



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

(21) **PI0806065-7 A2**

(22) Data de Depósito: 16/10/2008
(43) Data da Publicação: 21/09/2010
(RPI 2072)



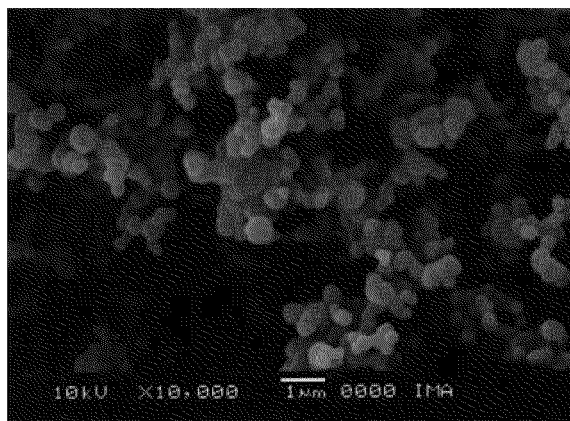
(51) *Int.Cl.:*
C01B 31/02
B82B 3/00

(54) Título: **NANOMATERIAIS DE CARBONO
OBTIDOS A PARTIR DE FRAÇÕES PESADAS DE
PETRÓLEO E PROCESSO DE OBTENÇÃO DOS
MESMOS**

(73) Titular(es): Petroleo Brasileiro S. A. - Petrobras

(72) Inventor(es): Adelci Menezes de Oliveira, Alexandre
Taschetto de Castro, Luiz Depine de Castro

(57) Resumo: NANOMATERIAIS DE CARBONO OBTIDOS A PARTIR DE FRAÇÕES PESADAS DE PETRÓLEO E PROCESSO DE OBTENÇÃO DOS MESMOS. A presente invenção trata de um processo de obtenção de nanopartículas de carbono, obtidas a partir de frações pesadas de petróleo como fonte de carbono (precursor), particularmente resíduos aromáticos de petróleo (RARO), utilizando a técnica de deposição química de vapor (CVD - Chemical Vapor Deposition), podendo ainda utilizar um catalisador organometálico solúvel no precursor. A principal característica do processo da invenção reside no fato de o precursor ser vaporizado de forma controlada, de modo a prover uma alimentação em pulsos de composição constante para o interior de um forno tubular, o qual pode ser arranjado em forma vertical, permitindo a produção contínua dos nanomateriais, ou arranjado horizontalmente, para a produção em batelada.





NANOMATERIAIS DE CARBONO OBTIDOS A PARTIR DE FRAÇÕES PESADAS DE PETRÓLEO E PROCESSO DE OBTENÇÃO DOS MESMOS

CAMPO DA INVENÇÃO

5 A presente invenção trata de um processo de obtenção de nanopartículas de carbono, obtidas a partir de frações pesadas de petróleo como fonte de carbono (precursor), particularmente resíduos aromáticos de petróleo (RARO), utilizando a técnica de deposição química de vapor (CVD – *Chemical Vapor Deposition*) em presença de um catalisador organometálico solúvel no precursor.

TÉCNICA RELACIONADA

15 Nanotubos de carbono (CNT) são uma nova classe de materiais descobertos em 1991 por Sumio Iijima e apresentam extraordinárias propriedades mecânicas, elétricas e térmicas. Possuem a maior resistência à ruptura sob tração conhecida, na ordem de 200 GPa, 100 vezes superior ao mais resistente aço com apenas 1/6 de sua densidade.

Já foram desenvolvidos diversos processos para a síntese desses materiais, sendo os principais a descarga entre eletrodos de grafite e por Deposição Química de Vapor em presença de catalisador. Esta última
20 apresenta o maior potencial para produção em massa de nanotubos. Como catalisadores são usados os metais de transição como Fe, Ni e Co ou seus óxidos. Um exemplo desse processo encontra-se descrito na patente norte-americana **US 7.338.648** de 04/03/2008, segundo o qual são
25 obtidos nanotubos de carbono pela passagem de gás metano sobre um catalisador de Fe/Mo suportado em alumina, em atmosfera de um gás inerte.

Nanoesferas de carbono também já foram obtidas a partir de uma variedade de hidrocarbonetos puros (sólidos, líquidos ou gasosos), por meio dessa técnica, com e sem catalisador, conforme mostrado em Miao, J. et al. *Carbon*, 2004, 42, 813-822; Serp, R. K. P. et al. *Carbon*, 2001, 39,
30

615-628; Sharon, M. et al. *Carbon*, 1998, 36, 507-511; Jin, Y. et al. *Carbon*, 2005, 43, 1944-1953; Qian, H. et al. *Carbon*, 2004, 42, 761-766; citados aqui como referência. O hidrocarboneto precursor é tipicamente alimentado em fase gasosa para um forno tubular sob atmosfera inerte, ocorrendo à nucleação e formação das nanoesferas em determinadas condições adequadas.

