

Modelagem e Análise de um Sistema de Manufatura Utilizando Redes de Petri

Álvaro Neuenfeldt Júnior, alvjr2002@yahoo.com.br¹

Leandro Costa de Oliveira, leandro@inf.ufsm.br¹

¹Depto. Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, UFSM, Santa Maria – RS, 97105-900

Resumo: *Este trabalho apresenta como foco principal a modelagem e a análise de um sistema de manufatura, utilizando-se para tal uma técnica chamada de Redes de Petri, criada em 1962 por Carl Adams Petri e difundida mundialmente devido à sua flexibilidade de uso, facilidade de adaptação, simulação e análise dos resultados obtidos. Por meio desse trabalho, procurou-se implementar o uso dessa ferramenta em um subsistema específico, objeto dos estudos e análises, de tal forma a otimizar o fluxo de produção e/ou reduzir possíveis gargalos que interfiram no rendimento global da célula de usinagem CNC da empresa IDEMA Indústria, Comércio e Engenharia Ltda., propondo, assim, possíveis soluções práticas de melhoria entre os processos realizados no sistema.*

Palavras-chave: *Sistemas de Manufatura, Redes de Petri, Sistemas a Eventos Discretos*

1. INTRODUÇÃO

Devido à atual demanda de mercado existente na área metal-mecânica, juntamente com o crescimento acentuado de tecnologias e procedimentos adotados na indústria, a aplicação de ferramentas como a Rede de Petri torna-se cada vez mais fundamental, na relação entre produção e vendas, onde a entrega do produto com qualidade e agilidade para o cliente é o foco principal e primordial das empresas que se sustentam no mercado.

Para tal situação, a detecção de erros ou rotinas/sub-rotinas executadas de forma precipitada dentro da indústria é fundamental para o enxugamento do tempo onerado na produção. Gargalos dentro dos processos de produção devem, cada vez mais, serem minimizados, obviamente, a extinção destes é impossível, pois, segundo a Teoria das Restrições desenvolvida por (Goldratt, 1984), sempre haverá uma restrição a ser otimizada.

Para este trabalho, tem-se um sistema de manufatura flexível, ou seja, um sistema que possui diversas maneiras de se produzir, com uma carta de produtos muito grande e existindo diversas máquinas concorrentes que podem realizar essas operações na produção, tornando a modelagem deste tipo de produção mais complexa do que a de um sistema linear de produção. Portanto, Rede de Petri torna-se ideal para o tipo de caso a ser trabalhado, pois esta permite a alocação de diversas variáveis e a análise da concorrência destas no sistema modelado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Rede de Petri

Criada por Carl Adams Petri, no ano de 1962 em sua tese de doutorado, a Rede de Petri nada mais é do que de uma técnica de modelagem matemática e gráfica de um sistema, visando o detalhamento deste e possibilitando, para tal, representações importantes para a realização de diversos estudos sobre a área ou o sistema desejado, podendo assim, verificar as propriedades e possíveis conflitos que prejudiquem o fluxo correto do sistema. A Rede de Petri é uma técnica fundamental e extremamente efetiva para a modelagem de sistemas. A sua base teórica permite o desenvolvimento de poderosas técnicas e ferramentas de análise e síntese de estratégias de controle. (Miyagi, 1996).

Com base em Hasegawa (1996), temos como algumas das principais características e vantagens desta técnica:

- Identificam estados e ações com nível de detalhamento desejado, facilitando assim a sua monitoração;
- Associa elementos de mesmo significado numa mesma representação, ou segundo o propósito do modelo;
- Possui uma semântica formal e uma constituição teórica bem fundamentada e precisa que permite a sua aplicação de diversas formas e maneiras;
- Obtém-se a partir da ferramenta uma formulação gráfica que permite a documentação e o monitoramento do sistema, facilitando assim o acesso de várias pessoas ao seu conteúdo.

Uma Rede de Petri é formada de três elementos básicos: posições, transições e arcos. As posições são representadas por um círculo e definem o momento em que ocorre o processo requisitado. Podem ser definidas como um estado, ação ou procedimento realizado internamente no sistema, bem como para acúmulo ou alguma disponibilidade de recursos excedentes. Já as transições são representadas por um retângulo, que pode ser encontrado entre os lugares, e

determinam a evolução de tempo da execução de uma ação ou ocorrência para um evento ou acontecimento. Os arcos: servem como conexão entre os lugares e as transições, possuindo pesos (capacidade) conforme o fluxo predeterminado.

