

"CATALISADORES PARA CONVERSÃO DE MONÓXIDO DE CARBONO
EM GASES DE COMBUSTÃO DE ETANOL"

MARIVONE N.S.C. ROMA e JOÃO A. CARVALHO JR.

Laboratório Associado de Combustão e Propulsão

Instituto de Pesquisas Espaciais

Rodovia Presidente Dutra, km 40

12630 - Cachoeira Paulista, SP

INTRODUÇÃO

A industrialização, verdadeira revolução que vem transformando economias agrárias desde os fins do século XVIII em economias industriais, teve início na Inglaterra, expandindo-se por alguns países da Europa e pelos Estados Unidos no século XIX e atingindo, principalmente após a 2ª Guerra Mundial, a maior parte da Europa, o Canadá, e alguns países da América Latina.

GILBERTO MARQUES DA CRUZ

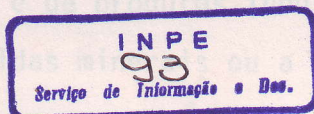
Seção de Química

Instituto Militar de Engenharia

Praça General Tibúrcio, 80

22290 - Rio de Janeiro, RJ

O desenvolvimento econômico e técnico teve como primeira consequência a mecanização da agricultura, dando origem a grandes migrações de agricultores para as cidades. Tal fenômeno ocorreu na Europa no decorrer do século XIX e, no caso da América Latina, continua ocorrendo até hoje. Os centros urbanos, principalmente aqueles que reuniam boas condições de transporte de matérias primas e de produtos industrializados, e que se encontravam próximos a jazidas minerais ou a fontes de energia, cresceram rapidamente.



Uma outra consequência desse processo foi um aumento considerável

RESUMO

Catalisadores de irídio, platina e rutênio com 0,05% e 0,10% de teor metálico, suportados em aluminas comerciais, foram preparados e caracterizados por adsorção de hidrogênio. A atividade dos catalisadores foi testada na conversão de monóxido de carbono em gases de combustão de etanol. Os gases de combustão foram gerados por combustão controlada e monitorados com analisadores contínuos. Os experimentos foram realizados com vazões de massa similares às de exaustão de veículos automotivos. Os resultados mostraram a seguinte sequência para a atividade dos metais: Ir > Pt > Ru. Razões de conversão acima de 90% foram obtidas com catalisadores de irídio. Os catalisadores com 0,05% e 0,10% do mesmo metal apresentaram aproximadamente a mesma atividade.

INTRODUÇÃO

A industrialização, verdadeira revolução que vem transformando economias agrárias desde os fins do século XVIII em economias industriais, teve início na Inglaterra, expandindo-se por alguns países da Europa e pelos Estados Unidos no decorrer do século XIX e atingindo, principalmente após a 2ª Guerra Mundial, a maior parte da Europa, o Canadá, e alguns países da América Latina e Ásia.

O desenvolvimento de novos equipamentos, materiais e técnicas teve como primeira consequência a liberação de grande parte da mão de obra agrícola, dando origem a grandes migrações de agricultores para as cidades. Tal fenômeno ocorreu na Europa no decorrer do século XIX e, no caso da América Latina, continua ocorrendo até hoje. Os centros urbanos, principalmente aqueles que reuniam boas condições de transporte de matérias primas e de produtos industrializados, e que se encontravam próximos a jazidas minerais ou a fontes de energia, cresceram rapidamente.

Uma outra consequência desse processo foi um aumento considerável

na produção de poluentes. Estes, divididos classicamente em duas categorias, poluentes das águas e poluentes da atmosfera, passaram a ser produzidos em quantidades tão elevadas que impossibilitaram, em algumas regiões do planeta, sua absorção e eliminação pela própria natureza. Os esgotos não tratados de grandes cidades, como Londres e Paris, transformaram rios como o Tâmsa e o Sena em cursos d'água mortos. Se nos exemplos citados, medidas de eliminação das fontes poluentes (tratamentos dos esgotos urbanos e dos resíduos industriais) foram capazes de fazer renascer tais rios em países de industrialização mais recente, como o Brasil, tal problema permanece sem solução, agravando-se mesmo pelo uso indiscriminado de defensivos agrícolas e de produtos não-biodegradáveis.

No caso de poluição da atmosfera, aos poluentes emanados das chaminés das fábricas vieram se somar os gases e partículas liberados por milhões de veículos movidos por motores a explosão.

É natural que uma conscientização da necessidade de se controlar a poluição ambiental surgisse primeiramente na Europa e nos Estados Unidos, já que nessas regiões uma industrialização mais antiga e mais intensa levava a situações de grande perigo para a natureza (chuva ácida atacando florestas inteiras e a vegetação em geral) e para o homem, em particular (metais pesados em grande concentração nas águas, etc).

Em 1952, Londres foi vitimada por uma grande neblina prolongada e altamente tóxica, provocada pelo uso generalizado de queimadores de carvão domésticos e que ocasionou a morte prematura de aproximadamente 4.000 pessoas, por problemas respiratórios. Infelizmente, ao mesmo tempo em que medidas eram tomadas visando diminuir o uso de aquecedores a carvão (ou de incineradores de lixo, no caso do Brasil), uma outra fonte de poluição atmosférica continuava a se expandir vertiginosamente: o uso de veículos automotivos.

