



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/09.17.11.48-NTC

**CATALISADORES À BASE DE ÓXIDOS MISTOS DE  
COBALTO E MANGANÊS PARA DECOMPOSIÇÃO DO  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> E DO N<sub>2</sub>O PARA APLICAÇÕES AEROESPACIAIS**

Luís Gustavo Ferroni Pereira  
Sayuri Okamoto  
Ricardo Vieira

URL do documento original:  
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3RRG9MB>>

INPE  
São José dos Campos  
2018

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO  
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

**Membros:**

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Murilo Luiz Silva Gino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/09.17.11.48-NTC

**CATALISADORES À BASE DE ÓXIDOS MISTOS DE  
COBALTO E MANGANÊS PARA DECOMPOSIÇÃO DO  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> E DO N<sub>2</sub>O PARA APLICAÇÕES AEROESPACIAIS**

Luís Gustavo Ferroni Pereira  
Sayuri Okamoto  
Ricardo Vieira

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3RRG9MB>>

INPE  
São José dos Campos  
2018



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

**Título:** Catalisadores à base de óxidos mistos de cobalto e manganês para decomposição do  $\text{H}_2\text{O}_2$  e do  $\text{N}_2\text{O}$  para aplicações aeroespaciais.

**Autores:** Luís Gustavo Ferroni Pereira, Sayuri Okamoto e Ricardo Vieira.

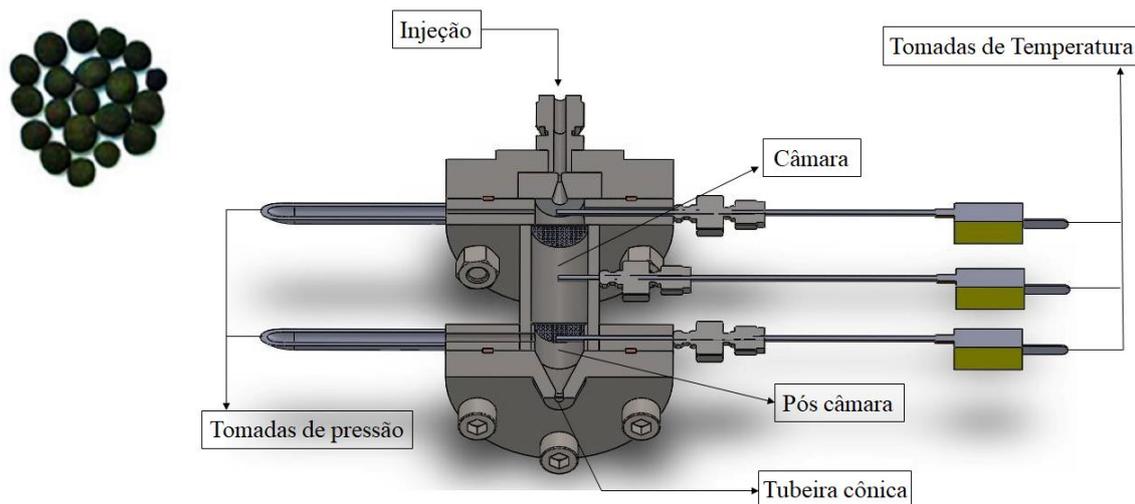
**Descrição do campo da invenção:** Sistemas propulsivos a monopropelente são comumente empregados em motores de rolamento de foguetes, em motores para operações de correção de órbita e de controle de atitude de satélites, devido à sua simplicidade e baixo custo, apesar de apresentarem menor impulso específico em relação aos sistemas bipropelentes. Atualmente a maior parte dos satélites em órbita utiliza sistema de propulsão a decomposição de hidrazina ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ). Porém, a  $\text{N}_2\text{H}_4$  é um monopropelente extremamente caro e altamente tóxico (carcinogênico). Na última década, em função da crescente preocupação quanto à segurança ambiental, o peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) têm sido estudados com monopropelentes líquidos estocáveis, não tóxicos e de baixo custo para aplicação em sistemas propulsivos. Metais nobres (Pt, Rh, Ru...) e grande parte dos metais de transição são cataliticamente ativos na decomposição do  $\text{H}_2\text{O}_2$  e do  $\text{N}_2\text{O}$ , sendo o  $\text{MnO}_2$  um dos mais estudados atualmente. Os cátions de Mn e do Co podem atingir estados de oxidação variáveis e por isso eficazes como catalisadores em reações redox, ou seja, na decomposição do  $\text{H}_2\text{O}_2$  e do  $\text{N}_2\text{O}$ .

**Descrição do estado da técnica:** Como já mencionado, o  $\text{MnO}_2$  é um dos catalisadores mais estudados na decomposição do  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Durante a decomposição do  $\text{H}_2\text{O}_2$ , o cátion  $\text{Mn}^{+4}$  tende a reduzir-se para  $\text{Mn}^{+3}$ , formando a fase  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ . Esta fase é menos ativa do que o  $\text{MnO}_2$ . Já em temperaturas mais elevadas ocorre a formação da fase  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ , tão ativa quanto o  $\text{MnO}_2$ , assim como o óxido intermediário  $\text{Mn}_5\text{O}_8$ . Estes resultados têm sido atribuídos aos pares redox  $\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}^{4+}$ , encontrados, respectivamente, no  $\text{Mn}_3\text{O}_4$  e no  $\text{Mn}_5\text{O}_8$ . Portanto, os átomos de Mn com diferentes estados de oxidação, presentes na mesma rede, trocam elétrons, proporcionando a mobilidade necessária para a atividade de superfície redox.

