicas permitidas  $^4F_{5/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$ ,  $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$  e  $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$  respectivamente, conforme é mostrado no diagrama de níveis de energia. A intensidade da emissão em 805 nm ( $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$ ) aumentou em função de  $\text{Na}_2\text{O}$ .

A **Figura 3** mostra o gráfico da densidade volumétrica de massa das amostras BONa e BONaNd. Observa-se que as matrizes dopadas com 1(wt%) $\text{Nd}^{3+}$  apresentaram uma densidade menor em relação às não dopadas. No entanto ambas apresentaram um comportamento crescente similar em função do acréscimo de  $\text{Na}_2\text{O}$ , evidenciando que o sódio modificou a rede vítrea proporcionalmente à sua quantidade.

O aumento de  $\text{Na}_2\text{O}$  nas matrizes borato de sódio aumentou a densidade das matrizes, indicando uma diminuição da distância média entre os anions e cátions constituintes da amostra. Neste caso, resultando em uma rede vítrea de estrutura molecular mais fechada.

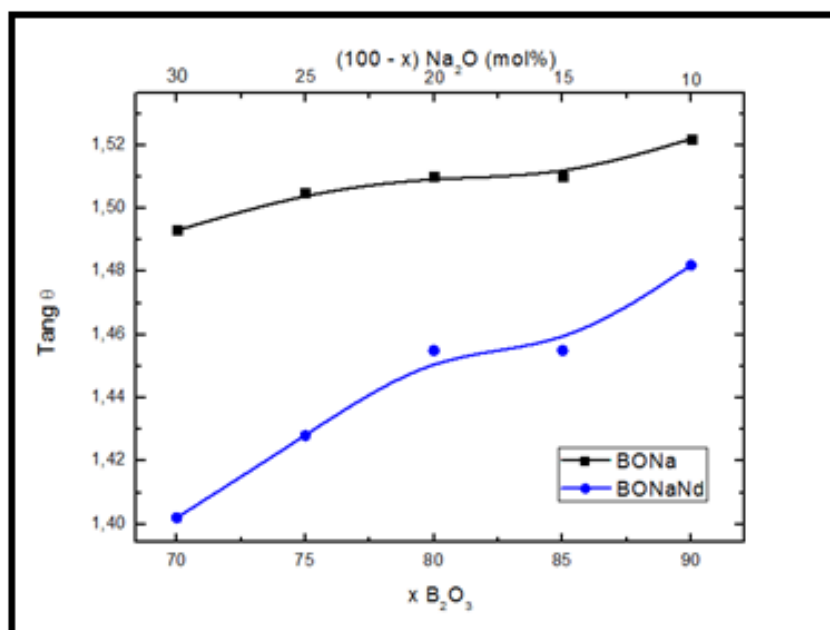
Figura 3 – Densidade volumétrica de massa das amostras BONa e BONaNd obtidos pelo método de Arquimedes



Fonte: Autoria própria.

A **Figura 4** apresenta os gráficos da tangente do ângulo de Brewster das amostras BONa e BONaNd obtidos por PR. Observa-se um crescimento em função do  $\text{Na}_2\text{O}$  para as amostras BONa e BONaNd. Indicando que comportamento deste efeito foi provocado pelo acréscimo do  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Figura 4 – Índice de refração das amostras BONA e BONaNd em função de Na<sub>2</sub>O



Fonte: Autoria própria.

A **Tabela 1** apresenta Valores dos parâmetros de intensidade de Judd-Ofelt, da densidade de íons por cm<sup>3</sup> das amostras BONaNd e as densidades volumétricas de massa das amostras BONA e BONaNd. No entanto, verificou-se que para  $x = 10$  e 25 mol % possivelmente há distorções nos valores devido aos efeitos de densificação observado em sistemas vítreos boratos (ZHANG *et al.*, 1991).

