



**XXI SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**GRUPO - GPT**

**GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - GPT**

**PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM CÉLULAS A COMBUSTÍVEL DE ÓXIDO SÓLIDO**

**Marcos Antonio Coelho Berton(\*)**  
**LACTEC**

**Jéssica Rosa Silva**  
**LACTEC**

**Cristiane Gusso**  
**LACTEC**

**Carlos Mario Garcia**  
**LACTEC**

**RESUMO**

Neste trabalho são apresentados resultados da síntese, sinterização e caracterização de eletrólito sólido para aplicação em célula a combustível de óxido sólido. Para os estudos, pós de eletrólitos sólidos a base de céria co-dopada foram preparados pelo método de combustão, também conhecido como método glicina-nitrato. Os resultados de difração de raios-X mostraram que os pós de todas as composições estudadas, calcinados a 700 °C por 2 horas, apresentaram estrutura cúbica do tipo fluorita. Os tamanhos médios dos cristalitos, calculados pela fórmula de Scherrer foram entre 11 e 12 nm. Os resultados de espectroscopia Raman corroboraram os resultados de difração de raios-X no que diz respeito ao fato de que a estrutura da rede cristalina das diferentes composições estudadas aumenta com o aumento do conteúdo de lantânio. A análise de espectroscopia de impedância desses eletrólitos foi desenvolvida na faixa de temperatura entre 400 °C e 700 °C. Os resultados mostraram que a dopagem da céria-gadolínea com lantânio induz a um decréscimo na condutividade iônica e uma energia de ativação maior, com o maior conteúdo de lantânio. Por outro lado, foi encontrado que a resistência de polarização do eletrodo na interface eletrólito sólido/eletrodo diminui significativamente com a co-dopagem com lantânio. Esse resultado é promissor para materiais de eletrólito sólido para células a combustível de óxido sólido de temperatura intermediária.

**PALAVRAS-CHAVE**

Células a Combustível de Óxido Sólido, SOFC, CCOS, Energia Limpa, Resistência de polarização

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Atualmente ~ 75% do consumo energético mundial é proveniente de fontes fósseis. Se considerarmos o consumo atual de energia podemos estimar um aumento em 2/3 no consumo para os próximos 25 anos. Segundo a EPE[1], o consumo de energia elétrica no Brasil deverá crescer em média 4,8% ao ano até 2020. Se isso se confirmar, a EPE estima que o consumo atual total de ~ 450 mil GWh salte para ~ 730 mil GWh num período de apenas 10 anos. Entretanto, devido a questões ambientais, a geração e consumo de energia tem sido tema de grandes discussões, mas que, do ponto de vista da geração de energia, o aumento do consumo pode ser visto como uma oportunidade para novas estratégias energéticas mais amigáveis ao meio ambiente e mais eficientes. As novas tecnologias de geração de energia elétrica de forma limpa, tais como geração eólica, solar e as células a combustível, vem ganhando considerável destaque no setor elétrico e com uma participação cada vez maior no parque gerador nacional, que atualmente é predominantemente hidrelétrica respondendo por mais de 70 % da oferta[2] além do fato de ser centralizada. As energias solar e eólica são ótimas tecnologias de energia alternativa, entretanto, são tecnologias que apresentam problemas de estabilidade na fonte de energia, como por exemplo, dias com muitas nuvens ou sem ventos, e no caso da solar, durante a noite não se pode gerar energia. A tecnologia de células a combustível permite uma geração de energia limpa e é estável do ponto de vista da geração e pode ser descentralizada. A geração descentralizada das células a combustível permite o seu uso em veículos, residências, hospitais e em indústrias com pequena demanda. Dentre as diferentes tecnologias de células a combustível, a célula a combustível de óxido sólido possui a maior eficiência na geração (40-60% não assistida,

(\*) BR-116 – KM 98, n° 8813, Centro Politécnico da UFPR – Laboratório de Eletroquímica Aplicada – CEP 81531-980, Curitiba-PR, - Brasil; Tel: (+55 41) 3361-6184 – Fax: (+55 41) 3361-6147 – e-mail: berton@lactec.org.br



**XXI SNPTTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

atingindo até 70% em sistemas híbridos pressurizados) comparados com motores e as modernas plantas térmicas (30-40% de eficiência) além de ser capaz de converter uma grande variedade de combustíveis.