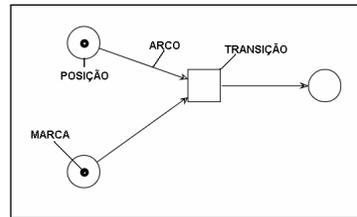


Figura 1-Demonstração das nomenclaturas utilizadas em Redes de Petri

2.2 Sistema de Manufatura

Com base em Gaither (2001), um sistema de manufatura é um conjunto de processos de produção de bens de consumo, em série padronizada, que utiliza máquinas, adotando a divisão de trabalho onde cada operador realiza uma porção do trabalho total da empresa. Para o processo de fabricação, a empresa possui vários tipos de relação para a produção, ou seja, cada lote de produtos possui o seu próprio fluxo de produção conforme os processos necessários para a sua fabricação. Para tal, pode-se definir este sistema como um sistema flexível de produção e um dos principais fluxos de produtos é demonstrado na Figura 2.

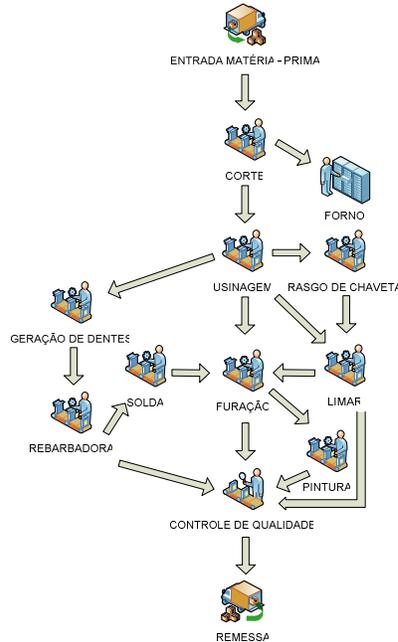


Figura 2-Fluxo básico do processo produtivo para o sistema de manufatura

2.3 Sistemas a Eventos Discretos

No estudo de um sistema de manufatura, é imprescindível a definição do modo em que a interação entre os processos ocorrem, ou seja, de que forma se comportam as transições entre os procedimentos do sistema adotado. Este estudo é fundamental para a definição do tipo de Rede de Petri a ser utilizada. Analisando a lógica do sistema a ser modelado, conclui-se que a forma de sincronização da produção adapta-se melhor no grupo dos Sistemas Dinâmicos a Eventos Discretos (DEDS), pois, segundo Riascos (2004) estes são caracterizados por não possuírem uma evolução temporal contínua, ou seja, são sistemas não-lineares onde a transição entre processos ocorre de modo instantâneo.

Para tal sistema, o dinamismo entre os processos envolvidos é definido manualmente, conforme regras de processos definidas pelo homem, e é em relação, principalmente, entre duas variáveis: estado e o evento.

3. SIMULAÇÃO

A simulação do sistema modelado foi realizada através de um programa, de domínio público e gratuito, chamado **HPSim**, onde se encontra satisfatoriamente os fatores, variáveis e a dinâmica mínima necessárias para a realização de uma simulação, com obtenção de resultados numéricos e analíticos fundamentais para a realização de análises sobre o

subsistema. A interface do programa é de fácil manuseio, existindo dois marcadores, relativos aos movimentos que ocorrem dentro do sistema.

O número de dias determinados para a simulação do subsistema obedece a um mínimo capaz de refletir, da melhor forma possível, os acontecimentos normais de trabalho. Portanto foi definido um número total de dias igual a três, divididos cada em dois turnos de trabalho. A realização da simulação é feita de acordo com uma técnica de amostragem que compreende, para cada período determinado, um número de repetições definido arbitrariamente de cinco, para um mesmo subsistema, de acordo que os resultados finais obtidos sejam as médias destes resultados.

Como exemplos, tem-se os dados obtidos para a simulação do dia 2-turno, descritas abaixo.