A produção de nanomateriais de carbono (nanoesferas e nanofilamentos) pelo processo de deposição química de vapor é largamente estabelecida na literatura, a partir de diferentes hidrocarbonetos gasosos (como o metano e o acetileno) [Baker, R.T.K. - Catalytic growth of carbon filaments - *Carbon* 27, 315-323, 1989; Levesque, A. et al. Monodisperse - Carbon nanopearls in a foam-like arrangement: a new carbon nano-compound for cold cathodes - *Thin Solid Films* 464-465, 308-314, 2004]; líquidos (como o benzeno, tolueno e xileno) [Endo, M. - Grow carbon in the vapor phase - *Chemtech* 18, 568-576, 1988; Jin, Y.Z. et al. - Large-scale synthesis and characterization of carbon spheres prepared by direct pyrolysis of hydrocarbons - *Carbon* 43, 1944-1953, 2005]; e sólidos (como a cânfora) [Sharon, M. et al. - Spongy carbon nanobeads: a new material - *Carbon* 36, 507-511, 1998 ; Musso, S. et al. - Macroscopic growth of carbon nanotube mats and their mechanical properties - *Carbon* 45, 1133-1136, 2007].

Asfalto já foi empregado na produção de nanoesferas sem catalisadores [Liu, X. et al. - *Fuel Processing Technology* 87 (2006) 919 – 925] mas por se tratar de um material sólido envolve dificuldades práticas na alimentação contínua e controlada do processo.

A utilização de misturas de hidrocarbonetos na produção de nanoesferas é potencialmente vantajosa por permitir o uso de matérias-primas mais baratas e de menor valor agregado, porém muito poucas têm obtido sucesso.

A utilização de misturas de hidrocarbonetos como precursores,

especialmente as derivadas de petróleo, só foi realizada com sucesso a partir de frações leves e de fácil vaporização, como o querosene [Kumar, M. et al. - Synthesis of conducting fibers, nanotubes and thin films of carbon from commercial kerosene - *Materials Research Bulletin* 34, 791-801, 1999] e produtos sólidos, como o asfalto [Liu, X. et al. - Deoiled asphalt as carbon source for preparation of various carbon materials by chemical vapor deposition - *Fuel Processing Technology* 87, 919-925, 2006; Yang, Y. et al. - Preparation of vapor-grown carbon fibers from deoiled asphalt - *Carbon* 44, 1661-1664, 2006].

Entretanto, algumas desvantagens podem ser observadas de imediato. As frações leves de petróleo possuem larga aplicação comercial, portanto seu uso traria uma agregação de valor no processo muito reduzida. Por outro lado, a utilização de um precursor sólido apresenta uma série de dificuldades práticas, tanto para se manter uma alimentação contínua quanto para controlar a composição alimentada ao processo.

O objetivo da presente invenção é a utilização de frações pesadas de petróleo como matéria-prima para a produção de nanomateriais de carbono (nanoesferas e nanofilamentos), de forma a permitir simultaneamente a redução do custo desses materiais e a agregação de valor às frações de petróleo de baixo valor comercial. Contudo, por se tratarem de líquidos com alta viscosidade e baixa volatilidade, essas frações não podem ser alimentadas ao processo pelos métodos comumente empregados na técnica: vaporização simples ou formação de um aerossol.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção diz respeito à produção de nanomateriais de carbono, por meio da técnica de deposição química de vapor, usando-se como matéria-prima frações pesadas do petróleo obtidas diretamente a partir de seu refino ou do processamento de um derivado de petróleo para outros fins.

Outras cargas líquidas derivadas do petróleo, passíveis de vaporização, também podem ser empregadas como matéria-prima no processo.

