Redes de Petri aplicadas na análise de sistema de vácuo utilizado no processo de fabricação de Propelentes Sólidos

Francisco Carlos Parquet Bizarria ^{1,2}	José Walter Parquet Bizarria ²	Alexandre Pereira Rangel ¹	João Maurício Rosário ³
fcpb@iae.cta.br	jwpbiz@gmail.com	rangel.a@iae.cta.br	rosario@fem.unicamp.br
1 Instituto de Aeronáutica e	Espaço (IAE), Divisão de E	Eletrônica (AEL) – São Jos	é dos Campos, SP, Brasil
2 Universidade de Tauba	té (UNITAU), Departament	to de Engenharia Mecânica	a - Taubaté, SP, Brasil
3 Universidade de Campi	nas (UNICAMP), Departam	ento de Projeto Mecânico	- Campinas, SP, Brasil

RESUMO

Na fabricação dos motores utilizados nos Foguetes de Sondagens que são desenvolvidos atualmente pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço, é empregado um misturador planetário para homogeneizar a mistura das matérias-primas formadoras do propelente sólido. Durante a realização dessa homogeneização, um sistema de vácuo é utilizado para: impedir a formação de bolhas de ar na mistura processada, retirar a umidade e os gases desprendidos na reação. Os componentes desse sistema são configurados com dupla redundância para estabelecer grau de segurança apropriado para a operação em questão. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma proposta de modelo para esse sistema de vácuo, por meio das Redes de Petri. Nesse modelo foram realizadas simulações para avaliar as propriedades das Redes de Petri. Os resultados obtidos nessas simulações mostram que o modelo proposto é capaz de representar os principais estados alcançados pelo sistema de vácuo durante a sua operação e em função disso podem ser sugeridas alterações que priorizam a segurança na utilização desse sistema.

Palavras-Chave: Propelente Sólido. Sistema de Vácuo. Redes de Petri.

1. INTRODUÇÃO

No processo de fabricação dos motores utilizados nos Foguetes de Sondagens e no Veículo Lançador de Satélites (VLS), que são desenvolvidos atualmente pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), é empregado um Misturador Planetário que tem como principal tarefa homogeneizar a mistura das matérias-primas formadoras do propelente sólido, sob condições controladas de temperatura e pressão, PALMÉRIO (2002). Durante uma grande parte do período de tempo no qual é realizado esse processo de homogeneização, é necessário que um sistema dedicado de vácuo seja utilizado com o objetivo de executar tarefas relacionadas com: i) a retirada de umidade dos elementos homogeneizaçãos, ii) a remoção de gases desprendidos na reação e iii) o impedimento de formação de bolhas de ar na mistura processada. Decorrente da importância dessas tarefas para o êxito do aludido processo, os componentes que formam o sistema de vácuo são configurados com dupla redundância para estabelecer grau de confiabilidade e segurança apropriado para o conjunto em questão. Uma vista desse sistema de vácuo é mostrada na Figura 1.



Figura 1. Vista do Sistema de Vácuo.

O diagrama analítico contendo os principais componentes considerados no sistema de vácuo que atende o processo de fabricação de propelentes sólidos é apresentado na Figura 2.



Figura 2. Diagrama analítico do Sistema de Vácuo.

No diagrama analítico apresentado nessa figura, as configurações do circuito de vácuo são estabelecidas pelos seguintes equipamentos: Bombas de Vácuo (M02 e M03), Solenóides 2" (V02, V03, V08 e V09), Solenóides de ³/₄" (V04, V05, V06, V07, V10, V11, V12 e V13), Solenóides de Admissão de Ar (V15 e V16) e Solenóides de Alívio de Vácuo (V14 e V22).

Em condição de regime nominal de operação o circuito de vácuo é obtido com o estabelecimento dos seguintes estados para os mencionados equipamentos: i) M02 e M03 ligadas, ii) V15 e V16 fechadas, iii) V04, V05, V06, V07, V10, V11, V12 e V13 abertas e iv) V02, V03, V08 e V09 abertas.

Na operação desse subsistema são executadas várias seqüências de atuações que devem atender os requisitos de operação e segurança compatíveis com aplicação em questão. A arquitetura adotada para efetuar o gerenciamento dessas e de outras seqüências de atuações que são necessárias ao processo é apresentada na Figura 3.



Figura 3. Arquitetura do Sistema de Vácuo.

Nessa figura a função do bloco denominador por Controle pode ser desempenhada por Controlador Lógico Programável, MIYAGI (1996). Nesse controlador está prevista a instalação de programa que efetuará a gerência de atividades na arquitetura proposta, ROSÁRIO (2005), em função das características físicas exigidas pelo propelente a ser processado.

As saídas desse controlador são conectadas na Unidade de Comutação para permitir que o corpo técnico efetue o acionamento dos equipamentos, pertencentes ao sistema, no local do processo, com a principal finalidade de efetuar a sua manutenção. Na realização dessa ação, esse corpo técnico deve acionar botões e supervisionar estados diretamente no Painel Local.