Os gases de exaustão de veículos automotivos contêm componentes

como monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e hidrocarbonetos não queimados, os quais, sabidamente, produzem efeitos bastante indesejáveis à saúde humana e ao meio ambiente. Estima-se que as emissões veiculares sejam responsáveis por aproximadamente 70% da poluição atmosférica na cidade de São Paulo.

Os países mais desenvolvidos preocupados com essa fonte de poluição, a qual gradativamente vinha se tornando mais importante que as demais, passaram a impor limitações quanto ao nível das emissões pela legislação. Os limites impostos e os prazos concedidos para a introdução das adaptações necessárias diferiram de país para país. Atualmente, existem limites legais para as emissões nos Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, França, Alemanha, Suíça, Suécia, Japão, Austrália e alguns outros países. No Brasil, a necessidade de se controlar as emissões veiculares foi explicitamente estabelecida com a promulgação da nova constituição em 1988. As novas medidas precisam ser implantadas até 1997.

Um dos meios comuns para reduzir as taxas de emissão de monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos não queimados em emissões veiculares consiste na utilização de conversores catalíticos. Houdry [1] foi o primeiro pesquisador a desenvolver catalisadores para veículos em 1949 (eram catalisadores para veículos usados dentro de fábricas). Em 1953, as quatro maiores companhias de automóveis dos Estados Unidos trabalharam juntas em um projeto com o objetivo de reduzir a poluição automotiva [2]. Os resultados desse trabalho demonstraram o potencial dos catalisadores para resolver o problema. Desde então, uma pesquisa considerável vem sendo desenvolvida no assunto e alguns dos resultados obtidos podem ser encontrados nas referências 3-7.

Muito embora a pesquisa na área de catálise para conversão de gases de emissões veiculares tenha começado há quase quarenta anos, novos desenvolvimentos na área tem que ser implementados no Brasil.

uma vez que o país é o único no mundo com veículos movidos a etanol. Além disso, a gasolina brasileira contém uma grande quantidade de etanol (até 25%) e o país não possui atualmente infra-estrutura para cumprir os novos requisitos legais até 1997.

Esse trabalho apresenta os resultados de uma investigação experimental na qual catalisadores com baixo teor de irídio, platina e rutênio foram preparados, caracterizados e testados na conversão de monóxido de carbono de gases de combustão de etanol. São descritos os processos de preparação dos catalisadores e apresentados os resultados da razão de conversão de monóxido de carbono para dióxido de carbono.

Com esse trabalho, o Instituto de Pesquisas Espaciais que, através de seu Laboratório Associado de Combustão e Propulsão, já se encontra em estágio avançado no desenvolvimento de catalisadores para emprego em satélites, inicia a pesquisa na área de catalisadores automotivos.

PREPARAÇÃO DOS CATALISADORES

Os Suportes de Alumina

Três suportes de alumina da Harshaw Chemie BV foram utilizados nesse estudo. Suas características foram fornecidas pelo fabricante e estão listadas na Tabela 1. Os suportes foram lavados com água destilada para remover os finos, secos a 120°C por 16 horas e calcinados a 400°C por 6 horas.

TABELA 1

CARACTERÍSTICAS DOS SUPORTES DE ALUMINA

Alumina	A1-3982T	A1-4183T	A1-0184T
Diâmetro dos bastonetes	3,18 mm	3,18 mm	3,18 mm
Comprimento dos bastonetes	3,18 mm	3,18 mm	3,18 mm
Massa específica real	0,75 g/cm ³	0,48 g/cm ³	1,00 g/cm ³
Área específica total	170 m ² /g	200 m ² /g	60 m ² /g
Volume poroso total	0,60 cm ³ /g	1,09 cm ³ /g	0,39 cm ³ /g
Distribuição do volume de poros			
até 120 Å	0,43 cm ³ /g	0,46 cm ³ /g	0,12 cm ³ /g
até 200 Å	0,44 cm ³ /g	0,64 cm ³ /g	0,20 cm ³ /g
até 350 Å	0,45 cm ³ /g	0,73 cm ³ /g	0,24 cm ³ /g
até 600 Å	0,46 cm ³ /g	0,78 cm ³ /g	0,27 cm ³ /g
até 1000 Å	0,47 cm ³ /g	0,83 cm ³ /g	0,28 cm ³ /g
até 10000 Å	0,54 cm ³ /g	1,05 cm ³ /g	0,38 cm ³ /g
até 152000 Å	0,60 cm ³ /g	1,09 cm ³ /g	0,39 cm ³ /g
Análise química			
Fe ₂ O ₃	0,07% max	0,08% max	0,005% max
Si O ₂	0,01% max	0,13% max	0,015% max
Na ₂ O	0,06% max	0,03% max	0,25% max
Al ₂ O ₃	balanço	balanço	balanço

Preparação dos Ácidos Precursores

Os precursores usados para impregnar os suportes de alumina foram o ácido hexacloroirídico (H_2IrCl_6), o ácido hexacloroplatinico (H_2PtCl_6) e o cloreto de rutênio ($RuCl_3$). Os materiais usados na preparação de cada um dos precursores está listada na Tabela 2.