Uma Célula a Combustível de Óxido Sólido (CCOS) é um dispositivo relativamente simples que não contém partes móveis e que produz eletricidade a partir de reações eletroquímicas de um combustível e um oxidante. O dispositivo básico contém quatro principais componentes: dois eletrodos (anodo e catodo) separados por um eletrólito sólido e, um quarto componente, o interconector, responsável por interligar as células individuais para obter a voltagem desejada. O princípio de funcionamento de uma CCOS pode ser descrito da seguinte maneira: o oxidante, isto é, o oxigênio puro ou do ar, é alimentado no catodo onde ocorre a reação de redução do  $O_2$  produzindo os íons  $O^{2-}$ ; no lado do anodo, o combustível (hidrogênio ou um combustível contendo hidrogênio tal como etanol, metanol, diesel, gasolina, metano, etc.) entra em contato com o anodo, onde é oxidado pelos íons de oxigênio  $O^{2-}$ , que migraram através do eletrólito sólido, a partir do catodo. O eletrólito sólido é o componente da célula que permite que os íons  $O^{2-}$  (os íons oxigênio) produzidos no catodo migrem para o anodo enquanto que o fluxo de elétrons do anodo para o catodo se dá por um circuito externo, fornecendo a energia elétrica e mantendo o balanço de carga elétrica total[3]. As reações que produzem eletricidade ocorrem nos eletrodos da célula, os quais são separados por um eletrólito sólido de alta condutividade iônica e denso o suficiente para impedir a passagem de gás. Embora todos os componentes de uma CCOS sejam importantes, o eletrólito sólido tem recebido uma atenção especial, principalmente pelo fato de que novas composições ou mesmo espessuras mais finas permitem que as novas configurações de uma CCOS operem em temperaturas intermediárias (entre 500 °C e 700 °C), ao invés da CCOS convencional que opera a 1000 °C. Operar em temperaturas intermediárias permite a utilização de componentes extras mais baratos, tais como ligas metálicas para uso como interconectores, além de diminuir os problemas de compatibilidade térmica entre os diferentes materiais. Neste trabalho são apresentados estudos de novos materiais com novas composições para aplicação como eletrólito sólido em Células a Combustível de Óxido Sólido. Os estudos foram desenvolvidos no Laboratório de Eletroquímica do LACTEC, numa parceria com a Companhia Paranaense de Energia – COPEL, em projetos de pesquisa no âmbito ANEEL.

## 2.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.1 Síntese pelo Método de Combustão

Uma série de amostras com fórmula geral  $Ce_{0,8}Gd_{0,2-x}La_xO_{1,9}$  (com  $x=0; 0,05; 0,10; 0,15$  e  $0,20$ ) foram preparadas pelo método de combustão. O método de combustão envolveu uma série de reações auto-sustentável em solução homogênea de nitratos dos metais cério, gadolínio, lantânio e, glicina como combustível. A razão molar nitrato/combustível utilizada foi 0,53. A solução aquosa homogênea de reagentes foi aquecida até a evaporação do excesso de água a uma temperatura constante de 80 °C, formando, após um determinado tempo, um líquido viscoso, uma espécie de gel. Na sequência, o gel formado foi aquecido até a ignição espontânea ocorrer pelo aumento da temperatura. Após a ignição espontânea, a reação de combustão ocorre em poucos segundos produzindo um pó amarelo claro ultrafino. Para a reação de combustão, o cadinho de porcelana, utilizado como recipiente do gel, foi coberto com uma peneira de aço de malha fina e papel alumínio para prevenir que as cinzas saíam do recipiente. Com este procedimento, o rendimento do processo de combustão é próximo de 1.