Tabela 1-Exemplo da metodologia adotada na simulação da modelagem

TOMADAS DE TEMPO						
Dia	1	Turno	3			
Critério	Resultado das simulações					
	1	2	3	4	5	MÉDIA
Número de movimentações	3502	3572	3587	3473	3521	3531
Somatório dos tempos de processam. (ms)	544	533	540	536	536	537,8
Tempo total cronometrado (s)	35,9	36,3	36,5	35,4	35,7	35,96

Portanto, utilizando esta média para os três tipos de marcações existentes, obtêm-se os dados numéricos para cada período. Logo, através da simulação realizada através das condições acima se tem, para as redes modeladas, o seguinte levantamento de dados dos acontecimentos obtidos.

4. ANÁLISE

A análise dos resultados tem como visão sempre um melhor fluxo de produtos na fábrica, de tal forma a agilizar a produção e entrega dos pedidos de produtos para o cliente, aumentando-se assim a capacidade de produção da fábrica.

Para tal análise, foram selecionados quatro principais problemas encontrados na simulação, de forma que estes serão tratados através de estudos individualizados, onde o seu título é o resumo da proposta de alteração, para as redes modeladas.

4.1 Estudo 1: Agrupar máquinas para os mesmos tipos de usinagem realizados

- Modelagem original: Máquinas não dedicadas, ou seja, a escolha dos tornos a produzirem os lotes de peças é feito de forma aleatória e intuitiva.

- Proposta de alteração: A dedicação de máquinas para cada tipo de usinagem tem por finalidade principal a redução do tempo gasto para a produção de um lote de peças, de tal forma que o arranjo das máquinas seja feito de forma síncrona e organizada, avaliando as condições de trabalho e limitações de cada máquina.

- Dados obtidos: Através da modificação proposta, tem-se os seguintes resultados obtidos.

Tabela 2-Dados obtidos após o estudo 1

SIMULAÇÃO ESTUDO 1						
Dia de trabalho	1		2		3	
Turno de trabalho	1	3	1	3	1	2
Número de movimentações	5947	5456	5322	3868	4606	3302
Somatório dos tempos de processamento (ms)	789	723	682	539	428	407
Tempo total de cronometragem (s)	60,7	55,6	54,2	39,9	47,5	34,6

- Conclusão: Tem-se, através dos dados comparativos, que a utilização deste arranjo proporciona melhorias no fluxo da produção, para todos os períodos analisados.

Tabela 3-Relação percentual entre antes e depois do caso 1

PORCENTAGEM DE OTIMIZAÇÃO-ESTUDO 1						
CRITÉRIOS	1		2		3	
	1	3	1	3	1	2
Número de movimentações	1,53%	1,41%	1,335%	1,88%	1,05%	1,87%
Tempo total de cronometragem (s)	1,01%	0,98%	1,633%	1,48%	0,63%	0,29%

4.2 Estudo 2: Dedicar operadores especializados em relação à máquina e ao tipo de usinagem realizada

- Modelagem original: Operadores distribuídos de forma aleatória no subsistema modelada, de tal forma a não aproveitar a sua capacidade de trabalho no local e no momento certo.
- Proposta de alteração: Da mesma forma que as máquinas, os operadores alocados conforme a sua especialidade de trabalho.
- Dados obtidos: Conforme o proposto a modificação, temos a seguinte obtenção de dados.

Tabela 4-Dados obtidos após o estudo 2

SIMULAÇÃO ESTUDO 2						
Dia de trabalho	1		2		3	
Turno de trabalho	1	3	1	3	1	2
Número de movimentações	5558	5174	5068	3620	4267	3052
Somatório dos tempos de processamento (ms)	789	723	682	539	428	407
Tempo total de cronometragem (s)	57	52,7	51,5	37	46,1	31,6

- Conclusão: A utilização desta técnica é comprovadamente satisfatória para a otimização da célula de trabalho em todos os períodos, segundo as o gráfico comparativo abaixo.