Assim como o Mn, os cátions de Co também podem atingir diferentes estados de oxidação em uma mesma rede cristalina. O  $\text{Co}_3\text{O}_4$  foi empregado como catalisador na decomposição tanto do  $\text{N}_2\text{O}$ , como na do  $\text{H}_2\text{O}_2$ . O aumento dos ânions de oxigênio na rede do material pode promover uma transferência de elétrons de  $\text{Co}^{2+}$  para o oxigênio, incrementando a incidência de cátions  $\text{Co}^{3+}$ . Os cátions  $\text{Co}^{2+}$  posicionados nos sítios octaédricos apresentam maior atividade do que aqueles alocados em sítios tetraédricos, porém menor que atividade apresentada por cátions  $\text{Co}^{3+}$  situados em posições octaédricas. Portanto, a atividade catalítica do  $\text{Co}_3\text{O}_4$  nesta reação é influenciada não só pelo estado de oxidação do cobalto, mas também pelo número de coordenação dos cátions.

**Sumário:** Este trabalho propõe a aplicação de catalisadores à base de espinélios de cobalto e manganês impregnados em grãos esféricos de  $\gamma$ -alumina, para serem empregados como catalisadores na decomposição do peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 90% a frio e do óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) a  $600^\circ\text{C}$ , proporcionando múltiplas partidas em um micropropulsor de satélites a monopropelente. Os catalisadores com maiores teores de manganês ( $\text{Mn}_x\text{Co}_{3-x}$ , com  $x > 1,5$ ) são aqueles que proporcionam os menores tempos de indução na reação de decomposição. O desempenho do catalisador contendo 0,75% de Co e 3,56% de Mn depositados em grãos de alumina com diâmetro médio de 0,8 mm, foi avaliado em um micropropulsor com 2 N de empuxo teórico, operando com  $\text{H}_2\text{O}_2$  e com  $\text{N}_2\text{O}$ .

**Breve descrição da figura:** O invento consiste, basicamente, na preparação de um catalisador contendo 0,75% de Co e 3,56% de Mn impregnados em grãos de  $\gamma$ -alumina, medindo 0,8 mm de diâmetro. Este catalisador foi testado em um micropropulsor de 2 N de empuxo teórico (Figura), empregando os monopropelentes  $\text{H}_2\text{O}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$ . O micropropulsor é constituído de um injetor, de uma câmara que abriga o leito catalítico e de uma tubeira. Foram ainda posicionados transdutores de pressão e temperatura para controle destas variáveis, além do empuxo produzido pelo sistema.



**Figura.** Módulos e componentes de um micropropulsor de 2 N e em detalhe, a esquerda, imagem dos grãos de catalisador.

**Descrição detalhada da invenção:** Catalisadores suportados à base de óxidos mistos de Co e Mn foram preparados a partir da impregnação de soluções de nitratos de Co e Mn em grãos esféricos de  $\gamma$ -alumina medindo em torno de 0,8 mm de diâmetro. A concentração da solução de impregnação foi de 2 mol/L dos cátions metálicos, respeitando a proporção molar Co/Mn de 0,5/2,5. Foi incorporado, em uma única impregnação, um teor de 0,75% de Co, em massa, e 3,56% de Mn. Após a impregnação, o material foi secado e, posteriormente, calcinado a 900°C por 2 h, visando à conversão dos nitratos em óxidos do tipo espinélio.

Para determinação dos parâmetros experimentais de desempenho dos catalisadores na decomposição catalítica do  $\text{H}_2\text{O}_2$  90%, foi empregado um micropropulsor com um leito catalítico medindo 30 mm de comprimento e 15 mm de diâmetro, delimitado por duas telas de aço inoxidável com abertura de 0,5 mm. Uma razão de expansão da tubeira ( ) igual a 1,45, uma área de garganta de 3,6 mm<sup>2</sup> e projetado para operar com 2 g/s de  $\text{H}_2\text{O}_2$  90%, atingindo uma pressão de câmara de 5 bar e empuxo de 2 N. O micropropulsor foi carregado com 7,4 g de catalisador. Em um teste de 30 s, o propulsor atingiu uma temperatura de 756°C, gerando um impulso específico médio ( $I_{sp}$ ) de 104 s e uma velocidade característica ( $c^*$ ) de 881 m/s na decomposição do

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Já para a determinação dos parâmetros experimentais de desempenho dos catalisadores na decomposição catalítica do N<sub>2</sub>O foi empregado um micropropulsor com um leito catalítico medindo 105 mm de comprimento e 12 mm de diâmetro, delimitado por duas telas de aço inoxidável com abertura de 0,5 mm. Uma razão de expansão da tubeira ( ) igual a 1,43, uma área de garganta de 3,6 mm<sup>2</sup> e projetado para operar com 1,65 g/s de N<sub>2</sub>O, atingindo uma pressão de câmara de 5 bar e empuxo de 2 N. O micropropulsor foi carregado com 7,5 g de catalisador. Em um teste de 30 s, o propulsor atingiu uma temperatura de 1370°C, gerando e um impulso específico ( $I_{sp}$ ) de 121 s e uma velocidade característica ( $c^*$ ) de 1069 m/s na decomposição do N<sub>2</sub>O. Após este último teste foi constatado uma perda de massa do catalisador em torno de 6% devido às altas temperaturas atingidas no micropropulsor.