



República Federativa do Brasil  
Ministério da Indústria, Comércio Exterior  
e Serviços  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102016024963-5 A2

(22) Data do Depósito: 25/10/2016

(43) Data da Publicação: 15/05/2018



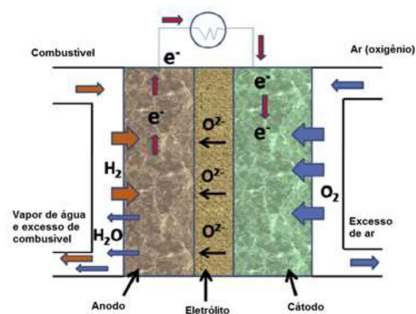
(54) **Título:** ELETRODO, ELETRÓLITO, CÉLULA A COMBUSTÍVEL ÓXIDO SÓLIDO E PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

(51) **Int. Cl.:** H01M 4/02; H01M 8/10

(73) **Titular(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

(72) **Inventor(es):** FAILI CINTIA TOMSEN VEIGA; VANIA CALDAS DE SOUSA; JOSÉ JURADO EGEA

(57) **Resumo:** A presente invenção descreve componentes eletroquímicos, mais especificamente eletrodos (cátodo, anodo etc.) e um eletrólito compreendendo majoritariamente aluminato de cálcio em sua composição, uma célula a combustível óxido sólido compreendendo pelo menos um desses componentes eletroquímicos, e um processo de produção de energia compreendendo tal célula a combustível óxido sólido. A presente invenção se situa nos campos da Engenharia dos Materiais e Química.



## **Relatório Descritivo de Patente de Invenção**

### **ELETRODO, ELETRÓLITO, CÉLULA A COMBUSTÍVEL ÓXIDO SÓLIDO E PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA**

#### **Campo da Invenção**

**[0001]** A presente invenção descreve componentes eletroquímicos, mais especificamente eletrodos (cátodo, anodo etc.) e um eletrólito compreendendo majoritariamente aluminato de cálcio em sua composição, uma célula a combustível óxido sólido compreendendo pelo menos um desses componentes eletroquímicos, e um processo de produção de energia compreendendo tal célula a combustível óxido sólido. A presente invenção se situa nos campos da Engenharia dos Materiais e Química.

#### **Antecedentes da Invenção**

**[0002]** O interesse em pesquisas voltadas para formas alternativas de geração de energia elétrica, especialmente para as que utilizam fontes renováveis, vem crescendo continuamente, entre estas, as células a combustíveis destacam-se como uma tecnologia bastante promissora. Entre os vários tipos de células a combustível, a célula a combustível óxido sólido (SOFC) possui a vantagem de trabalhar com conversão de vários combustíveis gasosos. Nestas células, o eletrólito deve ser impermeável aos gases que são difundidos nos eletrodos, para impedir que eles se misturem.

**[0003]** Uma célula SOFC consiste basicamente de dois eletrodos porosos (o anodo e o cátodo) separados por um eletrólito denso. Como pode ser observado na figura 1.

**[0004]** Este sistema é alimentado com combustível, como uma fonte de hidrogênio, que em contato com o anodo é oxidado liberando elétrons para um circuito externo. Já no lado do cátodo é o oxidante (ar ou oxigênio), que captura os elétrons do circuito externo. Resultando em um fluxo de elétrons (do anodo para o cátodo) através do circuito externo, que corresponde a corrente elétrica

gerada. Através do eletrólito são transportados os íons oxigênicos, que são misturados com o hidrogênio molecular formando água (H<sub>2</sub>O) no anodo. Como pode ser observado na figura 1.

**[0005]** O aluminato de cálcio com a fase presente de mayenita (Ca<sub>12</sub>Al<sub>14</sub>O<sub>33</sub>, muitas vezes designado como C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>) contém duas unidades moleculares (Z=2) que podem ser expressas como [Ca<sub>24</sub>Al<sub>28</sub>O<sub>64</sub>]<sup>4+</sup>+2O<sup>2-</sup>, sendo que o componente [Ca<sub>24</sub>Al<sub>28</sub>O<sub>64</sub>] forma uma estrutura reticular cristalina tridimensional, contendo 12 cavidades em que cada cavidade tem uma carga efetiva de +1/3. Já o componente 2O<sup>2-</sup>, é chamado de oxigênio livre, que ocupa duas cavidades diferentes na célula unitária.

**[0006]** Os aluminatos de cálcio são materiais que tem características muito atrativas, pois possuem habilidade de incorporar dentro da sua estrutura ânions estranhos, tal como: halogenetos, diversas espécies de oxigênio, pequenas moléculas como as hydracinas, sulfetos, nitretos, hidretos e inclusive elétrons. Ainda se abre a possibilidade de desenvolver eletrólitos aniônicos, materiais funcionais para sensores, células combustíveis, dispositivos eletrônicos, emissores iônicos. Podem ser preparados como semicondutores através de diferentes tratamentos térmicos com atmosferas controladas. Nas figuras 2 e 3 podemos observar a estrutura que consiste em gaiolas de tamanho subnanométrico com simetria (S4).

