

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE WORKFLOW BASEADO EM AGENTES DE SOFTWARE *

Waldomiro P. D. C. Loyolla, José Maurício Ferreira Telles

Instituto de Informática - PUC-Campinas
13020-904- CP. 317 Campinas - SP
[loyolla, telles] @ zeus.puccamp.br

RESUMO

Os sistemas de Gerenciamento de Workflow (SGWF) têm-se apresentado como uma das mais eficientes ferramentas de auxílio ao desenvolvimento e gerenciamento de processos de negócio. Mesmo assim, os SGWFs comerciais nem sempre cumprem as necessidades gerenciais e tecnológicas das empresas. A tecnologia de agentes de software pode contribuir para a modelagem e implementação de SGWFs, simplificando estilos de comunicação e cooperação entre as unidades de workflow ao ampliar a arquitetura convencional cliente-servidor, adaptando os SGWFs ao ambiente dinâmico das empresas, bem como permitindo que novas características venham a ser atribuídas a tais sistemas. Este artigo apresenta a descrição de uma nova concepção de SGWFs, totalmente baseada em agentes de software, os quais realizam desde o completo roteamento e controle de atividades do workflow até a configuração personalizada de interfaces para cada usuário do sistema. O sistema desenvolvido não só apresenta-se adequado para uso em pequenas e médias empresas, com características de baixo custo, fácil utilização e possibilidade de ser usado através da Web em uma só empresa ou na composição de Empresas Virtuais mas também mostra a viabilidade do uso da tecnologia de agentes como forma de aprimoramento e ampliação da capacidade e funcionalidade de SGWF para operação em sistemas distribuídos. Também são apresentados alguns aspectos do desenvolvimento de uma Linguagem de Modelagem de Workflow adequada para o uso com os agentes do sistema, de forma que em workflows complexos, ao haverem fluxos paralelos de execução, pudessem ser criados agentes "filhos" que se encarregariam de cada ramo paralelo de execução. Estes novos agentes se comportam autonomamente como executores de um Workflow independente, até que o fluxo novamente seja reunido e o controle retorne ao agente "pai".

ABSTRACT

Workflow Management Systems (WFMS) has been considered as one of the most efficient tools supporting the development and management of business processes. However, the commercially available WFMSs lack of supplying the technological and managerial necessities of enterprises. Software Agents technology can contribute to modeling and implementing WFMSs by simplifying communication and cooperation styles among workflow units as it extends the conventional way of use of client-server architecture, by adapting WFMSs to the enterprises dynamic changing environment, and also by allowing that new characteristics can be added to these systems. This paper presents a new conception on WFMSs based on software agents that perform a broad spectrum of activities ranging from the whole control and activities routing of the workflow units till some specific tasks as customizing user interfaces. The system presents two main characteristics: it is suitable to be used by short and medium enterprises since presents low cost, simple use, and may be used through the Web in a single company or in Virtual Enterprise; it shows the feasibility of using agent technology as a means to improve and to broaden the functionality of WFMSs throughout distributed environments. Also, it is presented some aspects about the development of a Workflow Modeling Language that is suitable to be used by the system's agents. Using this language, a complex Workflow that presents parallel activities streams may be modeled by a main agent performing the main stream and many "child" agents autonomously executing the parallel activity streams. At the junction point of the parallel streams the "child" agent ends and the main agent resumes, taking over the control of the Workflow execution.

1. INTRODUÇÃO

Ultimamente, em todo o mundo, as empresas estão sendo desafiadas a desenvolverem seus processos de negócios de forma cada vez mais eficaz e eficiente, para fazer frente à

*Este trabalho foi parcialmente suportado pela FAPESP - PR N° 96/11199-5.

competitividade crescente em praticamente todas as áreas da economia mundial. Os processos de negócios correspondem às formas usadas pelas empresas para organizar, executar, coordenar e controlar suas atividades, produtivas ou administrativas. Ao nível operacional das empresas os processos de negócios se traduzem na sua forma, conteúdo e metodologia de trabalho, ou seja, determinam como deve ocorrer o fluxo de trabalho (workflow), ou seja, - *quem deve/pode fazer o quê, quando, como, em que ordem e usando quais informações e aplicativos*.