O processo agora proposto emprega aparelhagem especialmente adaptada à finalidade a que se destina, podendo atuar de forma contínua ou em batelada, empregando forno tubular vertical ou horizontal, e resumidamente consiste das seguintes etapas principais:

- vaporizar de forma controlada o precursor, o qual pode conter nele dissolvido um catalisador organometálico, de modo a prover uma alimentação em pulsos de composição constante para o interior da câmara de reação de um forno tubular;
- formar os nanomateriais a partir da decomposição dos hidrocarbonetos, à medida que seu vapor é arrastado por um fluxo de gás inerte para o interior de um tubo de alumina contido no forno tubular, mantido a uma temperatura entre 700°C e 1200°C;
- recolher o produto, de forma contínua, quando se utiliza um arranjo vertical, pela parte inferior do forno tubular, ou em batelada, quando se utiliza um arranjo horizontal, dito arranjo adicionalmente provido com um sistema de retenção das partículas na saída do forno.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A **Figura 1** mostra uma representação esquemática da aparelhagem utilizada para a realização do processo da invenção.

A **Figura 2** mostra em escala ampliada as nanoesferas de carbono obtidas sobre um substrato de quartzo.

A **Figura 3** ilustra de forma esquemática a configuração de contato em equipamento usado para os testes de avaliação tribológica das nanoesferas de carbono.

A **Figura 4** mostra um gráfico em que são apresentados os

resultados do aumento da força de atrito, comparada entre os óleos preparados com as nanoesferas de carbono e o óleo comercial.

A **Figura 5** mostra um gráfico em que são apresentados os perfis de temperatura para óleos preparados com nanoesferas.

5 DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Com o objetivo de tornar o processo da invenção mais bem compreendido, passaremos a descrevê-lo de forma detalhada. Deve ser lembrado, todavia, que os exemplos apresentados possuem caráter meramente ilustrativo, e não são limitantes da invenção.

10 Foi verificado que um determinado resíduo líquido, obtido como subproduto da produção de piches de petróleo a partir de óleo decantado, pode ser empregado com sucesso para a produção de nanoesferas de carbono, com alta pureza, pelo processo de **CVD**, sem o uso de catalisadores.

15 Isto significa que a destinação final desses resíduos líquidos deixa de ser um problema ambiental, uma vez que além de se utilizar um resíduo como matéria-prima, tem-se ainda a vantagem econômica de permitir a associação dos processos de produção de piches e de obtenção nanoesferas.

20 Resíduos líquidos de petróleo constituem, portanto, uma fonte de carbono vantajosa para a produção de nanoesferas, uma vez que, além de seu baixo custo, possuem alto teor de carbono (próximo a 90% para amostras de óleo decantado) e são obtidos em enormes quantidades nos processos de refino de petróleo.

25 O processo de obtenção de nanoesferas, objeto da presente invenção consiste basicamente em:

- vaporizar de forma controlada o precursor, de modo a prover uma alimentação em pulsos de composição constante para o interior da câmara de reação de um forno tubular;
- 30 - conter, eventualmente, um catalisador organometálico, tal

como o ferroceno, dissolvido no precursor;

- formar os nanomateriais a partir da decomposição dos hidrocarbonetos, à medida que seu vapor é arrastado por um fluxo de gás inerte para o interior de um tubo de alumina contido no forno tubular e mantido a uma temperatura entre 700°C e 1200°C;
- recolher o produto formado em um recipiente adequado, dito forno tubular podendo adicionalmente ser provido com um sistema de retenção das partículas na saída;
- recolher o produto de forma contínua pela parte inferior do forno tubular, quando se utiliza um arranjo vertical;
- recolher o produto em batelada, pela saída do forno tubular, quando se utiliza um arranjo horizontal.

A produção de nanoesferas é realizada pela vaporização do resíduo de petróleo, o qual é enviado para o interior de um forno tubular, mantido a temperaturas entre 700°C e 1200°C, preferencialmente entre 800°C e 1100°C, por um fluxo controlado de gás inerte, tipicamente nitrogênio.

Na Figura 1 que acompanha este Relatório, e dele é parte integrante, ilustra-se esquematicamente a aparelhagem adotando-se o arranjo vertical utilizado para o desenvolvimento da presente invenção, para aplicação do processo de modo contínuo. O arranjo compreende um forno vertical (1) atravessado internamente por um tubo (2) de alumina, ligado em sua extremidade superior a uma câmara de aquecimento (3), e em sua extremidade inferior, a um dispositivo (4), para o recolhimento das nanopartículas. À câmara de aquecimento (3) são ligadas uma fonte de gás inerte (5), provida com controladores adequados de fluxo, e, uma fonte de alimentação de precursor (6), provida com meios de dosagem adequados, por exemplo, uma bomba peristáltica (7). Na saída do dispositivo (4) de recolhimento de nanopartículas, poderá adicionalmente ser adaptado um sistema (8) de retenção das partículas.

A utilização de uma configuração vertical permite que o material seja recolhido por gravidade, de forma que o processo pode ser operado de forma contínua.