### 2.2 Sinterização e Caracterização das Amostras

O pó resultante da reação de combustão de cada composição estudada foi calcinado a 700 °C em ar por duas horas. Os pós foram compactados em amostras cilíndricas com uma pressão de 98 MPa e sinterizados a 1350 °C em ar por 5h. As estruturas cristalinas das amostras calcinadas a 700 °C e das amostras sinterizadas foram caracterizadas por difração de raios-X (DRX), utilizando um equipamento Philips X'Pert MPD. As condições de operação dos ensaios de difração de raios-X foram: radiação Cu K $\alpha$  (1,54184 Å) com filtro de Ni, tensão de 40 kV, corrente de 40 mA, faixa de angulação  $2\theta$  de 25 ° a 90 ° com um passo de 0,02 ° e tempo em cada passo de 1,0 s. Os parâmetros das células unitárias da estrutura cristalina de cada composição foram obtidos usando um software livre conhecido como "CelRef". Os espectros Raman foram obtidos pelo uso de um sistema Renishaw Raman Imaging Microprobe System 3000 acoplado com um microscópio ótico com resolução espacial de 1,5 mm e excitação Laser de He-Ne (632,8 nm) a 0,2 mW de potência. Os espectros foram feitos em uma faixa de 200 a 3000  $cm^{-1}$ , com acumulações entre 15 e 30 e uma potência do laser de 50 %. As densidades das amostras sinterizadas foram determinadas utilizando o princípio de Arquimedes e expressas como uma percentagem relativa aos valores teóricos calculados das medidas de difração de Raios-X e do refinamento da estrutura cristalina pelo software livre CelRef.

### 2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

As imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV - dos pós das amostras de  $\text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2-x}\text{La}_x\text{O}_{1.9}$  resultantes da reação de combustão e calcinadas a 700 °C por 2 h em ar, estão apresentadas na Figura 1. A estrutura frágil dos pós é caracterizada por um elevado volume de pó com poros abertos produzidos pela saída de gases durante a reação de combustão. As imagens de MEV evidenciam uma estrutura interconectada do pó que permanece, mesmo após o tratamento térmico a 700 °C. No presente trabalho, imagens similares foram obtidas para todas as composições estudadas.

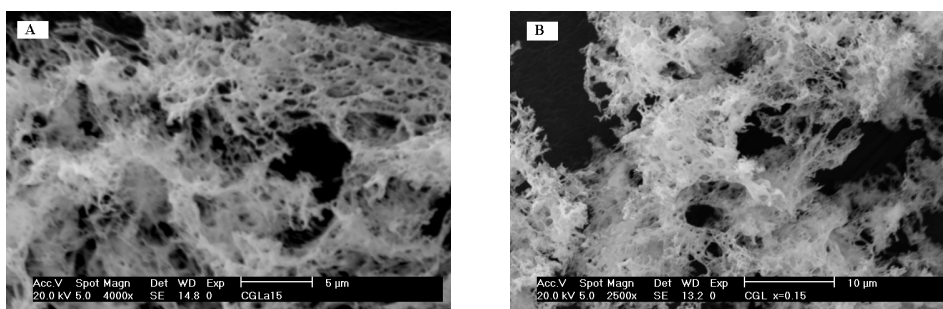


Figura 1. Imagens de microscopia eletrônica de varredura de amostras de pó de  $\text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2-x}\text{La}_x\text{O}_{1.9}$  : A) após a combustão; B) após tratamento térmico a 700 °C por 2 h.

### 2.4 Resultados de Difração de Raios-X

Os resultados dos padrões de difração de raios-X dos pós de  $\text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2-x}\text{La}_x\text{O}_{1.9}$  calcinados a 700 °C por 2 h e ar estão apresentados na Figura 2a. Para todas as composições foi obtida uma fase única com estrutura cúbica do tipo fluorita. O fato dos picos nos difratogramas serem alargados indica a natureza nanocristalina dos pós produzidos pelo método de combustão.

