

SISTEMA DE CONTROLE DE ALOCAÇÃO DE RECURSOS MULTIFUNCIONAIS PARA REGENERAR O SISTEMA PRODUTIVO

Ricardo Hideki Kubo, ricardo.hideki.kubo@gmail.com¹

Osvaldo Luis Asato, asato@ifsp.edu.br²

Givanildo Alves dos Santos, givanildo@ifsp.edu.br¹

Francisco Yastami Nakamoto, nakamoto@ifsp.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Rua Pedro Vicente, 625 – São Paulo/SP

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Avenida Mogi da Cruzes, 1501 – Suzano/SP.

Resumo: *Sistemas flexíveis de manufatura (SFM) executam simultaneamente múltiplos processos com rotas flexíveis de transporte realizadas por AGV (Automated Guided Vehicle). Portanto, o controle de tais sistemas não é trivial principalmente na ocorrência de imprevistos como, por exemplo, a quebra de uma determinada máquina no chão de fábrica. A contínua necessidade de melhoramentos dos processos e equipamentos, promove a evolução dos sistemas mecatrônicos. Neste sentido, foram desenvolvidas as máquinas ferramentas com duas ou mais funcionalidades, denominadas de Máquinas Ferramentas Multifuncionais (MFM). Desta forma, agrega-se aos SFM mais um nível de flexibilidade, a flexibilidade funcional. Entretanto, os atuais sistemas de controle para alocação de recursos ainda não estão efetivamente preparados para trabalhar com as MFMs em tempo real, isto é, atualmente a flexibilidade funcional das MFMs é considerada apenas durante a fase de planejamento da produção e encapsulada nesse nível de tomada de decisão. Após a etapa de planejamento, a MFM é vista como apenas mais uma máquina convencional, com uma única funcionalidade, não explorando a potencialidade deste nível de flexibilização no processo produtivo. Neste trabalho será apresentada uma metodologia de modelagem do sistema de controle que regenera o sistema produtivo diante de um evento não programado, por exemplo, a quebra de uma máquina, utilizando as múltiplas funcionalidades disponíveis nas MFMs e associada à flexibilidade de rotas para a realocação de recursos, mediante o emprego do sistema de AGVs. A arquitetura de controle para a alocação de recursos é modelada utilizando-se as redes de Petri.*

Palavras-chave: *Sistemas flexíveis de manufatura, regeneração, máquina ferramenta multifuncional, rede de Petri.*

1. INTRODUÇÃO

A competição das empresas pelo mercado consumidor demandam de sistemas que sejam capazes de regenerar o sistema produtivo (SP) diante de eventos não esperados, como por exemplo, a quebra de uma máquina. Neste trabalho, o sistema produtivo é definido como um sistema onde as atividades dos processos são executadas por meio da transformação da matéria-prima, que no final do processo resultará em um produto. Para que as atividades dos processos sejam executadas, no chão de fábrica estão disponíveis diversas máquinas-ferramentas, incluindo as Máquinas Ferramentas Multifuncionais (MFM) que são máquinas que possuem diferentes funcionalidades. A evolução das atividades dos processos ocorrem a partir da ocorrência de eventos, que podem provocar situações de conflito, concorrência e assincronismo e que devem ser controladas (Groover, 2011; Santos Filho, *et al.*, 2011).

A redução de custos nos processos de fabricação e a minimização de recursos ociosos no SP são elementos essenciais para as empresas manterem a vantagem competitiva e sua atuação no mercado (Yamazaki, 2016). Dessa forma, a evolução dos sistemas mecatrônicos proporcionou o desenvolvimento de máquinas que integram múltiplas tecnologias de fabricação em uma única máquina, agregando diversas funcionalidades como: fresamento, torneamento e furação (Moriwaki, 2008; ElMaraghy, *et al.*, 2012).

No entanto, diante da ocorrência de quebra de uma determinada máquina, ainda não são exploradas em tempo real as múltiplas funcionalidades contidas na MFM. Isto ocorre, porque após a definição da funcionalidade para a alocação da MFM realizada pelo planejamento, a MFM é tratada como uma máquina convencional, como se existisse uma única funcionalidade. Esta alocação determinística de recursos (abordagem estática) é derivada diretamente a partir do plano de produção, porque evidentemente não considera eventos anormais (He *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2010).

Para melhor compreensão do cenário onde o sistema convencional de alocação de recursos não explora as múltiplas funcionalidades contidas na MFM, a Fig. 1 descreve o SP contendo dois processos denominados P_A e P_B modelados através da rede de Petri (Murata, 1989). O processo P_A é composto pelas atividades A_1 , A_2 e A_3 e o processo P_B é composto pelas atividades B_1 e B_2 .

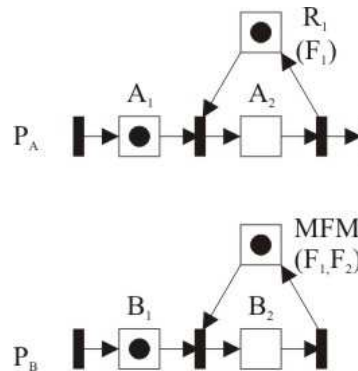


Figura 1. Representação em rede de Petri dos processos A e B.

O processo P_A possui o recurso R_1 com funcionalidade F_1 para a execução da atividade A_2 e o processo P_B possui o recurso MFM com as funcionalidades F_1 e F_2 , sendo utilizada a funcionalidade F_2 nesse caso. Na ocorrência de um evento não programado como a quebra do recurso R_1 , tem-se o risco do travamento do processo P_A pela indisponibilidade do recurso R_1 para a execução da atividade A_2 , mesmo sabendo que a funcionalidade F_1 está disponível no recurso MFM. Esse cenário ilustra a limitação da abordagem convencional, onde a alocação de recursos é baseada em uma sequência de tarefas previamente planejada (Asato *et al.*, 2011).

Devido à dificuldade de alocar os recursos que possuem múltiplas funcionalidades, em tempo real, a proposta do trabalho é desenvolver um método de modelagem do sistema de controle de alocação de recursos que considere o conceito de flexibilidade funcional para regenerar o sistema produtivo diante de um evento não esperado, como por exemplo, a quebra de máquina. Este método permite a exploração da flexibilidade funcional da MFM para a realocação de máquina e também definir o recurso de transporte (AGV) mais apropriado para realizar a atividade de transporte da peça que está sendo usinada a fim de regenerar o SFM. Com isso, a aplicação dessa nova abordagem no exemplo da Fig. 1, o sistema de controle de realocação de recursos deverá identificar que a atividade A_2 pode ser realizada na MFM de forma compartilhada, sem comprometer a execução do processo P_A . A Fig.2 ilustra o compartilhamento do recurso MFM entre os processos P_A e P_B .

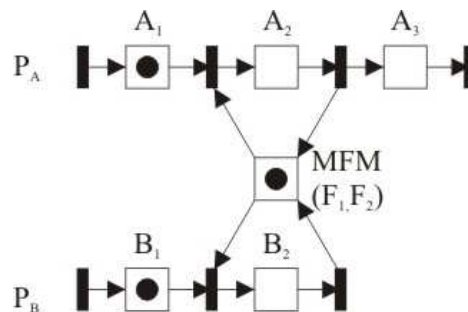


Figura 2. Representação dos processos compartilhando o recurso MFM.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Neste trabalho o comportamento dinâmico de um SP é classificado como um sistema a eventos discretos (SED), que são sistemas intensamente utilizados para descrever, analisar e controlar processos de um SP. Os processos executados no SP são constituídos por um conjunto finito de atividades sequenciais e pré-definidas que caracterizam o comportamento dinâmico que rege a evolução dos estados do sistema através da ocorrência de eventos (Nakamoto, *et al.*, 2008). Para a modelagem, análise e especificação do controle, será utilizada nesse trabalho a ferramenta de modelagem e controle E-MFG (*Enhanced - Mark Flow Graph*) que é uma extensão da rede de Petri.

2.1. Ferramenta de Modelagem e Controle E-MFG (*Enhanced Mark Flow Graph*)

A ferramenta de modelagem E-MFG inclui as marcas individuais e os elementos estruturais do MFG (*Mark Flow Graph*) (Takahashi, *et al.*, 1999) e permite a manipulação de marcas com atributos sem no entanto fugir do modelo de rede elementar convencional. Possui capacidade de modelar e controlar as alterações de informações das marcas e seleção das tarefas associadas aos *boxes* (Santos Filho *et al.*, 2011). O E-MFG é composto basicamente dos elementos estruturais do MFG, conforme apresentado na Fig. 3: i) transição, que representa a ocorrência dos eventos; ii) *box*, que representa a pré e pós-condição de eventos; iii) marca, que indica a manutenção de uma condição; iv) *box* controlador, que exerce a função de controlar o estado dos atributos de uma marca; v) arco orientado, que relaciona a conexão entre o *box* e a transição, ou seja, relação entre os eventos e as condições, vi) porta e transição inibidora, responsável por inibir a ocorrência de eventos e vii) porta e transição habilitadora, responsável por habilitar a ocorrência de eventos.

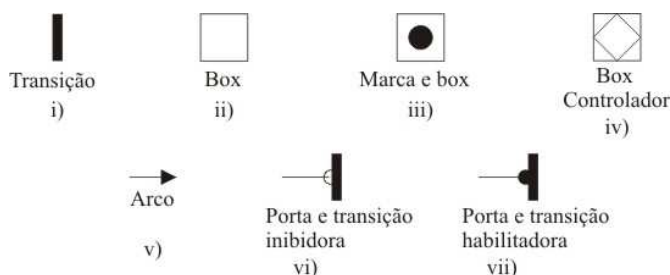


Figura 3. Elementos básicos do E-MFG.

As marcas individuais são acompanhadas de um vetor de atributos (garante a individualidade da marca) e que pode estar associada a diversas informações referentes ao produto, processo e ao controle. A manipulação dos atributos das marcas podem ser realizadas de duas formas, utilizando o método de atualização condicional ou a filtragem seletiva. O método de atualização condicional é baseado no conceito que o estado dos atributos podem ser atualizados de acordo com as funções de controle descritas por regras de produção e o método de filtragem seletiva é baseado na especificação dos atributos que podem ou não ser alterados na ocorrência de um evento.

A dinâmica das regras de disparo são divididas em três níveis hierárquicos estabelecidos por regras de decisão. O primeiro nível corresponde com as regras de restrições adicionais de disparo, o segundo nível corresponde com as regras de habilitação de disparo e o terceiro nível corresponde com as regras de realização de disparo que verificam as regras de arbitragem em situações que envolvam conflito e a verificação das regras de filtragem seletiva dos atributos.

2.2. Interface de recepção e transmissão E-MFG com comunicadores

A incorporação de elementos comunicadores na técnica de modelagem E-MFG ocorreu devido a necessidade de uma modelagem que viabilizasse a colaboração entre os sistemas (Matsusaki, 2006). A modelagem E-MFG com comunicadores, além de incluir os elementos da interface de transmissão e da interface de recepção, mantém a individualidade das marcas nos elementos estruturais do E-MFG (Santos Filho *et al.*, 2011). A interface de transmissão envia eventuais mensagens assíncronas quando o *box* a ela conectada estiver marcado. A interface de recepção recebe essa mensagem e dependendo da informação recebida, realiza a ativação ou desativação da transição (Matsusaki, 2006). A Fig.4 ilustra as interfaces de transmissão e recepção dos elementos comunicadores.

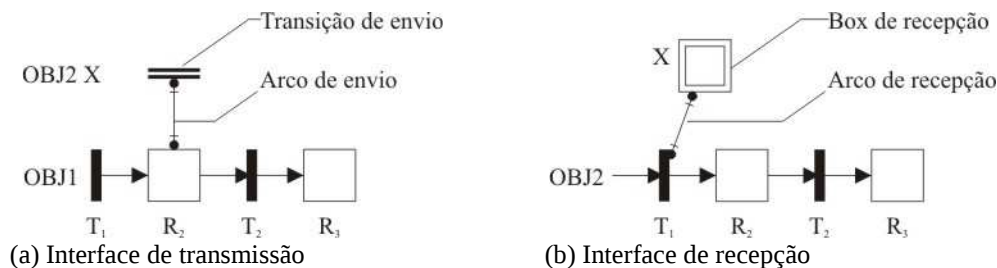


Figura 4. E-MFG com as interfaces de transmissão e recepção.

3. PROPOSTA DE ARQUITETURA

Inicialmente, as primeiras arquiteturas dos sistemas de controle de alocação de recursos possuíam um único módulo que era responsável pelo controle dos recursos e pelo sequenciamento das atividades dos processos (Miyagi, 1996). Dessa forma, nos SPs que possuíam o compartilhamento de recursos entre processos, ocorria à perda da estruturação do sistema e como consequência, a perda de controle do estado global do sistema. Diante dessa limitação, foi proposta a divisão do sistema de controle em dois níveis denominados de controle de processos (responsável pelo sequenciamento

das atividades dos processos e pela requisição dos recursos) e de controle de recursos (responsável pela utilização dos recursos entre as atividades de cada um dos processos). Com a evolução tecnológica dos sistemas mecatrônicos, foi possível o uso cada vez maior das MFMs e diante desta nova realidade, foi necessário desenvolver uma nova arquitetura para alocar os recursos em tempo de execução (Asato, 2015; Nakamoto, 2008) e baseado nesta arquitetura desenvolve-se este trabalho.

A proposta deste artigo é desenvolver um sistema de controle de alocação de recursos para regenerar o sistema produtivo diante da quebra de uma determinada máquina e designar o AGV mais apropriado com as rotas da atividade de transporte da peça entre os recursos. A Fig.5 ilustra a arquitetura proposta no artigo com base nos trabalhos de Asato (2015) para alocação de recurso multifuncional e no trabalho de Nakamoto (2008) para designar o AGV e realizar os cálculos das rotas.

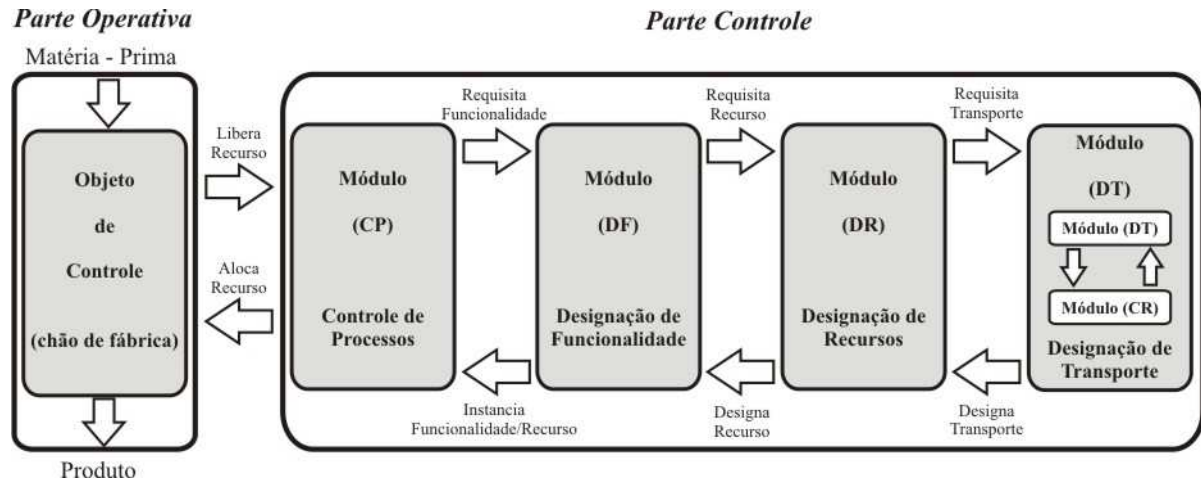


Figura 5. Arquitetura proposta no trabalho.

Descrição dos módulos da arquitetura proposta:

- **Módulo Controle de Processos (CP):** Responsável por realizar uma função de controle com a sequência de funcionalidades dos processos produtivos pertencentes ao SFM através de um grafo (derivado da rede de Petri). Por meio do grafo, é possível descrever a interface entre os recursos do chão de fábrica e os processos do SFM com as funcionalidades a serem executadas. Estabelece também a sequência das atividades a serem executadas por meio da alocação e liberação de recursos.
- **Módulo Designação de Funcionalidades (DF):** Responsável pela estruturação das funcionalidades de mesmo nome do SFM. A estruturação consiste no agrupamento das funcionalidades de mesmo nome e na conversão das sequências de produção em sequências de funcionalidades. Dessa forma, a alocação de recursos passa a ter referência na funcionalidade e não mais no recurso.
- **Módulo Designação de Recursos (DR):** Responsável pela execução de um algoritmo que resulte na designação do recurso mais adequado para substituir um recurso inoperante do SFM. Os critérios para a escolha do algoritmo são o tempo de resposta e a complexidade computacional.
- **Módulo Designação de Transporte (DT):** Responsável pela designação de transportadores (AGV) para a realização da atividade de transporte entre as estações de trabalho e a definição dos trajetos de transporte. O processo de transporte consiste em duas atividades, uma atividade de carregamento na origem (trajeto I) e outra atividade de descarregamento no destino (trajeto II). Os módulos de controle da Designação de Transporte são:
 - o Designação de Transportadores (DT_{AGV}): Responsável pela designação de transportadores para a realização de transporte de itens entre as estações de trabalho e definição do trajeto I;
 - o Cálculo de Rota (CR): Responsável pela definição do trajeto II dos transportadores.

A arquitetura do sistema de controle proposta neste artigo possibilita regenerar o SFM diante de um evento não programado como a quebra de uma máquina, utilizando as múltiplas funcionalidades disponíveis nas MFMs e realizar a realocação de recursos mediante o emprego do sistema de AGVs com flexibilidade de rotas.

3.1. Dinâmica de funcionamento

O sistema de controle de alocação de recursos obedece a programação estabelecida pelo planejamento de produção, mas na presença imprevista de algum recurso inoperante no chão de fábrica, o módulo CP irá requisitar um novo recurso ao módulo DF, que irá identificar a funcionalidade afetada do recurso e enviar essa informação ao módulo DR,

que irá executar um algoritmo para a escolha do recurso mais apropriado e enviar o resultado obtido ao módulo DT, que além de selecionar um transportador e fornecer as informações do processo de transporte, irá retornar o conjunto de informações ao módulo CP, que irá alocar o recurso no chão de fábrica, designar o transportador e fornecer informações a respeito do processo de transporte a ser executado. Uma vez concluída a utilização do recurso, ele ficará disponível para a próxima alocação.

3.2. Sistemática para síntese dos módulos de controle

Para melhor compreensão da síntese dos módulos de controle, será exemplificado dois processos denominados de processo P_A e P_B . O processo P_A é composto pelas atividades A_1 , A_2 e A_3 e o processo P_B é composto pelas atividades B_1 e B_2 .

Para a implementação dos módulos de controle da arquitetura, é necessário gerar 4 grafos: Grafo Sequência de Funcionalidades (GSF), Grafo Controle de Processos (GCP), Grafo Designação de Funcionalidades (GDF) e Grafo Designação de Transporte (GDT).

Para iniciar a especificação das funções de controle da alocação de recursos, é necessário gerar primeiramente a sequência de recursos fornecida pelo setor de planejamento e converter os recursos em funcionalidades, essa conversão é denominada como GSF. A partir do GSF derivam os grafos GDF, GDT e o GCP. A Fig.6 ilustra o procedimento para a síntese dos grafos do sistema de controle.

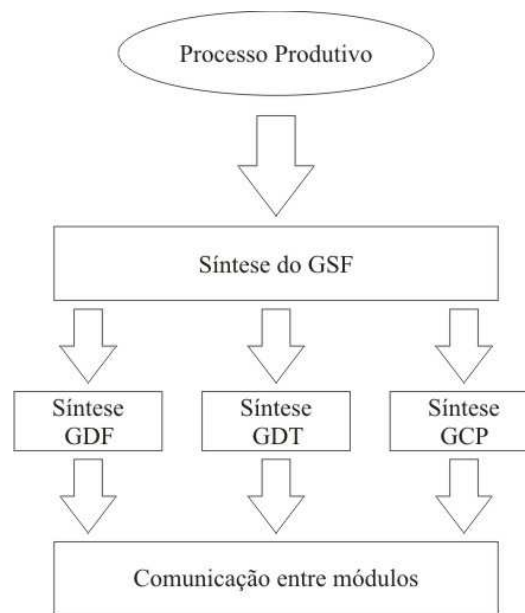


Figura 6. Procedimento para síntese dos grafos do sistema de controle.

A seguir são apresentadas as etapas para a implementação dos módulos de controle.

Etapas 1: Síntese do Grafo Sequência de Funcionalidade (GSF)

Através da sequência de recursos (*scheduling*) estabelecida pelo planejamento da produção, é obtido o grafo de sequência de funcionalidades (GSF). Na Fig. 7, apresenta-se um exemplo descrito por meio da ferramenta de modelagem E-MFG (*Enhanced-Mark Flow Graph*) de um processo com a sequência de recursos utilizados para a produção de um determinado produto. Onde i) IN, representa a entrada de matéria-prima; ii) A_i , representa o evento (transição) que indica o início de utilização do recurso R_i (sendo $i=1, \dots, n$); iii) R_i , representa a utilização do recurso R_i (sendo $i=1, \dots, n-1$) e iv) OUT, representa a saída do produto.

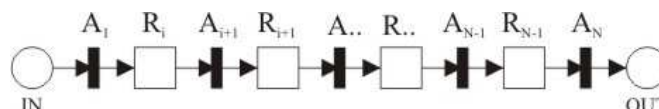


Figura 7. Exemplo de sequência de recursos para um processo.

Dessa forma, com a conversão do grafo de sequência de recursos onde cada recurso é convertido pela respectiva funcionalidade, é possível obter o grafo da sequência de funcionalidades (GSF). A Fig.8 ilustra a conversão da sequência de recursos em uma sequência de funcionalidades.

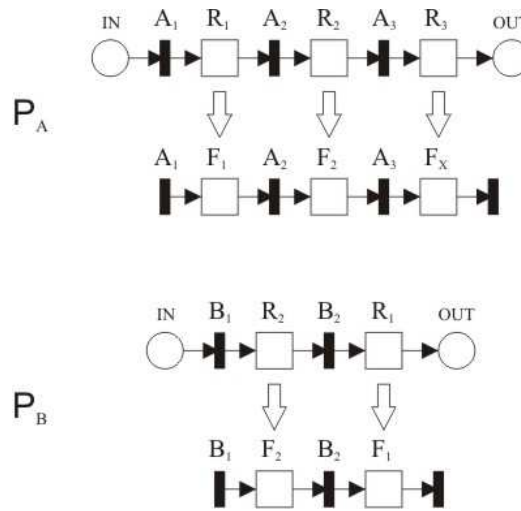


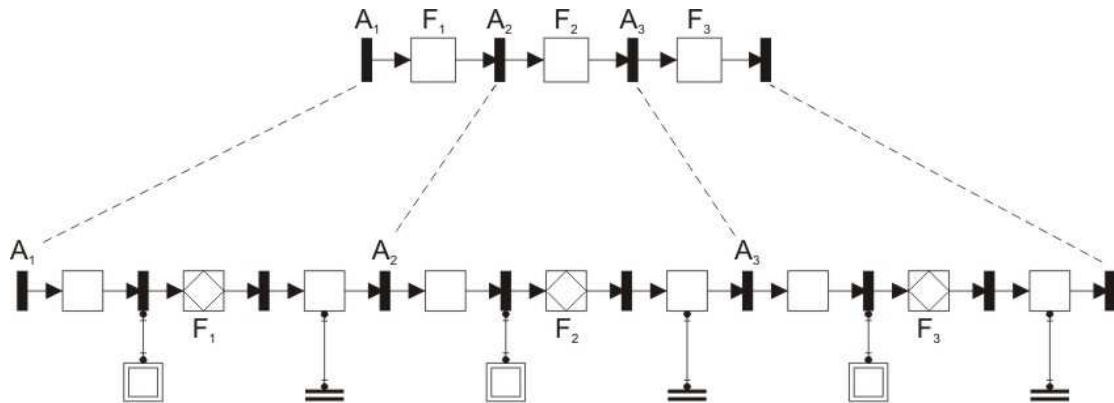
Figura 8. Exemplo da síntese do GSF a partir da sequência de recursos.

Etapa 2: Síntese do Grafo Designação de Funcionalidades (GDF)

Para a síntese do GDF é necessário realizar o refinamento e a fusão dos *boxes* controladores de mesmo nome.

No refinamento é considerado a funcionalidade descrita no módulo GSF entre as transições A_i e A_{i+1} . Com isso, o refinamento é realizado através da inclusão de um *box* de entrada (*buffer* de entrada), um *box* controlador (representação da funcionalidade) e de um *box* de saída (*buffer* de saída). O refinamento dos processos A e B estão ilustrados na Fig.9.

Processo A



Processo B

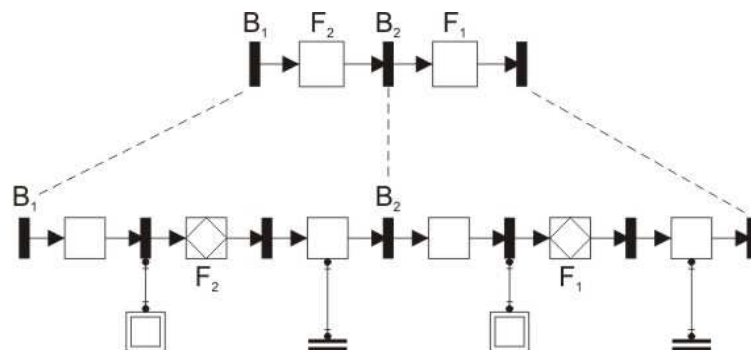


Figura 9. Refinamento dos Processos A e B.

Concluída a etapa de refinamento das funcionalidades do módulo GSF, integra-se os grafos GSF por meio da fusão dos *boxes* controladores de mesma funcionalidade. A fusão dos *boxes* controladores está representada na Fig.10 para os processos A e B. Com isso, a designação do recurso mais adequado para substituir um recurso inoperante do SFM é realizada por meio de um algoritmo heurístico implementado no módulo DR. Os critérios para a escolha do algoritmo heurístico são o tempo de resposta e a complexidade computacional.

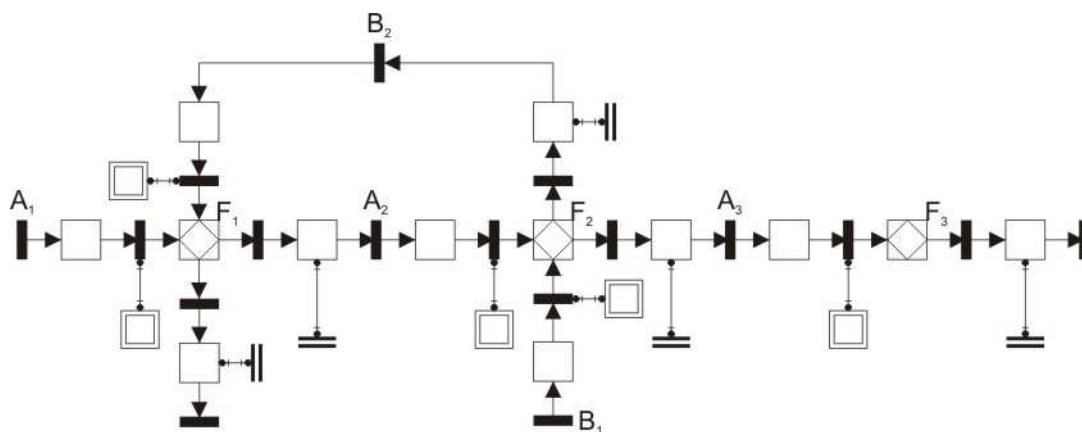


Figura 10. Exemplo de fusão dos *boxes* controladores.

Etapa 3: Síntese do Grafo Designação de Transporte (GDT)

A síntese do módulo DT dos processos A e B ilustrada na Fig.11 é baseada na metodologia PFS/E-MFG e realizada em três atividades denominadas: atividade de atualização dos estados dos transportadores, atividade de organização da fila de requisições e atividade de designação do transportador.

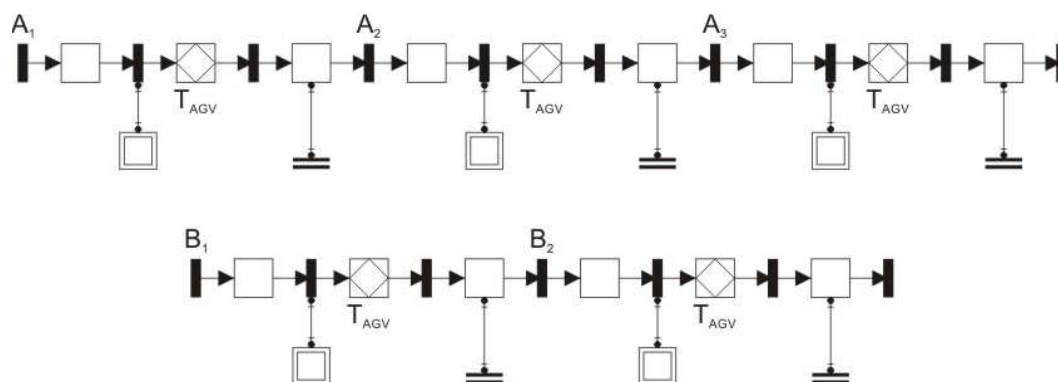


Figura 11. Síntese do módulo DT.

Para a geração do E-MFG deve-se considerar os atributos da marca. No módulo DT a marca possui nove atributos conforme descrito na Tab.1.

Tabela 1. Atributos da marca no módulo DT.

Atributo	Descrição	Valor
1	Identificação do retorno de mensagem	Inteiro
2	Identificador do processo	Inteiro
3	Recurso Origem	Inteiro
4	Recurso Destino	Inteiro
5	Identificador do transportador	Inteiro
6	Fila de requisições de transporte	Ponteiro
7	Lista de transportadores disponíveis	Ponteiro
8	Trajeto I de transporte	GAR
9	Trajeto II de transporte	GAR

Para a atividade de organização da fila de requisições, as requisições de transporte devem ser ordenadas por ordem de chegada e após a finalização da ordenação, copia-se os valores da primeira requisição da fila para os atributos 1, 2, 3 e 4.

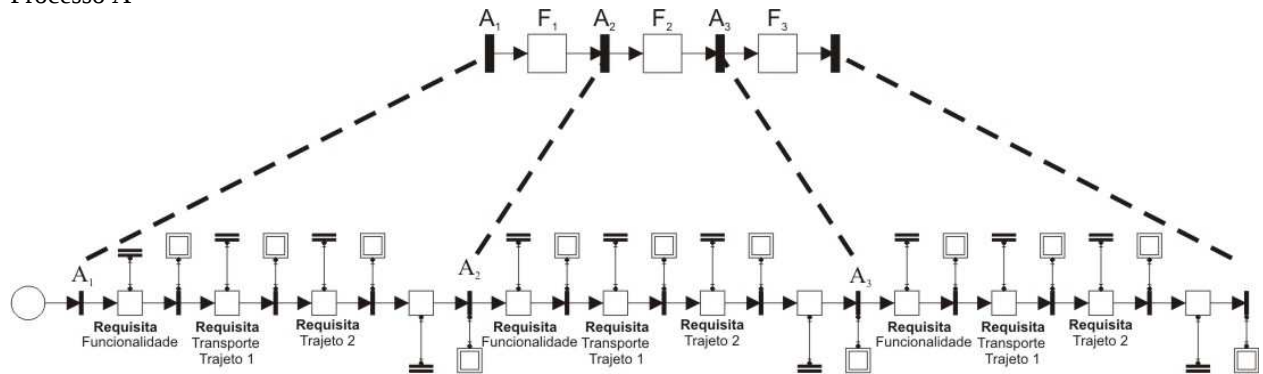
Nas atividades de atualização dos estados e de designação dos transportadores, deve-se primeiramente verificar a existência de transportadores disponíveis para o atendimento da solicitação de transporte (atributo 7) e para a designação dos transportadores, será adotado o critério de menor caminho baseado em algoritmo heurístico (atributo 8). Após a designação do transportador, será calculado o trajeto II referente ao segundo trajeto da atividade de transporte (atributo 9).

Será enviada uma resposta ao módulo CP referente ao pedido de transporte recebido pelo módulo DT, que somente após a efetiva designação, poderá informar ao módulo CP que o pedido de transporte será atendido além de enviar uma resposta referente a ordem de transporte (atributo 3, 4, 5, 8 e 9). O módulo DT informa o transportador de sua alocação e aguarda uma resposta de confirmação do transportador (atributo 7), após a confirmação do transportador, o módulo DT realiza a cópia dos dados do primeiro da fila para os atributos 1, 2, 3 e 4. O transportador deverá informar o módulo DT o término da atividade de transporte que lhe foi designado para que fique disponível para a próxima designação (atributo 7).

Etapa 4: Síntese do Grafo Controle de Processo (GCP)

Para a síntese do grafo, deve-se considerar o grafo GSF e cada funcionalidade identificada entre as transições T_i e T_{i+1} , conforme ilustrado na Fig.12. Realiza-se um refinamento sucessivo do E-MFG gerado a partir do grafo GSF, substituindo o box “Fi” por uma sequência de *boxes*, com a seguinte semântica associada a cada um deles: requisita funcionalidade, requisita transporte e requisita trajeto 2.

Processo A



Processo B

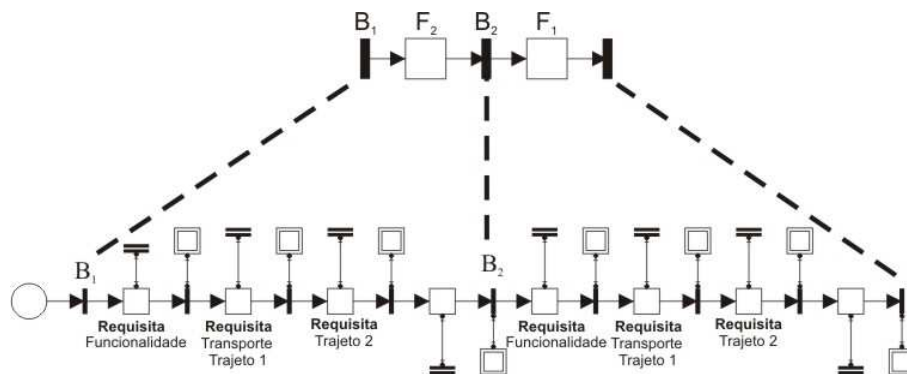


Figura 12. Grafo de controle do GCP derivado do GSF.

3.3. Comunicação entre os módulos

Após a geração dos grafos: GSF, GCP, GDF e GDT, para facilitar a compreensão da forma que é realizada a comunicação entre os módulos nos processos P_A e P_B , foi gerada a ilustração da Fig. 13 onde a troca de informações entre os módulos são realizadas através dos arcos de envio e dos arcos de recepção dos elementos comunicadores.

Utilizando como exemplo a execução da atividade B_1 do processo P_B , o primeiro *box* está associado a semântica de requisição de funcionalidade que irá requisitar ao módulo GDF (por meio da transição de envio) a funcionalidade necessária para a execução da atividade B_1 . O módulo GDF irá identificar através de um algoritmo heurístico (*box* controlador) o recurso mais apropriado para o atendimento da requisição de funcionalidade e retornar a resposta para o módulo CP (por meio da transição de envio). O segundo *box* está associado a semântica de requisição de transporte e trajeto 1 que irá requisitar ao módulo GDT (por meio da transição de envio) o transportador e a rota a ser percorrida no trajeto 1 (trajeto de carregamento da peça no recurso de origem) da atividade de transporte para execução da atividade B_1 . O módulo GDT irá designar o transportador mais adequado e definir a rota a ser percorrida no trajeto 1 através de um algoritmo heurístico (*box* controlador) e retornar a resposta ao módulo CP (por meio da transição de envio). O terceiro *box* da atividade B_1 está associado a semântica de requisição do trajeto 2 que irá requisitar ao módulo CR (por meio da transição de envio), a rota a ser percorrida no trajeto 2 (trajeto de descarregamento da peça no recurso de destino) da atividade de transporte para a execução da atividade B_1 . O módulo CR irá calcular a rota a ser percorrida no trajeto 2 e retornar a resposta ao módulo CP (por meio da transição de envio). O quarto *box* irá alocar (por meio da

transição de envio) o recurso no SP e aguardará o recurso finalizar a execução da atividade B_1 para prosseguir para a execução da atividade B_2 .

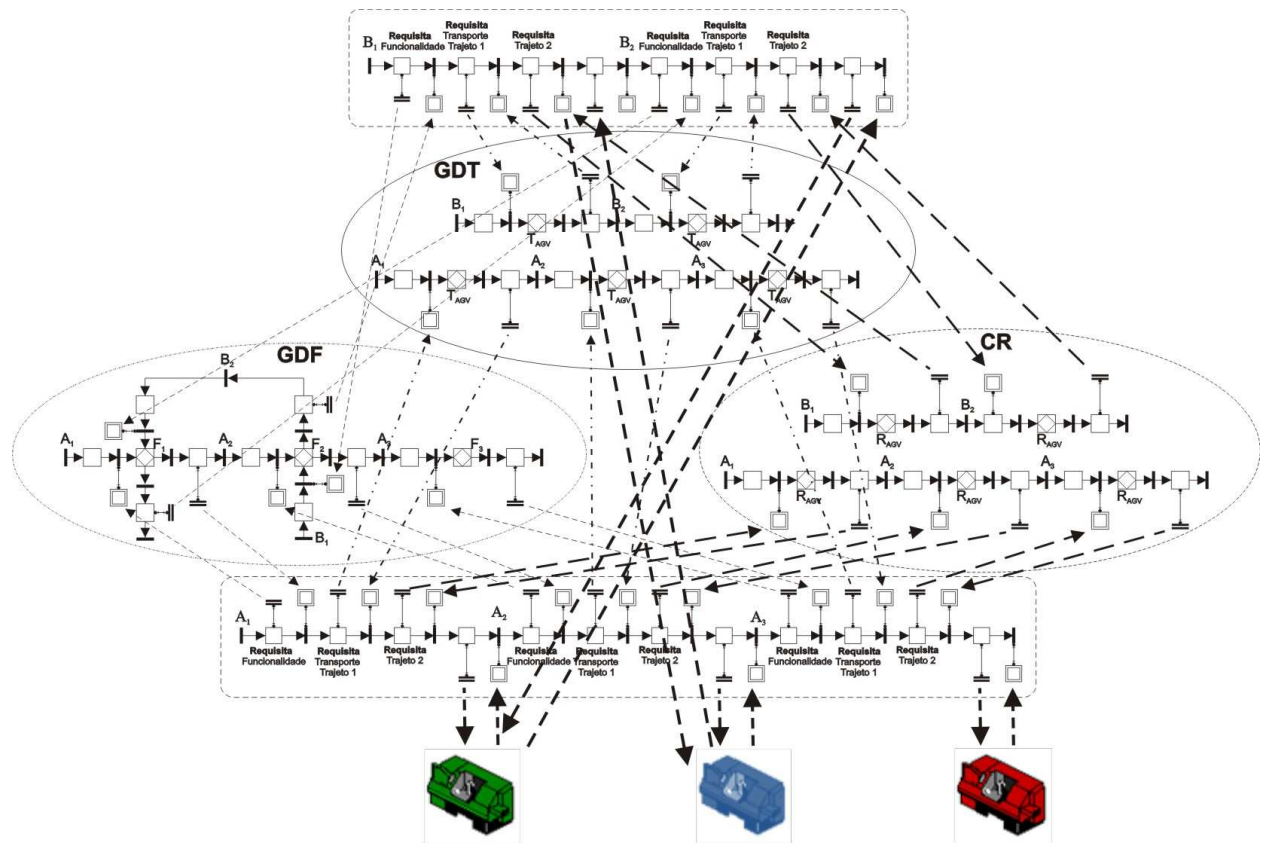


Figura 13. Ilustração da comunicação do módulo CP com o módulo DF, DT e CR.

4. CONCLUSÕES

Nos sistemas convencionais de controle de alocação de recurso, existe a dificuldade em alocar as MFMs porque não são consideradas as múltiplas funcionalidades contidas nestas máquinas tornando complexa a utilização em tempo real. Com o intuito de regenerar o sistema produtivo, a arquitetura proposta mostrou como é realizada a síntese dos módulos de controle, a comunicação do módulo de controle com outros módulos, a exploração da flexibilidade funcional que possibilita que o sistema atue no comportamento dinâmico alocando o recurso de acordo com a funcionalidade solicitada, a designação do AGV e o cálculo da rota de menor caminho.

Para trabalhos futuros, o grupo de pesquisa está trabalhando em um estudo de caso, desenvolvendo um algoritmo baseado em heurísticas para designar o recurso (MFM), encontrar o AGV mais apropriado e realizar o cálculo das rotas para regenerar o sistema produtivo diante de evento não previsto.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio para o desenvolvimento do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Asato, O.L., Pessoa, M.A.O., Junqueira, F., Santos Filho, D.J., Okamoto Junior, J., Miyagi, P.E., 2015, "Using the Enhanced -Mark Flow Graph for Dynamic Resource Allocation in Distributed Manufacturing", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 29, pp. 1-14.
- Asato, O.L., Junqueira, F., Santos Filho, D.J., Miyagi, P.E., Araujo Junior, L.O., 2011, "Control of Productive Systems with Functional Flexibility Level", ETFA 16th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation Proceedings of ETFA, pp. 1-4.
- ElMaraghy, W., ElMaraghy, H., Tomiyama, T., Monostori, L., 2012, "Complexity in Engineering Design and Manufacturing", CIRP Annals Manufacturing Technology, pp. 793-814.

- Groover, M. P., 2011, "Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing.", Ed. Prentice-Hall, New Jersey.
- He, L., Liu, Y. X., Xie, H. L., Zhang, Y., 2008, "Research on Job Shop Scheduling Aiming at Instant Customerisation", IEEE International Conference on Automation and Logistics, pp. 290-294.
- Li, X., Gao, L., Zhang, C., Shao, X., 2010, "A Review on Integrated Process Planning and Scheduling", Int. J. Manufacturing Research 5(2), pp. 161-180.
- Matsusaki, C.T.M., Santos Filho, D.J., 2006, "Modeling of Distributed Collaborative Control Systems of Production Systems", ABCM Symposium Series in Mechatronics, pp. 345-352.
- Miyagi, P.E., 1996, "Controle Programável - Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos", Ed. Edgard Bluncher Ltda, São Paulo.
- Moriwaki, T., 2008, "Multi-Functional Machine Tool", CIRP Annals Manufacturing Technology, pp.736-749.
- Murata, T., 1989, "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications", Proceedings of the IEEE, pp. 541-580.
- Nakamoto, F.Y., 2008, "Projeto de Sistemas Modulares de Controle para Sistemas Produtivos", Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Nakamoto, F.Y., Santos Filho, D.J., Miyagi, P.E., 2008, "Resource Allocation Control in Flexible Manufacturing Systems Using the Deadlock Avoidance Method", ABCM Series in Mechatronics, pp. 454-460.
- Santos Filho, D. J., Nakamoto, F. Y., Junqueira, F., Miyagi, P. E., 2011, "Task Control of Intelligent Transportation Vehicles in Manufacturing Systems", Mechatronics Series 1: Intelligent Transportation Vehicles, Vol. 1, Dubai: Bentham Science Publishers, pp.146-169.
- Takahashi, K., Hasegawa, K., Miyagi, P.E., 1999, "Hierarchical Programming of Sequential Control Systems by Mark Flow Graph", ETFA 7th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Vol. 2, Barcelona, pp. 1297-1305.
- Yamazaki, T., 2016, "Development of Hybrid Multi-tasking Machine Tool: Integration of Additive Manufacturing Technology with CNC Machining", 18th CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM XVIII), pp. 81-86.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

MULTIFUNCTIONAL RESOURCE ALLOCATION CONTROL SYSTEM TO REGENERATE THE PRODUCTIVE SYSTEM

Ricardo Hideki Kubo, ricardo.hideki.kubo@gmail.com¹
Osvaldo Luis Asato, asato@ifsp.edu.br²
Givanildo Alves dos Santos, givanildo@ifsp.edu.br¹
Francisco Yastami Nakamoto, nakamoto@ifsp.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Rua Pedro Vicente, 625 – São Paulo/SP

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Avenida Mogi da Cruzes, 1501 – Suzano/SP.

Abstract. *The Flexible Manufacturing System (FMS) has several processes that are carried out simultaneously and several routes that the AGV may adopt to allocate a resource. As such, it's not an easy task to control, especially when unforeseen events arise, such as the breakdown of a given machine on the factory floor. With the evolution of mechatronics systems, Multifunctional Machine Tools (MMT) have been developed, which are machines that have two or more functions in one and the same resource, such as turning, milling and drilling. The current resource allocation control systems, however, are still not ready to work with MMTs in real time, i.e. the functional flexibility of MMTs is currently only considered during the production planning phase and encapsulated in that decision-making level. After the planning step, the MMT is seen as just one more conventional machine with a single function and the multiple functions contained within it are not exploited. In this work, proposed a methodology of control system modeling that regenerates the productive system when faced with an unscheduled event, such as the breakdown of a machine, using the multiple functions provided by MMTs and associated with flexibility routes for relocation resources by use of the AGVs system. The architecture that performs the resource search to regenerate the productive system was modeled using a Petri net.*

Keywords: *flexible manufacturing systems, machine breakdown, multifunction machine tool.*