5 Segundo a técnica anterior, os precursores líquidos empregados em processos de CVD são geralmente vaporizados pelo borbulhamento do gás inerte no precursor, pela injeção do líquido no fluxo de gás, ou pelo aquecimento simples de uma determinada quantidade de precursor (batelada).

10 No caso da presente invenção os dois primeiros métodos não podem ser aplicados, primeiro devido à alta viscosidade dos resíduos empregados, e segundo, por se tratar de uma mistura de hidrocarbonetos, pois o aquecimento simples de uma quantidade de material levaria a variações na composição da fase gasosa durante o processo.

15 Assim, o processo agora proposto para solucionar o problema, faz bombear o resíduo para o interior de uma câmara de aquecimento (3), onde o mesmo é gotejado sobre uma superfície mantida a uma temperatura alta o suficiente para vaporizar de uma só vez toda a gota do material.

20 Cabe lembrar que alimentação gota a gota já foi sugerida em estudos de produção de nanofilamentos, mas com a injeção direta das gotas no interior do reator por meio de uma agulha capilar, e com o objetivo de otimizar a produtividade do catalisador empregado (Fe ou Ni), onde era utilizado querosene como matéria prima, material cujas propriedades são bem diferentes das características químicas de frações pesadas de petróleo.

25 Um catalisador tipicamente empregado na produção de nanofilamentos é o ferroceno $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{H}_5)_2]$, fazendo-se a vaporização simultânea ao precursor (método do catalisador flutuante), uma vez que é solúvel nos resíduos empregados. Esta técnica pode, portanto, de forma semelhante ao observado com o uso de asfalto [Liu, X. et al. - Deoiled

30

asphalt as carbon source for preparation of various carbon materials by chemical vapor deposition - *Fuel Processing Technology* 87, 919-925, 2006], ser empregada também na produção de nanofilamentos a partir de resíduos pesados de petróleo.

5 Segundo o processo da presente invenção o precursor deve ser vaporizado de forma controlada, com o auxílio, por exemplo, de uma bomba peristáltica (7) e de meios de controle de fluxo do gás inerte (5), de modo a fornecer uma alimentação em pulsos, de composição constante, para o interior do forno tubular onde ocorre a reação de produção dos
10 nanomateriais. O precursor (6) é bombeado continuamente para uma câmara de vaporização (3), onde é gotejado sobre uma superfície (não detalhada na Figura) aquecida a uma temperatura alta o suficiente para garantir sua vaporização completa, sendo então arrastado por um fluxo de gás inerte (5) para o interior do forno tubular (1).

15 Caso se deseje produzir nanofilamentos, um catalisador organometálico adequado, como o ferroceno, deverá ser dissolvido no precursor, de modo a possibilitar a criação de núcleos de crescimento dos referidos nanofilamentos.

No forno tubular (1) o interior do tubo de alumina (2) é mantido a
20 uma temperatura entre 700°C e 1200°C, preferencialmente entre 800°C e 1000°C, onde ocorre a decomposição dos hidrocarbonetos da matéria-prima e a formação do nanomaterial, cujas propriedades dependem das condições de temperatura, do tempo de residência, da concentração do precursor no fluxo gasoso e da concentração de catalisador, se este for
25 usado.

Se o forno tubular (1) for operado em uma configuração vertical o produto pode ser recolhido continuamente em um dispositivo (4) ao cair pela extremidade inferior do tubo (2). Se o forno for operado em uma configuração horizontal, o produto pode ser obtido em batelada e, se
30 desejado, sobre um substrato adequado. Tal medida permitirá que sejam

obtidos diversos tipos de nanomateriais, como por exemplo, nanotubos, nanofibras e outros tipos de nanofilamentos, nanofilmes, laminados, entre outros.

5 Em qualquer dos casos, como o produto tem densidade extremamente baixa, é desejável a montagem de um sistema para retenção (8) do material na saída do forno, para evitar seu arraste pelo fluxo de gás.

10 Para melhor avaliação do processo de preparação dos nanomateriais, objeto da presente invenção, são apresentados os Exemplos ilustrativos abaixo, os quais, todavia, não são limitantes da invenção. Do mesmo modo, a avaliação das propriedades das nanoesferas obtidas pelo processo da invenção será igualmente apresentada sob a forma de Exemplos ilustrativos.

PROCESSO DE PREPARAÇÃO DAS NANOESFERAS

15 Exemplo 1:

Em um forno tubular horizontal com um tubo de alumina de aproximadamente 5 cm (2 polegadas) de diâmetro interno, mantido a 1200°C, foi alimentado um óleo decantado a uma vazão de 7mL/h, em um fluxo de nitrogênio a 1L/min, durante 30 min.

20 Foram obtidas nanoesferas de carbono sobre um substrato de quartzo; a Figura 2 mostra em escala ampliada as nanoesferas obtidas.

Na ausência de um sistema de retenção, foram recolhidos 0,046g do material, sendo a maior parte arrastado pelo fluxo de gás.

Exemplo 2:

25 Em um forno tubular vertical com um tubo de alumina de aproximadamente 5 cm (2 polegadas) de diâmetro interno, mantido a 1100°C, foi alimentado um óleo decantado a uma vazão de 15 mL/h, com fluxo de argônio a 4L/min, durante 120 min.

30 Na saída do forno foi montado um sistema de retenção do material obtido, sendo então recolhidos 13,1 g de nanoesferas de carbono.

AVALIAÇÃO TRIBOLÓGICA DAS NANOESFERAS DE CARBONO

Exemplo 3:

As nanoesferas de carbono podem ser usadas para fins tribológicos, com a finalidade de reduzir o atrito e o desgaste entre duas superfícies sob
5 contato mecânico. Atualmente, novos lubrificantes de alto desempenho têm sido desenvolvidos, com objetivo de se obter um aumento de eficiência energética.

Para a avaliação do atrito e do desgaste, foram comparados um óleo automotivo comercial, para motores de combustão interna, de
10 especificação API SL e SAE 20w50, com outro de mesmo grau de viscosidade, preparado apenas com óleos básicos e as nanoesferas de carbono obtidas de acordo com a invenção.

O equipamento usado para os testes foi um tribômetro do tipo quatro esferas (four ball), cuja forma de operação é mostrada de forma
15 esquemática na Figura 3.

Neste equipamento, três esferas são fixas no interior de um reservatório, no qual se adiciona o lubrificante a ser testado. Uma quarta esfera é fixa no eixo móvel de um motor elétrico. Inicialmente, aplica-se
20 carga entre as três esferas imóveis e a outra móvel e controla-se a temperatura do banho de óleo na condição desejada.

O motor elétrico é acionado e controla-se a rotação também no nível de interesse. Após todos os valores dos parâmetros estarem estabilizados, aciona-se uma embreagem que permite a transmissão rápida de movimento entre as esferas sob contato.

25 Os óleos com a adição das nanoesferas de carbono foram preparados com teores em massa de nanoesferas de 0,05%, 0,10%, 0,35% e 0,50 %. Utilizou-se uma carga de 40 kgf, rotação de 1500 rpm, temperatura inicial de 60°C (após o teste iniciado, o controlador de temperatura foi desligado e monitorou-se a evolução térmica do banho de
30 óleo, por ocorrência do processo friccional entre as superfícies sob

contato), com duração de 30 minutos. Mediram-se as cicatrizes de desgaste, o torque de atrito e o perfil de temperatura durante a condução dos testes.

Na Figura 4, são apresentados os resultados do aumento da força de atrito, comparada entre os óleos preparados com as nanoesferas de carbono e o óleo comercial.

Pode-se observar uma redução de atrito significativa, quando comparado com o óleo comercial. O maior desempenho para o óleo formulado com a menor concentração de nanoesferas pode sugerir que o mecanismo de ação, entre as superfícies sob contato, é por rolamento das nanoesferas.

Na Figura 5, são apresentados os perfis de temperatura para óleos preparados com nanoesferas.

Pode-se observar que a temperatura final para o óleo formulado com a menor concentração de nanoesferas, foi a menor de todas. A maior temperatura final foi atingida para o óleo comercial. Este comportamento revela que óleos formulados com as nanoesferas de carbono podem conduzir a maiores eficiências energéticas, que é um tema da maior importância na atualidade, para equipamentos dinâmicos.

REIVINDICAÇÕES

1 - **PROCESSO DE OBTENÇÃO DE NANOMATERIAIS DE CARBONO**,
caracterizado por empregar como matéria-prima frações pesadas do
petróleo obtidas diretamente a partir de seu refino ou do
5 processamento de um derivado de petróleo para outros fins, usando-se
a técnica de deposição química de vapor, para se obter nanoesferas e
nanofilamentos de carbono.

2 - **PROCESSO DE OBTENÇÃO DE NANOMATERIAIS DE CARBONO**,
de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender as
10 etapas de:

- vaporizar de forma controlada um precursor, de modo a
fornecer uma alimentação em pulsos de composição
constante para o interior da câmara de reação de um forno
tubular onde ocorre a reação de produção dos nanomateriais;
15 o precursor é bombeado continuamente para uma câmara
de vaporização, onde é gotejado sobre uma superfície
aquecida a uma temperatura alta o suficiente para garantir sua
vaporização completa, sendo então arrastado por um fluxo de
gás inerte para o interior do forno;

20 - formar os nanomateriais a partir da decomposição dos
hidrocarbonetos da matéria-prima, à medida que seu vapor é
arrastado por um fluxo de gás inerte para o interior de um tubo
de alumina contido no referido forno tubular, mantido a uma
temperatura entre 700°C e 1200°C, preferencialmente entre
25 800°C e 1100°C, onde ocorre a decomposição dos
hidrocarbonetos e a formação do nanomaterial;

- recolher o produto em um dispositivo acoplado na saída do
referido forno tubular, o qual é eventualmente provido com um
sistema de retenção das partículas.

30 **3 - PROCESSO DE OBTENÇÃO DE NANOMATERIAIS DE CARBONO**,

de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por permitir produzir nanofilamentos de carbono, dissolvendo-se no precursor um catalisador organometálico adequado, tal como o ferroceno.

4 - PROCESSO DE OBTENÇÃO DE NANOMATERIAIS DE CARBONO,

5 de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por operar de forma contínua, quando se utiliza o forno tubular com um arranjo vertical, retirando-se as nanopartículas que escoam por gravidade pela parte inferior do forno tubular através do dispositivo de recolhimento, sendo o referido arranjo adicionalmente provido com um sistema de retenção
10 das partículas na saída do forno.

5 - PROCESSO DE OBTENÇÃO DE NANOMATERIAIS DE CARBONO,

de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por operar em batelada, quando se utiliza o forno tubular com um arranjo horizontal, retirando-se as nanopartículas através do dispositivo de recolhimento,
15 sendo o referido arranjo adicionalmente provido com um sistema de retenção das partículas na saída do forno.

6 - NANOMATERIAIS DE CARBONO, caracterizado por serem obtidos a

partir de frações pesadas de petróleo como matéria-prima, ditas frações pesadas do petróleo sendo obtidas diretamente a partir de seu refino ou do processamento de um derivado de petróleo para outros
20 fins, usando-se a técnica de deposição química de vapor, segundo a qual o precursor é vaporizado de forma controlada, de modo a prover uma alimentação em pulsos de composição constante para o interior de um forno tubular; o precursor é bombeado continuamente para uma
25 câmara de vaporização, onde é gotejado sobre uma superfície aquecida a uma temperatura alta o suficiente para garantir sua vaporização completa, sendo então arrastado por um fluxo de gás inerte para o interior do referido forno tubular.

7 - NANOMATERIAIS DE CARBONO, de acordo com a reivindicação 6,

30 caracterizado por compreenderem nanoesferas de carbono.

8 - NANOMATERIAIS DE CARBONO, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por compreenderem nanofilamentos de carbono.

9 - NANOMATERIAIS DE CARBONO, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por as nanoesferas serem obtidas sem o uso de catalisador.

10 - NANOMATERIAIS DE CARBONO, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por os nanofilamentos serem obtidos dissolvendo-se no precursor um catalisador organometálico adequado, tal como o ferroceno.