TABELA 2

MATERIAIS USADOS NA PREPARAÇÃO DOS PRECURSORES

Precursor	H_2IrCl_6	H_2PtCl_6	$RuCl_3$
Material	Ir em pó (99,5% puro)	Pt, em lâmina (>99% puro)	Ru, em pó (99,9% puro)
	HCl, 12N, P.A.	HCl, 12N, P.A.	HCl, 12N, P.A.
	NaCl, P.A.	HNO ₃ , 65%, P.A.	NaCl, P.A.
	CCl ₄ , P.A.	H ₂ O ₂ concentrado, P.A.	CCl ₄ , P.A.
	H ₂ O ₂ concentra do, P.A.		H ₂ O ₂ concentrado
	Resina troca dora de íons DOWEX-50-WX8		Resina trocado ra de íons DOWEX-50-WX8

O ácido hexacloroirídico foi preparado de acordo com o procedi
mento descrito por Delépine [8] e implantado no Instituto de Pesquisas
Espaciais por Cruz et al. [9]. O metal em pó foi misturado com um ex
cesso de NaCl e a mistura colocada em um recipiente de quartzo dentro
de um forno e mantida a 700°C por 2 horas em uma atmosfera de cloro. O

produto da cloração (Na_2IrCl_6) foi dissolvido em água destilada para remover o metal não clorado e passado através da resina trocadora de íons para substituir os átomos de sódio por átomos de hidrogênio. A solução foi então concentrada para atingir a concentração de irídio e a acidez livre requeridas para armazenagem.

A preparação do ácido hexacloroplatínico baseou-se no procedimento descrito por Gruber [10]. As lâminas de platina foram divididas em pequenos pedaços e desengorduradas com HCl concentrado. Os pedaços de platina foram então lavados com água destilada e, em seguida, colocados em uma solução 3:1 de HCl e HNO_3 . Por aquecimento do material a temperaturas de 60°C - 80°C , a platina foi totalmente solubilizada. A solução resultante foi, em seguida, diluída com HCl e H_2O_2 para extrair os compostos de nitrogênio e, depois disso, foi concentrada novamente e resfriada até a cristalização. Os cristais obtidos eram de H_2PtCl_6 , os quais foram, então, diluídos com HCl e água para atingir a concentração de platina e a acidez livre requeridas para armazenagem.

O método utilizado para obter o cloreto de rutênio é bastante similar àquele do ácido hexacloroirídico. A única diferença foi que o produto de cloração foi dissolvido em etanol, em vez de água, para maximizar a extração de NaCl da solução.

As concentrações metálicas de todas as soluções preparadas foram determinadas por um método gravimétrico, como o descrito por Cruz et al [9]. As concentrações de metal e de HCl dos precursores estão mostradas na Tabela 3.

TABELA 3

CONCENTRAÇÕES DE METAL E DE ACIDEZ LIVRE DOS PRECURSORES

Solução precursora	H ₂ IrCl ₆	H ₂ PtCl ₆	RuCl ₃
Concentração de metal (g/l)	67,80	15,09	13,70
Concentração HCl livre (N)	0,156	1,690	0,983

Impregnação do Suporte e Caracterização do Catalisador

As soluções precursoras foram diluídas para a concentração requerida para impregnação e gotejada nos bastonetes de alumina. Os precursores empregados foram secos a 120°C por 16 horas e reduzidos em atmosfera de hidrogênio a 400°C por 6 horas. Os catalisadores resultantes foram então resfriados, purgados com N₂ por 15 minutos e, então, conservados em recipientes fechados até o uso. Os catalisadores foram, então, caracterizados por adsorção de H₂ [11]. Os resultados dessa caracterização são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4

RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO POR ADSORÇÃO DE H₂

Catalisador	Suporte	Áreas Metálica (m ² /gcat)	Dispersão (%)	Tamanho médio das partículas metálicas (Å)
0,10% Pt	Al-0184T	0,071	28,7	34,8
0,10% Pt	Al-3982T	0,074	30,0*	33,3
0,10% Pt	Al-4183T	0,074	30,0*	33,3
0,05% Pt	Al-0184T	0,037	30,0	33,3
0,05% Pt	Al-3982T	0,037	30,0*	33,3
0,05% Pt	Al-4183T	0,037	30,0*	33,3
0,10% Ru	Al-0184T	0,023	6,2	161,3
0,10% Ru	Al-3982T	0,025	6,9	144,9
0,10% Ru	Al-4183T	0,030	8,1*	123,5
0,05% Ru	Al-0184T	0,015	8,1	123,5
0,05% Ru	Al-3982T	0,013	7,1	140,8
0,05% Ru	Al-4183T	0,015	8,1*	123,5
0,10% Ir	Al-0184T	0,115	47,8	20,9
0,10% Ir	Al-3982T	0,118	55,9*	20,1
0,10% Ir	Al-4183T	0,135	44,8	17,9
0,05% Ir	Al-0184T	0,054	44,8	22,3
0,05% Ir	Al-3982T	0,067	55,9	17,9
0,05% Ir	Al-4183T	0,067	55,9*	17,9