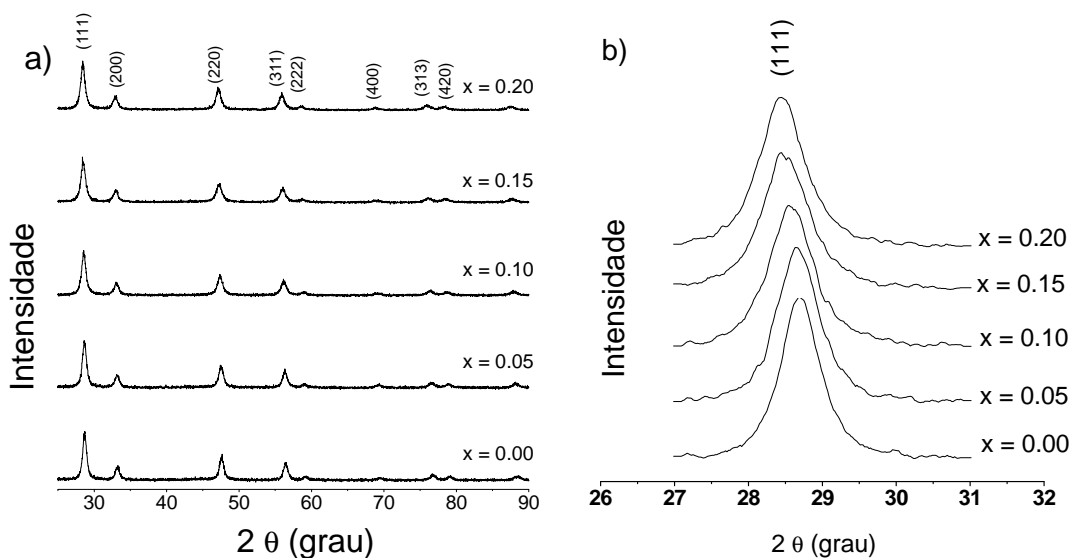


Figura 2. a) Difratogramas de raios-X de pós de  $\text{Ce}_{0.8}\text{Gd}_{0.2-x}\text{La}_x\text{O}_{1.9}$  calcinados a 700 °C por 2 h; b) DRX expandido na faixa de 2 θ entre 27 e 31 graus.

O tamanho dos cristalitos dos pós produzidos foram estimados utilizando a equação de Scherrer[4]:

$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos \theta_{\beta}}$$

onde 0,9 é uma constante relacionada a forma do cristalito,  $\lambda$  e o comprimento de onda da radiação incidente,  $\beta$  é a largura a meia altura do pico de maior intensidade (em radianos) e  $\theta_{\beta}$  é o ângulo na posição do máximo do pico. Os planos de reflexão (111), ver Figura 2b, foram usados para determinar o tamanho médio do cristalito e os resultados estão apresentados na Tabela 1. Foi observado que o tamanho do cristalito não depende do conteúdo de lantânia na composição. Entretanto, foi observado nos difratogramas que os valores de  $2\theta$  da céria dopada se deslocam levemente para valores menores de  $2\theta$  quando as composições mudam de  $x=0,0$  para  $x=0,2$ , ver Figura 2b. Isso significa que uma pequena distorção nos parâmetros de rede da estrutura cristalina das diferentes composições estudadas. Para investigar esse efeito, os parâmetros de rede das amostras foram determinados refinando os dados de difração de raios-X utilizando o software CellRef. O software utiliza o método dos mínimos quadrados para o refinamento dos dados. Para os cálculos foi assumido uma estrutura cúbica do tipo fluorita e um grupo espacial Fm3m como parâmetros iniciais. Os resultados mostram que a constante de rede aumenta com o conteúdo de lantânia, ver Figura 3. O aumento do parâmetro de rede deve-se ao fato de que o raio iônico do íon  $\text{La}^{3+}$  (1,16 Å) em comparação com o íon  $\text{Gd}^{3+}$  (1,06 Å). Portanto, a substituição do  $\text{Gd}^{3+}$  por  $\text{La}^{3+}$  causa um aumento na constante de rede. Esse resultado segue a Lei de Vegard, indicando que todas as amostras de céria dopada apresentadas neste trabalho são soluções sólidas.

Tabela 1 - Alguns Parâmetros Obtidos Para a Céria Dopada Sintetizada Pelo Método de Combustão

Composição da amostra	Parâmetro de rede "a" (Å)	Tamanho do cristalito (nm)
$\text{Ce}_{0,8}\text{Gd}_{0,2}\text{O}_{1,9}$	5.4298	12,6
$\text{Ce}_{0,8}\text{Gd}_{0,15}\text{La}_{0,05}\text{O}_{1,9}$	5.4342	12,1
$\text{Ce}_{0,8}\text{Gd}_{0,10}\text{La}_{0,10}\text{O}_{1,9}$	5.4384	11,9
$\text{Ce}_{0,8}\text{Gd}_{0,05}\text{La}_{0,15}\text{O}_{1,9}$	5.4427	11,5
$\text{Ce}_{0,8}\text{La}_{0,20}\text{O}_{1,9}$	5.4467	11,4

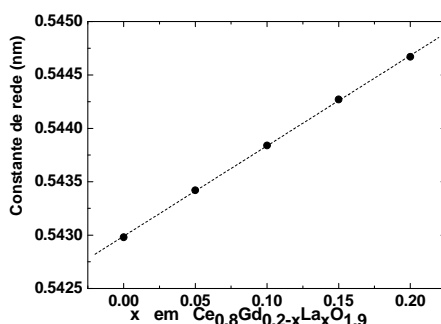


Figura 3. Dependência da constante de rede na composição da céria dopada.

