

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

(21) **PI1000580-3 A2**



\* B R P I 1 0 0 5 8 0 A 2 \*

(22) Data de Depósito: 23/02/2010  
(43) Data da Publicação: 18/10/2011  
(RPI 2128)

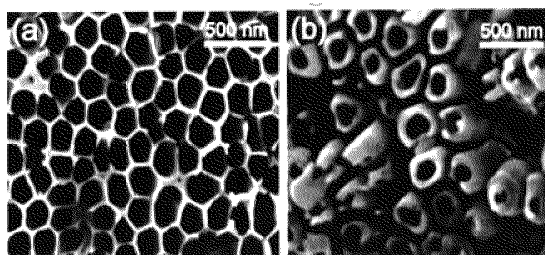
(51) *Int.Cl.:*  
C25D 11/04  
B82B 3/00  
B82B 1/00

(54) **Título:** PROCESSO DE PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURAS DE ALUMINA E PRODUTO OBTIDO PELO MESMO

(57) **Resumo:** PROCESSO DE PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURAS DE ALUMINA E PRODUTO OBTIDO PELO MESMO. A presente invenção descreve um processo de produção de nanoestruturas de alumina compreendendo método de controlar a formação de alumina nanoporosa e o produto obtido pelo mesmo.

(73) **Titular(es):** Universidade Federal do Rio Grande do Sul

(72) **Inventor(es):** Adriano Friedrich Feil, Lívio Amaral, Marlla Vallerius da Costa, Pedro Migowski da Silva, Sérgio Ribeiro Teixeira



**PI1000580-3****Relatório Descritivo de Patente de Invenção****PROCESSO DE PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURAS DE ALUMINA E PRODUTO  
OBTIDO PELO MESMO****5 Campo da Invenção**

A presente invenção descreve um processo de produção de nanoestruturas de alumina compreendendo método de controlar a formação de alumina nanoporosa e o produto obtido pelo mesmo. A presente invenção se situa nos campos da engenharia e química.

10

**Antecedentes da Invenção**

A tecnologia atual de formação de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) porosa consiste em formar nanoporos a partir do Alumínio (Al) metálico (geralmente de alta pureza - 99.999% ou 99.99%) pelo processo de anodização.

15

O controle das dimensões dos nanoporos como diâmetro do poro ( $D_p$ ) e distância entre os poros adjacentes ( $D_{int}$ ) é realizado através do controle de alguns dos parâmetros usados durante o processo de anodização como, tensão aplicada, composição e temperatura do eletrólito (Li, A. P.; Müller, F.; Birner, A.; Nielsch, K.; Gösele, U. Journal of Applied Physics, 1998, 84, 6023–

20

6026). Os parâmetros de anodização já são pré-estabelecidos na literatura técnica para a formação de nanoporos de alumina onde, por exemplo, quando o eletrólito de anodização é composto por ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) com tensão aplicada variando de 5 a 25 volts (V) e temperatura do eletrólito de  $0^\circ\text{C}$  a  $25^\circ\text{C}$  são formados nanoporos com diâmetro variando de 5 a 35 nm (Masuda, H.; Fukuda, K. Science, 1995, 268, 1466-1468). Quando é usado um eletrólito composto por ácido oxálico ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ), com tensão aplicada de 30 a 60 V e temperatura do eletrólito de  $0^\circ\text{C}$  a  $25^\circ\text{C}$ , são formados nanoporos com diâmetro variando de 20 a 80 nm (Li, F.; Zhang, L.; Metzger, R. M., Chemistry of Materials, 1998, 10, 2470–2480). Também podem ser formados nanoporos

25

30

de alumina em um eletrólito de ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) com tensão aplicada de

130 a 190 V e temperatura do eletrólito de 0°C a 25°C com diâmetro variando de 120 a 180 nm (Li, A. P.; Müller, F.; Birner, A.; Nielsch, K.; Gösele, U. *Journal of Applied Physics*, 1998, 84, 6023–602).

Independente das condições usadas durante a anodização, sempre  
5 depois de encerrado o processo é realizado um processo de "etching" químico com uma solução de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) a uma temperatura entre 30°C a 60°C com o objetivo de remover a alumina remanescente no interior dos nanoporos e alargar o  $D_p$ .

O processo de anodização do alumínio metálico para a formação de  
10 nanoporos de alumina apresenta grandes vantagens em relação a outras técnicas de formação de nanoestruturas por se tratar de um processo com baixo custo relativo. Entretanto, apresenta uma limitação que o torna, a princípio, inviável para aplicações industriais devido a pequena taxa de formação da camada porosa, conhecida como taxa de anodização da ordem de  
15 2-6 micrometros  $h^{-1}$ . Assim, neste processo conhecido tecnicamente como Mild Anodization (MA), a formação de estruturas espessas robustas requer dias de processo, dificultando sua aplicação industrial. Outro fator que dificulta a aplicação industrial da alumina porosa é a necessidade de utilização de alumínio com alta pureza (99.99 ou 99.999%) para formação de nanoestruturas  
20 de alumina altamente periódicas.