* estimado

EQUIPAMENTO E PROCEDIMENTO PARA OS TESTES DE CONVERSÃO

Um esquema da câmara de combustão, do queimador e da linha de amostragem com o conversor catalítico utilizados nos testes é mostrado na Figura 1. A câmara de combustão consistiu de um tubo de 295 cm de comprimento e 16 cm de diâmetro internos ligado a uma outra câmara na qual ar secundário foi fornecido por um compressor radial marca Ibram modelo CR-8. O ar primário foi fornecido por um compressor marca Schultz modelo MS-V-90. As taxas de alimentação de ar e etanol foram controladas com válvulas e medidas com rotâmetros.

Os gases de exaustão foram continuamente amostrados a 82 cm abaixo do plano de saída da câmara de combustão e conduzidos para analisadores contínuos de gases. As vazões de amostragem foram também medidas com rotâmetros. Os gases passavam pelo conversor catalítico ou por um "by pass" e eram secos antes da análise. Concentrações de oxigênio, monóxido de carbono e dióxido de carbono foram determinadas com um analisador tipo paramagnético marca Cussons modelo P 8334 para oxigênio e por um analisador tipo infravermelho marca Brumark modelo AR-8000 para monóxido e dióxido de carbono. Os dados foram coletados e armazenados em um sistema de dados HP modelo 3421A e processados em um microcomputador HP modelo 75C.

Um esquema do conversor catalítico usado nesse trabalho é mostrado na Figura 2. Como pode ser visto no desenho, o conversor foi mantido em um pequeno forno, em todos os experimentos, a 400°C para garantir que todas as conversões ocorressem à mesma temperatura (os gases foram sempre coletados a uma temperatura entre 350 e 380°C). Dois termopares tipo K monitoraram as temperaturas antes e depois do leito catalítico.

O conversor era carregado com 30 cm³ de catalisador para cada teste e aquecido no vácuo a 400°C antes do início do teste. O queimador era aceso e a razão ar/combustível ajustada até que a concentração de monóxido de carbono correspondesse aproximadamente à concentra