Na Interface Homem-Máquina (IHM), instalada no computador hospedeiro (CH), está prevista uma função específica para o supervisor do sistema iniciar as seqüências de operações desejadas, em conformidade com os parâmetros definidos para cada processo, SILVEIRA (2002), além de realizar o registro de valores de vácuo alcançados durante o processamento do propelente sólido. Essa interface se comunica com o Controlador Lógico Programável (CLP) por meio físico dedicado e adequado para esse fim, ou seja, com a previsão de separação galvânica.

Nesse contexto, este trabalho apresenta uma proposta de modelo que retrata o atual modo de operação do mencionado Sistema de Vácuo, por meio das Redes de Petri, CARDOSO (1997). Nesse modelo são realizadas simulações, com a meta de identificar as propriedades da Rede de Petri relacionadas principalmente com a conservação, a vivacidade e os conflitos do tipo confusão e mortal, DE MORAES (2001).

2. OBJETIVO DO TRABALHO

Esse trabalho tem como principal objetivo propor um modelo, por meio das Redes de Petri, para o Sistema de Vácuo que é utilizado no processo de fabricação de Propelentes Sólidos e, apresentar os resultados mais expressivos que foram obtidos em simulações computacionais efetuadas com esse modelo, as quais estão relacionadas com as propriedades de conservação, vivacidade e conflitos do tipo confusão e mortal.

3. MODELO DO SISTEMA

No modelo proposto na Figura 4 estão representados os principais estados alcançados pelo sistema de vácuo utilizado no processo de fabricação de propelentes sólidos, por meio das Redes de Petri.

Na construção dessas redes foi utilizado o procedimento de agrupamento e considerando os componentes previstos na arquitetura apresentada na Figura 3. Nesse modelo é mostrado, de maneira distinta, as Redes de Petri, de baixo nível, elaboradas para: 1) Controlador Lógico Programável (CLP), 2) Painel Local, 3) Admissão de Ar, Motor-Bomba, Solenóide ³/₄", Solenóide 2", Alívio de Vácuo e estado operacional do Sistema de Vácuo e 4) Seletoras para comutação de operação Remoto ou Local, como pode ser observado na Figura 4.

Esse modo de realizar a modelagem para o sistema em questão tem como principal objetivo permitir a observação do comportamento operacional das partes envolvidas nesse processo, durante a realização da simulação do programa de gerenciamento do sistema.



Figura 4. Modelos por Redes de Petri para o Sistema de Vácuo.

A distribuição de posições, transições, arcos e quantidade de fichas, mostrada na Figura 4, tem por meta estabelecer a condição inicial para operação do sistema de vácuo. Os possíveis estados operacionais que podem ser alcançados pelos atuadores e sensores desse sistema, durante a execução do programa que gerência a seqüência de operações, são representados nessa figura por posições distintas.

No modelo do CLP, mostrado na Figura 4, está previsto posições especificas para representarem as entradas (I.1, I.2, ... e I.9) e saídas (O.1, O.2, ... e O.12) que efetuam as conexões com os modelos representativos para: Painel Local, Admissão de Ar, Motor-Bomba, Solenóide ³/₄", Solenóide 2", Alívio de Vácuo, indicação de estado operacional do Sistema de Vácuo e Seletoras para comutação de operação Remoto ou Local, que são previstos na planta do sistema de vácuo.

A representação ampliada dos elementos previstos para a Rede de Petri que retrata Controlador Lógico Programável (CLP), pertencente à mencionada arquitetura, é apresentada na Figura 5.



Figura 5. Modelo por Redes de Petri do CLP.

Os arcos, as posições, as transições e as fichas contidas no modelo elaborado para o CLP estão organizados de modo que essa rede seja capaz de representar estados relacionados com a execução da seqüência de passos prevista no fluxograma analítico que representa as ações de gerenciamento do sistema de vácuo, o qual é apresentado na Figura 6.



Figura 6. Fluxograma analítico de gerenciamento do sistema.

Na execução da seqüência apresentada nessa figura é habilitada a mudança de estado dos modelos elaborados para os atuadores previstos no sistema de vácuo. Como conseqüência dessa habilitação, os modelos desses atuadores mudam de estado definindo o circuito de vácuo que é necessário ao processo.

A operação do sistema de vácuo pode ser realizada de dois modos. No primeiro modo, o qual é denominado REMOTO, o acionamento da Admissão de Ar, Motor-Bomba, Solenóide ³/₄", Solenóide 2" e Alívio de Vácuo, em função da operação desejada para o sistema, é realizado automaticamente e a distância pelo CLP. Esse modo de operação é utilizado em condições normais de funcionamento do sistema, com o propósito de privilegiar a segurança de todos os funcionários durante a realização do processo.

No segundo, denominado LOCAL, o acionamento dos equipamentos pertencentes ao sistema de vácuo é efetuado manualmente pelo corpo técnico, o qual executa comandos diretamente no Painel Local de acionamento. Esse modo de operação é utilizado na hipótese de ocorrer não-conformidades (NC) na operação do CLP ou para efetuar a manutenção desse sistema.