## 2.5 Resultados de Espectroscopia Raman

Os espectros Raman obtidos para as amostras da Tabela 1 confirmam as análises de DRX. É conhecido que o  $\text{CeO}_2$  apresenta um modo vibracional Raman, o  $\text{F}_{2g}$  típico da estrutura fluorita, com  $\omega_R = 465 \text{ cm}^{-1}$  [5]. Uma vez que somente átomos de oxigênio se movem neste modo, o modo de vibração  $\text{F}_{2g}$  é muito sensível a qualquer desordem na sub-rede do oxigênio devido ao processamento ou a um tamanho de grão induzido pela não estequiometria. A Figura 4 apresenta os espectros Raman dos pós da céria dopada  $\text{Ce}_{0,8}\text{Gd}_{0,2-x}\text{La}_x\text{O}_{1,9}$  (para  $0,0 \leq x \leq 0,2$ ) calcinados a  $700^\circ\text{C} / 2\text{h}$ . A partir da Figura 4 é possível observar que todas as composições são caracterizadas pelo modo de vibração  $\text{F}_{2g}$

que é típico da estrutura fluorita e que pode ser visto como um modo simétrico natural dos átomos de oxigênio ao redor de cada cátion no espectro Raman. Nas amostras dos pós de  $\text{Ce}_{0,8}\text{Gd}_{0,2-x}\text{La}_x\text{O}_{1,9}$  o modo vibracional  $F_{2g}$  se desloca levemente para valores menores de frequência com o aumento do conteúdo de lantânio. O deslocamento do modo vibracional  $F_{2g}$  está em acordo com a expansão da rede cristalina devido ao maior raio iônico do íon lantânio.

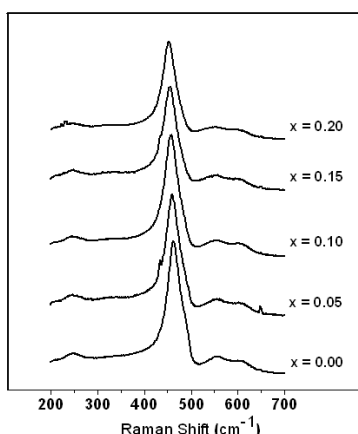


Figura 4. Espectros Raman de pós da céria dopada  $\text{Ce}_{0,8}\text{Gd}_{0,2-x}\text{La}_x\text{O}_{1,9}$  (para  $0,0 \leq x \leq 0,2$ ) calcinados a  $700^\circ\text{C} / 2\text{h}$ .

## 2.6 Resultados de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica

A espectroscopia de impedância eletroquímica aplicada ao estudo de eletrólitos sólidos condutores iônicos é usada para separar as diferentes contribuições da resistência do material estudado: a resistência do grão, a resistência da borda de grão e a resistência associada aos fenômenos de eletrodo[6]. Quando obtidos separadamente, cada fenômeno exibe um semicírculo na representação no plano complexo ( $Z''$  vs.  $Z'$ ) em uma determinada faixa de frequência. A identificação dos três semi-círculos depende de diferentes parâmetros experimentais, tais como: fatores geométricos da amostra, a composição da amostra, da microestrutura do material (contorno de grãos, segregação nos contornos de grãos), da pressão parcial do oxigênio, da densidade, dentre outros fatores. Em altas frequências, o semicírculo representa a propriedade volumétrica da eletrólito sólido, em particular a condutividade, isto é, representa o valor da resistência intragranular, (resistência intrínseca do material que permite deduzir a condutividade). O segundo semicírculo, aparece a frequências intermediárias e fornece informações sobre a resistência da passagem o íon óxido,  $\text{O}^{2-}$ , na borda de grão, isto é, os efeitos na interface grão/grão. O terceiro semi-círculo aparece na região de baixas frequências e é atribuído a transferência do íon óxido na interface de contato entre o eletrodo e o eletrólito, isto é, representa os fenômenos de eletrodo. É importante mencionar que a condutividade iônica do grão é a propriedade fundamental do material, enquanto que a condutividade total inclui outras contribuições tais como, microestrutural e impurezas na amostra. Assim, no presente trabalho, somente a condutividade do grão será discutida na comparação entre as condutividades das diferentes composições da céria dopada estudada neste trabalho.