Tabela 5-Relação percentual entre antes e depois do caso 2

PORCENTAGEM DE OTIMIZAÇÃO-ESTUDO 2						
CRITÉRIOS	1		2		3	
	1	3	1	3	1	2
Número de movimentações	7,96%	6,51%	6,044%	8,17%	8,34%	9,30%
Tempo total de cronometragem (s)	6,92%	6,23%	6,534%	8,64%	3,56%	8,93%

4.3 Estudo 3: Trabalhar com duas máquinas e dois operadores ao mesmo tempo para um processo de usinagem

- Modelagem original: O sistema modelado possui para a alocação dos produtos em cada máquina uma lógica singular, ou seja, um produto deve ser alocado em uma máquina para a realização do processo de usinagem.
- Proposta de alteração: Utilizar uma alocação dupla, ou seja, um produto sendo processado por duas máquinas simultaneamente, de tal forma que o lote de peças seja dividido em duas partes iguais (se possível).
- Dados obtidos: Esta alteração do fluxo proporcionou os seguintes resultados.

Tabela 6-Dados obtidos após o estudo 3

SIMULAÇÃO ESTUDO 3						
Dia de trabalho	1		2		3	
Turno de trabalho	1	3	1	3	1	2
Número de movimentações	6505	5928	5772	4195	4977	3550
Somatório dos tempos processamento (ms)	789	723	682	539	428	407
Tempo total de cronometragem (s)	66,47	60,81	59,06	43,33	51,15	36,79

- Conclusão: A análise comparativa comprovou que, ao utilizar a alocação dupla, obteve-se um tempo de usinagem maior para o período todo, ou seja, ao dispor-se duas máquinas ao mesmo tempo, o processamento de um lote ocorre mais rapidamente, porém, este acaba “roubando” tempo de processamento de outros lotes a serem produzidos no subsistema, o que acarretará em atrasos no fluxo de produção. Logo, a proposta definida não é satisfatória para a os períodos de trabalho determinados para a célula de usinagem CNC.

Tabela 7-Relação percentual entre antes e depois do caso 3

PORCENTAGEM DE OTIMIZAÇÃO-ESTUDO 3						
CRITÉRIOS	1		2		3	
	1	3	1	3	1	2
Número de movimentações	-7,72%	-7,12%	-7,01%	-6,43%	-6,91%	-5,49%
Tempo total de cronometragem (s)	-8,44%	-8,21%	-7,20%	-6,99%	-7,02%	-6,03%

4.4 Estudo 4: Alteração do fluxo de produção antes da ação ajuste de parâmetros da máquina

- Modelagem original: O fluxo ocorre de forma que, após a usinagem de cinco produtos, temos o ajuste das propriedades programáveis de cada máquina, de tal forma que este fluxo determinado é constante para todos os tornos CNC.

- Proposta de alteração: Para todos os grupos de máquinas, determinar uma alteração do fluxo de produtos, de tal forma que esta seja maior do que cinco, se adaptando da melhor maneira.

- Dados obtidos: Conforme a Tabela 9, tem-se os seguintes resultados.

Tabela 8-Dados obtidos após o estudo 4

SIMULAÇÃO ESTUDO 4						
Dia de trabalho	1		2		3	
Turno de trabalho	1	3	1	3	1	2
Número de movimentações	5640	5349	5324	3535	4391	3090
Somatório dos tempos de processamento (ms)	789	723	682	539	428	407
Tempo total de cronometragem (s)	55,6	54,4	54,2	36,5	45,4	29

- Conclusão: Normatizando-se os fluxos de produção para cada máquina, conforme o processo que esta está realizando, tem-se uma melhora considerável na usinagem dos lotes de peças em todos os períodos.

Tabela 9-Relação percentual entre antes e depois do caso 4

PORCENTAGEM DE OTIMIZAÇÃO-ESTUDO 4						
CRITÉRIOS	1		2		3	
	1	3	1	3	1	2
Número de movimentações	6,60%	3,34%	1,30%	10,32%	5,67%	8,17%
Tempo total de cronometragem (s)	9,31%	3,12%	1,63%	9,88%	5,01%	16,43%

5. REDE OTIMIZAÇÃO TOTAL

Através da junção dos três estudos que possibilitaram uma melhora no fluxo de produção do subsistema, em uma rede única, chamada de **Rede Otimização Total**, onde se obtém os seguintes resultados através das tabelas abaixo.

Tabela 10-Dados obtidos com a otimização total

SIMULAÇÃO APÓS OTIMIZAÇÃO						
Dia de trabalho	1		2		3	
Turno de trabalho	1	3	1	3	1	2
Número de movimentações	4956	4366	4498	3029	4197	2621
Somatório dos tempos de processamento (ms)	789	723	682	539	428	407
Tempo total de cronometragem (s)	50,8	56,2	46,8	31,3	43,7	27

Portanto tem-se, através do gráfico da Figura 3, uma relação dos valores obtidos através da Tabela 12 que une, através de médias aritméticas, os valores ótimos totais para cada estudo.