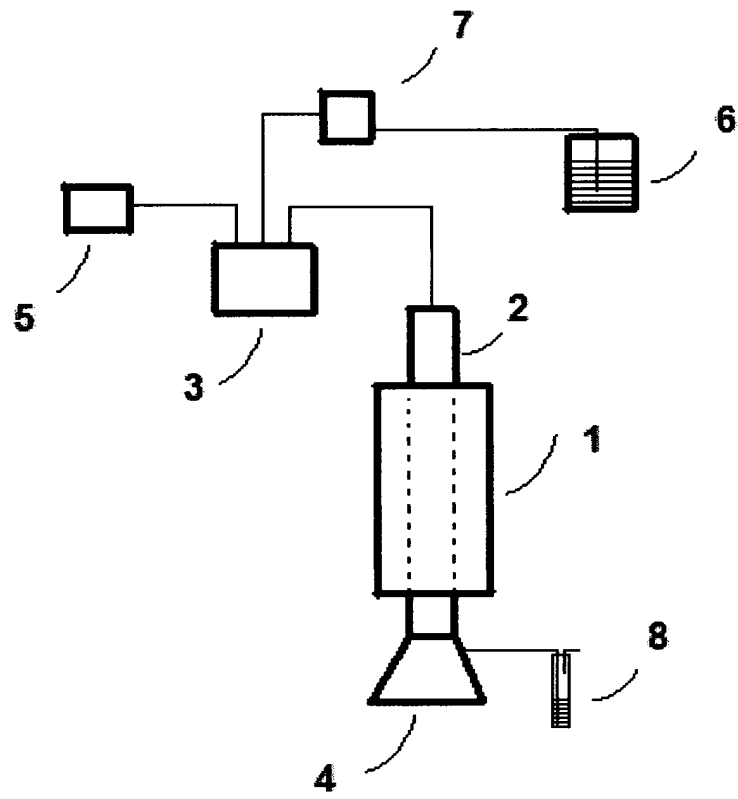


FIG. 1

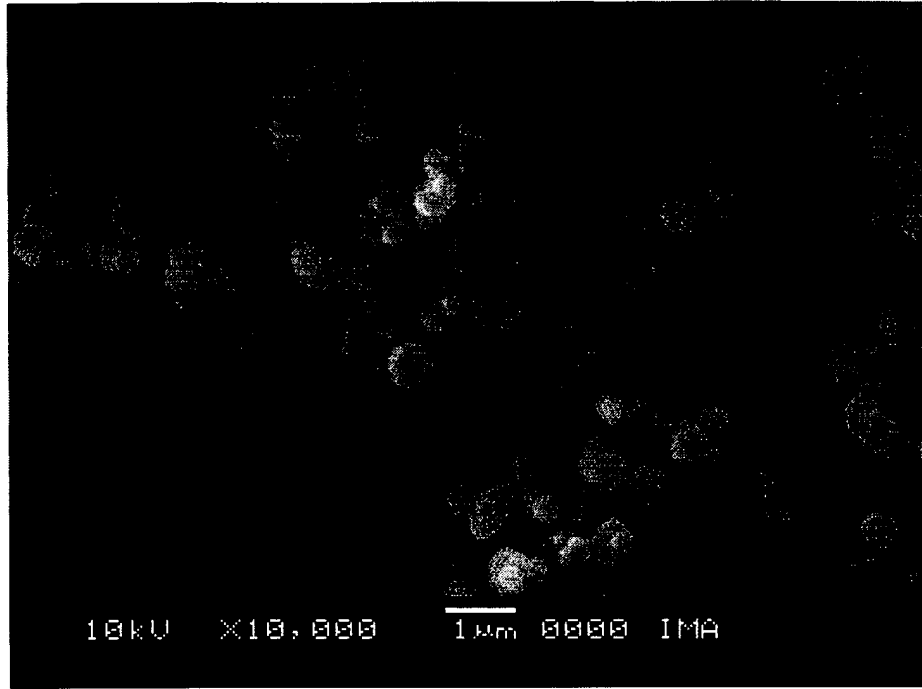


FIG. 2

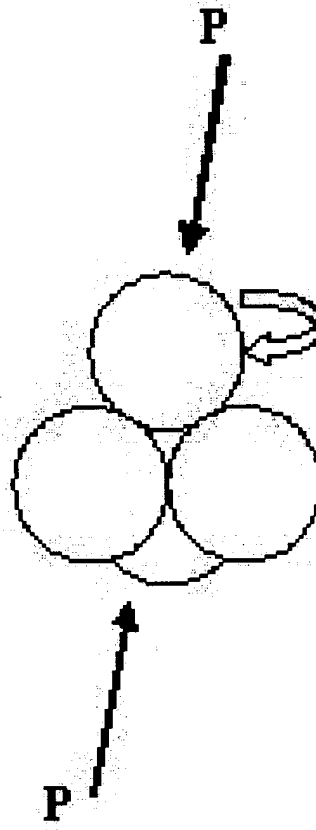


FIG. 3

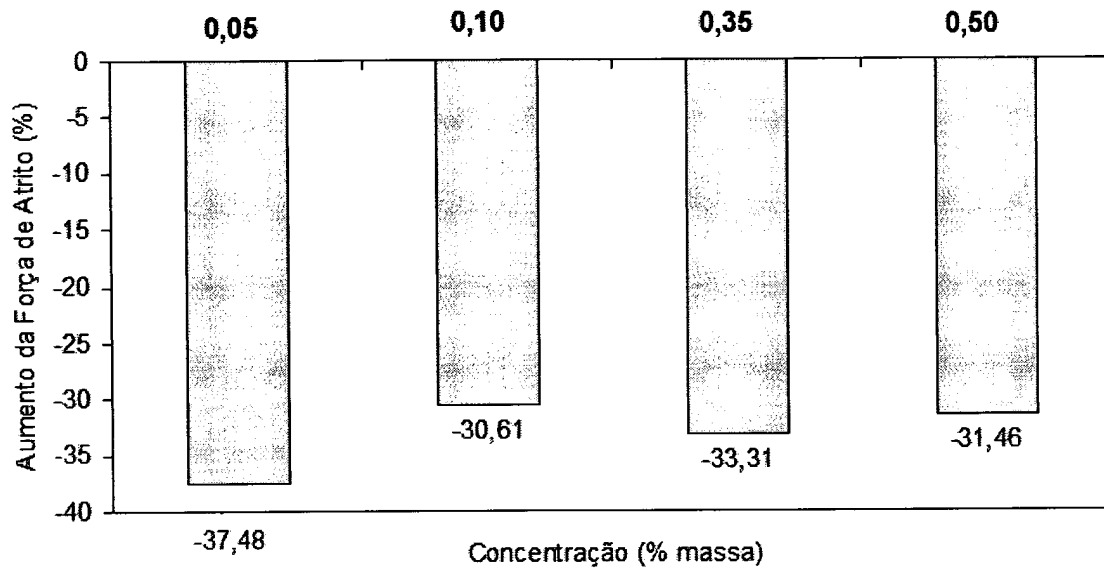


FIG. 4

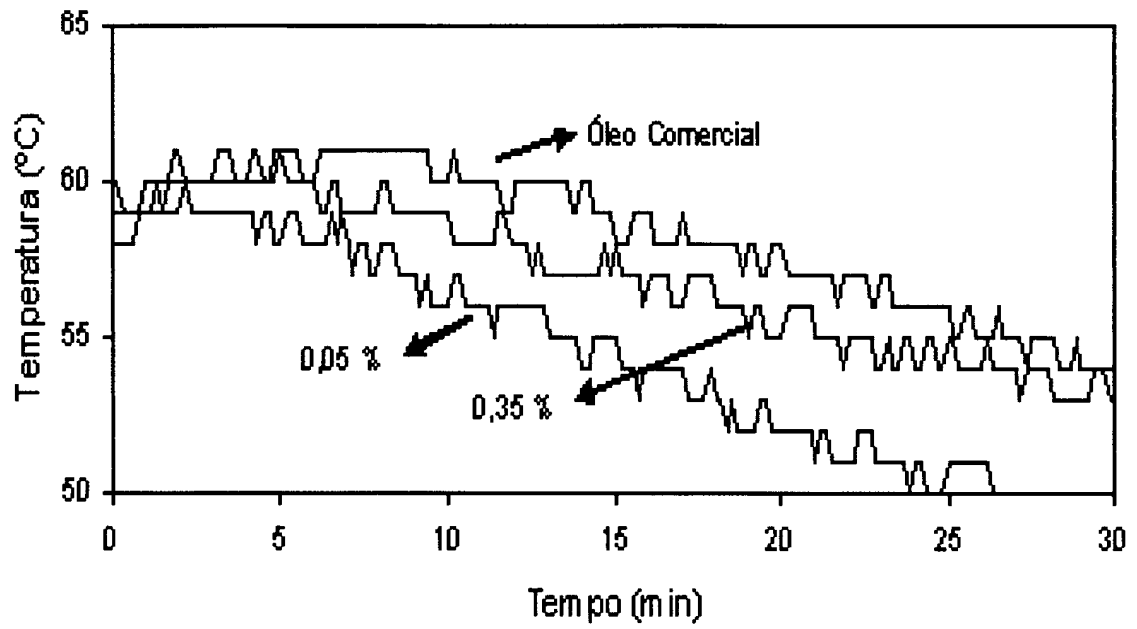


FIG. 5

RESUMO**NANOMATERIAIS DE CARBONO OBTIDOS A PARTIR DE FRAÇÕES PESADAS DE PETRÓLEO E PROCESSO DE OBTENÇÃO DOS MESMOS**

5 A presente invenção trata de um processo de obtenção de nanopartículas de carbono, obtidas a partir de frações pesadas de petróleo como fonte de carbono (precursor), particularmente resíduos aromáticos de petróleo (RARO), utilizando a técnica de deposição química de vapor (CVD – *Chemical Vapor Deposition*), podendo ainda utilizar um catalisador organometálico solúvel no precursor.

10

A principal característica do processo da invenção reside no fato de o precursor ser vaporizado de forma controlada, de modo a prover uma alimentação em pulsos de composição constante para o interior de um forno tubular, o qual pode ser arranjado em forma vertical, permitindo a

15 produção contínua dos nanomateriais, ou arranjado horizontalmente, para a produção em batelada.