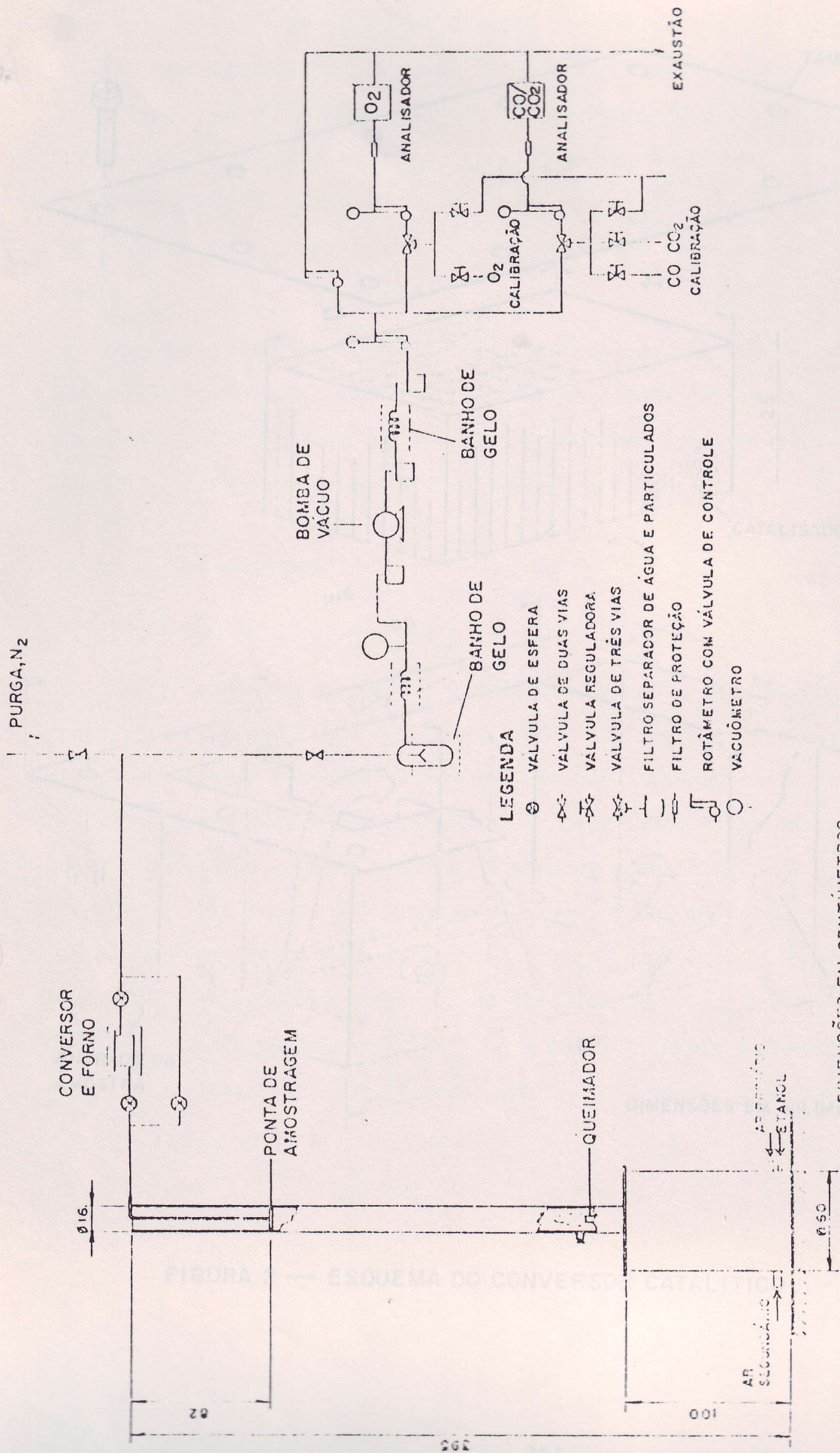


FIGURA I — ESQUEMA DO SISTEMA DE COMBUSTÃO E DA LINHA DE AMOSTRAGEM.

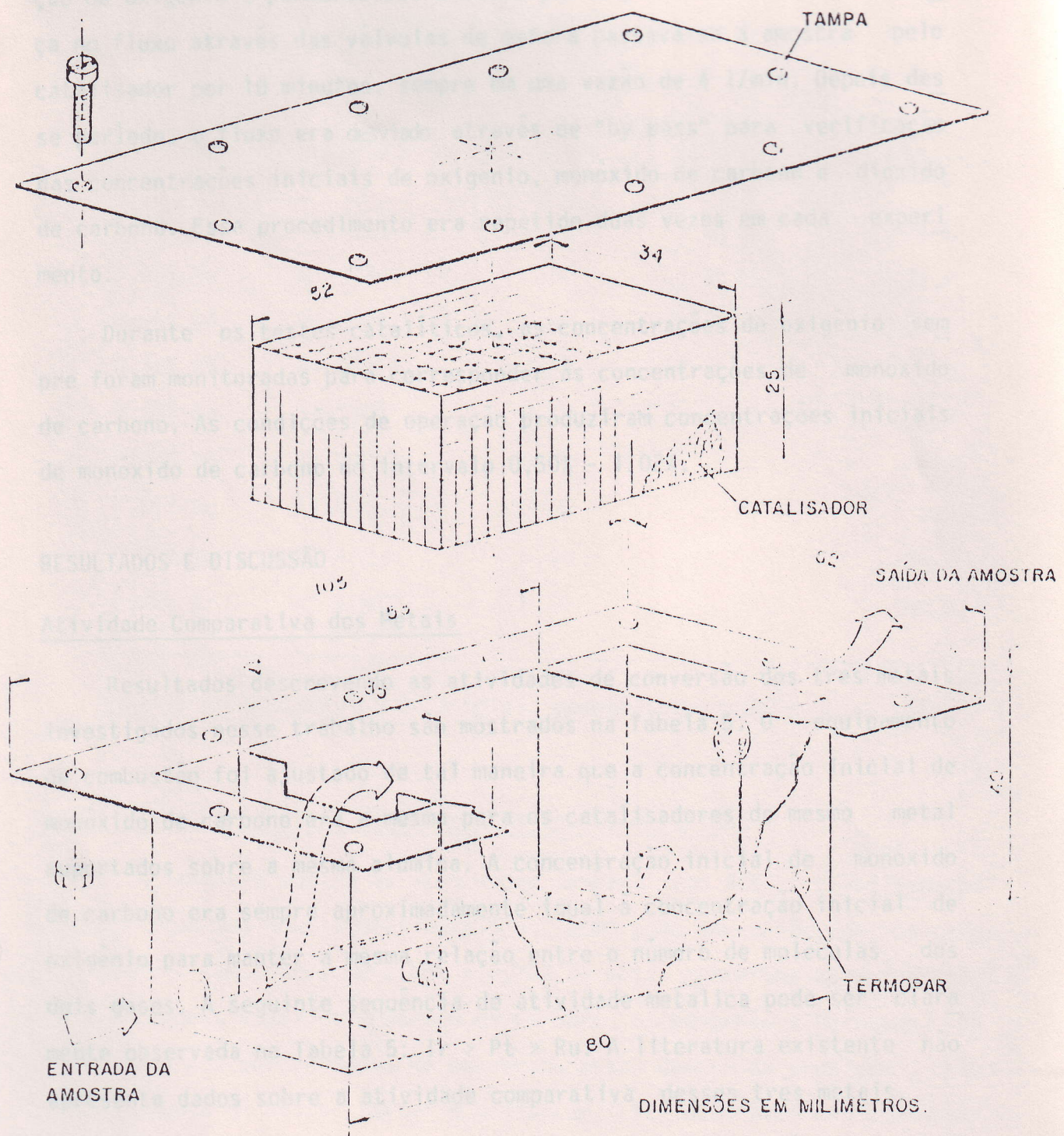


FIGURA 2 — ESQUEMA DO CONVERSOR CATALÍTICO.

