



## ESCALONAMENTO COOPERATIVO INTERORGANIZACIONAL

**Ricardo J. Rabelo**

**Alexandra A. Pereira Klen**

Universidade Federal de Santa Catarina  
G-SIGMA – Grupo de Sistemas Inteligentes de Manufatura  
Cx. Postal 476 – CEP 88040-900 – Florianópolis – SC  
Tel.: (48) 331-9387 – R. {204,208} – Fax: (48) 234-1519  
E-mails: rabelo@das.ufsc.br, klen@gsigma-grucon.ufsc.br

### **Resumo**

---

*Este trabalho tem como objetivo essencial apresentar uma abordagem para uma ágil coordenação e supervisão das ordens de produção da empresa, dando uma nova dimensão à atividade de “escalonamento” (scheduling), não apenas numa perspectiva intra-organizacional, mas também interorganizacional, contemplando toda a cadeia produtiva. Apresenta os fundamentos de um protótipo sendo desenvolvido, baseado nos paradigmas de negociação multiagente e de sistemas de suporte à decisão. Aspectos relacionados com a modelagem e integração da informação requerida nos vários níveis do CIM são abordados. Ao final, uma série de considerações são feitas, quer em relação aos resultados atingidos com o protótipo atual, quer para com as várias dificuldades – e desafios – existentes para a realização de um escalonamento cooperativo interorganizacional.*

**Palavras-chave:** *escalonamento; empresa virtual; gerenciamento da cadeia produtiva; sistemas multiagente; integração; sistemas de suporte à decisão.*

### **1. Introdução**

**D**entro do atual cenário de abertura de mercados e de globalização econômica, as empresas têm enfrentado grandes desafios para

aumentar os seus níveis de eficiência e, assim, se manterem competitivas. A necessidade de fazer frente aos novos valores de mercado, nomeadamente o rápido tempo de atendimento aos clientes, a grande necessidade de variação dos

produtos, o baixo preço e a grande qualidade, têm exigido das empresas uma profunda reorganização interna e uma revisão dos seus procedimentos e processos, por vezes levando-as à necessidade de uma completa reengenharia (KUSIAK *et al.*, 1996). Em termos concretos, estas medidas visam dar *agilidade* a uma empresa, no sentido dela poder reagir e se “moldar” coordenada e flexivelmente de acordo com as características dos pedidos e requisitos do mercado/clientes (KIDD, 1994). Atuar com agilidade, mantendo como objetivos estratégicos e de produção a maximização dos lucros e a minimização das perdas e dos níveis de estoques, representam uma parte daqueles desafios.

Uma outra parte refere-se à capacidade das empresas em lidar, agilmente, com uma série de aspectos gerais muito difíceis de serem geridos e que são, de certa forma, imprevisíveis. Exemplos destes aspectos são um comportamento não muito linear dos consumidores, os problemas ambientais, o aparecimento e a introdução de novas filosofias de produção, a confiabilidade e estabilidade da rede de fornecedores e da logística, e muitos outros. Paralelamente, do ponto de vista interno da empresa, seus sistemas precisam estar preparados para absorver os problemas de instabilidade do chão-de-fábrica, oriundos de eventos que, se não causam uma interrupção na produção, causam a necessidade de constantes replanejamentos e reescalamentos.

De fato, este recente conceito de produção ágil (*agile manufacturing*) provoca uma série de impactos em uma empresa, em uma larga variedade de aspectos – como fatores de competitividade – tais como nos níveis de automação e flexibilidade requeridos, nos procedimentos de controle de qualidade, no grau de cooperação com os fornecedores, nos níveis de autonomia e descentralização de decisões, entre outros.

Vários são os fatores que contribuem para a realização da agilidade desejada. Um deles é o sistema de escalonamento da empresa (além de *escalonamento*, existe uma série de traduções possíveis e vistas na literatura para o termo “*scheduling*”, tais como *seqüenciamento*,

*programação, agendamento, planejamento fino, e calendarização da produção*). Um sistema de escalonamento é responsável pela atribuição das ordens de produção (oriundas dos “processos de negócios” – *business processes*) aos recursos de produção (do chão-de-fábrica) ao longo do tempo. Esta atribuição deve refletir, obrigatoriamente, os objetivos e as limitações da empresa, à medida que novos processos de negócios são contratados. Isto significa que o sistema de escalonamento é aquele que, por fim, acaba determinando a “cadência” de produção.

Sob o efeito da procura de soluções que fizessem frente àqueles novos valores de mercado e aos seus requisitos, uma série de filosofias de sistemas surgiram. O impacto destas filosofias sobre os sistemas de escalonamento provocaram uma alteração nos seus centros de gravidade. De uma ênfase inicial colocada na procura por sistemas de geração *automática* de escalonamentos *ótimos*, passou-se para um centro de gravidade onde a procura se concentrara na geração *interativa* de escalonamentos mais *flexíveis*, capazes de absorver algumas perturbações vindas, especialmente, do chão-de-fábrica. Numa evolução deste último, pode-se afirmar que o atual centro de gravidade tem caminhado na direção dos sistemas de escalonamento *inteligentes* e *ágeis*, como suporte à manufatura ágil e à empresa virtual (SZELKE *et al.*, 1994; PARUNAK, 1995; RABELO *et al.*, 1996b).

Nesse contexto de requisitos, e se analisando as abordagens e sistemas de escalonamento atualmente existentes, notam-se ainda uma série de limitações e que servem como as grandes motivadoras deste trabalho:

- *pouca flexibilidade e agilidade* para uma reação inteligente;
- *subutilização do conhecimento* intrínseco que eles têm e podem proporcionar para as atividades de planejamento da empresa (em seus vários níveis);
- *não estão preparados* para lidar com um ambiente de *empresa virtual* e integração com os fornecedores;

- *complexidade do escalonamento* da produção, agravada por um certo grau de imprevisibilidade no chão-de-fábrica e pela necessidade de se relaxar restrições e por fim validar um escalonamento.

Este trabalho apresenta uma inovadora aproximação para a coordenação do escalonamento cooperativo, tanto numa perspectiva intra-organizacional, como numa interorganizacional. Portanto, dá uma nova dimensão à atividade de “escalonamento”, estendendo-a aos limites dos fornecedores de uma empresa, contemplando toda a cadeia produtiva (*supply-chain*). Com isso, procura contribuir na melhoria da atividade de escalonamento, tradicionalmente não preparada para conviver em ambientes de empresa virtual (*virtual enterprise*), estendida (*extended enterprise*) ou mesmo de manufatura virtual (*virtual manufacturing*).

O protótipo ora em desenvolvimento reflete uma visão bastante ampla e inter-relacionada dos problemas, soluções, tecnologias e tendências relacionadas com a manufatura integrada, envolvendo desde a integração com os recursos de produção do chão-de-fábrica até a interoperação com as plataformas computacionais das outras empresas. Tem como grande base os conceitos de integração e gerenciamento da informação, de virtualização da estrutura de produção, de sistemas multiagente e de apoio a decisão, e de empresas virtuais.

O desenvolvimento do trabalho tem sido efetuado no âmbito de dois projetos de pesquisa internacionais, o Esprit Prodnet-II (*Production Planning and Management in an Extended Enterprise*) (PRODNET, 1996) e INCO-DC Massyve (*Multiagent Manufacturing Scheduling Systems for Virtual Enterprises*) (MASSYVE, 1997). Este artigo está organizado da seguinte forma: o capítulo 1 introduz o problema, o 2 descreve o que se considera como escalonamento ágil, o 3 posiciona a questão do escalonamento cooperativo, o 4 mostra como a abordagem de sistemas multiagente é usada, o 5 introduz o enquadramento HOLOS de suporte ao escalonamento ágil, o 6 e 7 abordam a problemática da

integração e modelagem de informação necessárias nos vários níveis de empresa, e o 8 apresenta alguns dos resultados obtidos.

## 2. O Escalonamento Ágil

Pode-se definir escalonamento *dinâmico* como sendo (RABELO *et al.*, 1995)...

“a ação de adaptar o escalonamento corrente, simultaneamente com a sua execução, em função da ocorrência de eventos não planejados, tanto os provenientes do chão-de-fábrica como os do nível de planejamento, de tal forma que o escalonamento se mantenha... *realístico*: reflita o real estado do chão-de-fábrica; *viável*: realizável, de acordo com as restrições temporais, de capacidade e tecnológicas existentes; e *coerente*: sem desvios em relação aos objetivos e metas traçadas”.

Numa perspectiva de necessidade de uma maior agilidade e flexibilidade da empresa quanto a sua adaptação diante da chegada de um *processo de negócios*, o conceito de escalonamento deve igualmente acompanhar aquela necessidade. Neste sentido, define-se escalonamento ágil como (RABELO *et al.*, 1996a)...

“a atividade ou sistema com a capacidade de suportar as ações de:

- *escalonamento dinâmico*, e;
- *ágil adaptação*: capacidade de permitir uma flexível adaptação de toda a estrutura de produção de uma empresa de acordo com as características e requisitos de um dado processo de negócios.”

Esta última característica será mais adiante abordada. Ela está intimamente relacionada com a proposta deste trabalho de não apenas suportar a formação e o gerenciamento de *áreas virtuais de produção*, mas também de permitir que escalonamentos para elas sejam gerados e – local e descentralizadamente – supervisionados, tanto na perspectiva intra-organizacional como na interorganizacional.