Tabela 11 – Dados relativos à média obtida para cada estudo

ESTUDO	DIA 1		DIA 2		DIA 3	
	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 1	TURNO 3	TURNO 1	TURNO 1
Após estudo 1	1,27%	1,20%	1,48%	1,68%	0,84%	1,08%
Após estudo 2	7,44%	6,37%	6,29%	8,41%	5,95%	9,12%
Após estudo 4	7,96%	3,23%	1,47%	10,10%	5,34%	12,30%
Otimização total	17,54%	20,81%	15,83%	22,94%	9,21%	22,15%

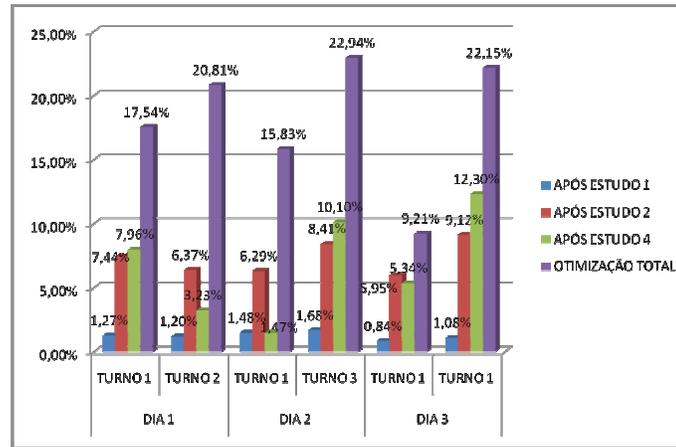


Figura 3 – Gráfico relativo aos resultados obtidos com a otimização

6. CONCLUSÃO

Quanto ao objetivo de análise do subsistema para a otimização dos processos internos, tem-se que a modelagem utilizando Rede de Petri mostra-se bastante eficiente, pois com esse método consegue-se desdobrar, modificar e simular possíveis soluções de melhoria para o sistema, sem a necessidade de se colocar em risco a produtividade deste com simulações reais.

Com isso, servem como sugestões de melhoria do fluxo de produção para a célula de usinagem CNC da empresa os estudos 1, 2 e 4 acima realizados e, ao contrário, a contra-indicação para a utilização do estudo 3, de acordo com todos os dados e conclusões obtidos anteriormente para cada estudo.

7. REFERÊNCIAS

- GAITHER, N. "Administração da Produção e Operações. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2001.
 GOLDRATT, E. M., COX, J. "The Goal: A Process of Ongoing Improvement", Nova Iorque: [s.n.], 1984.
 HASEGAWA, K., "Modeling, Control and Deadlock Avoidance of FMS", Conferências Plenárias da XI CBA, São Paulo, p. 37-51, 1989.
 MIYAGI, P. E. "Controle programável". 1.ed. São Paulo: Ed. Edgar Blucher, 1996.
 RIASCOS, L. A. M. "Metodologia para detecção e tratamento de falhas em sistemas de manufatura através de Redes de Petri", 160f. Tese (Doutor em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

MODELING AND ANALYSES OF A MANUFACTURING SYSTEM USING PETRI NETS

Álvaro Neuenfeldt Júnior, alvjr2002@yahoo.com.br¹
 Leandro Costa de Oliveira, leandro@inf.ufsm.br¹

¹ Depto. Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, UFSM, Santa Maria – RS, 97105-900, Brasil

Abstract. This present work as the main focus modeling and analysis of a manufacturing system, using for such a technique called Petri Networks, created in 1962 by Carl Adams Petri and broadcast worldwide because of its flexibility of use, ease of adjustment, simulation and analysis of the results. Through this work, it has striven to implement the use of this tool in a specific subsystem, object of studies and analyses, such as to optimize the flow of production and / or reduce potential bottlenecks that interfere in the performance of the CNC machining's cell, of company IDEMA Industry, Trade and Engineering Ltda., proposing thus possible practical solutions to improve between the processes carried out in the system.

Keywords: Manufacturing system, Petri networks, Discrete event system