A condutividade iônica da céria é devido a mobilidade das vacâncias de oxigênio e depende do tipo de dopante e de sua concentração. Uma vacância, é um defeito na rede cristalina, em outras palavras, é uma posição na rede cristalina que deveria conter um íon óxido,  $\text{O}^{2-}$ , na sua posição original, mas que não está presente. As vacâncias podem ser formadas em atmosferas redutoras pela redução do cério,  $\text{Ce}^{4+}$  a  $\text{Ce}^{3+}$  e pela dopagem da céria com elementos com estado de oxidação menor do que o íon cério. Neste trabalho, para investigar o efeito da co-dopagem e ao mesmo tempo evitar o efeito da concentração de defeitos, do tipo vacância dos íons óxido, sobre a condutividade iônica, um conjunto de amostras de composição nominal  $\text{Ce}_{0,8}\text{Gd}_{0,2-x}\text{La}_x\text{O}_{1,9}$  ( $0,0 \leq x \leq 0,2$ ) foram preparadas e estudadas.

A condutividade iônica,  $\sigma$ , foi calculada a partir da resistência, da área da seção transversal,  $A$  e da espessura,  $l$ , usando a equação:

$$\sigma = l / R.A$$



Os valores de R foram obtidos dos espectros de impedância eletroquímica – EIS – e estão apresentados na Tabela 2. Os resultados das medidas de EIS para a temperatura de 700 °C estão apresentados na Figura 5A. Por causa da faixa de frequência limitada do equipamento (0,1 Hz a 1 MHz) e das características das amostras estudadas, nem todos os três semi-círculos, descritos anteriormente, foram observados. Analisando os valores de condutividade para as diferentes concentrações de dopante apresentados na Tabela 2, verifica-se que para a faixa de composição estudada não houve aumento da condutividade iônica com a adição de lantânio na céria dopada, pelo contrário, houve um decréscimo. Entretanto, analisando os diagramas de impedância da Figura 4A, podemos observar diferentes comportamentos nos espectros a baixas frequências (lado direito dos espectros), isto é, a resistência de polarização diminui com o aumento do conteúdo de lantânio na céria dopada até a composição com  $x = 0,15$  e aumenta para  $x = 0,20$ . Esse comportamento pode estar associado a uma mudança na cinética de transferência de carga na interface eletrólito sólido / eletrodo. Esse resultado é extremamente importante do ponto de vista da interface eletrólito sólido / eletrodo. Em outras palavras, a diminuição da resistência de polarização para baixas frequências pode melhorar a transferência do íon-óxido ( $O^{2-}$ ) na superfície de contato em células a combustível de óxido sólido de temperatura intermediária e por consequência, melhorar a eficiência de operação da mesma.

As medidas de condutividade foram analisadas utilizando a equação de Arrhenius, na qual a entalpia do processo,  $\Delta H_\sigma$ , pode ser relacionada com a condutividade, a temperatura, T, a constante de Boltzmann, k e o fator pré-exponencial,  $A_\sigma$ :

$$\sigma T = A_\sigma \exp \left[ \frac{-\Delta H_\sigma}{kT} \right]$$

A energia de ativação para a migração está incluída na entalpia do processo em adição ao termo de energia associado a formação do defeito. A equação pode ser linearizada fazendo um gráfico de  $\ln(\sigma T)$  versus  $1/T$  (ver Figura 6A), permitindo que a entalpia do processo seja obtida a partir da inclinação da reta. A energia de ativação representa a barreira potencial para mover um íon óxido através de um ponto na rede do composto de um cátion vizinho e uma vacância vizinha[7]. Os resultados das energias de ativação para as distintas composições estudadas estão apresentados na Figura 5B e são consistentes com os resultados da condutividade mostrados na Tabela 2. Tem sido reportado na literatura que a condutividade da céria dopada é afetada não somente pela concentração e distribuição de vacâncias, mas também pela tensão da rede cristalina[8]. Assim, podemos inferir a partir dos resultados que o desvio do parâmetro de rede a partir da céria gadolínica co-dopada com lantânio conduz a um aumento na tensão da rede e, como resultado, a um decréscimo na condutividade iônica.