Observa-se que os valores da densidade volumétrica de íons apresentaram se desprezível em função do acréscimo de Na<sub>2</sub>O, uma vez que o objetivo deste trabalho é o efeito do sódio nas propriedades ópticas dos íons TR. Diante disso, deseja-se observar o comportamento dos parâmetros de Judd-Ofelt em função de Na<sub>2</sub>O e os seus efeitos estruturais. Assim ao analisar somente as matrizes de proporção  $x = 15, 20$  e 30 mol% que corresponde ao aumento de Na<sub>2</sub>O, observa-se um acréscimo nos valores de  $\Omega_2$ , e  $\Omega_4$  e decréscimo em  $\Omega_6$ .

Indica-se, nesse caso, um possível decréscimo na simetria do campo ligante entorno dos Nd<sup>3+</sup> com ligação química mais iônica, visto o aumento de  $\Omega_2$ , aumento na repulsão pelo ambiente químico próximo aos cátions dos Nd<sup>3+</sup> devido ao acréscimo de  $\Omega_4$  e aumento da rigidez da estrutura molecular devido o decréscimo de  $\Omega_6$  (MARKUS *et al.*, 2013).

A literatura (TAKEBE, MORINAGA and IZUMINATI, 1994) apresenta valores para  $\Omega_2 = 2.70, 4.11, 4.91$ ;  $\Omega_4 = 3.17, 3.53, 3.28$ ;  $\Omega_6 = 4,45, 4.63, 4.51$  ( $10^{-24} m^2$ ) respectivamente com  $X = 10, 20$  e 30 para uma matriz de composição  $(100 - x)B_2O_3$  (x)Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + 0,1(wt%)Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Reforçando que os dados deste artigo estão de acordo com outros trabalhos.

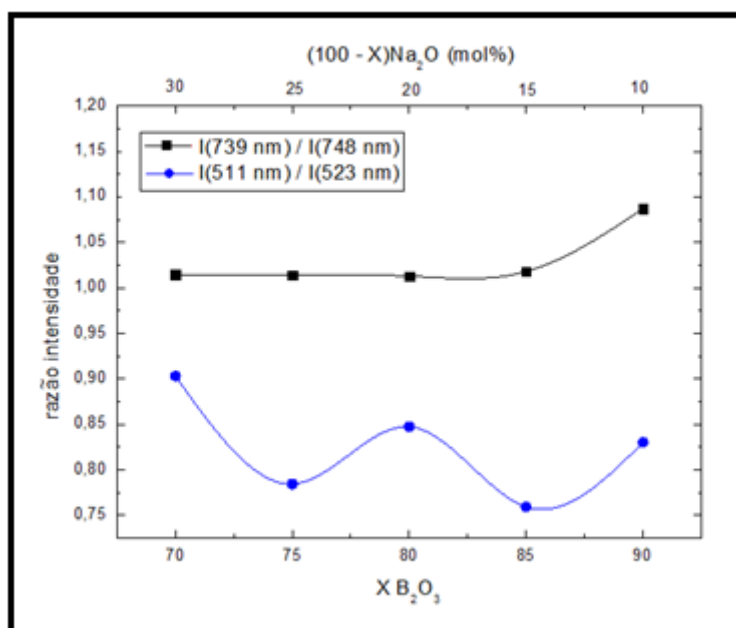
Tabela 1 – Valores dos parâmetros de intensidade de *Judd-Ofelt*  $\Omega_{2,4,6}$ , da densidade de íons ( $N$ ) por  $\text{cm}^3$  das amostras BONaNd, e densidades volumétricas de massa das amostras BONA e BONaNd

	$\Omega_2$	$\Omega_4$	$\Omega_6$	RMS	$N$	$\rho_{BONa}$	$\rho_{BONaNd}$
BONaNd	$10^{-22}$				$10^{19}$		
	$\text{cm}^2$				$\text{íons}/\text{cm}^3$	$\text{g}/\text{cm}^3$	
$X = 30$	123.2	76.4	59.4	11.24	5.2946	1.8258	1.4799
$X = 25$	62.6	33.7	54.2	4.92	6.3384	1.8512	1.7708
$X = 20$	65.0	27.9	59.3	7.17	6.5507	1.9947	1.8371
$x = 15$	30.9	24.2	84.0	9.71	6.5757	2.1451	1.8380
$x = 10$	79.7	35.9	57.0	2.40	6.1190	1.9506	1.7095

Fonte: Autoria própria.