**[0007]** Os primeiros estudos sobre aluminato de cálcio discorrem sobre a estrutura cristalográfica e as gaiolas da C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>, após anos a mayenita foi estudada pela primeira vez em 1988 por Lacerda e Irvine onde relatam que é um surpreendentemente bom condutor de íons de oxigênio, com uma mobilidade de íons de oxigênio elevada, estando diretamente relacionada com a sua estrutura de cristal único. Ainda nesses estudos, comprovaram que a mayenita possui condutividade iônica de aproximadamente uma ordem de grandeza menor do que a zircônia estabilizada com ítria (YSZ) como ilustrado na Figura 4. Também foram os primeiros a mostrar que C<sub>12</sub>A<sub>7</sub> pode ser quimicamente reduzida e torna-se um condutor misto.

**[0008]** Posteriormente surgiram vários estudos experimentais e teóricos que apontam a passagem de  $C_{12}A_7$  de um condutor iônico para um eletrodo e a possibilidade de incorporação de vários ânions como os halogenetos ( $F^-$ ,  $Cl^-$ ), espécies de oxigênio ( $O^-$ ,  $O^{2-}$ ,  $O_2^{2-}$ ), hidróxido ( $OH^-$ ), pequenas moléculas ( $CN^-$ ,  $C_2^{2-}$ ,  $NH_2^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $N_2H_{3-x}$ ), sulfureto ( $S^{2-}$ ), nitrato ( $N^{3-}$ ), hidreto ( $H^-$ ) e elétrons, conforme a Figura 5.

**[0009]** As condutividades iônicas e eletrônicas em temperatura elevada da mayenita foram estudadas por Lee. E, recentemente, Kim et al. relataram as propriedades termoelétricas da mayenita. Recentemente, a mayenita tem chamado atenção pela sua estrutura cristalina, visto que apresenta novas propriedades incomuns, e ainda pode ser utilizado como óxido condutor transparente empregado em catalisadores para a combustão de compostos orgânicos voláteis e como condutor iônico de oxigênio altamente eficiente. Além disso, hidrata-se rapidamente e possui temperatura de fusão relativamente baixa em relação aos outros aluminatos de cálcio. Essas propriedades fazem com que mayenita seja um material interessante para aplicações tecnológicas, tais como, área da eletrônica, ótica, química.

**[0010]** Na busca pelo estado da técnica em literaturas científica e patentária, foram encontrados os seguintes documentos que tratam sobre o tema:

**[0011]** O documento DE102013005888 revela um eletrólito sólido de mayenita, sendo as posições do cálcio substituídas por cobalto ou estrôncio.

**[0012]** O documento WO 2006129675 A1 revela um processo para produzir um composto condutor de mayenita, em que o composto contém cálcio e/ou estrôncio e contém alumínio. No entanto, o documento não revela a fase do aluminato de cálcio presente, majoritariamente, na invenção.

**[0013]** O documento WO2010/024205 descreve um composto de tipo mayenita, mas com o cálcio substituído por Mg, Br e Sn.

**[0014]** O documento JP2009-203.126 descreve um composto do tipo mayenita, nas posições de  $\text{Al-C}_{12}\text{A}_7$  e são parcialmente substituídos por Ga ou In.

**[0015]** O documento US20140170529 revela a montagem de uma célula SOFC com eletrólito de aluminato de cálcio, de um lado uma cerâmica compreende lantânio, estrôncio, cobalto, ferro e oxigênio e do outro lado compreende um metal nobre, em que o metal nobre é de prata, paládio ou prata e paládio.

**[0016]** Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

**[0017]** Portanto um dos principais problemas das células a combustível de óxido sólido (SOFC) é o alto custo dos seus materiais envolvidos (componentes).

### **Sumário da Invenção**

**[0018]** Dessa forma, a presente invenção tem por objetivo resolver os problemas constantes no estado da técnica a partir de componentes eletroquímicos compreendendo aluminatos de cálcio, em que os componentes podem ser utilizados em uma célula a combustível óxido sólido.

**[0019]** Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta um eletrodo compreendendo de 50% a 90% em peso de aluminato de cálcio e de 10% a 50% em peso de materiais selecionados do grupo consistindo de ferritas, manganitas e cobaltitas, óxido de níquel e combinações dos mesmos.

**[0020]** Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta um eletrólito compreendendo pelo menos 95% em peso de aluminato de cálcio e pelo menos um material que possua característica de condutor iônico e condutor eletrônico.

**[0021]** Em um terceiro objeto, a presente invenção apresenta uma célula a combustível óxido sólido compreendendo pelo menos um eletrodo conforme definido no primeiro objeto, ou pelo menos um eletrólito conforme definido no segundo objeto, ou uma combinação dos mesmos.

**[0022]** Em um quarto objeto, a presente invenção apresenta um processo de produção de energia compreendendo as seguintes etapas:

- Fornecer um fluxo de agente redutor, usado como combustível, a uma célula a combustível óxido sólido conforme definida no terceiro objeto;

- Fornecer um fluxo de agente oxidante a célula a combustível óxido sólido conforme definida no terceiro objeto;

em que a reação eletroquímica seja espontânea, gerando um fluxo de elétrons.

**[0023]** Ainda, o conceito inventivo comum a todos os contextos de proteção reivindicados são os componentes eletroquímicos compreendendo aluminatos de cálcio, em que os componentes podem ser utilizados em uma célula a combustível óxido sólido.

**[0024]** Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e pelas empresas com interesses no segmento, e serão descritos em detalhes suficientes para sua reprodução na descrição a seguir.