ção de oxigênio e permanecesse a mesma por alguns minutos. Com a mudança no fluxo através das válvulas de esfera passava-se a amostra pelo catalisador por 10 minutos, sempre em uma vazão de 4 l/min. Depois desse período, o fluxo era desviado através de "by pass" para verificação das concentrações iniciais de oxigênio, monóxido de carbono e dióxido de carbono. Esse procedimento era repetido duas vezes em cada experimento.

Durante os testes catalíticos, as concentrações de oxigênio sempre foram monitoradas para corresponder às concentrações de monóxido de carbono. As condições de operação produziram concentrações iniciais de monóxido de carbono no intervalo 0,50% - 1,02%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atividade Comparativa dos Metais

Resultados descrevendo as atividades de conversão dos três metais investigados nesse trabalho são mostrados na Tabela 5. O equipamento de combustão foi ajustado de tal maneira que a concentração inicial de monóxido de carbono era a mesma para os catalisadores do mesmo metal suportados sobre a mesma alumina. A concentração inicial de monóxido de carbono era sempre aproximadamente igual à concentração inicial de oxigênio para manter a mesma relação entre o número de moléculas dos dois gases. A seguinte sequência de atividade metálica pode ser claramente observada na Tabela 5: Ir > Pt > Ru. A literatura existente não apresenta dados sobre a atividade comparativa desses três metais.

TABELA 5

ATIVIDADE COMPARATIVA DOS METAIS

Catalisados	Suporte	% CO inicial	% CO final	% de conversão
0,05% Pt	Al-0184T	0,66	0,16	75,8
0,05% Ru	Al-0184T	0,62	0,18	71,0
0,05% Ir	Al-0184T	0,69	0,12	82,6
0,10% Pt	Al-3982T	0,94	0,32	66,0
0,10% Ru	Al-3982T	0,84	0,32	61,9
0,10% Ir	Al-3982T	0,86	0,20	76,7
0,05% Pt	Al-4183T	0,66	0,18	72,7
0,05% Ru	Al-4183T	0,64	0,34	46,9
0,05% Ir	Al-4183T	0,60	0,06	90,0

Nota: % O₂ inicial = % CO inicial; temperatura = 400°C

Atividade Comparativa de Diferentes Teores Metálicos

A Tabela 6 mostra as atividades comparativas dos catalisadores em relação aos seus teores metálicos. Como pode ser observado, os catalisadores com teores de 0,05% e 0,10% de metal convertem aproximadamente as mesmas taxas de monóxido de carbono. As pequenas diferenças observadas nas percentagens de conversão estão dentro da precisão do equipamento de teste. Taylor e Schlatter [12] descrevem um conversor catalítico como sendo um sistema complexo o qual é caracterizado não somente por altos gradientes em temperatura e composição dos gases, mas também por variações na distribuição do metal ativo dentro do suporte de alumina. É também opinião deles que problemas de difusão podem afetar

tar a atividade de conversão. É difícil chegar a uma conclusão definitiva explicando a ocorrência das mesmas taxas de conversão para ambos os catalisadores com 0,05% e 0,10% de metal.

TABELA 6

ATIVIDADE COMPARATIVA DOS DIFERENTES TEORES METÁLICOS

Catalisados	Suporte	% CO inicial	% CO final	% conversão
0,10% Ir	Al-0184T	0,74	0,14	81,1
0,05% Ir	Al-0184T	0,74	0,12	83,8
0,10% Ru	Al-0184T	0,60	0,18	70,0
0,05% Ru	Al-0184T	0,62	0,18	71,0
0,10% Pt	Al-4183T	0,60	0,18	70,0
0,05% Pt	Al-4183T	0,66	0,18	72,7

Nota: % O₂ inicial = % CO inicial; temperatura = 400°C

Efeito Comparativo da Massa Específica da Alumina

A Tabela 7 mostra resultados que expressam o efeito da massa específica da alumina nas taxas de conversão de monóxido de carbono. Os catalisadores com suporte cuja massa específica era a mais elevada (1,0 g/cm³) foram mais eficientes. A explicação para isso é que os catalisadores cujo suporte tem maior massa específica possuem uma quantidade maior de metal ativo.