A **Figura 5** apresenta o gráfico da relação das intensidades das bandas  $I(739 \text{ nm})/I(748 \text{ nm})$  e  $I(511 \text{ nm})/I(523 \text{ nm})$  correspondentes as taxas de transições  $W(^4I_{9/2} \rightarrow ^4F_{7/2})/W(^4I_{9/2} \rightarrow ^4S_{3/2})$  e  $W(^4I_{9/2} \rightarrow ^4G_{9/2})/W(^4I_{9/2} \rightarrow ^2K_{13/2} + ^4G_{7/2})$  dos espectros de absorção óptica. Observa-se que o comportamento da relação  $I(739 \text{ nm})/I(748 \text{ nm})$  é crescente em função de  $\text{Na}_2\text{O}$  e a relação  $I(511 \text{ nm})/I(523 \text{ nm})$  é decrescente. Isso indica que a taxa de transição  $W(^4I_{9/2} \rightarrow ^4F_{7/2})$  aumenta em relação à  $W(^4I_{9/2} \rightarrow ^4S_{3/2})$  e a taxa  $W(^4I_{9/2} \rightarrow ^4G_{9/2})$  decresce com  $W(^4I_{9/2} \rightarrow ^2K_{13/2} + ^4G_{7/2})$ . Neste caso, a presença do  $\text{Na}_2\text{O}$  nas amostras  $(100 - X)\text{B}_2\text{O}_3 (X)\text{Na}_2\text{O}$  (mol%) + 1 (wt%) $\text{Nd}^{3+}$  com  $X = 10, 15, 20, 25$  e  $30$ , apresentou forte influência nas taxas de transições dos  $\text{Nd}^{3+}$ . Portanto, a presença do  $\text{Na}_2\text{O}$  nas amostras vítreas talvez esteja modificando o potencial de campo no entorno dos  $\text{Nd}^{3+}$ .

Figura 5 – Relação das intensidades das bandas  $I(739 \text{ nm})/I(748 \text{ nm})$  e  $I(511 \text{ nm})/I(523 \text{ nm})$  correspondentes às taxas de transições  $(W(^4I_{9/2} \rightarrow ^4F_{7/2})/W(^4I_{9/2} \rightarrow ^4S_{3/2}))$  e  $W(^4I_{9/2} \rightarrow ^4G_{9/2})/W(^4I_{9/2} \rightarrow ^2K_{13/2} + ^4G_{7/2})$  do espectro de absorção óptica



Fonte: Autoria própria.

---

## CONCLUSÃO

As propriedades ópticas dos íons de neodímio nas amostras BONaNd foram investigadas pelas caracterizações por absorção óptica, fotoluminescência, densidade volumétrica de íons, índice de refração e análise pelo modelo teórico de Judd-Ofelt. Os resultados indicaram que adicionando o modificador de rede  $\text{Na}_2\text{O}$  é possível controlar as taxas de transições e conseqüentemente modificar os parâmetros espectroscópicos dos íons de Neodímio.

Os parâmetros de *Judd-Ofelt*  $\Omega_2$  e  $\Omega_4$  crescem, e  $\Omega_6$  decresce em função do aumento de  $\text{Na}_2\text{O}$  na composição  $(100 - X)\text{B}_2\text{O}_3 (X)\text{Na}_2\text{O} + 1(\text{wt}\%)\text{Nd}_2\text{O}_3$ . Conclui-se que, o acréscimo de  $\text{Na}_2\text{O}$  nas amostras BONaNd provoca uma diminuição do centrossimétrico do sítio do íon de  $\text{Nd}^{3+}$ , aumento na repulsão dos cátions  $\text{Nd}^{3+}$  aos átomos próximos da rede vítrea assim como aumento da rigidez das amostras vítreas. Portanto podendo afirmar que o  $\text{Na}_2\text{O}$  apresenta forte influência nas propriedades ópticas e estruturais dos íons de neodímio em matrizes sódio borato.