### **Breve Descrição das Figuras**

**[0025]** São apresentadas as seguintes figuras:

**[0026]** A Figura 1 mostra esquema de uma SOFC operando com  $H_2$ , imagem retirada de Stambouli et al, 2002.

**[0027]** A Figura 2 mostra a estrutura em gaiola de tamanho subnanométrico da  $Ca_{12}A_7$ , imagem retirada de Lee et al, 2009.

**[0028]** A Figura 3 mostra a simetria  $S_4$  da estrutura em gaiola da  $Ca_{12}A_7$ , imagem retirada de kohama et al 2006.

**[0029]** A Figura 4 mostra um gráfico da condutividade iônica da mayenita em relação a YSZ, gráfico retirado de Belghoul et al, 2011.

**[0030]** A Figura 5 mostra uma representação dos ânions incorporados na  $C_{12}A_7$ , imagem retirada de Kitano et al, 2011.

**[0031]** A Figura 6 mostra o esquema da montagem de uma mono célula assimétrica.

**[0032]** A Figura 7 mostra o esquema da montagem de uma mono célula simétrica usando materiais de cátodos.

**[0033]** A Figura 8 mostra o esquema da montagem de uma mono célula simétrica usando materiais de anodos.

**[0034]** A figura 9 mostra um gráfico do potencial da célula variando com a densidade de corrente.

**[0035]** A figura 10 mostra o padrão de difração por Raio-X (DRX) das amostras de aluminato de cálcio pelo método de Rietveld.

**[0036]** A figura 11 mostra o espectro Raman da amostra 1200°C de aluminato de cálcio bifásico.

### **Descrição Detalhada da Invenção**

**[0037]** O presente invento descreve a obtenção de uma célula a combustível óxido sólido (SOFC) com componentes eletroquímicos à base de aluminatos de cálcio. Em uma concretização, para a montagem das células foi adicionado aluminato de cálcio nos cátodos, eletrólitos e ânodos. A adição do aluminato de cálcio ao cátodo e ânodo auxilia nas diferenças dos coeficientes de expansão térmico (CET) entre os eletrólitos e eletrodos, evitando defeitos nas peças.

**[0038]** Com relação ao ânodo, foi utilizado o óxido de níquel misturado ao aluminado de cálcio (NiO/CA), visto que o óxido de níquel apresenta um menor custo se comparado aos outros metais.

**[0039]** Com relação ao cátodo, foi utilizada uma mistura do LSM com o eletrólito de mayenita (LSM/CA). A manganita de lantânio dopada com

estrôncio ( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_{3-\delta}$ ) (LSM), possui como principal vantagem a alta estabilidade e alta atividade catalítica nas reações de redução do oxigênio em temperaturas de operação. Além disso, é a mais popular dos compostos de perovskita e a mais utilizada em células SOFC que operam a altas temperaturas.

**[0040]** Uma das principais vantagens da mayenita está relacionada à versatilidade de propriedades resultante da sua estrutura cristalina, a qual permite a obtenção de condutores mistos e a utilização de mecanismos de transporte próprios. Além disso, por ser um material de baixo custo, quando comparado aos outros eletrólitos, a utilização deste material como eletrólito em SOFC diminui o custo de montagem dos aparelhos. Outro aluminato de cálcio de interesse é o aluminato de cálcio com fase predominante de celita ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ).

**[0041]** A celita possui uma estrutura cristalina similar a mayenita, mas com novas propriedades eletrônicas e iônicas. O band gap da Celita (4,5 eV) é menor que o da mayenita (6,3 eV), demonstrando ser mais condutora. Portanto, a presença de mais de uma fase em um componente faz com que os condutores mistos alcancem vantagens em relação às propriedades no transporte eletrônico.

**[0042]** Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta um eletrodo compreendendo de 50% a 90% em peso de aluminato de cálcio e de 10% a 50% em peso de materiais selecionados do grupo consistindo de ferritas, manganitas e cobaltitas, óxido de níquel e combinações dos mesmos.

**[0043]** Em uma concretização, o eletrodo compreende de 70% a 80% em peso de aluminato de cálcio e de 20% a 30% em peso de materiais selecionados do grupo consistindo de ferritas, manganitas e cobaltitas, óxido de níquel e combinações dos mesmos.

**[0044]** Em uma concretização, o eletrodo é um ânodo compreendendo 70% a 80% em peso de aluminato de cálcio e de 20% a 30% em peso de materiais selecionados do grupo consistindo de óxido de níquel.



**[0045]** Em uma concretização, o eletrodo é um cátodo compreendendo 70% a 80% em peso de aluminato de cálcio e de 20% a 30% em peso de materiais selecionados do grupo consistindo de ferritas, manganitas e cobaltitas e combinações dos mesmos.

**[0046]** Em uma concretização do eletrodo, o material consisti de manganitas.

**[0047]** Em uma concretização do eletrodo, o material consisti de manganita de Lantânio dopada de estrôncio.

**[0048]** Em uma concretização do eletrodo, o aluminato de cálcio está nas fases de celita, mayenita, ou combinações das mesmas.

**[0049]** Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta um eletrólito compreendendo pelo menos 95% em peso de aluminato de cálcio e pelo menos um material que possua característica de condutor iônico e condutor eletrônico.

**[0050]** Em uma concretização do eletrólito, o condutor iônico compreende aluminato de cálcio na fase de celita, e o condutor eletrônico compreende aluminato de cálcio na fase de mayenita.