De forma a poder atender aos requisitos da empresa numa perspectiva ágil, um dos mais importantes é o *escalonamento integrado*. A

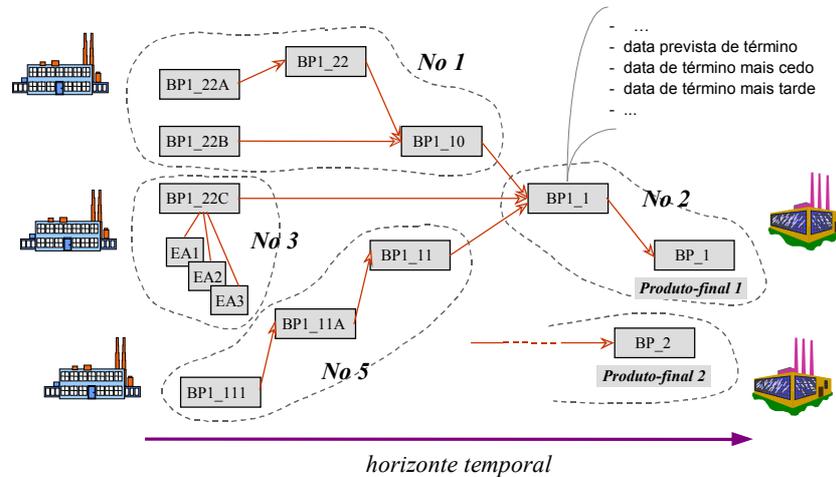


Figura 1 – Cenário de uma Empresa Virtual.

atividade de escalonamento não pode ser vista como uma atividade isolada, mas sim *como uma forte interação com outras atividades, principalmente com as de planejamento e de supervisão de execução*. Primeiro porque só com uma aproximação que contemple a integração de toda a informação existente e gerada pelas demais atividades direta e indiretamente envolvidas no escalonamento é que potencialmente se garantirá que um escalonamento realístico seja gerado. E segundo porque esta visão – raramente encontrada na literatura – permite que as “fronteiras” entre as atividades sejam claramente identificadas e, com isto, leva a empresa/sistemas a ter uma precisa definição das devidas responsabilidades e âmbitos de ações, crítico na resolução de problemas e no tratamento dos eventos imprevistos.

### 3. Escalonamento Cooperativo

A aplicação do paradigma de empresa virtual (EV) (BROWNE *et al.*, 1995) pelas indústrias começa a ser atualmente uma forte tendência, apesar de ser relativamente recente. Devido ao aumento da competitividade e da globalização do mercado, as empresas têm procurado ter um controle mais “apertado” e, ao mesmo tempo, uma relação mais amigável com os seus fornecedores e clientes, dentro da filosofia de gerenciamento integrado da logística

(KLEN *et al.*, 1998). Em um cenário de EV, a produção de um produto (um processo de negócios distribuído / *distributed business process – DBP*) (RABELO *et al.*, 1996a) é executada por uma série de diferentes (e normalmente, geograficamente distantes) fornecedores, conectados entre si por uma rede de computadores (*VANs – value-added networks*). Em uma EV, em um certo momento, para um certo produto, uma determinada empresa (um “nó” da rede) atua como o “disparador” do negócio (coordenador) e as outras como seus fornecedores. Um DBP é representado por um grupo de BPs, formado dinamicamente e temporariamente e que, no conjunto, concretizam o “produto final” da EV. A Figura 1 ilustra o conceito de DBP.

A empresa ‘2’ (nó-2) atua, no exemplo hipotético, como a empresa coordenadora (*EV coordinator*), e os nós nó-1, nó-3 e nó-5 como seus fornecedores diretos. Cada nó tem alguns BPs sob sua responsabilidade (e as suas respectivas *Atividades de Empresa / Enterprise Activities – EAs*, que representam as operações de manufatura “de baixo nível” dentro de cada BP), ilustrados nos círculos pontilhados aos seus redores. Eles representam o valor agregado de cada empresa na cadeia de produção, ao longo do tempo. Por exemplo, o fornecedor nó-1 tem que executar quatro BPs interdependentes (*BP1\_10, BP1\_22, BP1\_22A e BP1\_22B*), cujo

resultado deve ser enviado, dentro de certos prazos, ao fornecedor *nó-2* de forma que o *BPI\_1* possa ser processado e, assim, a produção inteira possa ser mantida.

Todavia, para alcançar a agilidade necessária, esta rede de produção tem que ser *coordenada* eficazmente de forma que qualquer problema na produção (em qualquer nó que afete o “grafo de produção” global) possa ser rapidamente detectado e, conseqüentemente, adequadas decisões possam ser tomadas. Portanto, a necessidade de um escalonamento de mais alto nível da produção é de extremo significado.

Porém, o desenvolvimento de um sistema de escalonamento plenamente preparado para suportar eficazmente esse cenário é, igualmente, outro desafio. Além da complexidade desta coordenação de mais alto nível, as funcionalidades requeridas para esses “novos” sistemas de escalonamento não estão ainda precisamente definidas. Também, as tecnologias de informação mais adequadas para serem aplicadas na integração da informação e nas infra-estruturas de comunicação não são completamente compreendidas. De fato, apesar do grande *boom* de projetos de pesquisa recentes na área de EVs (tais como NIIP (NIIP, 1995), Vega (ZARLI, 1997), Vive (SANTORO, 1997), Aicime (AICIME, 1997), Prodnet-II (CAMARINHAMATOS *et al.*, 1997), e muitos outros), pode-se afirmar que a área geral de EV ainda está em fase de maturação.

Em um cenário clássico, uma empresa normalmente se planeja de forma “isolada” dos seus fornecedores, com um grau muito baixo de cooperação entre si. Estender a definição de escalonamento ágil para EV significa dar condições às empresas de funcionarem como que em um “verdadeiro” *just-in-time on-line*. Com isto, toda a – cada vez mais crítica atividade de – logística intra e interempresas acaba sendo fortemente afetada, requerendo uma ligação bem mais integrada do que no passado (KLEN *et al.*, 1998). Em suma, aquela extensão não significa apenas uma simples questão de fazer as empresas “conversarem” entre si, mas

de, principalmente, sincronizar – distribuída e “eletronicamente” – as suas produções em relação a um certo BP.

Esta sincronização é uma árdua tarefa. Um BP inteiro é constituído por vários (sub)BPs interdependentes, que são produzidos por várias outras empresas. Conseqüentemente, problemas como atrasos, cancelamentos, modificações e mudanças em prioridades de BPs, são bem mais difíceis de serem administrados. Qualquer decisão sobre um BP que afete a cadeia de produção não pode ser decidida isoladamente, mas pelo intermédio de uma “negociação” entre todas as empresas implicadas. Tal negociação envolve uma análise, por cada empresa, em termos de estratégias e decisões a serem tomadas de acordo com a gravidade do problema, que por sua vez podem ter um nível de complexidade bastante amplo, variando de rápidas e fáceis decisões de apenas retardar o início em um dos BPs sucessores, por exemplo, a demorados e difíceis processos decisórios que podem culminar com o cancelamento de um BP, a troca de fornecedor ou até mesmo na dissolução da EV como um todo.

Os próximos dois capítulos abordam os principais “alicerces” deste trabalho, base para as modificações e extensões sendo: o paradigma dos sistemas multiagente, e o enquadramento HOLOS para sistemas de escalonamento nesse paradigma.

#### 4. Os Sistemas Multiagente

A Inteligência Artificial distribuída é um subcampo de Inteligência Artificial que pesquisa os problemas associados com uma sociedade de “resolvedores de problema” (*problem solvers*) que interagem para resolver um problema comum, podendo envolver computadores e pessoas, sensores, aeronaves, robôs, etc. Esta sociedade é denominada *Sistema Multiagente (Multi-agent Systems – MAS)*, isto é, uma rede de resolvedores de problema que trabalham juntos para resolver problemas que estão além das suas capacidades individuais.

A utilização da tecnologia de MAS tem uma série de vantagens em relação a forma “monolítica” de resolução de problemas (ver JENNINGS, 1994 e SHAW, 1997). No entanto, para que se possam atingir os benefícios a que se propõem, soluções MAS são adequadas para problemas que (RABELO *et al.*, 1995; TÖNSHOFF *et al.*, 1995):

- sejam intrinsecamente distribuídos;
- requeiram uma união de conhecimentos de vários domínios para sua resolução;
- requeiram a aplicação de vários resolve-dores de problema, num mesmo ambiente;
- incluam diferentes níveis de autonomia e descentralização de resultados e decisões;
- tenham um comportamento dinâmico;
- sejam intrinsecamente conflitantes, requerendo um relaxamento flexível e negociado das suas restrições para a sua solução.

Vê-se, portanto, que a tecnologia de MAS é bastante adequada para os requisitos do sistema de escalonamento ágil proposto / sendo pesquisado, e que não são devidamente suportados por outras abordagens ao problema, tais como a analítica, iterativa, baseada em regras e a maior parte das ligadas à inteligência artificial.

À parte a enorme diversidade de definições existentes, para ser considerado um agente é preciso que ele apresente as seguintes três propriedades fundamentais (WOOLDRIDGE *et al.*, 1995):

- (um certo grau de) *autonomia* para raciocinar e tomar decisões por si mesmo, independentemente dos outros agentes;
- capacidade de *interação* com outros agentes para resolver um certo problema;
- (um certo grau de) *independência* para resolver um problema, ou seja, o agente tem conhecimento sobre como resolver (pelo menos parte de) um problema.

Portanto, um agente é caracterizado essencialmente pelo *o que* sabe fazer, em *como* sabe fazer, e pelo comportamento que exhibe *ao fazer* uma tarefa (BOND *et al.*, 1988; CAGLAYAN *et al.*, 1997; HUHNS *et al.*, 1998). No contexto deste trabalho, o tipo de agente “industrial” considerado é definido como sendo um módulo de

*software* distribuído, envolvido num ambiente heterogêneo, com aquelas três propriedades fundamentais descritas anteriormente. Em termos de comportamentos, ele é (baseado nas terminologias usadas em WOOLDRIDGE *et al.*, 1995 e JENNINGS, 1994) *semi-autônomo, interagente, independente, cooperante, benévolo, responsável, racional, honesto, deliberativo e auto-supervisor*. Ressalta-se a relação de todas essas definições e propriedades com o tema-base deste trabalho no sentido de que, concretamente, eles deverão se refletir na programação do sistema (dos agentes).

#### 4.1 A Cooperação

Quando da construção de soluções multiagente a propriedade de cooperação é uma das mais importantes de ser considerada. É a principal responsável por definir o comportamento geral do sistema tanto internamente (entre seus agentes) como externamente (com outros sistemas (multiagente)). Em JENNINGS (1994) são dadas três razões equivalentes para munir os agentes de um comportamento cooperativo em um sistema multiagente:

- porque as tarefas e as ações relacionadas com o agente são interdependentes;
- porque a resolução de subproblemas requer que as restrições globais do problema/sistema sejam respeitadas;
- porque é necessário unir “forças” (de forma complementar) em termos de competências, recursos e informações dos agentes, para a solução do problema.

Na verdade, uma cooperação pode ser de vários tipos e ser realizada em vários níveis, consoante ao perfil de capacidades das entidades envolvidas. No entanto, para aplicações que competem entre si, um comportamento completamente cooperante pode não ser adequado ou mesmo até ser desastroso. Por exemplo, agir cooperativamente significa fornecer toda a informação requerida por um outro agente. Se este agente é “externo”, ele pode vir a usar esta informação contra aquele. Um claro exemplo desta no caso de EVs. Atualmente há várias

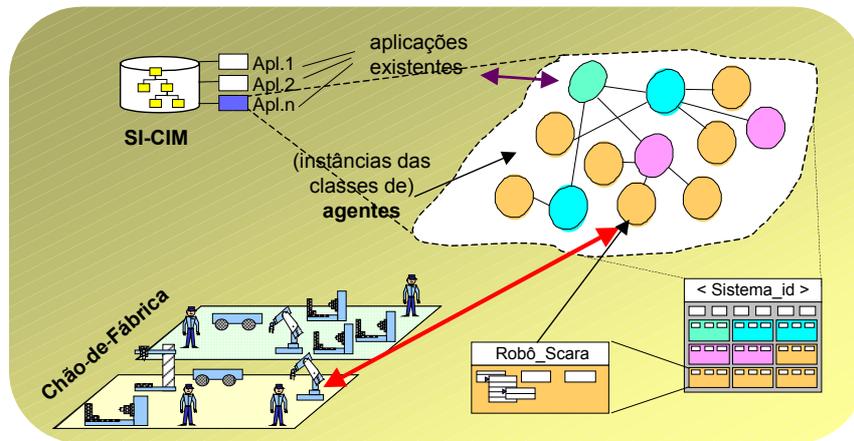


Figura 2 – Sistema HOLOS.

abordagens que modelam cada empresa da rede como um agente (ROCHA *et al.*, 1999; RABELO *et al.*, 1999b). Assim, durante a negociação ou em algumas fases da execução de certas tarefas, uma empresa não pode estar completamente aberta a outra empresa uma vez que informações confidenciais estão normalmente circulando (SANDHOLM, 1996). No capítulo 8 é mostrado como esse problema de se lidar com agentes não totalmente cooperantes em um escalonamento interorganizacional é enfrentado neste trabalho.

## 5. O Enquadramento HOLOS

HOLOS é um enquadramento e metodologia desenvolvidos para suportar a “derivação” de *instâncias* de sistemas de escalonamento ágil multiagente (RABELO, 1996b). Este capítulo fornece uma descrição geral das principais características de um sistema de escalonamento ágil multiagente HOLOS, base para as modificações e extensões que tem sido feitas neste presente trabalho.

### 5.1 O Sistema de Escalonamento Multiagente HOLOS

Um sistema de escalonamento ágil multiagente HOLOS é representado por um conjunto de (instâncias de “classes” de) agentes derivados

e configurados para uma determinada empresa / chão-de-fábrica, e que processam e trocam informações uns com os outros sobre ordens de produção, de forma a gerar, executar e supervisionar um escalonamento. A Figura 2 ilustra a visão geral do cenário de um sistema de escalonamento HOLOS, uma vez derivado.

De um lado está o sistema de informação CIM (SI-CIM), fonte da maior parte da informação necessária para o escalonamento, e que integra as demais atividades / aplicações da empresa, tal como, no caso, de escalonamento. Do outro lado, está o chão-de-fábrica, com todos os seus recursos de produção (máquinas CNC, robôs, sistemas de transporte, etc.), organizados e modelados (ver capítulo 7). Os agentes comunicam-se com o SI-CIM e entre si, além de (alguns) se comunicarem diretamente com os recursos de produção, de acordo com a modelagem e topologia existentes. Cada agente tem sua respectiva interface gráfica, sobre a qual o usuário-supervisor pode ainda acompanhar, analisar resultados e intervir.

### 5.2 A Utilização da Negociação

A arquitetura de controle desenvolvida é fortemente apoiada no paradigma da Negociação (DAVIS *et al.*, 1983) / Rede de Contracto (RdC) (*Contract-net Protocol*) (SMITH, 1980). A razão da sua escolha está diretamente ligada à

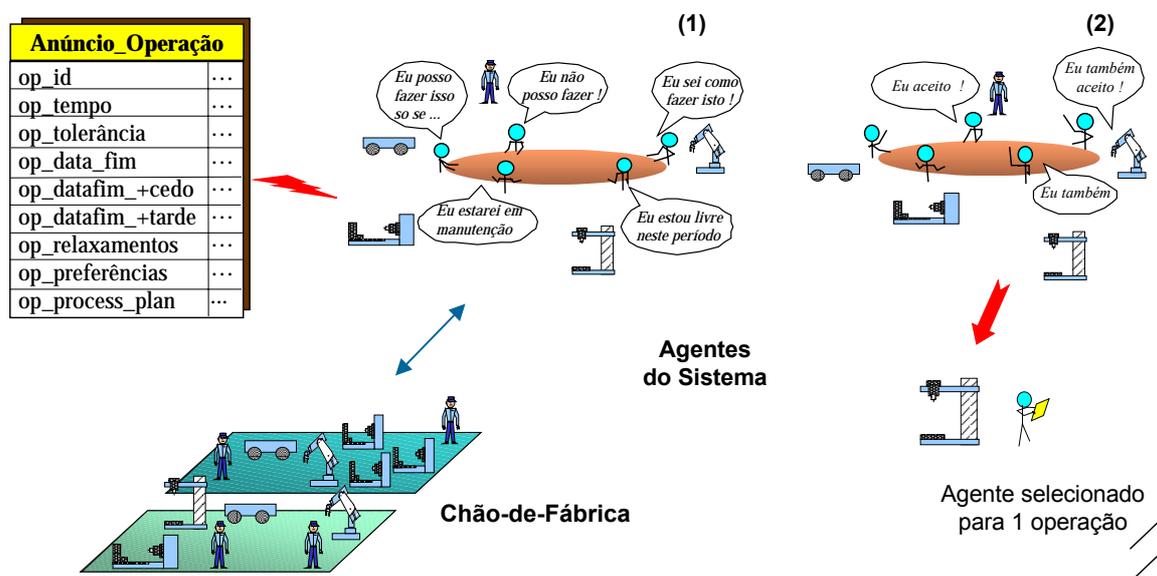


Figura 3 – Negociação no Escalonamento.

flexibilidade que o paradigma da negociação oferece para o relaxamento das restrições, fundamental em uma arquitetura de suporte ao escalonamento ágil. A Figura 3 ilustra a filosofia básica de funcionamento de uma RdC na abordagem HOLOS para o escalonamento. Genericamente, um escalonamento corresponde a ação de atribuir tarefas a recursos de produção (neste caso, a agentes) durante certos períodos de tempo. Portanto, o processo consiste em fazer com que os agentes troquem, com outros agentes, informações sobre uma dada tarefa (fase 1) até que um deles seja selecionado para a execução desta (fase 2) (RABELO *et al.*, 1994). No HOLOS, uma tarefa é representada, em suma, por “atividades de empresa” (EA) de um “processo de negócio” (BP) (seção 7.2).

### 5.3 O Agente Consórcio

Existem quatro “classes” de agentes HOLOS. Uma das mais importantes é a classe/agente *Consórcio*, o essencial “habilitador” do desejado escalonamento interorganizacional. O Consórcio é um agente *temporário* criado para supervisionar o andamento de uma dada ordem de produção (um BP) que é executada por um agrupamento

*virtual* de agentes AAEs, *dinamicamente* selecionados – via negociação – para processá-la. A Figura 4 ilustra o conceito de um consórcio.

Uma das fundamentais diferenças entre os escalonamentos “tradicional” e o apresentado neste trabalho está em que neste não existe um escalonamento único, pesado, mas sim uma “porção” do escalonamento global, cada qual associada a uma ordem de produção.

Do ponto de vista do sistema de escalonamento, a aplicação do conceito de Consórcio visa, essencialmente, dar condições para uma maior agilidade e flexibilidade em um (re-)escalonamento, quando da ocorrência de conflitos. Um Consórcio representa um *escalonamento distribuído*, mas com uma função (delegada) de *supervisão e controle descentralizado*. Daí que um Consórcio é muito mais do que uma “mera” *célula virtual*. O objetivo é de que cada Consórcio seja responsável por garantir que a execução do BP, por ele representado, suceda corretamente, nem que para tal seja necessária alguma intervenção sua (*re-escalonamento local*) (RABELO *et al.*, 1998). Em casos mais extremos, esta intervenção pode ser a nível de busca / substituição do recurso problemático por um outro “equivalente”. Portanto, cada uma

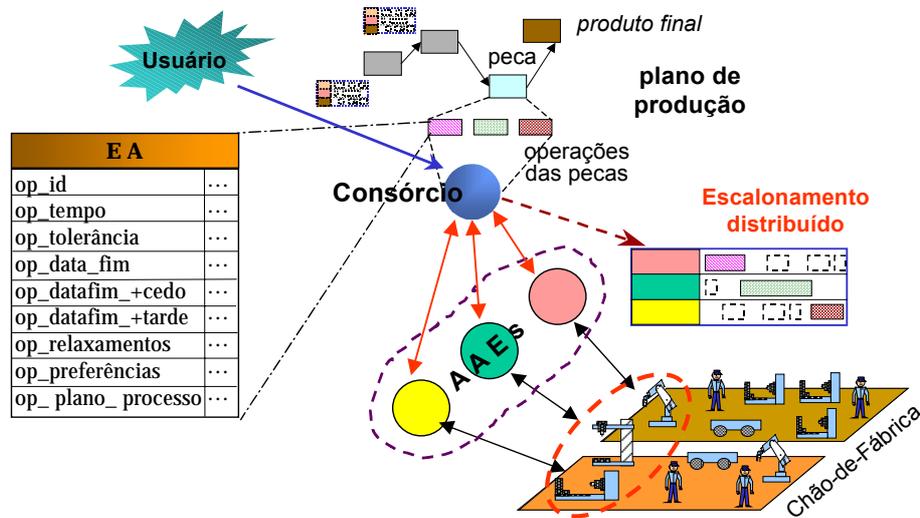


Figura 4 – Um Consórcio.

das “porções” de escalonamento passa a ser, não uma mera parte de um plano (passivo), mas sim uma entidade com um comportamento ativo, com autonomia própria e cooperante com as demais entidades (Consórcios).

A avaliação da qualidade do escalonamento gerado e sendo executado é avaliada por intermédio da aplicação de uma série de índices “padrões” de avaliação de desempenho, tais como tempo de fluxo, tempo total de produção, níveis de atrasos, entre outros. Porém, o usuário supervisor tem poder de intervir a “qualquer” momento caso ele observe algum desvio não detectado automaticamente pelo sistema. Daí que ele também pode interromper um processo de negociação eventualmente em curso. Um escalonamento do tipo virtual, como é o sustentado pelo conceito do Consórcio, visa, entre outros aspectos, minimizar a subutilização ou “gargalos” temporários de/em alguns recursos, a subutilização de uma célula no caso de problemas em um dos seus recursos, e propiciar uma maior “harmonização” no fluxo de materiais.

## 6. As Comunicações no Ambiente de Manufatura

Esse aspecto é de grande importância e complexidade na medida em que o ambiente

de manufatura, ou seja, os sistemas com os quais é necessário se comunicar, são extremamente heterogêneos e possuem, via de regra, diferentes protocolos de comunicação. Em linhas gerais, um sistema pode se comunicar com cinco tipos de “entidades”:

- *Usuário*: visa permitir a um agente se comunicar com o usuário-supervisor, o que é efetuado por meio de interfaces gráficas, desenvolvidas no próprio ambiente de programação dos agentes.
- *Outros agentes*: visa permitir um agente trocar informações com os outros agentes de um mesmo sistema/comunidade. Isto pode ser feito através de propostas internacionais, como o KQML (*Knowledge Query Manipulation Language*) (FININ, 1994) via *sockets* ou *CORBA*, ou através de um protocolo próprio, comum aos agentes, que é o que foi implementado neste trabalho por ser bem mais “leve”.
- *Outros sistemas*: visa permitir um agente trocar informações diretamente com outros sistemas (inclusive multiagente). Se com sistemas “tradicionais”, a comunicação depende de como estão disponibilizados os “serviços exportáveis” da aplicação, normalmente feito via uma API (*Application Program Interface*) própria / via RPCs (*Remote Procedure Call*).

Se com outros sistemas multiagente, como mencionado, via KQML, por exemplo.

- *Sistemas de informação*: visa permitir a um agente/sistema ter acesso a sistemas de informação existentes, cujas informações/serviços são acessados como cliente-servidor. Neste trabalho, o protocolo padrão STEP/SDAI (*STEP Data Access Interface*), via RPCs, é utilizado para acessar informações baseadas em bancos de dados, enquanto que o protocolo HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*), via CGIs (*Common Gateway Interface*), é usado para acessar informações de servidores Web. Para segurança de acesso, é usado um protótipo desenvolvido no projeto Prodnets, chamado PIX (OSÓRIO *et al.*, 1999).
- *Recursos de produção*: visa permitir um determinado recurso de produção ser representado em uma comunidade multiagente, ou seja, que seus serviços possam ser invocados por um agente, “diretamente”, em tempo-real. Este é um dos níveis de integração mais complexos de serem realizados, uma vez que é neste que a faceta mais árdua da heterogeneidade dos equipamentos industriais está concentrada. Em se usando plenamente a filosofia de certos padrões internacionais, tais como o MAP/MMS (*Manufacturing Automation Protocol / Manufacturing Message Specification*) (MACKIEWICZ, 1994), a comunicação entre uma aplicação (no caso, um agente) e um recurso / seu controlador local (via de regra um CLP – Controlador Lógico Programável) pode ser feita diretamente.

Todavia, considerando a gama de heterogeneidade, particular de cada fabricante, a alternativa empregada neste trabalho recorre a filosofia de *sistemas legados* (CAMARINHA-MATOS *et al.*, 1996), adotando uma abordagem de “agentificação” (WITTIG, 1992). “Agentificar” significa adicionar “camadas” de *software* sobre o controlador local do recurso (*wrapping*), virtualizando seus serviços e, posteriormente, numa filosofia cliente-servidor, poder acessar / se comunicar com o recurso (RABELO *et al.*, 1994).

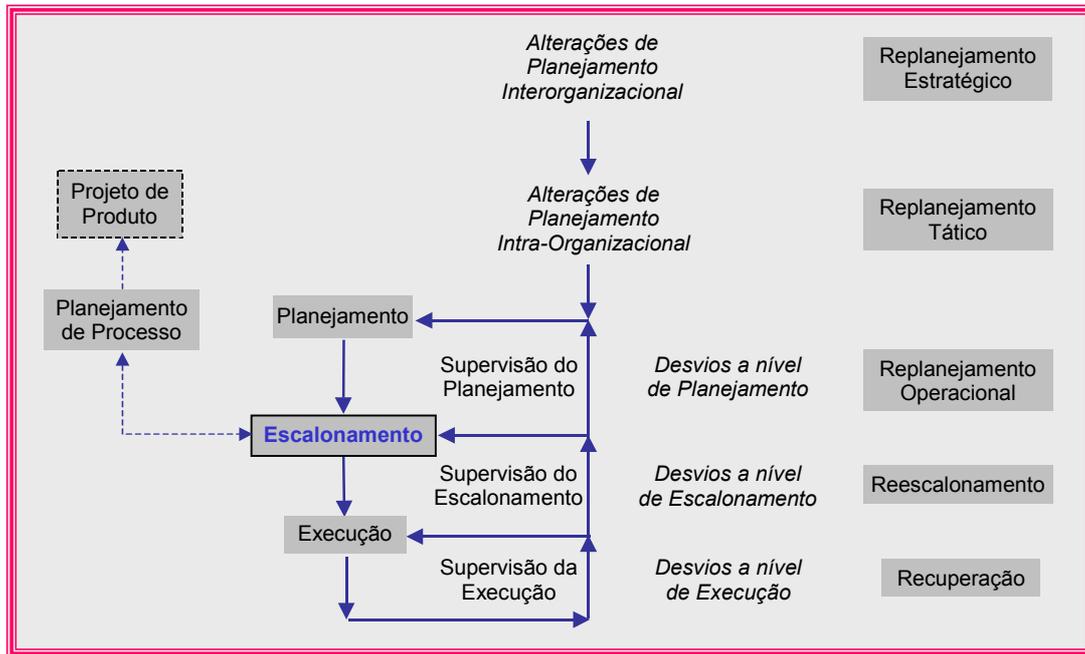
Em RABELO (1997) descreve-se em detalhes todos esses níveis de comunicação e integração, oferecendo inclusive uma metodologia de suporte. Em suma, a arquitetura de um sistema (multiagente) deve ser aberta, de forma a permitir que todos os protocolos convivam no mesmo ambiente de integração. Ainda, a comunicação deve utilizar, tanto quanto possível, padrões internacionais.

## 7. A Integração e a Modelagem da Informação e da Empresa

A integração e a modelagem da informação e da empresa são requisitos considerados de extrema importância para que um sistema de escalonamento de uma empresa possa funcionar de uma forma efetivamente ágil. Para suportar esta agilidade, uma empresa necessita ser flexível e adequadamente modelada, potencializando toda a sua estrutura produtiva de capacidade de reação.

Uma eficaz reação requer que todas as informações requeridas para um processo de decisão estejam disponíveis no momento necessário e que sejam confiáveis. Ainda, dado que a qualidade da agilidade da reação da empresa depende também do grau de integração entre os vários setores/atividades envolvidos, a utilização de modelos de informação “normalizados” propicia uma maior eficácia na troca de informações. Isto adquire uma maior importância quando se enquadra uma empresa dentro de uma realidade de manufatura / empresa virtual, na qual a reação pode ser maximizada se as diferenças semânticas entre as informações trocadas forem menores e “mapeamentos” entre seus modelos forem dispensados.

Sistemas de Informação para o CIM (SI-CIM) têm sido gradualmente adotados pelas empresas como o repositório lógico de informação integrada das suas atividades (OSÓRIO *et al.*, 1993), e é também a abordagem adotada neste trabalho. Um SI-CIM é constituído por um conjunto de (modelos de) informação organizada, potencialmente completa, atualizada e



**Figura 5 – Enquadramento para o Escalonamento Ágil.**

partilhável, representando o meio pelo qual os sistemas de uma empresa podem comunicar entre si, de uma forma integrada, no âmbito do ambiente de produção. Um eficiente Sistema de Informação CIM provê às várias atividades da empresa terem acesso a informação certa, no momento certo, no lugar certo, do modo certo e em um formato certo (ou interoperável), um dos aspectos “alavancadores” cruciais no suporte à agilidade da empresa e ao rápido processo de decisão. Do ponto de vista de implementação, um SI-CIM pode ser baseado em banco de dados, logicamente centralizado (BERNHARD, 1992), distribuído (GONÇALVES *et al.*, 1996) ou federado (AFSARMANESH *et al.*, 1997), como também pode ser baseado na idéia de servidor(es) Web (OSÓRIO *et al.*, 1998), nas perspectivas de Intranet, Externet ou Internet. Este trabalho utiliza a abordagem híbrida, *federated web-based*, para o SI-CIM.

### 7.1 Descentralização da Supervisão

De acordo com o explanado no capítulo 2, a atividade de escalonamento deve estar fortemen-

te integrada com demais atividades com as quais ele interage. Isso propicia uma base fundamental para que ela possa reagir aos problemas e requisitos do escalonamento ágil, tanto da empresa como da cadeia produtiva. Porém, essa reação pode ser mais ágil na medida em que a supervisão, a identificação e a solução dos problemas puder ser feita de forma descentralizada, coordenadamente. Neste sentido, este trabalho apresenta um enquadramento de suporte à descentralização da supervisão e de decisões, ilustrado na Figura 5. Primeiramente, há uma relação hierárquica entre as atividades de planejamento, escalonamento e supervisão. O planejamento (em seus níveis estratégico, tático e operacional) alimenta a atividade de escalonamento (com um plano “inicial” e/ou com alterações sobre o plano em vigor) cujo resultado (um escalonamento) é por sua vez supervisionado quando colocado em execução. Em cada umas destas atividades há uma ação de supervisão, responsável por acompanhar os níveis de desvio do que está a ser supervisionado, ou seja: averiguar o estado de cumprimento das metas desejadas de um plano *versus* os resultados do

seu estado corrente; os índices de avaliação de desempenho esperados quanto a qualidade de um escalonamento *versus* os vindo a ser medidos; e o estado de correção de execução das operações de um escalonamento *versus* o vindo a ser atingido. Portanto, vê-se um sistema global de planejamento e controle da produção como sendo descentralizado e constituído pelos subsistemas de planejamento, escalonamento e supervisão de execução. Estes são distribuídos, autônomos, e cooperantes entre si.

Como mencionado, tem sido observado um aumento gradual nos níveis de autonomia naquelas várias atividades gerais. Como estas atividades não são completamente independentes, torna-se necessário que as ações de supervisão acompanhem também esta tendência. Assim sendo, a supervisão proposta é descentralizada, executada a nível local. Isto significa que, quando da observação de algum desvio em um dado nível, a própria atividade deve ter por responsabilidade a sua auto-recuperação, tentando *inicialmente* resolver o problema dentro do seu âmbito de ação. Caso ela não consiga fazer uma recuperação local, então o problema é passado para o nível acima. Por exemplo, caso a supervisão diagnostique que uma ferramenta de uma máquina CNC quebrou e que não se conseguirá trocá-la dentro de um certo tempo planejado, então o problema é passado para o escalonamento, que então tentará absorver esta ocorrência e, dependendo da gravidade, fará um re-escalonamento. Se a nível de escalonamento o problema também não conseguir ser absorvido (ou seja, o reescalonamento obtido não consegue atender aos objetivos e restrições da operação), então o problema é passado para o planejamento, que por sua vez tentará absorver o problema e, dependendo da gravidade, fará um replanejamento. Se a este nível o problema também não conseguir ser absorvido, então ele será considerado “insolúvel” a nível de produção e, portanto, só a nível de gerenciamento da produção é que decisões poderão ser tomadas.

O objetivo primordial deste enquadramento integrado multinível de supervisão é o de fazer

frente a um dos principais obstáculos a um comportamento ágil da empresa, que é o normalmente alto tempo de resposta do chão-de-fábrica. Com informações rápidas e confiáveis, torna-se possível um gerenciamento da produção com maior qualidade, em termos de planejamento das capacidades, das necessidades de material, etc., levando-se em conta o real estado do chão-de-fábrica.

Esse enquadramento assume também um certo poder de supervisão e intervenção humana. Assim, quer durante uma execução “normal”, quer em caso de desvios, um operador humano pode tomar decisões, intervindo diretamente no processo. Todavia, dada a natural complexidade dessa análise, é importante que ele seja provido de um sistema de apoio à decisão, que propicie uma avaliação das decisões que ele venha a tomar. Na seção 8.4 é apresentado um protótipo deste tipo desenvolvido na UFSC.

## 7.2 Modelagem da Informação

O SI-CIM funciona como uma camada de abstração que age sobre os bancos de dados locais e heterogêneos, possibilitando o acesso à informação independentemente do local onde ela esteja. Esta seção trata de como a informação é modelada no banco de dados.

Inicialmente, devem-se identificar quais são as informações necessárias para um escalonamento ágil. Do ponto de vista intra-organizacional, são modelados: Ordens de Encomendas, Ordens Industriais, Modelo do Produto, Modelo das Peças, Modelo de Produção do Produto, Planos de Processo e Plano Mestre da Produção.

Além de todos esses modelos, o SI-CIM tem também o modelo de informação sobre toda a estrutura produtiva da empresa, organizada de uma forma multinível, funcional e hierárquica. Toda esta modelagem pode ser particularizada para cada empresa. O modelo genérico assume inicialmente que cada empresa é dividida organizacional e funcionalmente de acordo com a sua estrutura hierárquica. No topo da hierarquia assume-se que existe uma *holding*. Esta, por sua

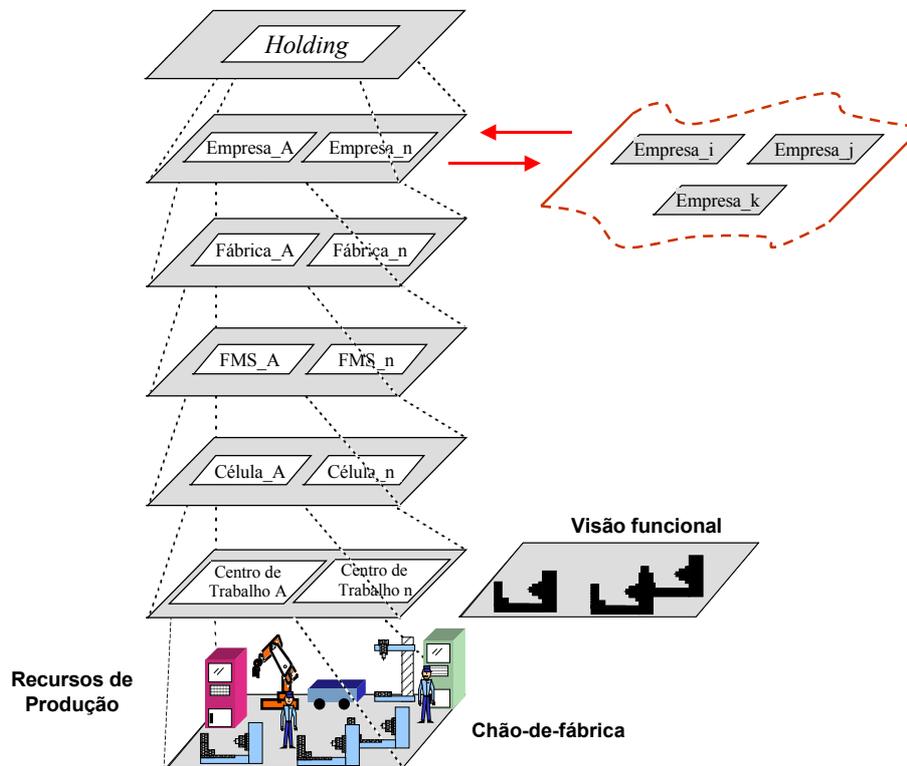


Figura 6 – Virtualização da estrutura produtiva da empresa.

vez, pode ser subdividida em empresas, depois em fábricas, centros de custo, sistemas flexíveis autônomos, células, centros de trabalho, etc., e por fim em estações de trabalho, representando os recursos de produção individuais (Figura 6). Sobre cada nível, podem ser ainda aplicadas “visões” abstratas (representadas também por agentes HOLOS).

Essa modelagem, que acaba por estar no nível intra-organizacional (mesmo que envolvendo outras empresas), contempla também o nível interorganizacional, necessário para ambientes de empresa virtual. Contudo, se na intra-organizacional a “instanciação” dos modelos é relativamente fixa, na virtual ela tende a sempre mudar, de acordo com a composição das empresas. Daí que foi preciso adicionar outros modelos / níveis de informação.

A nível de centro de trabalho, por exemplo, ele é modelado como um agrupamento de uma ou mais estações de trabalho, inter-relacionadas funcional e topologicamente. Cada centro de

trabalho possui a descrição dos tempos de planejamento-padrão a serem aplicados sobre si para fins de controle da produção, bem como a descrição das suas características gerais sobre suas capacidades técnicas de produção e são identificados os “serviços” que o centro de trabalho disponibiliza para outras aplicações externas, serviços estes virtualizados numa filosofia de cliente: servidor, na forma de serviços MMS (ver capítulo 6). Cada estação de trabalho possui três visões de informação: tecnológica, de capacidades e de topologia. Do ponto de vista interorganizacional, três níveis de “abstração” foram criados *sobre* os modelos intra-organizacionais (RABELO *et al.*, 1998a):

- *Conjunto de DBPs*: relação das empresas virtuais que a dada empresa está envolvida, ou seja, quais são os DBPs “contratados”;
- *Processo de Domínio*: indicação das empresas de cada empresa virtual;
- *Cláusulas de Supervisão*: indicação dos direitos e obrigações dos fornecedores em

relação à empresa, em termos de quais informações o sistema de escalonamento desta pode ter acesso para fins de supervisão daqueles. Essa indicação é efetuada quando a empresa virtual é criada e os parceiros envolvidos “negociam” o “nível” de supervisão na sua empresa que um dará ao outro (RABELO *et al.*, 1999a).

Essa modelagem de empresa corresponde à sua componente “estática” / estrutural, especificando quais são os seus recursos de produção e como a sua estrutura de produção está organizada. Outra componente refere-se à parte “dinâmica”, correspondendo às várias ordens de produção que dão “movimento” à estrutura de produção da empresa.

Para a modelagem dos processos dinâmicos da empresa, este trabalho baseou-se no CIM-OSA (AMICE, 1993). No CIM-OSA, toda atividade a ser executada é vista como um agrupamento de três estruturas de informação: Processo de Negócio (*Business Process* – BP), Atividade da Empresa (*Enterprise Activity* – EA) e Conjunto de Regras de Precedência (*Procedural Rule Sets* – PRS). Vistos como um todo, pode-se fazer uma analogia da estrutura completa de um BP com uma árvore. Nesta, os BPs corresponderiam à raiz e aos nós, e as EAs às folhas. Os PRSs estariam por “detrás” dos ramos que unem os BPs e EAs entre si (Figura 1). Portanto, esta árvore-BP especifica como um dado DBP (um ordem de produção distribuída) deve ser executado.

Uma vez um DBP posto em execução, outras entidades de informação são agregadas às EAs. O CIM-OSA introduz o conceito de “operação funcional de implementação” para representar exatamente como uma dada EA será executada (já que uma EA por si só não tem como executar nada). Quatro são as categorias de operações que uma EA pode utilizar, descrevendo precisamente a máquina, os recursos humanos, o *software* e o *hardware* a ser utilizado. Com todo esse conjunto de informações, apoiado no enquadramento proposto e nos mecanismos de coordenação e supervisão do sistema de escalonamento

interorganizacional, é possível, de acordo com as cláusulas de supervisão, monitorar não apenas o estado de andamento de um dado BP, mas também das suas EAs e respectivas IFOs instanciadas.

## 8. Integração, Interoperação e Coordenação Organizacional

**A**té este momento foram abordados os objetivos de um escalonamento ágil, como esta atividade se inter-relaciona com as demais atividades tanto no contexto intra-organizacional como no interorganizacional, como o sistema multiagente fornece a devida flexibilidade para a supervisão descentralizada do escalonamento e para a dinâmica adaptação da empresa para atender aos requisitos das ordens de produção, e o quanto importante / como a informação e a empresa devem ser modelados para permitir uma ágil reação. Falta, porém, mostrar como todo esse conjunto de conceitos e entidades de informação trabalham no conjunto, articuladamente, para suportar um escalonamento ágil interorganizacional.

Nesse sentido, este capítulo tem por objetivo apresentar uma das componentes mais complexas – e inovadoras – deste trabalho, que é aquela relacionada com a integração, interoperação e coordenação interorganizacional do escalonamento ágil. Dois conceitos aqui aplicados dão a base a isso: o Consórcio (seção 5.3) e o Sistema de Informação CIM federado (ver capítulo 7).

### 8.1 O Gerenciamento Distribuído / Federado das Informações

Como explanado no capítulo 2, o escalonamento ágil requer acesso a uma larga variedade de itens de informação durante sua geração e execução. Parte destas informações são “indiretamente” fornecidas pela atividade de MRP do planejamento da produção e pela cadeia produtiva / outras empresas, enquanto outras o são diretamente, de várias outras fontes. Ao mesmo tempo, as informações sobre os planos

de produção, os planos de processo, os modelos de produto, e os modelos de recursos de produção precisam ser coletadas de várias fontes a fim de serem usadas pelo sistema de escalonamento (isto é, pelos vários agentes do sistema).

O PEER (AFSARMANESH *et al.*, 1994) é um banco de dados federado orientado por objeto funcionando como um sistema de gerenciamento de informação, e que é usado neste trabalho. Ele suporta o compartilhamento e troca de informação entre agentes autônomos e heterogêneos (nós da rede, tanto intra como interorganizacional) sem redundância ou centralização de dados. Com o PEER, os diferentes sistemas da empresa podem compartilhar e ter acesso a informação necessária, de um modo integrado e transparente, vital para uma ágil tomada de decisão.

## 8.2 Federação de Empresas Virtuais

Esta aproximação corresponde a camada denominada “Camada de Coordenação Inter-HOLOS”. Um empresa virtual é um grupo de empresas autônomas que representam fontes de informação fisicamente distribuídas. Estas empresas precisam cooperar e trocar informação para juntamente atender a uma certa oportunidade de negócio específica.

Neste trabalho, faz-se o PEER contemplar este complexo domínio, considerando toda empresa como um nó na federação, que mantém sua autonomia local nos dados e define um conjunto de esquemas exportáveis pelo qual os dados são disponibilizados a outros nós específicos. Além disto, todo nó pode importar dados de outros nós através dos seus esquemas importáveis, tendo acesso aos dados deles *de acordo com as permissões de acesso predefinidas*. Como consequência desta facilidade geral de interação, a aproximação permite não só uma cooperação, mas também suporta a coordenação dos nós federados (o grupo de empresas envolvidos no escalonamento distribuído) para realizar uma tarefa, enquanto são preservadas a autonomia

local e independência de cada nó (RABELO *et al.*, 1999b). A Figura 7 ilustra este cenário.

Aqui o conceito de um Consórcio não engloba apenas recursos individuais de produção, mas sim nós da rede, ou seja, empresas. Em outras palavras, este nível maior de abstração permite que empresas sejam coordenadas em função do escalonamento “comum” existente. Com uma visão global sobre o escalonamento interorganizacional, é possível então que uma distribuição da carga de trabalho ao longo da empresa virtual possa ser reavaliada e, eventualmente, renegociada.

## 8.3 O Módulo de Cooperação Prodnnet

No âmbito do projeto Prodnnet-II, a interoperação interempresas é um aspecto bastante crítico e enfrentado. Concretamente, isto significa que o PEER tem de se integrar, também, com a *plataforma* Prodnnet. Esta plataforma consiste em um conjunto de módulos que permitem a uma empresa realizar uma série de “serviços” pela rede, tais como troca eletrônica de dados (EDI), desenvolvimento distribuído de produtos (seguindo a norma STEP), supervisão distribuída do andamento das ordens de produção na empresa virtual (nos fornecedores), garantindo a integração (via PEER), coordenação do fluxo, segurança e privacidade das informações transacionadas.

Uma parte da função do escalonamento ágil interorganizacional é parcialmente suportada pelo serviço, acima mencionado, de supervisão distribuída do andamento das ordens de produção na empresa virtual (ver seção 8.4). A outra parte é suportada pelos sistemas HOLOS / PEER, assim como toda a parte intra-organizacional.

Os sistemas legados, “internos” de cada empresa (tal como o sistema de escalonamento HOLOS), são englobados num “módulo interno”. As comunicações que não necessitem ser PEER se comunicam entre si através das suas respectivas *API*. A Figura 8 ilustra esta arquitetura geral.

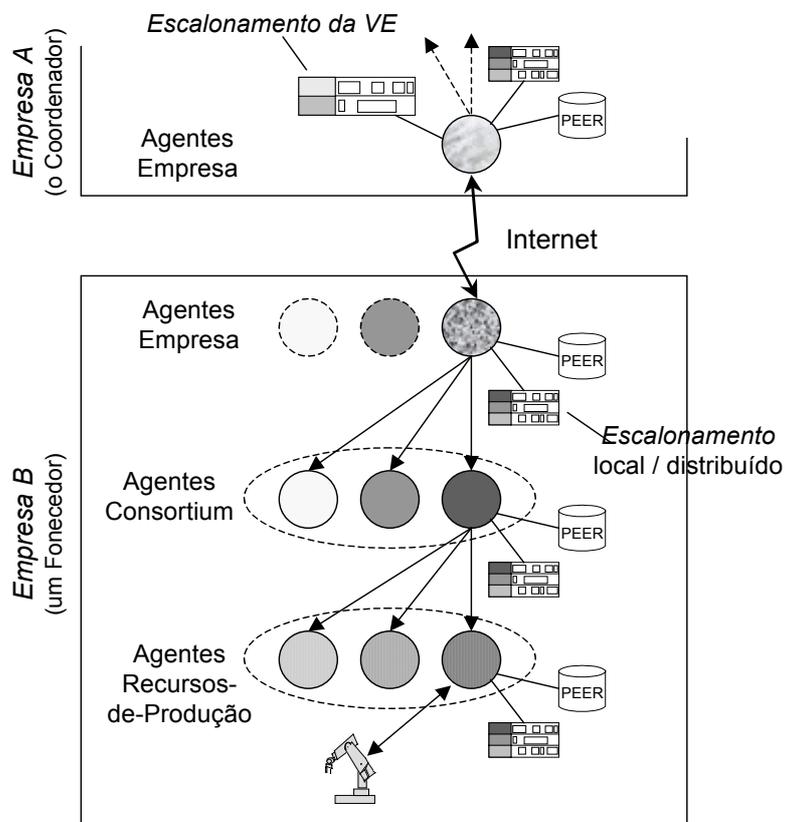


Figura 7 – Coordenação Interorganizacional.

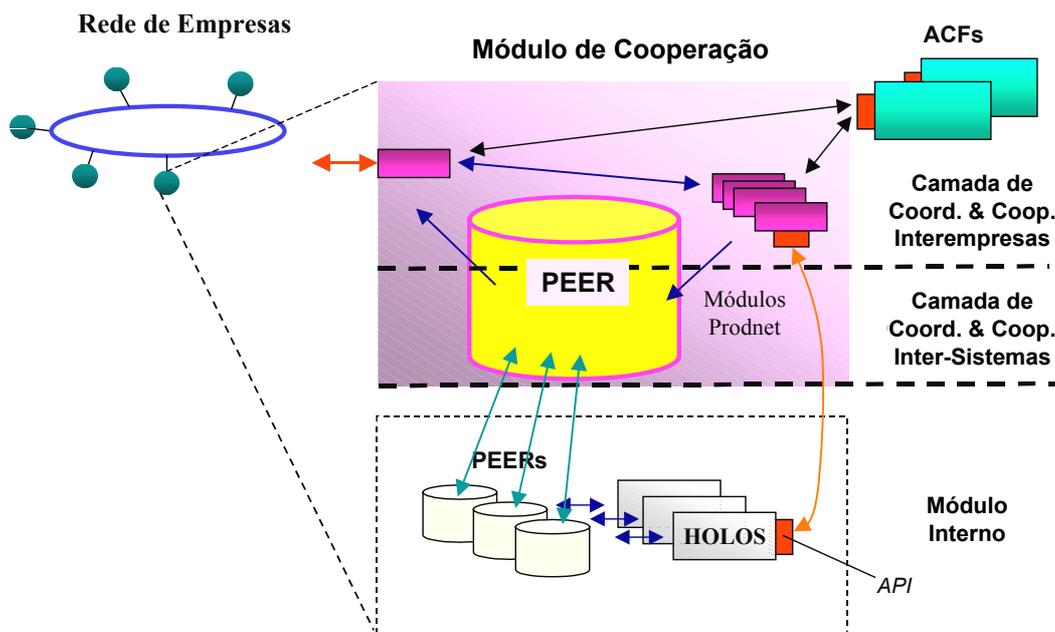


Figura 8 – Arquitetura Multinível de Gerenciamento e Coordenação.

Essa complementaridade dá-se no sentido de que um Consórcio, para supervisionar um dado BP sendo executado em uma outra empresa (da empresa virtual), aciona o DBPMS de supervisão distribuída (tendo que passar por um módulo intermediário, de *workflow*, para que o “evento” seja devidamente controlado e executado) que por sua vez aciona o PEER para ir buscar as informações desejadas (segundo as “cláusulas de supervisão”). Uma vez o PEER ter acessado as informações, ele devolve-as àquele serviço, quer por sua vez devolve o resultado ao Consórcio. O problema está agora no fato de que quando da detecção de alguma anormalidade na execução em um dos BPs sendo processados por um dos membros da empresa virtual (ou seja, que tenha infringido o contrato), um conflito ocorre. Este conflito precisa ser analisado e um suporte à decisão para este conflito precisa ser proporcionado e avaliado. Este é o tema da seção a seguir.

#### 8.4 Coordenando a Resolução de Conflitos

Um conflito ocorre quando ou do atraso da execução/entrega de um dado “produto” (BP) ou quando da sua antecipação. Isto é sabido quando os serviços do PEER para obtenção de informação nos fornecedores são executados (a partir da empresa coordenadora), de acordo com o especificado nas cláusulas de supervisão.

O DBPMS (*Distributed Business Process Management System*) (KLEN *et al.*, 1999) é um sistema de suporte à decisão desenvolvido no Prodnnet-II para auxiliar na coordenação da execução – especialmente quando da ocorrência de conflitos – de DBPs em um ambiente de empresa virtual, e “complementa” o HOLOS na supervisão do escalonamento ágil interorganizacional. O DBPMS é constituído por uma série de módulos, que tem como função: monitorar o andamento de cada BP (dentro de um DBP); avaliar as informações monitoradas perante o que foi especificado nas cláusulas de supervisão; ativação de protocolos de decisão e algoritmos de reescalonamento consoante ao conflito detectado; e simulação de cenários (escalona-

mentos) alternativos de solução do conflito, possibilitando ao usuário avaliar e selecionar o mais adequado (e ainda refiná-lo manualmente se o usuário desejar) em função de indicadores de desempenho tanto intra-organizacionais (tempos totais de fluxo, de espera, de atrasos, de antecipações, etc.) como interorganizacionais (número de BPs reescaloados e em atraso, tempos médios de fluxo e *lead time*, etc.). A Figura 9 mostra um exemplo de interface gerada de simulação de alternativas para reescalonamento em um DBP composto por quatro BPs (ou seja, que é feito por quatro empresas).

Na simulação de alternativas, quando o usuário avalia (unilateral e preliminarmente) que, interorganizacionalmente, um dado reescalonamento é considerado “bom” para a sua empresa, ele deve também avaliar as consequências a nível intra-organizacional.

Assim, essas alterações devem ser “testadas” sobre os BPs/ESA envolvidos (os respectivos Consórcios), passando para a atividade de planejamento. Caso a atividade de planejamento “aprove” preliminarmente as novas datas, estas são passadas para o escalonamento (ver Figura 5). No escalonamento, estas informações são tratadas de acordo com as várias fases da negociação (ver Figura 3). Após todo o processo de negociação, saber-se-á se é possível ou não respeitar, intra-organizacionalmente, as novas datas. O resultado é passado novamente ao módulo de simulação. Se não for possível, uma nova alternativa pode ser testada, com o processo todo se repetindo até a “última” alternativa considerada válida. Se for possível, é necessário então comunicar às demais empresas da rede. O DBPMS, em suma, age como um instrumento de *apoio* à decisão, e não de *efetivação* de decisão. Isto porque, num ambiente de empresa virtual, cada empresa é independente e, como tal, precisa ser “ouvida” se concorda ou não com as consequências do (novo) reescalonamento sugerido. Se as empresas envolvidas não chegarem a um acordo o conflito é considerado insolúvel e uma série de medidas legais cabíveis (estabelecidas no

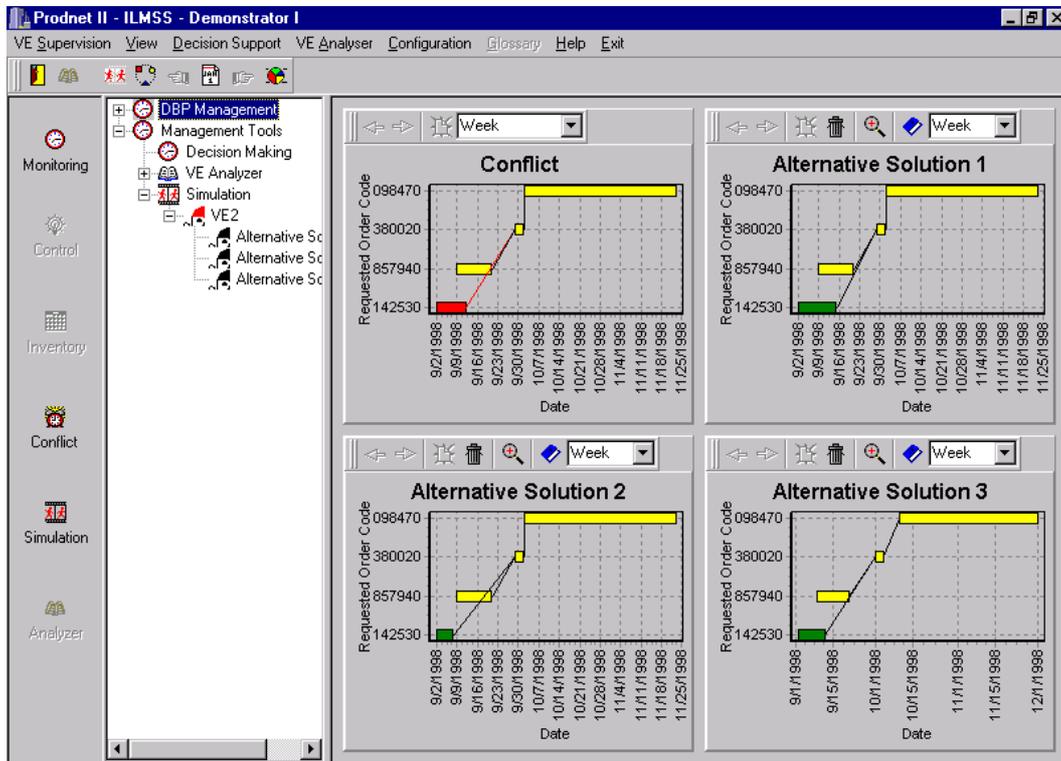


Figura 9 – DBPMS/Simulação de alternativas.

contrato) são tomadas. Porém, se um acordo é atingido, o escalonamento por fim selecionado é “validado”. Isto significa que as informações a ele associadas podem ser atualizadas nos devidos esquemas do PEER e, assim, o Consórcio que estava afetado pelo conflito recebe as novas datas finais, que por sua vez passarão a ser novamente monitoradas.

## 9. Conclusões

Este trabalho apresentou uma inovadora aproximação para a coordenação do escalonamento, tanto numa perspectiva intra-organizacional como numa interorganizacional, dando uma nova dimensão à atividade de “escalonamento”.

O enquadramento geral apresentado e proposto reflete uma visão bastante ampla e inter-relacionada dos problemas, soluções, tecnologias e tendências relacionadas com a manufatura integrada, envolvendo desde a integração com os recursos de produção do chão-de-fábrica até a

integração e interoperação com as plataformas computacionais das outras empresas. Este enquadramento tem como grande base os conceitos de integração e gerenciamento da informação, de virtualização da estrutura de produção da empresa, de sistemas multiagente e de suporte à decisão, e de empresas virtuais.

Uma significativa parte da tarefa de coordenação dos escalonamentos intra e interorganizacionais é provida pelo avançado conceito do Consórcio, viabilizando a formação, gerenciamento e supervisão descentralizada de áreas virtuais de produção. O escalonamento gerado não é único, mas sim representado um conjunto de interdependentes “porções” de escalonamentos distribuídos, associados a cada uma das ordens de produção escalonadas.

Tanto a coordenação de escalonamentos como a integração e interoperação interorganizacional são apoiadas em um conjunto de modernas tecnologias de informação e paradigmas: a Negociação como instrumento de suporte

a flexibilidade na resolução de conflitos; bancos de dados federados / distribuídos como suporte à troca de informação interaplicações e interempresas; e sistemas de suporte à decisão no auxílio à avaliação do impacto de problemas no (re-)escalonamento e à simulação e avaliação de decisões / soluções de correção.

Finalmente, são mostradas algumas soluções de modelagem e integração da informação e da empresa. Alguns conceitos do CIM-OSA foram utilizados para tal, fazendo-se algumas adaptações diante de algumas limitações do CIM-OSA

para ambientes do tipo empresa virtual. Espera-se que as novas iniciativas nessa direção, especialmente a GERAM (BERNUS *et al.*, 1996), preencham as lacunas do CIM-OSA.

### Agradecimentos

Este trabalho foi suportado financeiramente pelo CNPq (projeto ProTeM-CC 680120/96-3 PRODNET-II) e pela Comunidade Européia (Esprit 22647 PRODNET-II).

### Referências Bibliográficas

- AFSARMANESH, H.; WIEDIJK, M. & HERTZBERGER, L.:** “Flexible and Dynamic Integration of Multiple Information Bases”, *Proceedings 5<sup>th</sup> IEEE International Conference on Database and Expert Systems Applications DEXA '94*, Springer-Verlag, pp.744-753, 1994.
- AFSARMANESH, H; GARITA, C; HERTZBERGER, L.O. & SANTOS, V.:** “Management of Distributed Information in Virtual Enterprises: The PRODNET Approach”, *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Concurrent Enterprising (ICE '97)*, 1997.
- AICIME:** <<http://www.alfamicro.pt/aicime>>, 1997.
- AMICE:** CIM-OSA: *Open Systems Architecture for CIM*. 2<sup>nd</sup> revised and extended version, Springer-Verlag, Berlin, 1993.
- BERNHARD, R. (editor):** CIM “Systems Planning Toolbox – Project Survey and Demonstration”, *Proceedings of CIMPLATO Workshop on CIM Planning Tools*, Karlsruhe University, Germany, pp.45-56, 1992.
- BERNUS, P. & NEMES, L.:** “Enterprise integration: engineering tools for designing enterprises”. In: BERNUS, P. & NEMES, L. (eds.): *Modelling and Methodologies for Enterprise Integration*, Chapman & Hall, pp.3-11, 1996.
- BOND, A. & GASSER, L.:** “An Analysis of Problems and Research in DAI”, *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, pp.3-35, Morgan Kaufmann, 1988.
- BROWNE, J.; SACKETT, P. & WORTMANN, J.:** “Future manufacturing systems: Towards the extended enterprise”, *Computer in Industry, Special Issue on CIM in the Extended Enterprise*, N.25-3, pp. 235-254, 1995.
- CAGLAYAN, A. & HARRISON, C.:** *Agent Sourcebook*, Wiley & Sons, 1997.
- CAMARINHA-MATOS, L.M.; RABELO, R.J. & OSÓRIO, L.:** “Balanced Automation”. In: TZAFESTAS, S. (ed.): *Computer-Assisted Management and Control of Manufacturing Systems*, Springer-Verlag, pp.376-413, 1996.
- CAMARINHA-MATOS, L.M.; LIMA, C. & OSÓRIO, L.:** “The Prodnet Platform for Production Planning and Management in Virtual Enterprises”, *Proceedings 4<sup>th</sup> International Conference on Concurrent Enterprising (ICE '97)*, pp.385-403, 1997.
- DAVIS, R. & SMITH, R.:** “Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving”, *Artificial Intelligence*, 20, pp.63-109, 1983.
- FININ, T. & FRIZSON, R.:** “KQML – A Language and Protocol for Knowledge and Information Exchange”, *Technical Report CS-94-02*, Computer Science Department, University of Maryland, 1994.
- GONÇALVES, R.; BARATA, M.; VITAL, M.; SOUSA, P. & GARTION, A.S.:** “Manufacturing Information System Integration: A Proposal using SIP”, *Symposium on Advanced Product Data Management Supporting Product Life Cycle Activities*, American Society of Mechanical Engineering (ASME), Atlanta, EUA, 1996.

- HUHNS, M. & SINGH, M.:** “Agents and Multiagent Systems: Themes, Approaches and Challenges”. In: HUHNS, Michael N. & SINGH, Munindar P. (ed.): *Readings in Agents*, Morgan Kaufmann, pp.1-24, 1998.
- JENNINGS, N.:** “Cooperation in Industrial Multi-Agent Systems”, *World Scientific Series in Computer Science*, Vol.43, 1994.
- KLEN, A.; RABELO, R.; SPINOSA, L. & FERREIRA, A.:** “Integrated Logistics in the Virtual Enterprise: the Prodnnet-II Approach”, *Proceedings 5<sup>th</sup> IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems / IMS’98*, pp.289-296, Gramado, Brasil, 1998.
- KLEN, A.P.; RABELO, R.J.; SPINOSA, L.M. & FERREIRA, A.C.:** “Distributed Business Process Management”. In: CAMARINHA-MATOS, L.M. & AFSARMANESH, H. (eds.): *Infrastructures for Virtual Enterprises: Networking Industrial Enterprises*, Kluwer Acad. Publishers, pp.241-258, Oct. 1999.
- KIDD, P.:** *Agile Manufacturing: forging new frontiers*, Addison-Wesley, 1994.
- KUSIAK, A. & HE, D.:** “Reengineering manufacturing processes for agility”. In: CAMARINHA-MATOS L.M. & AFSARMANESH, H. (eds.): *Balanced Automation Systems II – Implementation challenges for anthropocentric manufacturing*, Chapman & Hall, pp.3-16, 1996.
- MACKIEWICZ, R.:** “An Overview to the Manufacturing Message Specification”, <<http://litwww.epfl.ch/~mms>>, 1994.
- MASSIVE:** <<http://www.gsigma-grucon.ufsc.br/english/projects.htm#Massive>>, 1997.
- NIIP:** *NIIP Reference Architecture: Concepts and Guidelines*, Report NTR9501, USA, 1995.
- OSORIO, A. & CAMARINHA-MATOS, L.M.:** “Information based control architecture for CIM”, *Proceedings IFIP Conference Towards World Class Manufacturing*, Phoenix, USA, 1993.
- OSORIO, A.; OLIVEIRA, N. & CAMARINHA-MATOS, L.M.:** “Concurrent Engineering in Virtual Enterprise: the extended CIM-FACE Architecture”. In: CAMARINHA-MATOS, L.M.; AFSARMANESH, H. & MARIK, V. (eds.): *Intelligent Systems for Manufacturing – multiagente systems and virtual organizations*, Kluwer, pp.171-184, 1998.
- ROCHA, A. & OLIVEIRA, E.:** “An Electronic Market Architecture for the Formation of Virtual Enterprises”. In: CAMARINHA-MATOS, L.M. & AFSARMANESH, H. (eds.): *Infrastructures for Virtual Enterprises: Networking Industrial Enterprises*, Kluwer Acad. Publishers, pp.421-432, Oct. 1999.
- PARUNAK, V.D.:** “An Emergent Approach to Systems of Physical Agents”, *Proceedings AAAI Spring Symposium on Software Architectures for Physical Agents*, 1995.
- PRODNNET:** <<http://www.gsigma-grucon.ufsc.br/english/projects.htm#Prodnnet>>, 1996.
- RABELO, R. & CAMARINHA-MATOS, L.M.:** “Negotiation in Multiagente Based Dynamic Scheduling”, *International Journal on Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol.11, N.4, pp.303-310, Pergamon, 1994.
- RABELO, R. & CAMARINHA-MATOS, L.M.:** “A Holistic Control Architecture Infrastructure for Dynamic Scheduling”. In: KERR, Roger & SZELKE, Elizabeth (eds.): *Artificial Intelligence in Reactive Scheduling*, Chapman & Hall, pp.78-94, 1995.
- RABELO, R. & CAMARINHA-MATOS, L.M.:** “Towards Agile Scheduling in Extended Enterprise”. In: CAMARINHA-MATOS, L.M. & AFSARMANESH, H. (eds.): *Balanced Automation Systems II – Implementation Challenges for Anthropocentric Manufacturing*, Chapman & Hall, pp.413-422, 1996a.
- RABELO, R. & CAMARINHA-MATOS, L.M.:** “Deriving Particular Agile Scheduling Systems using the HOLOS Methodology”, *International Journal in Informatics and Control*, Vol.5 N.2, pp.89-106, Junho, 1996b.
- RABELO, R.J.:** *A Framework for the Development of Manufacturing Agile Scheduling Systems – A Multiagente Approach* (in portuguese), Ph.D. Thesis, New Universidade of Lisbon, Portugal, 1997.
- RABELO, R.J.; CAMARINHA-MATOS, L.M.:** “Generic framework for conflict resolution in negotiation-based agile scheduling systems”, *Proceedings IMS’98 – 5<sup>th</sup> IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems*, Gramado, Brazil, November 1998.

- RABELO, R.J.; KLEN, A.P.; SPINOSA, L.M. & FERREIRA, A.C.:** “Agile Supply-Chain Coordination in the Virtual Enterprise Environment”, *Proceedings of 4<sup>th</sup> IFAC/IFSA Brazilian Symposium on Intelligent Automation – SBAI’99*, São Paulo, Brazil, setembro, 1999a.
- RABELO, R.J.; AFSARMANESH, H. & CAMARINHA-MATOS, L.M.:** “Applying Federated Databases to Distributed Multi-agent Scheduling”, in *MAS’99 1st International IFAC Workshop on Multi-Agent Systems in Production*, Vienna, Austria, 2-4 Dec, 1999b.
- SANDHOLM, T.:** *Negotiation among self-interested computationally limited agents*, Ph.D. Thesis, Department of Computer Science, University of Massachusetts Amherst, 1996.
- SANTORO, R.:** “The Virtual Vertical Enterprise Approach for SME’s Competitiveness in the Electronic Commerce Environment”, *Proceedings 4<sup>th</sup> International Conference on Concurrent Enterprising (ICE’97)*, pp.361-362, 1997.
- BRADSHAW, J.:** “An Introduction to software agents”. In: BRADSHAW, J. (ed.): *Software Agents*, MIT Press, pp.3-46, 1997.
- DAVIS, R.:** “The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver”, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 29, pp.1104-1113, 1980.
- SZELKE, E. & KERR, R.:** “Knowledge-Based Reactive Scheduling”, *Int. Journal of Production Planning & Control*, Vol.5 N.2, Taylor & Francis, pp.124-145, 1994.
- TÖNSHOFF, H.; AURICH, J. & WINKLER, M.:** “On the Way to Autonomous and Cooperative Manufacturing Systems”, *Proceedings 1<sup>st</sup> World Congress on Intelligent Manufacturing Process & Systems*, pp.1388-1399, 1995.
- WITTIG, T. (editor):** *ARCHON: An Architecture for Multi-agent Systems*, Ellis Horwood, 1992.
- WOOLDRIDGE, M. & JENNINGS, N.:** “Agent Theories, Architectures, and Languages: A Survey”. In: WOOLDRIDGE, M. & JENNINGS, N. (eds.): *Lectures Notes in AI (890) / Intelligent Agents*, pp.1-39, Springer-Verlag, 1995.
- ZARLI, A. et al.:** “Integrating emerging IT paradigms for the virtual enterprise: the VEGA platform”, *Proceedings 4<sup>th</sup> International Conference on Concurrent Enterprising (ICE’97)*, pp.347-359, 1997.

## **COOPERATIVE INTER-ORGANIZATIONAL SCHEDULING**

### **Abstract**

*This work aims at presenting an approach for agile scheduling coordination and supervision of distributed production orders, giving rise to a new dimension of the scheduling activity, not only under the intra-organizational perspective, but also the inter-organizational, comprising the whole productive chain. It generally presents a prototype being developed, based on the paradigms of multi-agent negotiation and decision support systems. Aspects related with the information modeling and integration in the several levels of CIM are tackled. At the end, a series of considerations is made, pointing out the results reached with the current prototype, and the several difficulties – and challenges – existent for the accomplishment of cooperative inter-organizational scheduling.*

**Key words:** *scheduling; virtual enterprise; supply chain management; multi-agent systems; integration; decision support systems.*