## *The Luminescence of Nd<sup>3+</sup> Ions Doped in Sodium Borate Matrices in function of Na<sub>2</sub>O*

### **ABSTRACT**

*In this work two series of samples (100-X) B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + (X) Na<sub>2</sub>O (mol%) were synthesized with X = 10, 15, 20, 25 and 30 and another similar series doped with 1 wt% Nd<sup>3+</sup>. The objective of observing the structural influence of Na<sub>2</sub>O by means of the parameters of Judd-Ofelt. We used optical techniques of absorption, photoluminescence, reflection polarization, Archimedes' method to obtain the refractive index and volumetric density of the matrices respectively. Optical absorption spectra showed bands centered around 876, 804, 748, 739, 685, 624, 580, 523, 511, 460, 429 nm, and the photoluminescence spectra centered around 805, 877 and 1055 nm. The results indicate changes of the bands as a function of Na<sub>2</sub>O concentration, consequently on the properties and optical parameters of Nd<sup>3+</sup>. This work presents experimental evidences of relevant structural and luminescent modification of Nd<sup>3+</sup> from the use of Na<sub>2</sub>O.*

**KEYWORDS:** *Influence of Na<sub>2</sub>O; Rare Earth; Judd-Ofelt; Structural Modifier.*

# La luminiscencia de los iones $\text{Nd}^{3+}$ dopados em matrices borato de sodio em función de $\text{Na}_2\text{O}$

## RESUMEN

En este trabajo se sintetizó dos series de muestras de composición  $(100 - X) \text{B}_2\text{O}_3 + (X) \text{Na}_2\text{O}$  (mol%) con  $X = 10, 15, 20, 25$  y  $30$ , y otra serie similar dopada con 1 wt% de  $\text{Nd}^{3+}$ . Al objetivo de observar la influencia estructural del  $\text{Na}_2\text{O}$  por medio de los parámetros de Judd-Ofelt. Utilizamos técnicas ópticas de absorción, fotoluminiscencia, polarización por reflexión, método de Arquímedes para obtener el índice de refracción, la densidad volumétrica de las matrices respectivamente. Los espectros de absorción óptica presentaron bandas centradas alrededor de 876, 804, 748, 739, 685, 624, 580, 523, 511, 460, 429 nm, y los espectros de fotoluminiscencia centrados en torno a 805, 877 y 1055 nm. Los resultados indican cambios de las bandas en función de la concentración de  $\text{Na}_2\text{O}$  en consecuencia en las propiedades y parámetros ópticos de los  $\text{Nd}^{3+}$ . Este trabajo presenta evidencias experimentales de relevante modificación estructural y luminiscente de los  $\text{Nd}^{3+}$  provenientes del uso de  $\text{Na}_2\text{O}$ .

**PALABRAS CLAVE:** Influencia del  $\text{Na}_2\text{O}$ ; Tierras Raras; Judd-Ofelt; Modificación Estructural.

---

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às instituições de fomentos CAPES, CNPq e a FAPEMIG pelo suporte financeiro para realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

AKERMAN, M. **Natureza, estrutura e propriedades do vidro**. Centro Técnico de Elaboração do Vidro. 2000.

CARNALL, W. T.; FIELDS, P. R. and RAJNAK, K. Electronic energy Levels in the Trivalent Lanthanide Aqou Ions I. **J. Chem. Phys**, vol. 49, n. 10 p. 4424-4442,1968.

CARVALHO, M. D. R. C. **Otimização do método para determinação de boro em fritas e minérios utilizando atécnica de espectrometria de absorção atômica por chama**. 2002. 55 f. Dissertação (Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

COHEN, D. *et al.* **Effects of carbon dioxide, Nd-YAG, and argon laser radiation on coronary atheromatous plaques**. **The American Journal of Cardiology**, vol.50, n, 6, 1199-1205, 1982.

DE CAMARGO, A. S. S. *et al.* **J. Phys. Condens. Matt** n.14, p. 3353-3363, 2002.

DE CAMARGO, A. S. S. **Caracterização espectroscópica de possíveis meios ativos para lasers de Nd<sup>3+</sup> e Tm<sup>3+</sup>**. 175 f. Tese (Doutorado em Física Aplicada). Instituto de Física de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

JEFFREY R. B.; CHARES G. S. and HARMSSEN, W. S. Antibacterial effects of Nd :YAG laser irradiation within root canal dentin **Arch Phys Med Rehabil**, vol. 80, n.6, p. 647-652, 1999.