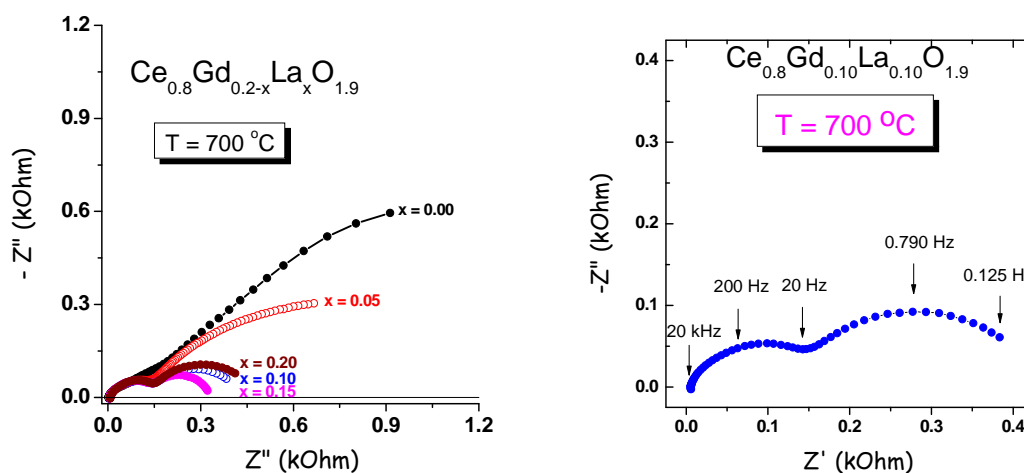


Figura 5. A) Espectros de EIS do  $Ce_{0.8}Gd_{0.2-x}La_xO_{1.9}$ . B) Espectro de EIS para a composição  $Ce_{0.8}Gd_{0.10}La_{0.10}O_{1.9}$

Tabela 2 – Condutividade ( $S \cdot cm^{-1} \times 10^{-2}$ ) do  $Ce_{0,8}Gd_{0,2-x}La_xO_{1,9}$  a diferentes temperaturas

	T = 400 °C	T = 500 °C	T = 600 °C	T = 700 °C
X=0,00	0,21	0,81	2,30	5,36
X=0,05	0,20	0,68	1,82	4,11
X=0,10	0,17	0,62	1,74	4,43
X=0,15	0,14	0,51	1,33	3,48
X=0,20	0,14	0,59	1,42	3,35

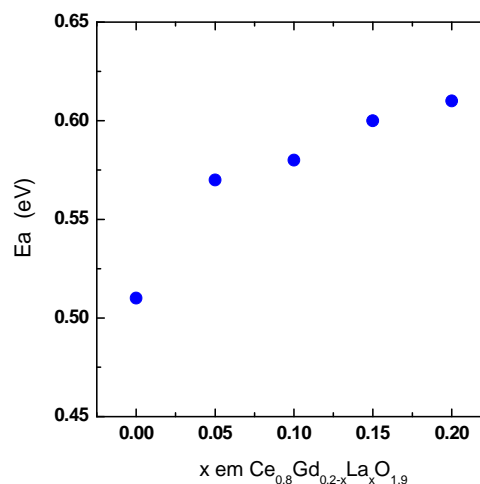
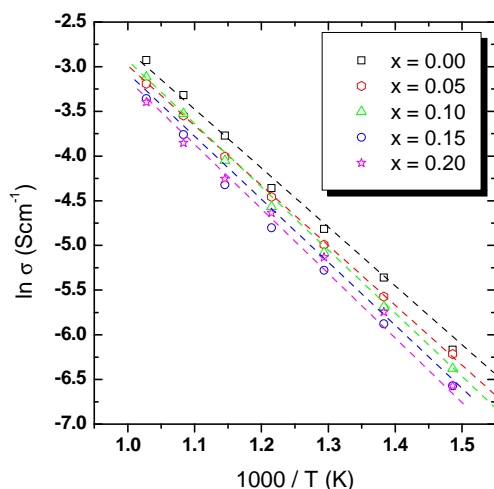


Figura 6. A) Gráfico tipo Arrhenius do  $Ce_{0,8}Gd_{0,2-x}La_xO_{1,9}$ . B) Energia de ativação para  $Ce_{0,8}Gd_{0,2-x}La_xO_{1,9}$ .