**[0051]** Em uma concretização, o eletrólito, compreende majoritadamente aluminato de sódio na fase celita.

**[0052]** Em um terceiro objeto, a presente invenção apresenta uma célula a combustível óxido sólido compreendendo pelo menos um do dito eletrodo, ou pelo menos um do dito eletrólito, ou uma combinação dos mesmos.

**[0053]** Em uma concretização, a célula a combustível óxido sólido compreende pelo menos um do dito eletrodo e pelo menos um do dito eletrólito.

**[0054]** Em um quarto objeto, a presente invenção apresenta um processo de produção de energia compreendendo as seguintes etapas:

- Fornecer um fluxo de agente redutor, usado como combustível, a dita célula a combustível óxido sólido;
- Fornecer um fluxo de agente oxidante a dita célula a combustível óxido sólido;

em que a reação eletroquímica seja espontânea, gerando um fluxo de elétrons.

**[0055]** Em uma concretização do processo, o agente redutor é selecionado do grupo consistindo de gás hidrogênio, acetileno, metano, propano, ou combinações dos mesmos.

**[0056]** Em uma concretização do processo, o agente redutor é selecionado do grupo consistindo de gás hidrogênio ou acetileno.

**[0057]** Em uma concretização do processo, o agente oxidante compreende o gás oxigênio.

### **Exemplos – Concretizações**

**[0058]** Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

#### **Exemplo 1. Montagem das células assimétricas e simétricas**

**[0059]** Em uma concretização, para a montagem da célula assimétrica, na parte do cátodo, utilizaram-se os materiais comumente usados sendo estes misturados com aluminato de cálcio, e para o eletrólito foi usado o aluminato de cálcio e na outra parte do ânodo foram utilizados materiais que geralmente são utilizados e estes foram misturados com o aluminato de cálcio (Figura 6).

**[0060]** Em uma concretização, para a montagem da célula simétrica utilizaram-se os materiais comumente usados para cátodo sendo estes misturados com aluminato de cálcio. Em uma concretização, para o eletrólito foi usado o aluminato de cálcio e na outra parte utilizou-se o mesmo preparado na camada anterior (Figura 7).

**[0061]** Em uma concretização, para a montagem da outra célula simétrica utilizaram-se os materiais geralmente usados em anodos e estes foram misturados com a aluminato de cálcio, como eletrólito utilizando o aluminato de cálcio e para a outra parte utilizou-se o mesmo preparado na camada anterior (Figura **Erro! Fonte de referência não encontrada.8**).

### Exemplo 2. Teste de Potencial da Célula

**[0062]** Para o teste de potencial da célula foi utilizado como agente oxidante o ar e como agente redutor o acetileno, produzido por um gerador de carbureto de cálcio e reagido com a água. O eletrodo de contato utilizado era de tungstênio e de um filme de platina.

**[0063]** Foi realizado um tratamento em sito em forno específico para teste de células a combustível, nas temperaturas de 25°C até 900°C.

**[0064]** Como pode ser observado pelos resultados da figura 9, a célula apresenta potencial adequado para utilização em produção de energia.

### Exemplo 3. Testes de caracterização do eletrólito

**[0065]** Para a caracterização do eletrólito, depois do tratamento em atmosfera controlada, foi utilizado um difratograma Philips. A análise dos padrões de difração foi realizada, por comparação com formas cristalográficas designados em JCPDS-ICDD (Joint Committee on Powder Diffraction Standards - Centro Internacional de Difração de Dados). Os padrões de difração foram analisados pelo método de Rietveld usando Estrutura Geral software Analysis System (GSAS) na temperatura de 1200°C. Com o intuito de identificar e quantificar a existência de possíveis fases secundárias, foi realizada uma avaliação cuidadosa pelo método de Rietveld e o mesmo padrão de DRX a 1300°C também foi obtido. Para todas as amostras investigadas havia duas fases: aluminato tricálcio (celita) e Hepta-aluminato dodecálcio (mayenita) foram constatados (Figura 10), respectivamente com o banco de dados de cristal inorgânico estrutura (ICSD) 1000039 e 241243.

**[0066]** A qualidade do refinamento de Rietveld é monitorizada de acordo com o número de indicadores de refinamento obtidos para cada ciclo. A verificação de convergência da refinação realiza-se por um perfil de factor R ponderada (WRP). Neste refinamento foi obtido um valor WRP de 9,944%.

**[0067]** O GOF é a razão entre WRP e  $R_{exp}$  e, na prática, valores inferiores a 5% não refletem um refinamento otimizado, nesse refinamento do aluminato de cálcio foi obtido um valor de 1,08% GOF.

**[0068]** Esse cálculo de refino nos dá uma quantificação bifásica para celita de 70,157% e para mayenita 29,843%.

**[0069]** O material resultante tem essencialmente uma rede cúbica completa com uma desordem controlada, e as possíveis interfaces entre si são difundidas. Assim mayenita e celita promovem um material compósito de microestrutura estável, onde há uma coexistência mútua entre eles, uma fase ajuda a outra a ser estável, mesmo com absorção de água. Isto é conhecido como celita modificada-mayenita (CMM).

**[0070]** Adicionalmente, a micro espectroscopia Raman foi realizada para se obter informação estrutural sobre o material, utilizando-se um laser com uma linha de excitação de 532nm, com uma potência de 10 mW e um feixe localizado através de uma lente objetiva de 50x para a aquisição da região de 200-1115  $\text{cm}^{-1}$  usando 5 ciclos de 10 segundos para cada medição.

**[0071]** A figura 11 mostra o espectro obtido. A estrutura atribuída à banda mais característica localizada em 772  $\text{cm}^{-1}$  é a estrutura Al-O simétrica, já para a fase celita o espectro mostra bandas nítidas em 508  $\text{cm}^{-1}$ , 757  $\text{cm}^{-1}$ , 415  $\text{cm}^{-1}$  e 843  $\text{cm}^{-1}$ . A banda em 508  $\text{cm}^{-1}$  pode ser associada com o movimento simétrico do oxigênio em ponte nas ligações Al/O/Al e estes sinais são característicos de celita cúbica, ainda fornece informações adicionais para esclarecer a coexistência de ambas as fases, para a fase mayenita a banda característica da fase 772  $\text{cm}^{-1}$  pode ser associada e as faixas do espectro em 312  $\text{cm}^{-1}$  e 333  $\text{cm}^{-1}$ . A região abaixo de 300  $\text{cm}^{-1}$  possui vários modos de conexão atribuídos como Ca-O.

#### Exemplo 4. Processo de montagem da monocélula a combustível óxido sólido

**[0072]** A monocélula a combustível óxido sólido foi montada pela técnica de deposição por Serigrafia por camadas distintas.

**[0073]** Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes, abrangidas no escopo das reivindicações anexas.

### Reivindicações

1. Eletrodo **caracterizado** por compreender de 50% a 90% em peso de aluminato de cálcio e de 10% a 50% em peso de materiais selecionados do grupo consistindo de ferritas, manganitas e cobaltitas, óxido de níquel e combinações dos mesmos.

2. Eletrodo de acordo com a reivindicação 1 **caracterizado** por compreender de 70% a 80% em peso de aluminato de cálcio e de 20% a 30% em peso de materiais selecionados do grupo consistindo de ferritas, manganitas e cobaltitas, óxido de níquel e combinações dos mesmos.

3. Eletrodo de acordo com a reivindicação 1 ou 2 **caracterizado** pelo eletrodo ser um ânodo compreendendo 70% a 80% em peso de aluminato de cálcio e de 20% a 30% em peso de materiais selecionados do grupo consistindo de óxido de níquel.

4. Eletrodo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3 **caracterizado** pelo eletrodo ser um cátodo compreendendo 70% a 80% em peso de aluminato de cálcio e de 20% a 30% em peso de materiais selecionados do grupo consistindo de ferritas, manganitas e cobaltitas e combinações dos mesmos.

5. Eletrodo de acordo com a reivindicação 4 **caracterizado** pelo material consistir de manganitas.

6. Eletrodo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado** pelo aluminato de cálcio estar nas fases de celita, mayenita, ou combinações das mesmas.

7. Eletrólito **caracterizado** por compreender pelo menos 95% em peso de aluminato de cálcio e pelo menos um material que possua característica de condutor iônico e condutor eletrônico.

8. Eletrólito, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo condutor iônico compreender aluminato de cálcio na fase de celita, e pelo condutor eletrônico compreender aluminato de cálcio na fase de mayenita. .

9. Eletrólito, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 e 8 **caracterizado** por compreender majoritariamente aluminato de sódio na fase celita.

10. Célula a combustível óxido sólido **caracterizada** por compreender pelo menos um eletrodo conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 6, ou pelo menos um eletrólito conforme definido em qualquer uma das reivindicações 7 a 9, ou uma combinação dos mesmos.

11. Processo de produção de energia **caracterizado** por compreender as seguintes etapas:

- Fornecer um fluxo de agente redutor, usado como combustível, a uma célula a combustível óxido sólido conforme definida na reivindicação 10;

- Fornecer um fluxo de agente oxidante a uma célula a combustível óxido sólido conforme definida na reivindicação 10;

em que a reação eletroquímica seja espontânea, gerando um fluxo de elétrons.

12. Processo de produção de energia, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pelo agente redutor ser selecionado do grupo consistindo de gás hidrogênio, acetileno, metano, propano, ou combinações dos mesmos.

13. Processo de produção de energia, de acordo com qualquer uma das reivindicações 11 ou 12, **caracterizado** pelo agente redutor ser selecionado do grupo consistindo de acetileno ou hidrogênio.

14. Processo de produção de energia, de acordo com qualquer uma das reivindicações 11 a 13, **caracterizado** pelo agente oxidante compreender o gás oxigênio.