JUDD, B. R. Optical absorption intensities of rare-earth ions. **Physical Review**, vol. 127, n. 3, 750-761, 1962.

KILMER S. L. *et al.* The Q-Switched Nd:YAG Laser Effectively treats tatoos: A controlled, dose-response study. **Arch Dermatol**, vol. 129, n. 971-978 1993.

KLINKE, T.; KLIMM, W *and* GUTKNECHT, N. **Journal of clinical laser medicine & surgery**, vol 15, n. 1, 29-31, 1997.

RAJU, K. V.; RAJU, C. N. *and* REDDY, B. S. Judd-Ofelt Analysis and Photoluminescence Properties of RE<sup>3+</sup> (RE=ER&ND):Cadmium Lithium Boro Tellurite Glasses, **Solid State Sciences** n. 15, p. 102-109, 2013.

MARKUS, P. H. *et al.* 50<sup>th</sup> anniversary of Judd-Ofelt Theory: An experimentalist's view of the formalism and its application. **Journal of luminescence**, n. 136, p. 221-239, 2013.

OFELT, G.S. Intensities of crystal spectra of rare earth ions. **The Journal of Chemical Physics**, vol. 37, n. 3, 511-520, 1962.

POWELL, J. L. *et al.* Nd:YAG laser excision of a giant gingival pyogenic granuloma of pregnancy. **Lasers in Surgery and Medicine**, vol 14, n. 2, p. 178-183, 1994.

PRADEESH, K. *et al.* Optical properties of Er<sup>3+</sup> doped alkali chlorophosphate glasses for optical amplifiers. **Optical materials**, vol. 31, n. 2, p. 155-160, 2008.

PECORARO, E. *et al.* Estudo espectroscópico de vidros a base de aluminato de cálcio contendo Nd<sup>3+</sup>. **Quím. Nova**. São Paulo, vol. 23, n. 2, p. 161-166, 2000.

REISFELD, R. *and* JORGENSEN, C. K., **Handbook on the physics and chemistry of rare Earth**, ed K. A. Gschneidner and L. Eyring, NorthHolland, Amsterdam, 1984.

REITZ, J. R.; MILFORD, F. J. e CHRISTY, R. W. **Fundamentos da teoria eletromagnética**, 3. ed Livro, Rio de Janeiro, 1982.

SERQUEIRA, E. O. **Caracterização e estudo das propriedades ópticas de íons de Neodímio em uma matriz vítrea à base de óxidos**. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

SERQUEIRA, E. O. **Estudo de parâmetros espectroscópicos de íons de Nd<sup>3+</sup> no sistema vítreo SNAB (SiO<sub>2</sub> Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoestruturado com nanocristais de CdS**. 217 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

TAKEBE, H.; MORINAGA, K. and IZUMITANI, T. Correlation between radiative transition probabilities of rare-earth ions and composition in oxide glasses **J. Non-Cryst. Solids**, vol. 178, n.3, p. 58–63 1994.

TANZI, E. L. and ALSTER, T. S. Comparison of a 1450-nm diode laser and a 1320-nm Nd:YAG laser in the treatment of atrophic facial scars: A prospective clinical and histologic study. **Dermatol Surg**, n. 30 p. 152-157, 2004.

ZHANG, Z. *et al.* Water corrosion behavior of densified glass. II. Borate glasses. **Journal of non-crystalline solids**, n. 135, p. 62-66, 1991.

**Recebido:** 05 de novembro de 2018.

**Aprovado:** 23 de dezembro de 2018.

**DOI:**

**Como citar:** Alcides, C.; Serqueira, E. O., A luminescência dos Nd<sup>3+</sup> dopados em matrizes borato sob o controle do modificador de rede Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, **Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada**, Ponta Grossa, v. 5, n.2, p. 50 - 62, dezembro. 2018.

**Contato:** Clayson Alcides: [alcidesclayson@gmail.com](mailto:alcidesclayson@gmail.com)

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