TABELA 7

EFEITO COMPARATIVO DAS ALUMINAS DE DIFERENTES MASSAS ESPECÍFICAS

Catalisador	Suporte	Massa específica do suporte (g/cm ³)	% CO inicial*	% Conversão
0,05% Pt	Al-0184T	1,0	0,74	75,0
0,10% Pt	Al-0184T	1,0	0,58	100,0
0,05% Ru	Al-0184T	1,0	0,64	71,0
0,10% Ru	Al-0184T	1,0	0,58	70,0
0,05% Pt	Al-3982T	0,75	0,74	68,0
0,05% Ru	Al-3982T	0,75	0,64	54,5
0,10% Pt	Al-4183T	0,48	0,58	70,0
0,05% Ru	Al-4183T	0,48	0,64	46,9
0,10% Ru	Al-4183T	0,48	0,58	45,6

Nota: % CO inicial = % O₂ inicial; temperatura = 400°C

* média

Atividade Comparativa dos Metais com Base na Velocidade de Rotação

A velocidade de rotação expressa o número de moléculas de CO convertidas a CO₂ por número de sítios por unidade de tempo. É um parâmetro que fornece uma comparação para catalisadores de diferentes massas específicas uma vez que o número de sítios é calculado a partir da área metálica total.

A Tabela 8 apresenta as velocidades de rotação para os catalisadores testados. Para os cálculos, a estequiometria de adsorção de hidrogênio no metal foi assumida como 2 para o irídio [11,13] e como 1 para a platina [14,15]. Seguindo observações relatadas na referência 16

para catalisadores de rutênio, a quantidade de hidrogênio quimissorvidado foi considerada como duas vezes o valor medido. Os resultados mostrados na tabela confirmam a sequência para as atividades dos metais investigados, i.e., Ir > Pt > Ru.

TABELA 8

VELOCIDADE DE ROTAÇÃO PARA A OXIDAÇÃO DE CO

Catalisador	Suporte	Velocidade de rotação *
0,05% Pt	Al-0184T	40,1
0,05% Ru	Al-0184T	31,3
0,05% Ir	Al-0184T	60,4
0,05% Pt	Al-3982T	43,2
0,05% Ru	Al-3982T	38,7
0,05% Ir	Al-3982T	59,0
0,05% Pt	Al-4183T	78,5
0,05% Ru	Al-4183T	47,3
0,05% Ir	Al-4183T	86,2
0,10% Pt	Al-0184T	22,5
0,10% Ru	Al-0184T	19,0
0,10% Ir	Al-0184T	26,6
0,10% Pt	Al-3982T	28,6
0,10% Ru	Al-3982T	26,4
0,10% Ir	Al-3982T	36,0
0,10% Pt	Al-4183T	30,4
0,10% Ru	Al-4183T	19,9
0,10% Ir	Al-4183T	45,6

* Número de moléculas de CO convertidas/sítio min.

CONCLUSÃO

Catalisadores com baixos teores de irídio, platina e rutênio foram preparados e testados na conversão de monóxido de carbono a dióxido de carbono em gases de combustão de etanol. Os principais resultados do estudo são sumarizados a seguir:

- a) irídio foi mais eficiente que platina, que por sua vez foi mais eficiente que rutênio na conversão de monóxido de carbono;
- b) catalisadores com teores de 0,05% e 0,10% do mesmo metal converteram aproximadamente as mesmas taxas de monóxido de carbono; e
- c) catalisadores suportados em aluminas com massa específica mais elevada foram mais efetivos.

Espera-se continuar a pesquisa na área com a aquisição de analisadores de NO_x e hidrocarbonetos e a investigação de parâmetros de escoamento no conversor e de vida útil dos catalisadores.

Com esse trabalho, o Laboratório Associado de Combustão e Propulsão do Instituto de Pesquisas Espaciais mostra a sua capacitação em assessorar a indústria para desenvolver conversores catalíticos apropriados ao caso brasileiro. O problema de poluição atmosférica é crítico e já existem determinações legais para resolvê-lo. O mercado, por sua vez, é extremamente atraente, uma vez que notícias recentes de jornais estimam que conversores catalíticos encarecerão o preço dos automóveis em 5%.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos aos Sr. David S. Cunha, Sr. Turíbio G. Soares Neto e Sr. Tertulino F. Lacerda pelo auxílio prestado na caracterização dos catalisadores, ao Sr. José C. Santos pelo auxílio prestado com a instrumentação, ao Sr. Marco A. Ferreira pelo auxílio prestado com a linha de amostragem e ao Sr. Heraldo S. Couto pelas discussões do assunto.

NOTA

O Dr. Gilberto Marques da Cruz, co-autor do trabalho, é consultor do Laboratório Associado de Combustão e Propulsão.

O presente trabalho é parte da dissertação de mestrado da Sra. Marivone N.S.C. Roma.

1. Schwann, H.: "A Brief History of Industrial Catalysis", *Catalysis: Science and Technology*, Anderson, J.R. and Boudart, M., ed., vol. 1, Springer-Verlag, 1981.
2. Kersch, H., Frischinger, F., and Koberstein, J.: "Automobile Exhaust Control", *Bilman's Encyclopedic of Industrial Chemistry*, Gerhartz, W., Yamamoto, Y.S., Campbell, F.T., Pfefferkorn, H., and Rousselle, J.F., ed., vol. A1, VII, 1985.
3. Schwann, H.: "Automobile Catalytic Converters", *Catalysis: Science and Technology*, Anderson, J.R. and Boudart, M., ed., vol. 1, Springer-Verlag, 1981.
4. Yarrington, R.H., and Dambrick, W.C.: "Deactivation of Automobile Exhaust Control Catalyst", *Journal of the Air Pollution Control Association*, vol. 20, number 6, pp. 398-401, 1970.
5. Taylor, K.C.: "Automobile Catalytic Converters", *Catalysis: Science and Technology*, Anderson, J.R. and Boudart, M., ed., vol. 1, Springer-Verlag, 1981.
6. Delépine, H.: "Emploi de Tétrachlorure de Carbone pour la Chloruration de Quelques Métaux de la Famille du Platine", *Bull. Soc. Chim. Fr.*, number 1, pp. 282-283, 1956.
7. Cruz, G.H., Cunha, D.S., Rodrigues, J.A.J., and Freitas, A.G.: "Correlation between Metal Content and Types of Sites in Ir/Al₂O₃ Catalysts", in print, *Catalysis Today*, 1989.
8. Gruber, H.L.: "The Platinum Metals", *Handbook of Preparative Inorganic Chemistry*, Brauer, G., ed., vol. 11, pp. 1560-1605, 1963.

REFERÊNCIAS

1. Heinemann, H.: "A Brief History of Industrial Catalysis", Catalysis-Science and Technology, Anderson, J.R. and Boudart, M., ed., vol. 1, Springer-Verlag, 1981.
2. Briggs, W.S.: "Catalysis and the Automobile - 25 Years Later", Applied Industrial Catalysis, Leach, B.E., ed., vol. 3, Academic Press, 1984.
3. Lepperhoff, G., Pischinger, F., and Koberstein, F.: "Automobile Exhaust Control", Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Gerhartz, W., Yamamoto, Y.S., Campbell, F.T., Pfefferkorn, R., and Rousanville, J.F., ed., vol. A3, VCH, 1985.
4. Bond, G.C.: "Heterogeneous Catalysis - Principles and Applications", Chapter II, Oxford Chemistry Series, 1974.
5. Schlatter, J.C. and Taylor, K.C.: "Platinum and Palladium Addition to Supported Rhodium Catalysts for Automotive Emission Control", Journal of Catalysis, vol. 49, pp. 42-50, 1977.
6. Yarrington, R.M. and Bambrick, W.E.: "Deactivation of Automobile Exhaust Control Catalyst", Journal of the Air Pollution Control Association, vol. 20, number 6, pp. 398-401, 1970.
7. Taylor, K.C.: "Automobile Catalytic Converters", Catalysis - Science and Technology, Anderson, J.R. and Boudart, M., ed., vol. 5, Springer-Verlag, 1984.
8. Delépine, M.: "Emploi de Tétrachlorure de Carbone pour la Chloruration de Quelques Métaux de la Famille du Platine", Bull. Soc. Chim. Fr., number 1, pp. 282-283, 1956.
9. Cruz, G.M., Cunha, D.S., Rodrigues, J.A.J., and Freitas, A.G.: "Correlation between Metal Content and Types of Sites in Ir/Al₂O₃ Catalysts", in print, Catalysis Today, 1989.
10. Gruber, H.L.: "The Platinum Metals", Handbook of Preparative Inorganic Chemistry, Brauer, G., ed., vol. II, pp. 1560-1605, 1963.

11. McVicker, G.B., Baker, R.T.K., Garten, R.L., and Kugler, E.L.: "Chemisorption Properties of Iridium on Alumina Catalysts", *Journal of Catalysis*, vol. 65, pp. 207-220, 1980.
12. Taylor, K.C. and Schlatter, J.C.: "Selective Reduction of Nitric Oxide over Noble Metals", *Journal of Catalysis*, vol. 63, pp. 53-71, 1980.
13. Krishnamurthy, S., Landolt, G.R. and Schoennagel, H.J.: "The Stoichiometry of Hydrogen and CO Chemisorption on Ir/ γ -Al₂O₃", *Journal of Catalysis*, vol. 78, pp. 319-326, 1982.
14. Renouprez, A., Hoang-Van, C., and Compagnon, P.A.: "Supported Platinum Catalysts - Small Angle X-Ray Scattering and Chemisorption", *Journal of Catalysis*, vol. 34, pp. 411-422, 1974.
15. Apostoquia, C.R., Garelto, T.F., and Borgna, A.: "On the Surface-Aided Metal-Support Interaction in Pt/Al₂O₃-Cl Catalysts", *Journal of Catalysis*, vol. 106, pp. 73-84, 1987.
16. Lu, K. and Talarчук, B.J.: "Activated Chemisorption of Hydrogen on Supported Ruthenium-III. Effects of Crystallite Size and Adsorbed Chlorine on Accurate Surface Area Measurements", *Journal of Catalysis*, vol. 106, pp. 176-187, 1987.

GILBERTO MARQUES DA CRUZ
Seção de Química
Instituto Militar de Engenharia
Praça General Tibúrcio, 80
22290 - Rio de Janeiro, RJ