A Figura 7 mostra a representação ampliada da Rede de Petri elaborada para representar as seletoras que efetuam a comutação de operação remota para local e vice-versa.



Figura 7. Modelo da comutadora Remoto ou Local.

A representação ampliada dos principais estados alcançados pelos equipamentos previstos na planta do sistema de vácuo, por meio das Redes de Petri, é mostrada na Figura 8. Nessa figura a Admissão de Ar pode alcançar o estado Aberto ou Fechado, o Motor-Bomba, o Solenóide ³/₄", o Solenóide 2" e o Alívio de Vácuo podem alcançar o estado Ligado ou Desligado.



Figura 8. Modelo dos equipamentos do Sistema de Vácuo.

A ampliação da Rede de Petri elaborada para representar o Painel Local que é utilizado pelo corpo técnico para efetuar os acionamentos dos equipamentos do sistema de vácuo durante a realização da manutenção está representado na Figura 9.



Figura 9. Modelo do Painel Local.

Nessa rede, o acionamento manual da Admissão de Ar, do Motor-Bomba, do Solenóide ³/₄", do Solenóide 2" e do Alívio de Vácuo é alcançado pela habilitação da posição denominada por ON e o desligamento por meio da posição OFF. Cabe mencionar que essa habilitação pode ocorrer de maneira seqüencial ou paralela.

4. SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE PROPRIEDADES

A simulação computacional do modelo proposto, neste trabalho, para retratar o aludido sistema de vácuo, por meio das Redes de Petri, foi realizada explorando todos os estados previstos nas redes, incluindo aqueles contidos no fluxograma analítico apresentado na Figura 6, diversas vezes, com a utilização do *software* VISUAL OBJECT NET (2007).

O conflito do tipo confusão pode ser identificado, por exemplo, quando existir uma única ficha dentro de uma posição e essa possuir duas saídas para transições distintas e habilitadas, ou seja, quando isso ocorrer, o sistema de controle pode tomar decisão de trajetória inadequada e essa ação poderá promover seqüência indesejada de operações. Nesse contexto, durante a realização das simulações, previstas neste trabalho, foram observados conflitos do tipo confusão. Esses foram solucionados com a inserção de restrições nas habilitações das transições envolvidas com o mencionado conflito.

O conflito do tipo mortal pode ser identificado quando ocorre travamento de sistema, ou seja, a execução é paralisada interrompendo a sequência desejada de operação. O conflito do tipo mortal não foi observado nas simulações realizadas com modelo apresentado na Figura 4.

A vivacidade é a propriedade que informa se há posições não atingidas ou transições não disparadas durante as execuções das redes. Na simulação do modelo apresentado na Figura 4 todas as posições e transições foram respectivamente atingidas e disparadas.

A conservação é a propriedade na qual é considerado se a soma total das fichas permanece constante na execução da rede, nesse caso a mesma é dita conservativa. Na simulação do modelo apresentado na Figura 4 as quantidades de fichas permaneceram constantes na execução completa da rede.

5. CONCLUSÕES

A forma adotada para efetuar a modelagem do sistema, utilizando as Redes de Petri, foi capaz de explicitar detalhadamente a operação do Controlador Lógico Programável, do Painel Local, da Admissão de Ar, do Motor-Bomba, do Solenóide ³/₄", do Solenóide 2", do Alívio de Vácuo, das Seletoras para comutação de operação Remoto ou Local e das fases previstas no programa de gerenciamento de operação, os quais são elementos previstos na arquitetura do sistema de vácuo estudado. Essa característica permitiu a realização de análise operacional individualizada de cada parte que constitui esse sistema, o que facilita a identificação e o saneamento de possíveis não-conformidades que venham acometer o mesmo.

Das propriedades avaliadas na rede modelada, somente o conflito do tipo confusão foi identificado na simulação do sistema como situação com potencial para causar conseqüência indesejada, sendo que a solução para o mesmo foi obtida com a inserção de restrições nas habilitações das transições envolvidas com o mencionado conflito.

6. REFERÊNCIAS

PALMÉRIO, A. F., Introdução à Engenharia de Foguetes, Apostila de Curso realizado no Instituto de Aeronáutica e Espaço, Brasil, 2002.

MIYAGI, P.E., Controle Programável – Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos, Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, Brasil, 1996.

ROSÁRIO, J. M., Princípios de Mecatrônica, Editora Person Prentice Hall, São Paulo, Brasil, 2005.

SILVEIRA, P. R. Automação e Controle Discreto, 4ª Edição - Érica, São Paulo, Brasil, 2002.

CARDOSO, J., VALETTE, R., Redes de Petri, Editora da UFSC, Santa Catarina, Brasil, 1997.

DE MORAES, C. C., CASTRUCCI, P. L., Engenharia de Automação Industrial, Ltc, Rio de Janeiro, Brasil, 2001.

VISUAL OBJECT NET. Disponível em: http://www.systemtechnik.tu-ilmenau.de/~drath/visual_e.htm>. Acesso em 10/04/2007.