FIGURAS

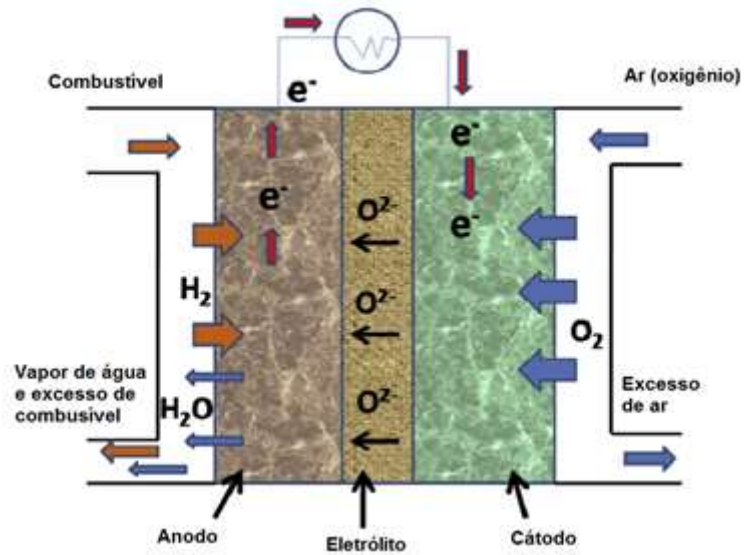


Figura 1

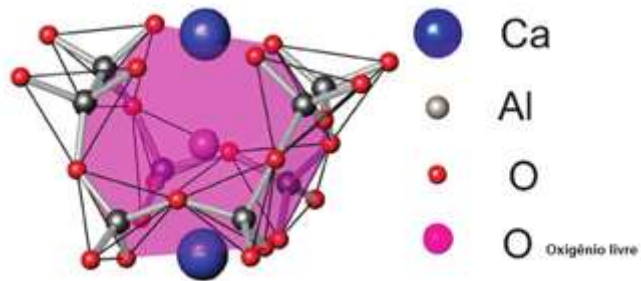


Figura 2

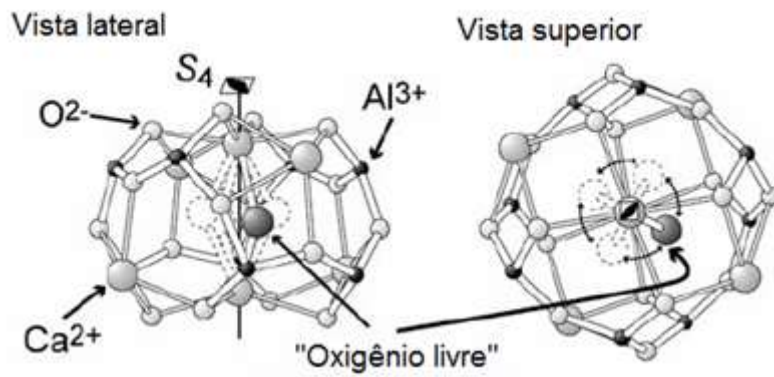


Figura 3

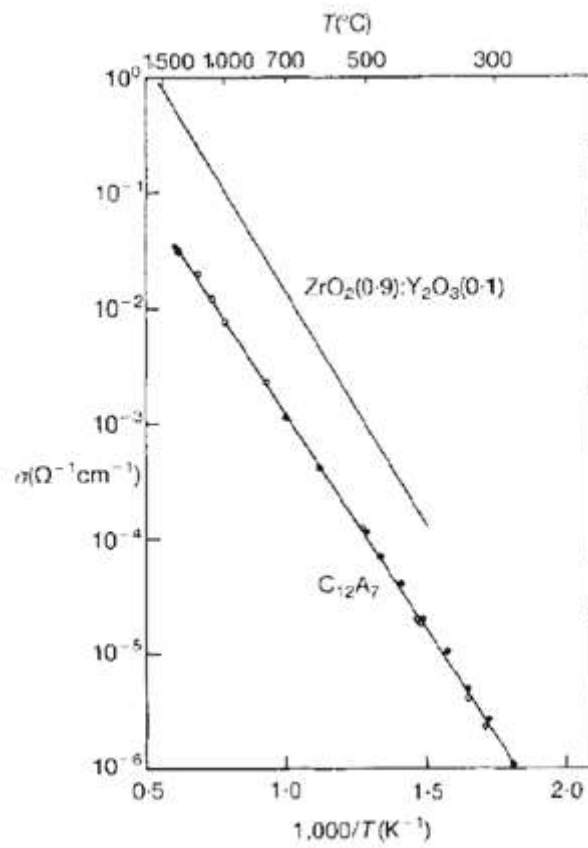


Figura 4

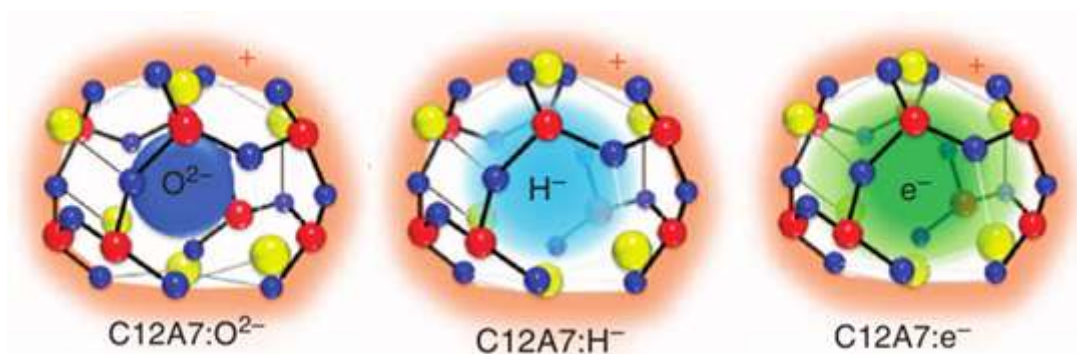


Figura 5



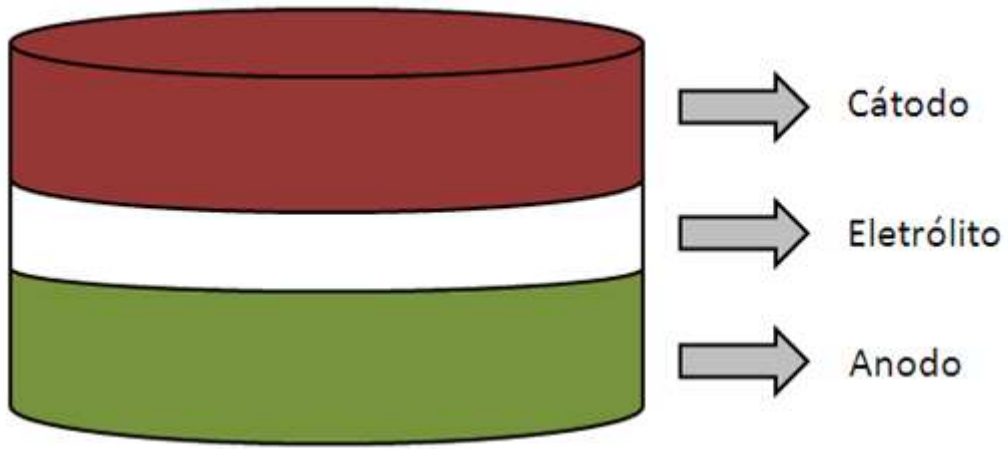


Figura 6

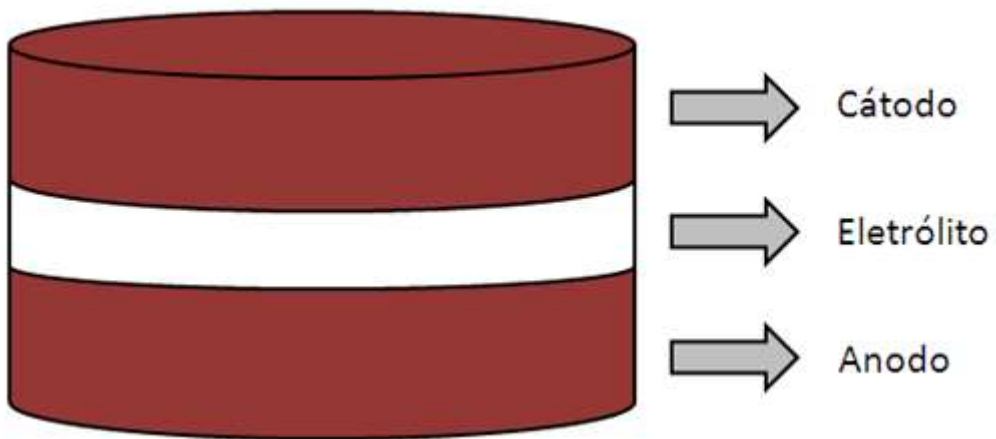


Figura 7

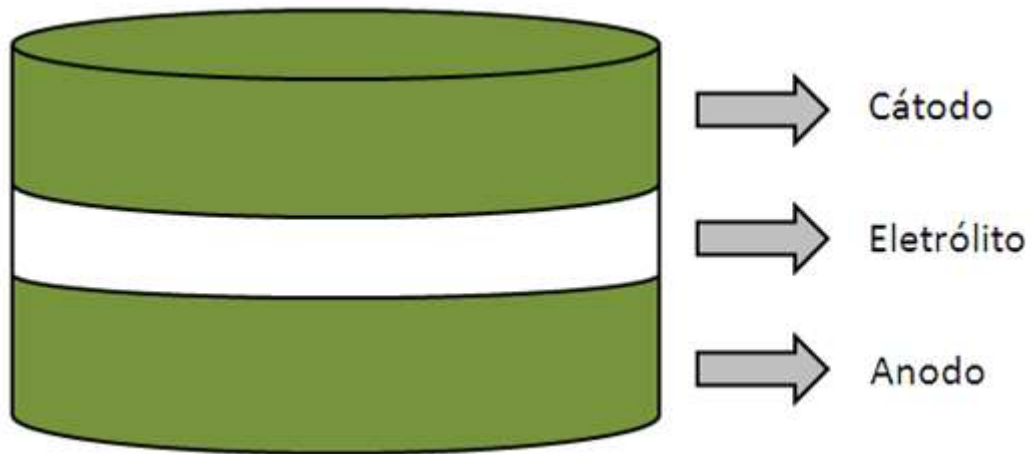


Figura 8

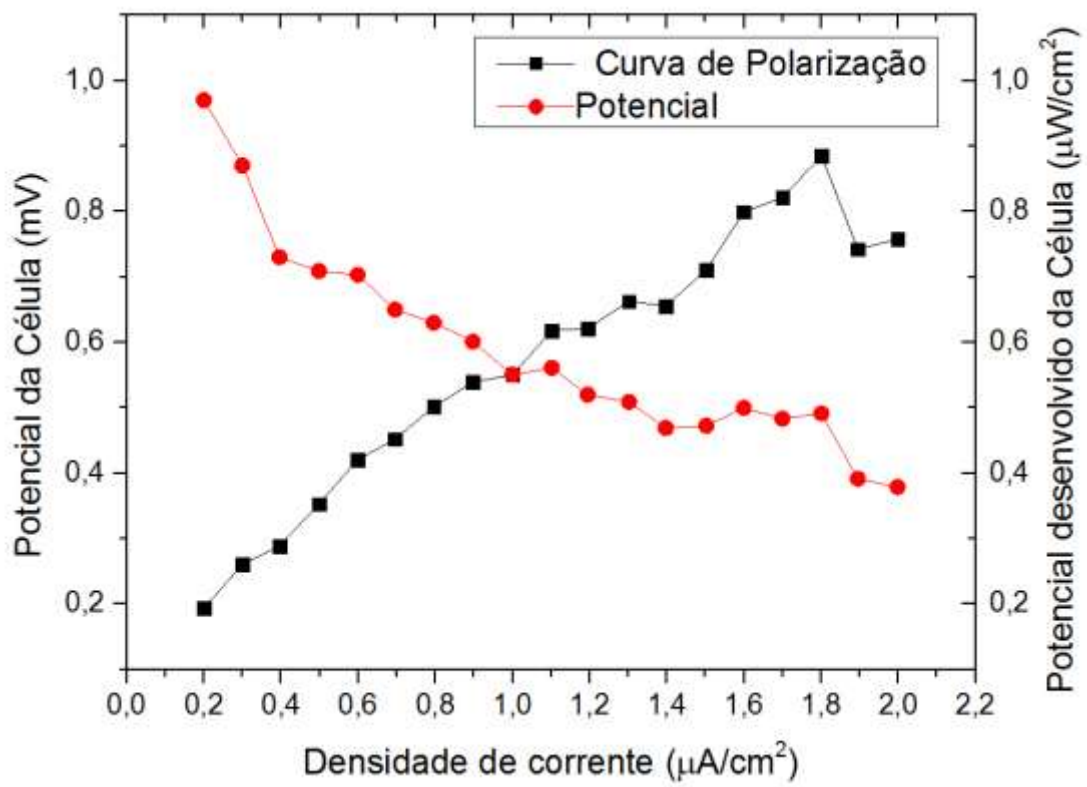


Figura 9

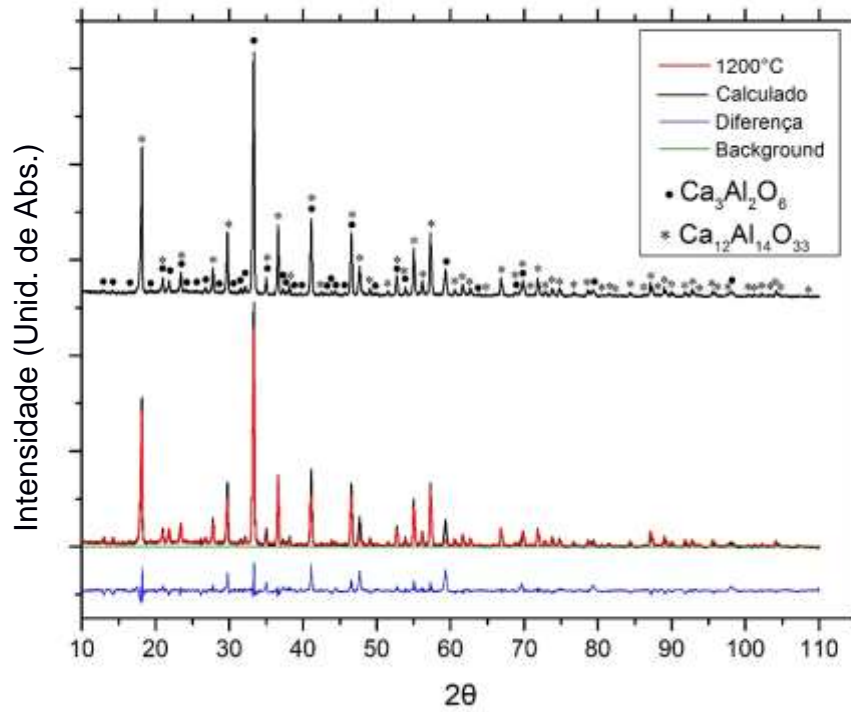


Figura 10

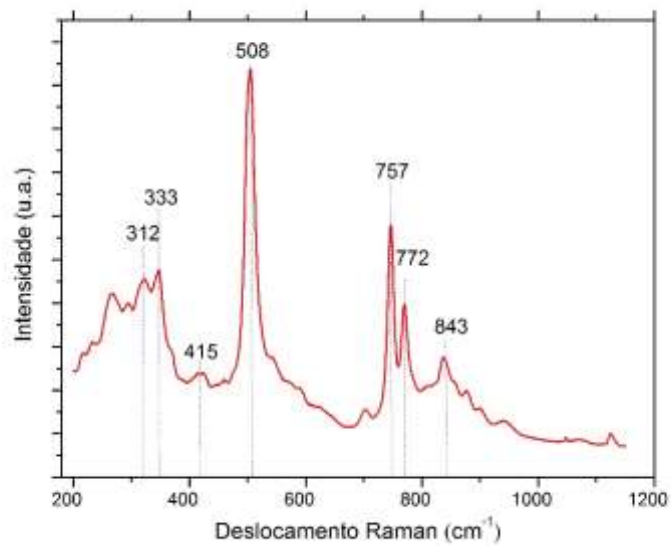


Figura 11

**Resumo****ELETRODO, ELETRÓLITO, CÉLULA A COMBUSTÍVEL ÓXIDO SÓLIDO E  
PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA**

A presente invenção descreve componentes eletroquímicos, mais especificamente eletrodos (cátodo, anodo etc.) e um eletrólito compreendendo majoritariamente aluminato de cálcio em sua composição, uma célula a combustível óxido sólido compreendendo pelo menos um desses componentes eletroquímicos, e um processo de produção de energia compreendendo tal célula a combustível óxido sólido. A presente invenção se situa nos campos da Engenharia dos Materiais e Química.