O método Hard Anodization (HA) consiste no aumento da tensão aplicada para valores da ordem de 120 a 150 V (3 a 4 vezes maiores que nos processos de Mild Anodization), fazendo com que a taxa de anodização aumente para 50-100 micrometros. $h^{-1}$  usando uma solução de  $H_2C_2O_4$ . Este  
25 processo apresenta viabilidade industrial.

O processo de Hard Anodization também possibilitou a formação de uma nova estrutura a partir do processo de anodização do alumínio de alta pureza - os nanotubos de alumina (Chu, S. Z.; Wada, K.; Inoue, S.; Isogai, M.; Yasumori, A., *Advanced Materials*, 2005, 17, 2115–2119). Neste caso o  
30 alumínio foi anodizado em uma solução de ácido sulfúrico com tensões variando de 20 a 70 V. A formação dos nanotubos ocorreu em tensões maiores

que 50 V seguido de "etching" químico em uma solução de  $H_3PO_4$  a 45°C. O efeito de formação de nanotubos de alumina é semelhante ao efeito observado no processo de Hard Anodization.

5 A literatura técnica descreve processo de formação e controle de nanoestruturas de alumina em que a estrutura formada através do processo de anodização do alumínio metálico invariavelmente é de nanoporos de alumina ( $Al_2O_3$ ).

10 Para a formação de nanotubos de alumina, as soluções à base de ácido sulfúrico apresentam tensões superiores às tensões aplicadas para o caso de formação de nanoporos de alumina.

No entanto, é desejável uma alternativa viável e de simples operação para controlar a nanoestrutura de alumina de nanoporos a nanotubos sem que seja preciso utilizar alumínio metálico de alta pureza e tensões muito elevadas, de forma a tornar o processo de anodização para formação de nanoestruturas  
15 viável em escala industrial.

Dessa forma, uma alternativa ao processo de *Hard Anodization* é prover a mudança da cinética de formação da alumina nanoporosa alterando a geometria do sistema de anodização (relação entre as áreas do cátodo e do ânodo), com uma etapa posterior de "etching" à baixa temperatura que dissolve  
20 a alumina das regiões defeituosas finalizando o processo de formação das nanoestruturas.

A busca na literatura patentária apontou alguns documentos relevantes que serão descritos a seguir.

25 O documento WO 2008/014977 revela um processo de produção de nanoestruturas de alumina por anodização a partir do alumínio de alta pureza. A presente invenção difere deste documento por compreender um processo de produção de nanoestruturas de alumina que inclui um método para controlar a formação de alumina nanoporosa, método este não citado no referido documento.

30 O documento US 6,399,528 revela um processo de produção de nanoestruturas porosas por dopagem compreendendo óxido de alumínio e

zircônio. A presente invenção difere deste documento pelo fato de não compreender um processo de dopagem e nem compreender zircônio, mas, sim um processo de produção de nanoestruturas de alumina por anodização que inclui um método de controlar a formação de alumina nanoporosa.

5 O documento US 2005/0255315 revela um processo de produção de nanoestruturas de alumina compreendendo complexização com íon fluoreto. A presente invenção difere deste documento pelo fato de não compreender uma etapa de complexização com íon fluoreto, mas, sim um processo de produção de nanoestruturas de alumina por anodização que inclui um método de  
10 controlar a formação de alumina nanoporosa.

O documento US 2006/0127602 revela um processo de produção de nanoestrutura compreendendo uma matriz de silício, germânio ou silício-germânio e porções de alumínio. A presente invenção difere deste documento pelo fato de não compreender uma matriz de silício, germânio ou silício-germânio, mas, sim um processo de produção de nanoestruturas de alumina por anodização que inclui um método de controle de formação de alumina  
15 nanoporosa.

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

### **Sumário da Invenção**

Em um aspecto, a presente invenção proporciona um processo de  
25 produção de nanoestruturas de alumina compreendendo um método de controlar a formação de alumina nanoporosa e o produto obtido pelo processo de produção.

É, um objeto da presente invenção, um processo de produção de nanoestruturas de alumina compreendendo as etapas de:

- 30
- a) selecionar e/ou preparar material base;
  - b) anodizar;

c) controlar a formação de alumina nanoporosa através do método de controle compreendendo as etapas de:

i) controlar a geometria do sistema de anodização; e

ii) controlar os parâmetros de anodização.

5 d) "etching" químico.

Em adicional, a presente invenção descreve nanoestruturas de alumina obtidas pelo referido processo de produção.

É, portanto, um objeto adicional da presente invenção, As nanoestruturas de alumina da presente invenção compreendem de 0 a 100,0%  
10 de nanoporos e/ou nanotubos de alumina, preferencialmente obtidas pelo processo previamente descrito.

Em uma realização preferencial o aumento de diferença entre as porcentagens de nanoporos e nanotubos é diretamente relacionado. Ao aumentar a relação entre as áreas dos eletrodos, é alterada a porcentagem de  
15 nanoporos e nanotubos, estabelecendo uma relação complementar, onde: % nanoporos = 100 - % nanotubos.

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.

20

### **Breve Descrição das Figuras**

A figura 1 mostra a representação esquemática da geometria de anodização horizontal, onde (A) é célula de teflon, (B) é eletrólito, (C) é motor, (D) e (E) são isolamento térmico, (F) é Al, (G) é Pt e (H) é sistema de  
25 refrigeração.