### 3.0 - CONCLUSÃO

Amostras de céria co-dopada com composição nominal  $Ce_{0,8}Gd_{0,2-x}La_xO_{1,9}$  ( $0,0 < x < 0,20$ ) foram preparadas pelo método de combustão e caracterizadas. Todas as amostras sintetizadas apresentaram estrutura tipo fluorita formando soluções sólidas a base de céria no processo de síntese pelo método de combustão no processo de sinterização a 1350 °C por 5 h. Em comparação com a céria-gadolínea ( $x=0,00$ ), as amostras com lantânia na composição ( $0,00 < x \leq 0,20$ ), apresentaram menores condutividades e maiores energias de ativação. Entretanto, a partir dos resultados das medidas eletroquímicas foi possível concluir que a introdução da lantânia na rede da céria promove uma redução significativa na polarização do eletrodo. A composição  $Ce_{0,8}Gd_{0,10}La_{0,10}O_{1,9}$ , onde há uma dupla dopagem em quantidades equimolares, apresentou uma pequena diminuição na condutividade mas um grande diminuição na resistência de polarização, um resultado extremamente importante do ponto de vista da interface eletrodo/eletrolito sólido.

### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Disponível em [http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20110222\\_2.pdf](http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20110222_2.pdf). Acesso em 06.03.2011
- (2) Disponível em [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2009.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2009.pdf). Acesso em 06.03.2011
- (3) BERTON, M.A.C., GARCIA, C.M., GUSSO, C. Nanotecnologia Aplicada. Geração de Energia Elétrica: Síntese e Caracterização e Testes Operacionais de Célula a Combustível de Óxido Sólido Unitária. GPT-22, Rio de Janeiro, 2007.
- (4) CULLITY, D. Elements of X-ray Diffraction, 3<sup>rd</sup> Ed. Harcoover, 2001.



**XXI SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

(5) BANERJ, A. GROVER, V.SATHE, V. DEB, S.K., TYAGI, A.K., CeO<sub>2</sub>-Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> system: Unraveling of Microscopic Features by Raman Spectroscopy. Solid State Communication, 149 (2009) p. 1689-1692.

(6) KLEITZ, M. et al. Electrochimie des Solid. Collection Grenoble Science. Universite Joseph Fourier. Edited by Universitaires de Grenoble. 1994.

(7) YOSHIDA, H., DEGUCHI, H. MIURA, K., HORIUCHI, M., INAGAKI, T. Investigation of the relationship between the ionic conductivity and the local structures of singly and doubly doped ceria compounds using EXAFS measurement. Solid State Ionics. 140 (3-4), 2001, p. 191-199.

(8) GUAN, X., ZHOU, H., WANG, Y., WANG, Y., ZHANG, J. Preparation and properties of Gd<sup>3+</sup> and Y<sup>3+</sup> co-doped ceria-based electrolytes for intermediate temperature solid oxide fuel cells. J. of Alloys and Compounds, 464 (2008) 310-316

#### 5.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a COPEL – Companhia Paranaense de Energia e ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo suporte financeiro para o desenvolvimento das pesquisas em Células a Combustível de Óxido Sólido.

#### 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Marcos Antonio Coelho Berton

Nascido em Campo Largo, PR em 02 de maio de 1966.

Pós Doutorado (2000) pela UFSCar – São Carlos – SP.

Doutorado (1998) e Mestrado (1994) em Ciências na área de Físico-Química pela UFSCar - São Carlos-SP, Graduação (1992) em Química – UFPR.

Empresa: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento –LACTEC - desde 2001.

Pesquisador Sênior do Departamento de Tecnologia de Materiais - DPTM

Pesquisador CNPq de Produtividade e Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora