

## Ferramentas para Modelagem e Simulação de Processos

Paulo Sérgio Parangaba Ignacio (UTFPR) [parangaba@utfpr.edu.br](mailto:parangaba@utfpr.edu.br)

Flavio Trojan (UTFPR-PG) [trojan@utfpr.edu.br](mailto:trojan@utfpr.edu.br)

João Luiz Kovaleski (UTFPR-PG) [kovaleski@utfpr.edu.br](mailto:kovaleski@utfpr.edu.br)

### Resumo:

Este artigo desenvolve um estudo comparativo entre as diferentes ferramentas para se fazer a representação, modelagem e simulação de processos industriais. As ferramentas são divididas em dois grupos: métodos formais e métodos descritivos. Os métodos formais são mais precisos e complexos na sua utilização, e dentro deste grupo, destaca-se a modelagem de processos utilizando redes de petri. O formalismo torna a rede de petri, uma poderosa técnica de modelagem na representação dos processos e permite um rastreamento minucioso de cada etapa da operação.

**Palavras chave:** Ferramentas para Modelagem Organizacional, Modelagem de Processos, Redes de Petri.

## Tools for Modelling and Simulation of Process

### Abstract

This article develops a comparative study among the different tools to do the representation, modelling and simulation of industrial processes. The tools are divided in two groups: formal methods and descriptive methods. The formal methods are more accurate and complex in their use, and inside of this group, it stands out the modelling organizational using petri nets. The formalism turns the petri net, in a powerful modelling technique in the processes representation, and it allows a meticulous research of each stage of the operation.

**Key words:** Tools for Modelling Organizational, Modelling of Processes, Petri Nets.

### 1. Introdução

Para ser competitiva, uma organização precisa adaptar-se continuamente às mudanças do mercado. O aumento global da competição está forçando as organizações a reduzir o tempo para lançar novos produtos e oferecer preços competitivos. Diversidade, flutuações de demanda, a vida curta dos produtos devido à introdução freqüente de novas necessidades, além do aumento nas expectativas do cliente em termos de qualidade e tempo de entrega, é atualmente um dos principais desafios com que a organização têm que negociar para manter competitividade e ficar no mercado (BUSETTI & SANTOS, 2006).

Recentemente, devido aos avanços rápidos da informática, novos paradigmas têm surgido, tais como: CIM, JIT, produção enxuta, engenharia simultânea (MERTINS & JOCHEM, 2005).

Para Pidd (1998), um modelo é uma representação externa e explícita de parte da realidade, vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade.

Para atender as atuais necessidades de uma organização é necessário modelar essa organização, a fim de representar fluxos, tendências, características implícitas, além da monitoração dos processos de forma individualizada. A modelagem é uma técnica para representar e entender a estrutura organizacional e seu comportamento, analisar processos empresariais e também apoiar a reengenharia desses processos.

Assim, esse artigo tem por objetivo, desenvolver um estudo comparativo entre algumas das diferentes ferramentas utilizadas na representação, modelagem e simulação de processos e destacar uma das ferramentas de modelagem que proporcione maior incremento ao processo produtivo, por meio dos estudos da engenharia de produção, oriundos da aplicação dessa ferramenta específica de modelagem.

## 2. Framework e abordagem proposta para a modelagem

Medição, coleta de dados e informações sobre o desempenho de processos são atividades essenciais do gerenciamento de uma organização. Como a informação é convertida em informação percebida, todos os níveis hierárquicos podem então definir ações nos seus respectivos domínios de gerenciamento, assim através de um modelamento pelo sistema denominado *core* (núcleo), conforme ilustrado na figura 1, pode-se gerenciar.

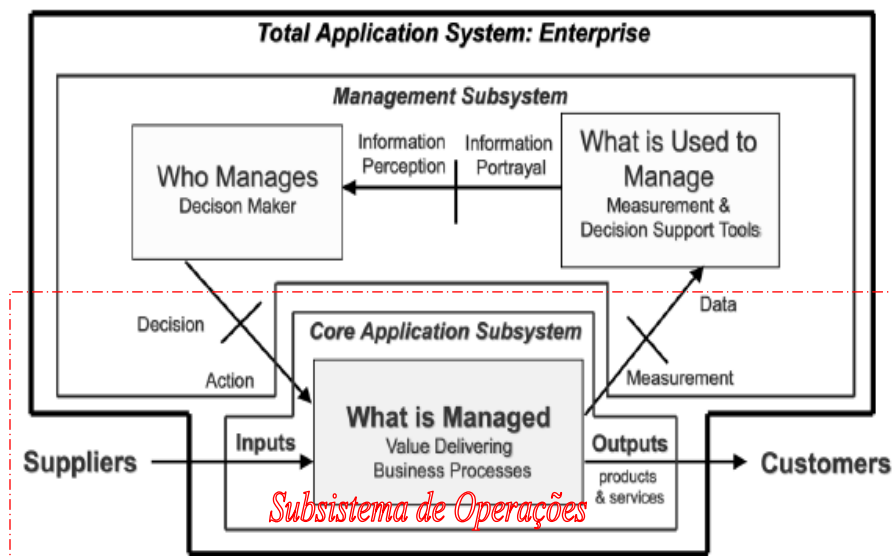


Figura 1 – Processo de gerenciamento da organização (Souza et al., 2005)

Este *framework* é dividido em três subsistemas, são eles: subsistema de gestão, subsistema de interface e subsistema de operações. O foco deste trabalho é o subsistema de operações. O objetivo principal é gerar uma biblioteca a partir de um conjunto de especificações. Outros objetivos são montar modelos de referência, fazer a análise estrutural e a análise qualitativa (SOUZA et al., 2005).

A base para a abordagem de desenvolvimento deste trabalho está apresentada na figura 2, também ilustrado por Busetti e Santos (2006), onde o desenvolvimento de sistemas para controle de processos é caracterizado por três fases:

- ✓ modelagem,

- ✓ síntese e,
- ✓ implementação.

Na fase de modelagem é selecionado das bibliotecas de subsistemas e especificações, um conjunto de modelos para representar um sistema real e aplicações. Na fase de síntese, estes modelos irão gerar os módulos supervisores. Na fase de implementação, os três níveis de estruturas de controle (módulos supervisores, sistemas de produção e operações) são integrados e gradualmente implementados em três passos: simulação, simulação e inserção de controle e tecnologia de comunicação (CCT), e execução.

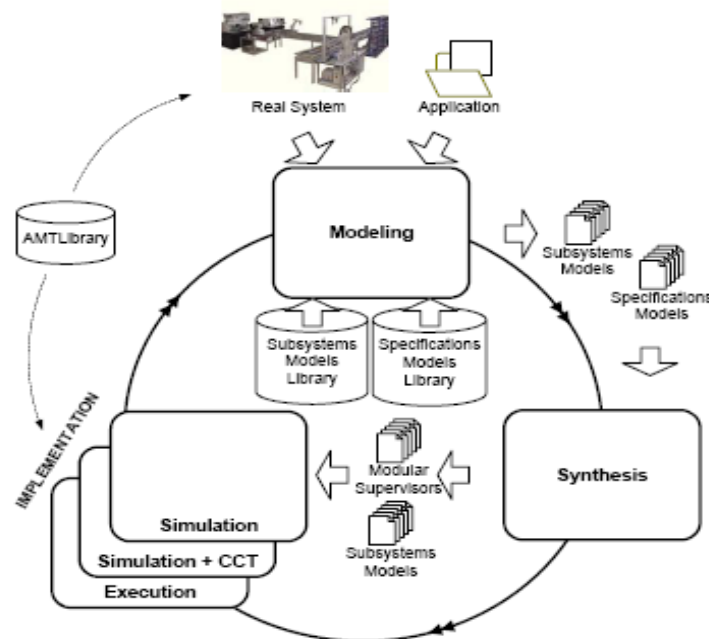


Figure 2: Ciclo de desenvolvimento de sistemas de controle para processos (Buseti & Santos, 2006)

O controle do sistema desenvolvido acontece ciclicamente em três fases: modelagem, síntese, e implementação. Desta maneira, o desenvolvimento permite uma revisão contínua dos resultados obtida em cada passo. Fazendo isto, o projetista pode receber uma aplicação nova (por exemplo, uma necessidade em reconfigurar os processos) e seleciona a nova especificação ou modelo de subsistema que vai adequar-se a esta aplicação nova (BUSETTI & SANTOS, 2006).

### 3. Descrição dos métodos de modelagem

Existem várias ferramentas disponíveis para auxiliar a modelagem de um sistema Kettinger listou mais de 100. Estas ferramentas são capazes de modelar muitos aspectos diferentes de um sistema em vários níveis de detalhamento.

Muitos dos sistemas podem ser vistos como sistemas a eventos discretos (DES), por exemplo: *manufacturing systems, business processes, supply chains*. Estes sistemas são complexos e difíceis de entender e operar eficazmente. Por causa de sua grande versatilidade, flexibilidade e poder, a simulação é amplamente utilizada nas pesquisas técnicas de operações. A simulação, teoricamente, tem um grande potencial para ajudar na compreensão e operação destes sistemas. Pode-se categorizar as ferramentas em dois métodos, conforme Ryan e Heavey (2006):

- Métodos formais: são métodos que tem uma base formal e numerosos *softwares* de implementações destes métodos.

- Métodos descritivos: são métodos que tem uma pequena ou nenhuma base formal e são principalmente implementações de *software*.

Um método pode ser pensado como um procedimento para fazer algo, pode ser descrito formalmente como, consistindo de três componentes, figura 3 (MAYER *et al.*, 1995).

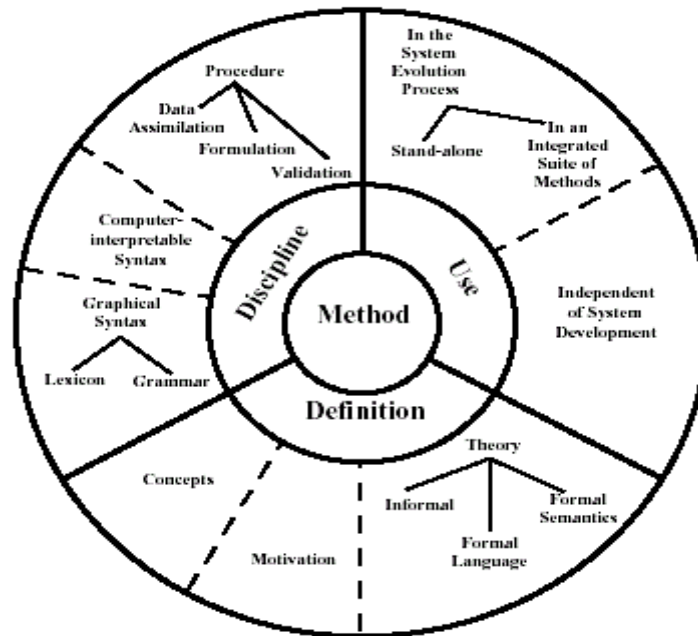


Figura 3 – Componentes do Método (Mayer, Crump, Fernandes, Keen, Painter, 1995)

Cada método tem:

- definição
- disciplina
- usos

A definição de método é estabelecida caracterizando as motivações básicas do método, conceitos e usos. A definição de método é estabelecida caracterizando as motivações básicas do método, conceitos e fundamentos teóricos. A componente de definição é desenvolvida através de métodos que criam princípios. A componente de disciplina inclui a sintaxe do método e o procedimento pelo qual o método é aplicado. A componente de uso caracteriza como aplicar o método em situações diferentes.

### 3.1 Métodos Formais

#### 3.1.1 Redes de Petri (PN)

A teoria de redes de Petri é aplicada no projeto e análise de sistemas que possuem simultaneidade, paralelismo, assincronismo, distribuição ou comportamento estocástico (LIN *et al.*, 2005).

Redes de Petri é um formalismo matemático baseado em alguns objetos simples, relações e regras capazes de representar sistemas muito complexos (RYAN & HEAVEY, 2006).

Pode ser representada, por uma quintupla, para representar o comportamento e propriedades estruturais do sistema, e dispõe de uma ferramenta gráfica para visualizar a modelagem, figura 4.

$PN = (P, T, I^+, I, M_0)$ , onde:

- (1)  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  conjunto finito de lugares,
- (2)  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  conjunto finito de transições,
- (3)  $I$  é a função de incidência de entrada definida em  $P \times T$ ,
- (4)  $I^+$  é a função de incidência de saída definida em  $T \times P$ ,
- (5)  $M_0$  é o estado marcado inicial definido em  $P$ .

Redes de Petri tem sido utilizada por ser uma ferramenta de modelagem e análise para sistemas de hardware/software de computador, processos industriais e controle de sistemas, sistema de administração do conhecimento e do processamento da informação (LIN *et al.*, 2005).

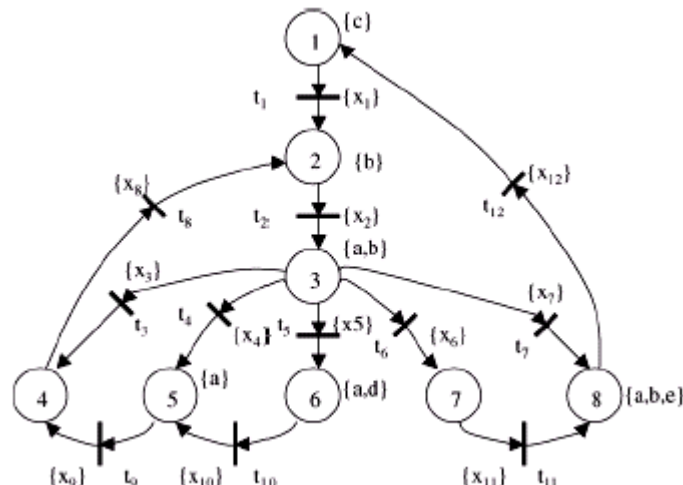


Figura 4 – Planta de um nível simples (Holloway, Gong, Ashley, 2006)

O formalismo também forma a base de várias ferramentas que modelam processos, e tem sido utilizado na área de *workflow/business*. Redes de Petri pode modelar e representar com muita precisão um sistema real, porém, em sistemas reais, normalmente a modelagem é muito grande e complexa tornando-se difícil para uma pessoa não especializada entender o modelo (RYAN & HEAVEY, 2006).

### 3.1.2 Especificação de Sistemas de Eventos Discretos (DEVS)

O formalismo dos DEVS desenvolvido por Zeigler Kofman (2004) e Ryan e Heavy (2006), permite representar todos os sistemas de comportamento de entrada/saída, pode ser descrito por uma sucessão de eventos, com a condição que o estado tem um número definido de mudanças em qualquer intervalo finito de tempo. Desta maneira, sistemas modelados por redes de Petri, *statecharts*, gráficos de eventos, e até equações diferenciais podem ser vistos como casos particulares de modelos de DEVS (KOFMAN, 2004). Este formalismo foi usado para apoiar o projeto e simulação de arquiteturas de computador, redes de comunicações e sistemas industriais. Tem uma representação formal de sistemas de eventos discretos, porém, a representação matemática proposta é difícil de compreender sem um conhecimento detalhado do formalismo (RYAN & HEAVY, 2006). O modelo DEVS tem um processo de trajetória do evento de entrada e de acordo com a trajetória e suas condições iniciais, provocará um evento de trajetória de saída. Um DEVS é definido pela seguinte estrutura (BARROS & ZEIGLER, 1997; KOFMAN, 2004):

$M = (X, Y, S, \partial_{int}, \partial_{ext}, \lambda, t_a)$ , onde:

- (1)  $X$  é o conjunto de eventos de entrada,
- (2)  $Y$  é o conjunto de eventos de saída,

- (3) S é o conjunto de valores de estado,  
(4)  $\partial_{int}$ ,  $\partial_{ext}$ ,  $\lambda$  e  $t_a$  são funções que definem a dinâmica do sistema.

### 3.1.3 Statecharts

*Statecharts* é baseado na anotação introduzida por Harel Ryan e Heavy (2006) e Marty *et al.* (1998). Um diagrama de *statechart* é composto de vários elementos básicos, estados e transições. Estes diagramas de *statechart* são usados para mostrar o fluxo de controle ou sucessões de estados que um sistema pode proceder como resultado de eventos discretos (RYAN & HEAVY, 2006). A estrutura de controle do Statecharts é feita em cinco níveis (MARTY *et al.*, 1998). A figura 5 ilustra estes níveis:

- ✓ Nível 4 – (planejamento) aspectos administrativos e de planejamento.
- ✓ Nível 3 – (programação) parâmetros e recursos disponíveis no sistema
- ✓ Nível 2 – coordenação das células de manufatura
- ✓ Nível 1 – controle de máquinas
- ✓ Nível 0 – sensores e atuadores

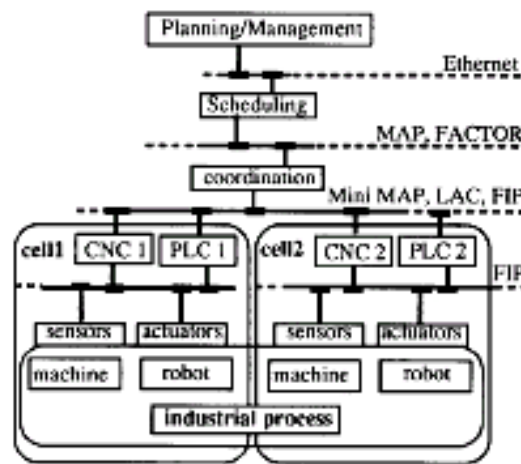


Figura 5 - (Marty *et al.*, 1998)

## 3.2 Métodos Descritivos

### 3.2.1 IDEF

IDEF é um grupo de métodos de modelagem, que podem ser usados para descrever operações em uma organização. Foi desenvolvido para o ambiente industrial, existem dezesseis métodos (DÍEZ, 2004):

- ✓ IDEF0: Function Modelling
- ✓ IDEF1: Information Modelling
- ✓ IDEF1X: Data Modelling
- ✓ IDEF2: Simulation Model Desing
- ✓ IDEF3: Process Description Capture
- ✓ IDEF4: Obejct-Oriented Desing
- ✓ IDEF5: Ontology Description Capture
- ✓ IDEF6: Desing Rationale Capture
- ✓ IDEF7: Information System Audit Method
- ✓ IDEF8: User Interface Modelling
- ✓ IDEF9: Scenario-Driven IS Desing
- ✓ IDEF10: Implementation Architeture Modelling
- ✓ IDEF11: Information Artefact Modelling

- ✓ IDEF12: Organisation Modelling
- ✓ IDEF13: 3-Schema Mapping Desing
- ✓ IDEF14: Network Desing

IDEF0 é uma técnica de modelagem baseada numa combinação de gráficos e textos que representam à organização para que se tenha a compreensão, o suporte para análises, suporte para sistemas de projeto e integração de atividades. O modelo IDEF0 é composto de uma série hierárquica de diagramas que gradualmente exibem níveis crescentes de detalhe que descreve funções e suas interfaces dentro do sistema, figura 6 (INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELING, 1993).

O modelo de IDEF0 reflete como funções de um sistema se relacionam. Quando usado de um modo sistemático, ele provê um sistema que cria aproximação para:

- a) Análise dos sistemas projetados de todos os níveis, para sistemas compostos de pessoas, máquinas, materiais, computadores e informações de todas as variedades;
- b) Produzir documentação de referência, simultaneamente com o desenvolvimento, para servir como base para integrar novos sistemas ou sistemas melhorar os existentes;
- c) Comunicação entre analistas, desenhistas, usuários e gerentes;
- d) Coalizão de times, permitindo que seja alcançada a compreensão;
- e) Gerenciamento de projetos grandes e complexos que usam medidas qualitativas;
- f) Prover uma arquitetura de referência para a análise da organização, da informação e gerenciamento de recursos.

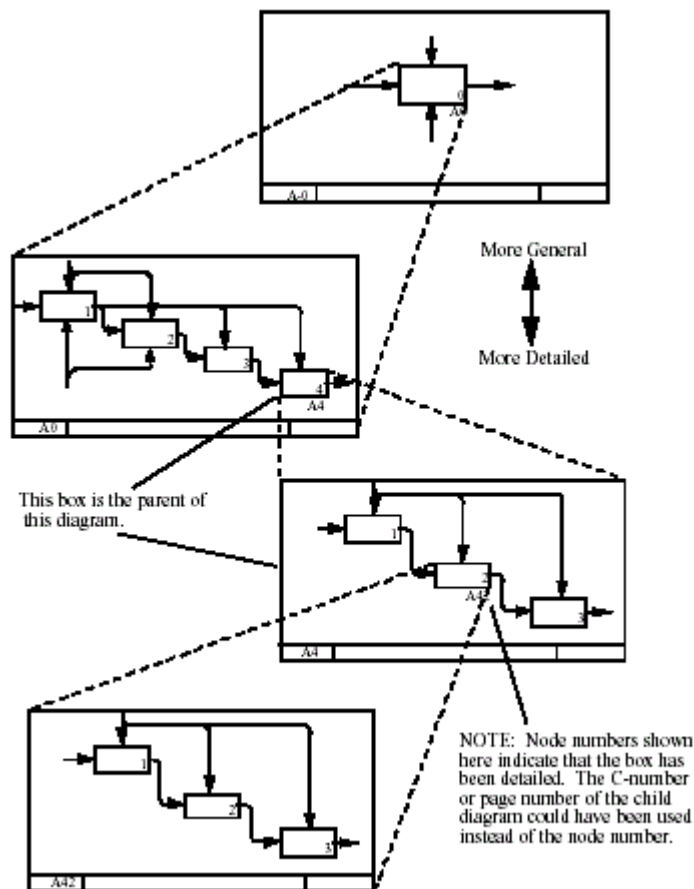


Figura 6 – Decomposição da Estrutura (Integration definition for function modeling, 1993)

No IDEF3, a descrição de processo é desenvolvida usando duas estratégias de aquisição de conhecimento: estratégia centrada no processo e estratégia centrada no objeto. A estratégia centrada no processo organiza o processo do conhecimento com foco nas relações temporais, causais e lógicas dentro de um cenário. A estratégia centrada no objeto organiza o processo do conhecimento com foco em objetos e mudanças de procedimento dentro um único cenário ou múltiplo cenários (Mayer, Menzel, Painter, Witte, Blinn, Perakath, 1995). O IDEF3 permite a representação da transição de estados de um sistema a eventos discretos, porém o modelo de controle não é representado graficamente (RYAN & HEAVY, 2006).

### 3.2.2 IEM

O método IEM (modelagem integrada da organização) trabalha com a técnica orientada a objeto para descrever informações e funções de objetos com uma visão simples de modelo de um sistema de manufatura integrado. O core da estrutura do modelo contém as visões, modelo de processos de negócios e modelo de informações. No modelo, os processos industriais e todas as atividades que estão relacionadas à produção são descrito por funções e processos de negócios que recorrem a objetos.

A base para o desenvolvimento do modelo é uma descrição individual da empresa e formada pelas classes de objeto: produto, recurso e ordem. Todas as tarefas, a organização do processo, os dados, as instalações de produção e todos os componentes do sistema de informação são registrados em qualquer nível de detalhe (MERTINS & JOCHEM, 2001).

A visão de modelo organizacional enfatiza as tarefas e processos empresariais que são executados nos objetos; a visão de modelo de informações enfatiza as estruturas e características que descrevem objetos. A figura 7 mostra uma avaliação dos elementos de modelagem do IEM. O modelo orientado a objeto pode construir e modelar diferentes tipos de organização (MERTINS & JOCHEM, 2005).

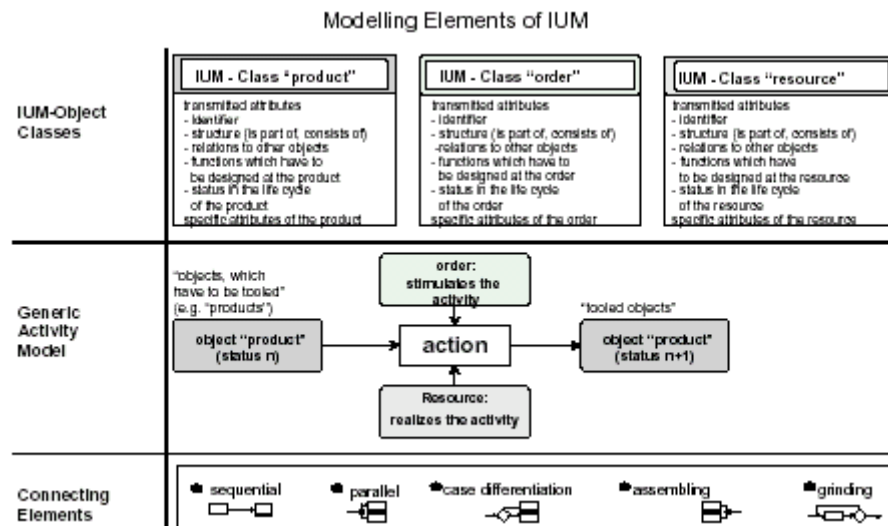


Figura 7 – Elementos do Modelo (Mertins, Jochem, 2005)

MO<sup>2</sup>GO é uma ferramenta de modelagem que trabalha com o método de IEM. A ferramenta é utilizada para descrever, analisar e aperfeiçoar estruturas operacionais e processos organizacionais permite descrever e analisar, produtos, recursos, ordens e os processos organizacionais relacionados. As vantagens do uso desta ferramenta incluem a sistematização do planejamento e otimização dos processos e a reutilização dos modelos organizacionais para todos os projetos e visões que interessam ao planejamento, aos sistemas de informação, ao controle, administração da qualidade e ao desenvolvimento organizacional. A ferramenta



possui gráficos e documentos de texto, baseados na comunicação entre os documentos dos participantes (MERTINS & JOCHEM, 2001). O propósito é ter diretórios estruturados de tudo que foi modelado, funções, objetos, a documentação e os gráficos. Você pode gerar documentos também unificados de acordo com ISO 9000, automaticamente. Isto reduz o processo de certificação significativamente (MERTINS *et al.*, 1997).

#### 4. Classificação dos métodos de modelagem

Foram vistos diversos métodos e ferramentas para a modelagem e simulação de processos organizacionais, na tabela 1 é apresentado um resumo das ferramentas vistas neste artigo. Nós dividimos as ferramentas em dois grupos, métodos formais e descritivos. Podemos concluir que as ferramentas formais são mais precisas, complexas e de difícil utilização. Em nosso trabalho estamos optando em trabalhar com Redes de Petri para a modelagem do subsistema de operações.

			DEFINIÇÃO	UTILIZAÇÃO
MÉTODOS	FORMAIS	Redes de Petri	Formalismo matemático baseado em objetos simples, relações e regras capaz de representar sistemas complexos.	Modelagem e simulação com muita precisão, de difícil utilização.
		DEVS	Formalismo matemático, capaz de representar sistemas complexos.	Modelagem e simulação com muita precisão. Redes de Petri, Statecharts, são casos particulares de DEVS, de difícil utilização.
		Statecharts	Composto por elementos básicos, estados e transições.	Utilizado na especificação de sistemas dinâmicos. Não permite a modelagem das atividades que causam a mudança de estados dentro de um sistema discreto.
	DESCREITIVOS	IDEF	Permite a análise e comunicação do aspecto funcional de um sistema.	Modelagem visual das decisões e atividades de um sistema. Falta de habilidade para modelar vários aspectos de sistemas discretos complexo, de difícil utilização.
		IEM	Modelagem orientada a objeto, descrição da empresa é formada pelas classes de objeto: produto, recurso e ordem.	Modelagem de sistemas orientada a objetos, por ser unificada, facilita que grupos de desenvolvimentos de software interpretem de uma maneira correta e sem ambigüidades modelos gerados por outros analistas.

Tabela 1 – Autoria Própria

#### 5. Mapeamento dos conceitos de processos de negócio em Redes de Petri

A utilização de um processo em sistema de gerenciamento de processos de negócio indica a necessidade de gerenciamento em alguma categoria particular. Tal processo define quais tarefas precisam ser executadas. A existência de informações sobre as tarefas a serem realizadas e sobre as condições dos processos é importante. Dessa forma, define-se a ordem na qual as tarefas precisam ser executadas. Um grande processo pode consistir em subprocessos, tarefas e condições.

Um determinado estado do sistema pode levar à execução de um processo (disparo de uma transição) que, muitas vezes, depende da disponibilidade de uma pessoa. As condições têm

duas funções importantes: assegurar que as tarefas procedam na ordem correta e verificar se o estado do caso pode ser estabelecido (INAMASU *et al.*, 2004).

Um exemplo de especificação do processo de gerenciamento de reclamações usando redes de Petri é feito por (AALST & HEE, 2002). A entrada da primeira reclamação é registrada e o cliente que reclamou e o departamento afetado pela reclamação é informado. O departamento, informado da reclamação, pode ser questionado e o cliente é consultado para fornecer mais informações. Essas duas tarefas podem acontecer simultaneamente (em paralelo) ou, ainda, em qualquer ordem. Depois, os dados são reunidos e a decisão, que pode ser um pagamento ou o envio de uma carta, é tomada. A Figura 8 mostra como representar esse processo com redes de Petri.

Cada uma das tarefas (registrar, informar cliente, informar departamento, pagar e arquivar) é modelada utilizando uma transição. A modelagem da avaliação da reclamação utiliza duas transições, positiva e negativa, que correspondem, respectivamente, a uma decisão positiva e outra negativa. Os lugares início e fim correspondem ao início e ao fim do processo. Os outros lugares correspondem às condições. Estas asseguram que as tarefas prossigam na ordem correta e que o estado do caso possa ser estabelecido. O lugar c8, por exemplo, assegura que a reclamação seja arquivada apenas quando estiver completamente resolvida.

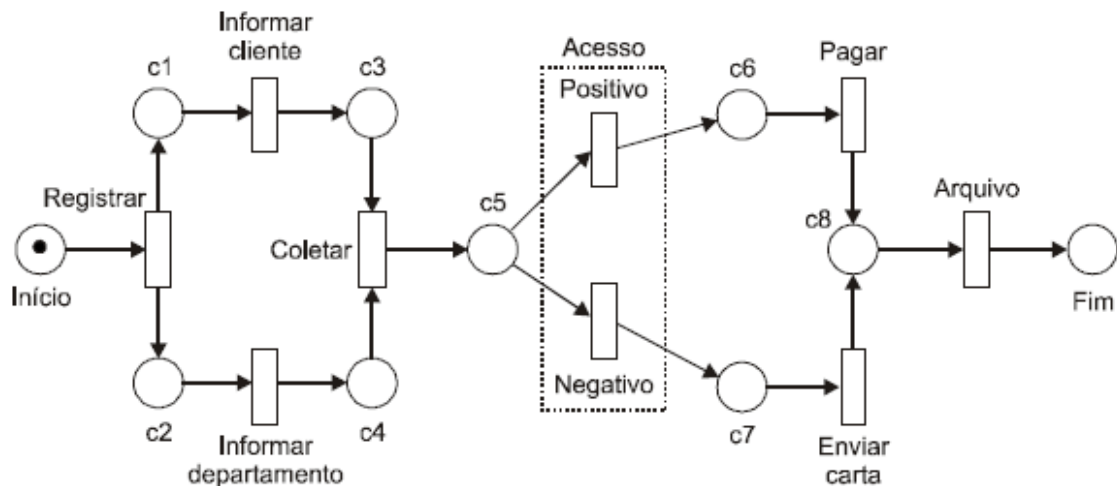


Figura 8 – O processo de gerenciar reclamação modelada em redes de Petri (Aalst, Hee, 2002).

Os casos são ilustrados por meio de fichas; um caso pode ser representado por uma ou mais fichas. Na Figura 8, a ficha no lugar início mostra a presença de um caso. Assim que a transição Registrar disparar haverá uma ficha em c1 e outra em c2, que representam o mesmo caso. O número de fichas que haverá em determinado caso é igual ao número de condições satisfeitas. Quando houver ficha no lugar fim, o caso foi finalizado. Em princípio, cada processo deveria obedecer dois requisitos:

- 1 - ser possível de realizar por meio da execução das tarefas;
- 2 - todas as fichas devem desaparecer para que surja uma ficha no fim.

Esses dois requisitos asseguram que cada caso começado no lugar início será corretamente encerrado. Caso haja tarefas a serem terminadas, não é possível que exista uma ficha no lugar fim.

## 6. Conclusões

Este trabalho procurou apresentar, através da tabela 1, um resumo das ferramentas mais utilizadas para modelagem. Podemos concluir que as ferramentas formais são mais precisas e

complexas para a modelagem organizacional, e dentro das ferramentas do método formal destaca-se as redes de petri para a modelagem. A rede de petri é uma ferramenta gráfica e matemática, que tem um ambiente para modelagem, análise e projeto de sistemas. Uma vantagem da rede de petri, é que a mesma metodologia pode ser usada para a modelagem, análise qualitativa e quantitativa. É necessária a compreensão do processo, antes de sua implementação real, para garantir sua eficiência. O formalismo torna a rede de Petri, numa poderosa técnica de modelagem na representação dos processos, e permite um rastreamento minucioso de cada etapa da operação, para um objetivo final, que é o incremento da produtividade, através da análise e manutenção de uma operação otimizada.

### Referências Bibliográficas

- AALST, W. V. P. van der; HEE, V. K. *Workflow management: models, methods and systems*. Cambridge: MIT Press, 2002.
- BARROS, J.; ZEIGLER, B. P. *Adaptive Queueing: A Study Dynamic Structure DEVS*. Int. Trans. Opl. Res., v. 4, n.2, p. 87-98, 1997.
- BUSETTI, M. A.; SANTOS, E. A. P. *A project methodology applied to automated and integrated manufacturing systems*. Third International Conference on Production Research Americas' Region 2006.
- DÍEZ, A. B. G. *Modelling Techniques and Technologies to Support Enterprise Interoperability*. D.A1.1.1, 2004 . Acessado [www.athena.com](http://www.athena.com) , junho 2012.
- HOLLOWAY, L. E.; GONG, Y.; ASHLEY, J. *State observability and condition observability for a class of interacting discrete event systems*. Mathematics and Computers in Simulation, v. 70, p. 275-286, 2006.
- INAMASU, R.Y.; PÁDUA, S. I. D.; SILVIA, A. R. Y.; PORTO, A.J.V. *O potencial das redes de petri em modelagem e análise de processos de negócio*. Gestão & Produção, v.11, n.1, p.109-119, jan-abr, 2004.
- INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELING (IDEF0), 1993. Acessado [www.idef.com](http://www.idef.com), junho 2012.
- KOFMAN, E. *Discrete Event Simulation of Hybrid Systems*. Society for Industrial and Applied Mathematics, v. 25, n.5, p. 1771-1797, 2004.
- LIN, P. C.; JENG, D. L.; LIN, P. Y.; JENG, M. *Management and control of information flow in CIM systems using UML and Petri nets*. Int. J. Computer Integrated Manufacturing, v.18, n. 2-3, p.107-121, 2005.
- MARTY, J. C.; SAHRAOUI, A. E. K.; SARTOR, M. *Statecharts to specify the control of automated manufacturing systems*. Int. J. Prod. Res., v. 36, n. 11, 3183-3215, 1998.
- MAYER, R. J.; CRUMP, J.W; FERNANDES, R.; KEEN, A.; PAINTER, M. K. *Information Integration for Concurrent Engineering (IICE) Compendium of Methods Report*. Armstrong Laboratory, Logistics Research Division, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1995.
- MAYER, R. J.; MENZEL, C. P.; PAINTER, M. K.; WITTE, P. S.; BLINN, T.; PERAKATH, B. *Information Integration for Concurrent Engineering (IICE) IDEF3 Process Description Capture Method Report*. Armstrong Laboratory, Logistics Research Division, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1995. Acessado [www.idef.com](http://www.idef.com), junho 2012.
- MERTINS, K.; JOCHEM, R. *Architectures, methods and tools for enterprise engineering*. International Journal of Production Economics, v. 98, p.179-188, 2005.
- MERTINS, K.; JOCHEM, R. *Integrated enterprise modelling: a method for the management of change*. Production Planning & Control, v. 12, n. 2, p.137-145, 2001.
- MERTINS, K.; JOCHEM, R.; JÄKEL, F. W. *A tool for object-oriented modelling and analysis of business process*. Computers in Industry, v. 33, p.345-356, 1997.
- PIDD, M. *Modelagem Empresarial*. Editora Bookman, 1998.
- RYAN, J.; HEAVY, C. *Process modelling for simulation*. Computers in Industry, v.57, p.437-450, 2006.
- SOUZA, G. W. L.; CARPINETTI, L. C. R.; GROESBECK, R. L.; AKEN, E. V. *Conceptual design of performance measurement and management systems using a structured engineering approach*. International Journal of Productivity and Performance Management, v.54, n.5/6, p.385-399, 2005.