A figura 2 mostra a representação esquemática da geometria de anodização vertical, onde (I) é motor, (J) é célula de teflon, (K) é eletrólito, (L) é Al, (M) é Pt, (N) é cobre e (O) é peltier.

A figura 3 mostra imagens de microscopia eletrônica de varredura das  
30 diferentes nanoestruturas que podem ser formadas a partir do processo da presente invenção, onde (a) é a microscopia da superfície de nanoporos de

alumina e (b) é a microscopia de nanotubos de alumina.

A figura 4 mostra um gráfico do efeito do tempo de "etching" em relação à nanoestrutura que está sendo formada, onde (A) é tempo "etching", (B) é nanoestrutura, (C) é nanoporos e (D) é nanotubos.

5 A figura 5 mostra imagens que evidenciam as regiões onde ocorrem os ataques químicos e a dissolução da alumina.

A figura 6 mostra um gráfico do efeito do controle da geometria do sistema de anodização através da razão das áreas do cátodo e do ânodo com uma distância fixa entre os eletrodos.

10 A figura 7 mostra as etapas seqüenciais do processo de produção, onde (A) é início, (B) é processo de anodização, (C) é controle da razão entre as áreas dos eletrodos, (D) é escolha dos parâmetros de anodização e (E) é processo de "etching" químico.

15 A figura 8 mostra as etapas seqüenciais do processo de produção, incluindo uma etapa opcional de preparação do material-base, onde (A) é início, (B) é preparação do material base, (C) é tratamento térmico, (D) é polimento mecânico, (E) é eletroquímico, (F) é processo de anodização, (G) é controle da razão entre as áreas dos eletrodos, (H) é escolha dos parâmetros de anodização e (I) é Processo de "etching" químico.

20 A figura 9 mostra um esquema detalhado da etapa de remoção do alumínio, onde em (A) é alumina, (B) é alumino, (C) é a etapa de remoção do alumínio da base e (D) é a alumina nanoestruturada suspensa após a remoção da base metálica.

## 25 **Descrição Detalhada da Invenção**

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.

### **Processo de produção de nanoestruturas de alumina**

30 O processo de produção de nanoestruturas de alumina da presente invenção compreende as etapas de:

- a) selecionar e/ou preparar material base;
- b) anodizar;
- c) controlar a formação de alumina nanoporosa através do método de controle compreendendo as etapas de:
  - 5 i) controlar a geometria do sistema de anodização; e
  - ii) controlar os parâmetros de anodização.
- d) "etching" químico.

#### Selecionar e/ou Preparar Material Base

A seleção e/ou preparação do material base da presente invenção  
10 compreende selecionar o material usado como ponto de partida do processo de anodização e uma série de etapas que preparam o material para sofrer a anodização. Em uma realização preferencial, a presente invenção compreende como material-base chapas de alumínio (Al) comercial com pureza variando de 97,5% a 99.9999% e com espessura variando de 0,05 a 10 mm, ou filmes finos  
15 de alumínio com espessura variando de 0,001 a 1000 micrômetros depositados e/ou crescidos sobre uma base metálica, semicondutora ou isolante. Em uma realização preferencial, a preparação do material base da presente invenção é opcional e compreende tratamento térmico do material-base a uma temperatura variando de 200 a 660°C, realizado em atmosfera ambiente, ou  
20 sob vácuo de  $10^{-8}$  a  $10^5$  Pa, ou utilizando os gases selecionados dentre Argônio (Ar), Nitrogênio ( $N_2$ ), ou em pressão atmosférica; polimento mecânico e polimento eletroquímico.

#### Anodizar

A anodização da presente invenção compreende a etapa de anodização  
25 do material base. Em uma realização preferencial, a anodização do material-base compreende um eletrólito aquoso que inclui ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) ou ácido oxálico ( $H_2C_2O_4$ ) ou ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) ou ácido crômico ( $H_2CrO_4$ ), isoladamente ou em associação, com concentrações entre  $10^{-10}$  a 10 M, temperatura variando de -20°C a 80°C e aplicação da diferença de potencial  
30 variando entre 5 a 300V.

#### Controle da geometria do sistema de anodização



O controle da geometria do sistema de anodização da presente invenção compreende controlar a razão entre as áreas dos eletrodos (razão entre as áreas do cátodo e do ânodo). Em uma realização preferencial, a razão varia de 0,001 até 300. Em razões próximas a 1, são formados somente nanoporos de alumina na superfície do alumínio. Com razões variando entre 1 e 40, é obtida uma nanoestrutura composta por nanoporos e por nanotubos, e razões acima de 40 formam uma nanoestrutura composta de nanotubos em toda a superfície.

#### Controle dos parâmetros de anodização

O controle dos parâmetros de anodização da presente invenção compreende controlar os parâmetros usados durante o processo de anodização. Em uma realização preferencial, os parâmetros de anodização compreendem tensão aplicada, composição e temperatura do eletrólito. O controle das dimensões dos nanoporos como diâmetro do poro ( $D_p$ ) e distância entre os poros adjacentes ( $D_{int}$ ) é realizado através do controle destes parâmetros.

#### “Etching” Químico

O “etching” químico da presente invenção compreende um processo de remoção seletiva da alumina remanescente no interior dos nanoporos. Em uma realização preferencial, o “etching” químico compreende uma solução aquosa composta com os ácidos selecionados dentre ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), ácido oxálico ( $H_2C_2O_4$ ), ácido crômico ( $H_2CrO_4$ ) ou ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), isoladamente ou em associação, com concentração da solução entre  $10^{-10}$  a 10 M e temperatura variando entre  $-20^\circ C$  a  $80^\circ C$ .

Em uma realização preferencial, após a etapa de “etching” químico ocorre a remoção do alumínio metálico da base da nanoestrutura através de uma solução de cloreto de mercúrio ( $HgCl_2$ ) ou cloreto de cobre ( $CuCl_2$ ) ou desgaste do alumínio metálico com íons de Argônio (Ar) ou Nitrogênio ( $N_2$ ).

#### Nanoestruturas de Alumina

As nanoestruturas de alumina da presente invenção compreendem de 0 a 100,0% de nanoporos e/ou nanotubos de alumina.

Em uma realização preferencial o aumento de diferença entre as

porcentagens de nanoporos e nanotubos é diretamente relacionado. Ao aumentar a relação entre as áreas dos eletrodos, é alterada a porcentagem de nanoporos e nanotubos, estabelecendo uma relação complementar, onde: % nanoporos = 100 - % nanotubos.

5

### **Exemplo 1. Realização Preferencial**

O processo de formação e controle de nanoestruturas de alumina consiste em controlar a estrutura da alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) de 0 a 100% de nanoporos a 0 a 100% de nanotubos formados na superfície do alumínio (Al), através da anodização de um material-base selecionado dentre chapas de alumínio (Al) comercial com pureza variando de 97,5% a 99.9999% ou filmes de alumínio finos, conforme apresentado na figura 5, sendo o controle da razão das áreas dos eletrodos e o "etching" à baixa temperatura fundamentais para a escolha da nanoestrutura desejável formar.

15 O aumento de diferença entre as porcentagens de nanoporos e nanotubos é diretamente relacionado. Ao aumentar a relação entre as áreas dos eletrodos, é alterada a porcentagem de nanoporos e nanotubos, estabelecendo uma relação complementar, onde:

#### **Equação 1:**

20 Relação entre a porcentagem de nanoporos e de nanotubos:

$$\% \text{ nanoporos} = 100 - \% \text{ nanotubos.}$$

Conforme apresentado na da figura 7, o processo de formação e controle de nanoestruturas de alumina compreende as etapas de anodização do material-base em um eletrólito aquoso que inclui ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ou ácido oxálico ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) ou ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) ou ácido crômico ( $\text{H}_2\text{CrO}_4$ ), isoladamente ou em associação, com concentrações entre  $10^{-10}$  a 10 M, temperatura variando de  $-20^\circ\text{C}$  a  $80^\circ\text{C}$  e aplicação da diferença de potencial variando entre 5 a 300V; e "etching" químico em uma solução aquosa composta com os ácidos selecionados dentre ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), ácido oxálico ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ), ácido crômico ( $\text{H}_2\text{CrO}_4$ ) ou ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), isoladamente ou em associação, com concentração da solução entre  $10^{-10}$  a 10

30

M e temperatura variando entre -20°C a 80°C.

Dependendo das condições iniciais, o material-base passa por uma etapa inicial de preparação, conforme apresentado na figura 8, compreendendo uma ou mais das etapas:

- 5 a) tratamento térmico do material-base a uma temperatura variando de 200 a 660°C, a fim de diminuir o número de defeitos estruturais do material-base;
- b) polimento mecânico;
- c) polimento eletroquímico; e
- 10 d) combinações dos itens acima.

O tratamento térmico pode ser realizado em atmosfera ambiente, ou sob vácuo de  $10^{-8}$  a  $10^5$  Pa, ou utilizando os gases selecionados dentre Argônio (Ar), Nitrogênio ( $N_2$ ), ou em pressão atmosférica.

A geometria do sistema de anodização (razão entre as áreas do cátodo e do ânodo) varia de 0,001 até 300. Em razões próximas a 1, são formados somente nanoporos de alumina na superfície do alumínio. Com razões variando entre 1 e 40, é obtida uma nanoestrutura composta por nanoporos e por nanotubos, e razões acima de 40 formam uma nanoestrutura composta de nanotubos em toda a superfície, conforme apresentado na figura 6. Na figura 6,  
15 o gráfico evidencia que em razões próximas a 1, a nanoestrutura formada após a anodização e o "etching" é composta por 100,0% de nanoporos. Com o aumento da razão das áreas do cátodo e do ânodo, por exemplo, a nanoestrutura formada tende a ser preferencialmente de nanotubos de alumina, culminando com 100% de nanotubos de alumina quando a razão  
20 entre as áreas dos eletrodos é maior que 45, conforme apresentado na figura 6.

Conforme apresentado nas figuras 1 e 2, o cátodo é posicionado em frente ao ânodo (no caso o material-base) com um contato elétrico em cada eletrodo para aplicação da diferença de potencial, que pode variar de 5 a 300V  
30 dependendo das dimensões das nanoestruturas que se deseja obter.

De forma opcional, após a etapa de "etching" químico, o alumínio

metálico pode ser removido da base da nanoestrutura, de modo que a nanoestrutura de alumina fique suspensa como mostra a figura 9, podendo a remoção do alumínio ser realizada quimicamente com uma solução de cloreto de mercúrio ( $\text{HgCl}_2$ ) ou cloreto de cobre ( $\text{CuCl}_2$ ) ou mediante desbaste do alumínio metálico com íons de Argônio (Ar) ou Nitrogênio ( $\text{N}_2$ ).

O produto obtido através do presente processo compreende uma nanoestrutura com dimensões nanométricas que inclui de 0 a 100,0% de nanoporos de alumina, ou uma nanoestrutura composta de 0 a 100,0% de nanotubos de alumina.

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

**Reivindicações****PROCESSO DE PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURAS DE ALUMINA E PRODUTO  
OBTIDO PELO MESMO**

- 5 1. Processo de produção de nanoestruturas de alumina caracterizado por compreender as etapas de:
- a) selecionar e/ou preparar material base;
  - b) anodizar;
  - c) controlar a formação de alumina nanoporosa através do método
  - 10 de controle compreendendo as etapas de:
    - i) controlar a geometria do sistema de anodização; e
    - ii) controlar os parâmetros de anodização.
  - d) "etching" químico.
- 15 2. Processo de produção de nanoestruturas, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do material-base compreender chapas de alumínio (Al) comercial com pureza variando de 97,5% a 99.9999% ou filmes finos de alumínio.
- 20 3. Processo de produção de nanoestruturas, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do eletrólito aquoso utilizado na etapa b) e/ou d) ser selecionado dentre ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), ácido oxálico ( $H_2C_2O_4$ ), ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) ou ácido crômico ( $H_2CrO_4$ ), isoladamente ou em associação.
- 25 4. Processo de produção de nanoestruturas, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo eletrólito aquoso possuir concentrações dentre  $10^{-10}$  a 10 M.
5. Processo de produção de nanoestruturas, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo eletrólito aquoso possuir temperatura variando de  $-20^{\circ}C$  a  $80^{\circ}C$
- 30 6. Processo de produção de nanoestruturas, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela aplicação da diferença de potencial variar de 5 a 300v.
7. Processo de produção de nanoestruturas, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por opcionalmente apresentar uma etapa de preparação do

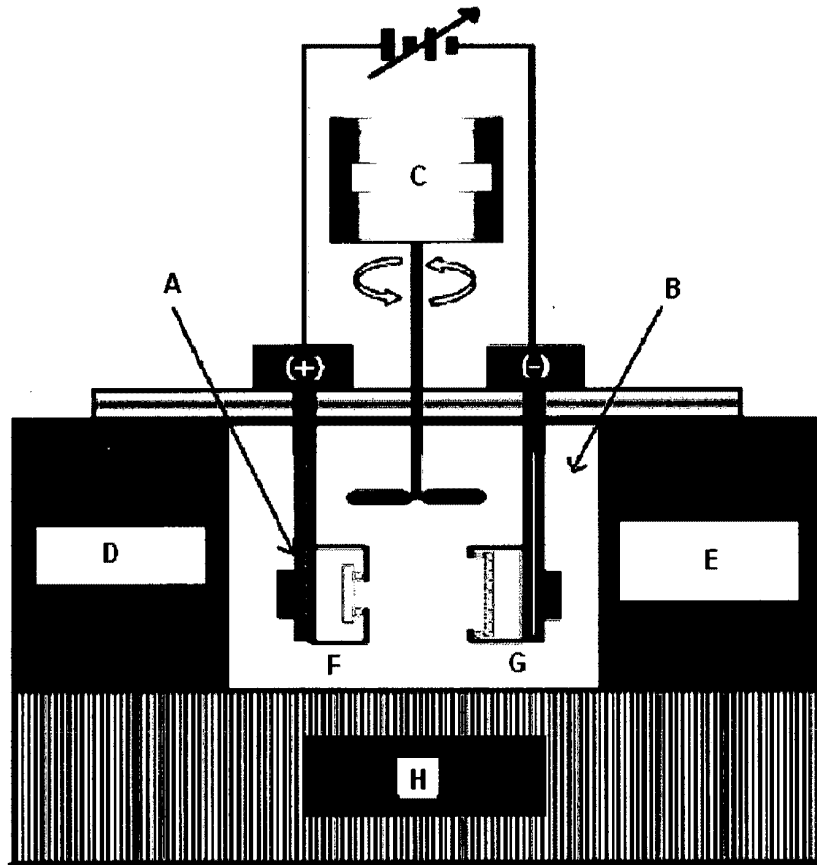
material-base que compreende uma ou mais das etapas:

- a) tratamento térmico do material-base a uma temperatura variando de 200 a 660°C;
- b) polimento mecânico;
- 5 c) polimento eletroquímico; e
- d) combinações das etapas acima.

- 8. Processo de produção de nanoestruturas, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato do tratamento térmico ser realizado em atmosfera ambiente, ou sob vácuo de  $10^{-8}$  a  $10^5$  Pa, ou utilizando os gases selecionados dentre Argônio (Ar), Nitrogênio ( $N_2$ ), ou em pressão atmosférica.
- 10 9. Processo de produção de nanoestruturas, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por opcionalmente compreender uma etapa de remoção do alumínio metálico da base da nanoestrutura após o *etching* químico, mediante remoção química com uma solução de cloreto de mercúrio ( $HgCl_2$ ) ou cloreto de cobre ( $CuCl_2$ ) ou desbaste do alumínio metálico com íons de Argônio (Ar) ou Nitrogênio ( $N_2$ ).
- 15 10. Nanoestrutura de alumina caracterizada pelo fato de compreender uma nanoestrutura que inclui uma relação de % nanoporos de alumina =  $100 - \%$  nanotubos de alumina
- 20 11. Nanoestrutura de alumina caracterizada pelo fato de ser obtida conforme um processo conforme descrito nas reivindicações 1 a 9.

FIGURAS

Figura 1



✓

Figura 2

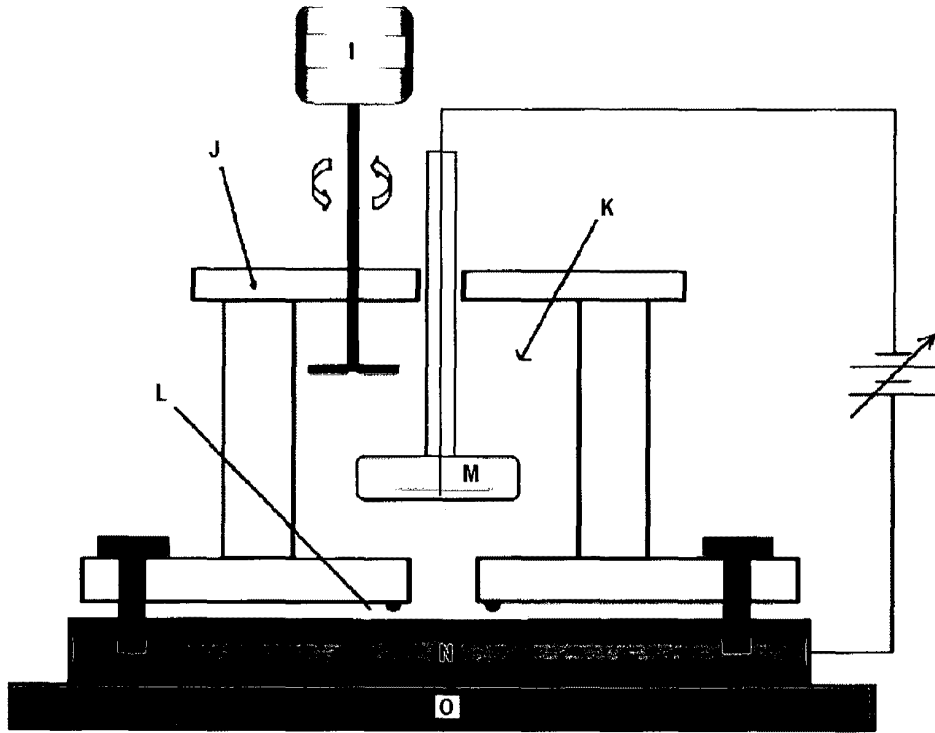


Figura 3

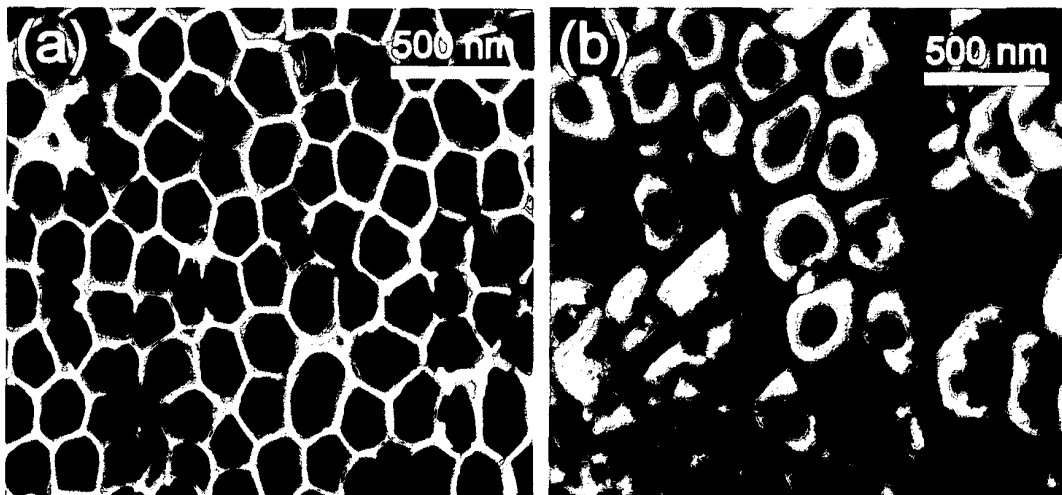




Figura 4

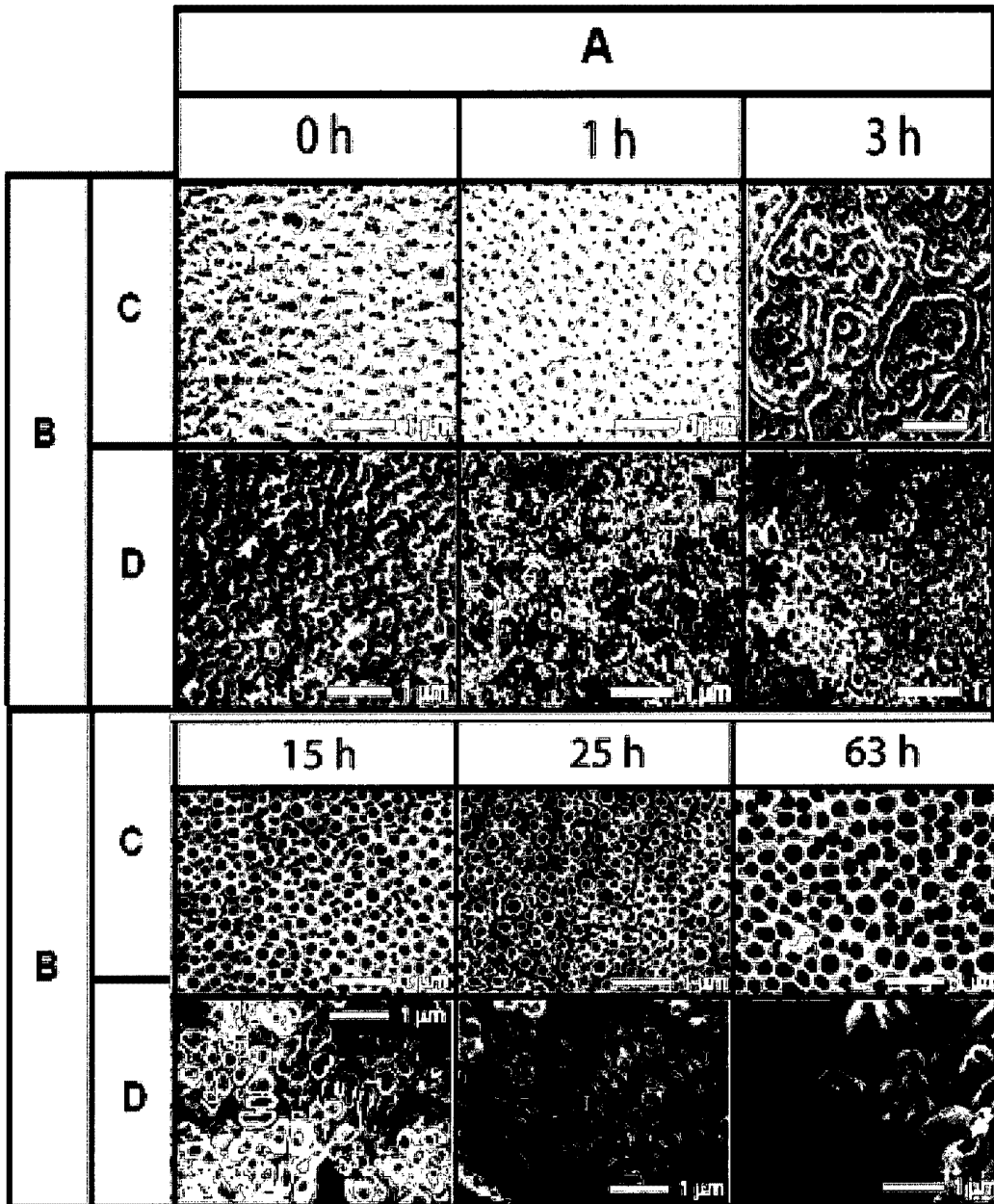


Figura 5

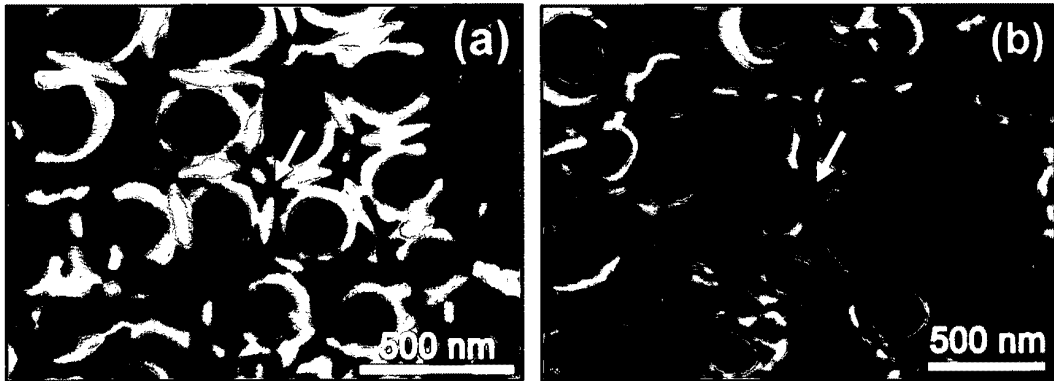


Figura 6

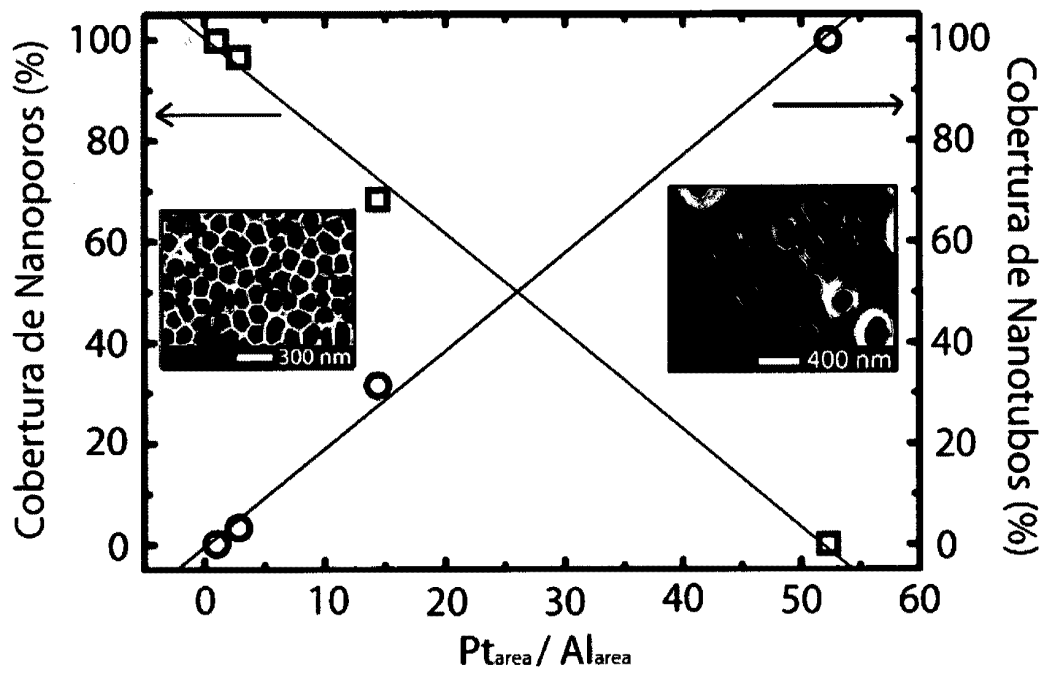


Figura 7

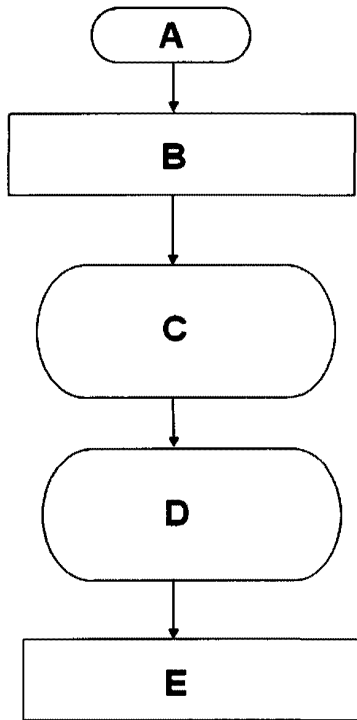


Figura 8

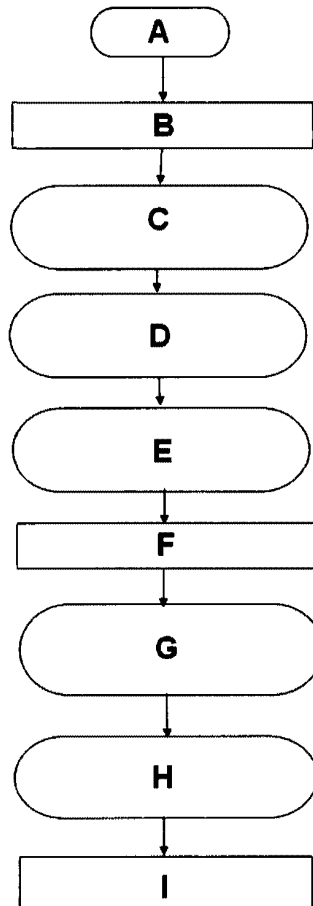
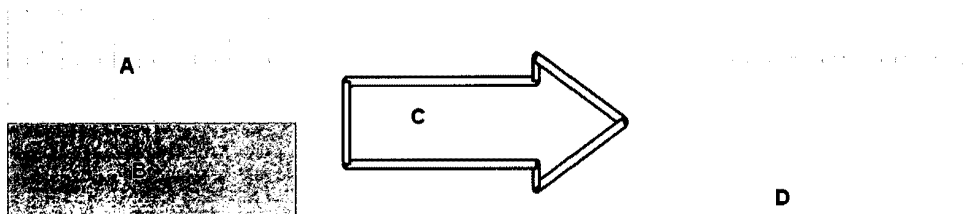


Figura 9



**Resumo****PROCESSO DE PRODUÇÃO DE NANOESTRUTURAS DE ALUMINA E PRODUTO  
OBTIDO PELO MESMO**

5 A presente invenção descreve um processo de produção de nanoestruturas de alumina compreendendo método de controlar a formação de alumina nanoporosa e o produto obtido pelo mesmo.