Apesar do desenvolvimento de modernas técnicas gerenciais, a Tecnologia de Informação (TI) apresenta-se, de forma crescente, como o ferramental tecnológico capaz de auxiliar na realização e gerenciamento eficiente dos processos de negócio das empresas. Neste contexto, uma das principais ferramentas tem sido o chamado Sistema de Gerenciamento de Workflow (SGWF). Estes sistemas buscam oferecer colaboração em todas as fases gerenciais dos processos de negócios, ou seja, na especificação, depuração, simulação, ordenação, automação, gerenciamento e aperfeiçoamento dos mesmos.

Devido à importância estratégica dos SGWFs para as empresas, significativo esforço tecnológico, tanto acadêmico como empresarial, vem sendo despendido no seu desenvolvimento [CCPP95, Geor95, CGP+96]. Vários sistemas são produzidos e rotulados como SGWFs mas a maioria deles apresenta funcionalidades em apenas alguns aspectos pontuais e muito específicos do gerenciamento de workflow [GeHS95], tais como: geração de formulários, encaminhamento de documentos por E-mail, roteamento fixo de documentos, elaboração de agenda eletrônica de grupo, armazenagem e recuperação de imagens, etc. Alguns poucos sistemas contemplam várias fases do gerenciamento de workflow [McC93, MWFF92], mas a um custo proibitivo para a grande maioria de empresas, já que foram desenvolvidos na forma de tecnologia proprietária e fechada.

Além dos problemas referentes ao custo e ao não suprimento das necessidades funcionais, outros fatores dificultam o uso dos atuais SGWFs, tanto do ponto de vista humano como do tecnológico. Do ponto de vista humano, os atuais SGWFs requerem pessoal altamente especializado para sua operação, o que só é obtido após um difícil e prolongado treinamento de pessoal, acabando, novamente, por agravar o custo de implantação e elitizar seu uso. Do ponto de vista tecnológico pode-se citar como principais fatores complicadores do uso dos atuais SGWFs a falta de interoperabilidade entre diferentes SGWFs, a falta de interoperabilidade entre os SGWFs e outros aplicativos, o seu desempenho inadequado para muitos processos de negócios e a falta de mecanismos para a modelagem dinâmica de workflow [GeHS95]. Estes fatores tornam-se críticos, principalmente nos tempos atuais, onde a globalização da economia tem tornado as empresas cada vez mais distribuídas geográfica e operacionalmente, além da heterogeneidade dos equipamentos de cada unidade operacional. Em particular, as questões de distribuição geográfica e a heterogeneidade de equipamentos se agravam quando se considera a tendência mundial crescente pela utilização de Empresas Virtuais que são "redes temporárias de empresas independentes que, ligadas pela Tecnologia de Informação, compartilham habilidades operacionais e custos como forma de ocupação de nichos temporários de mercado" [Skyr97].

A necessidade de solução para tais problemas, aliada a novos paradigmas de desenvolvimento de software, tem motivado o estudo de novas abordagens para o desenvolvimento e operação dos SGWFs, principalmente em relação aos seguintes aspectos:

- desenvolvimento de SGWFs modulares e abertos, de forma a permitir a agregação de novas funcionalidades de acordo com as necessidades;
- interoperabilidade em ambientes heterogêneos e distribuídos, tanto geográfica como logicamente, de forma a permitir a utilização de um mesmo sistema por toda uma corporação, mesmo que com unidades funcionais distribuídas a nível mundial;
- automação e gerenciamento de workflow com atribuição e roteamento dinâmicos de trabalhos e documentos (requisitos de flexibilidade e adaptabilidade), permitindo que a dinâmica empresarial seja suportada pelo sistema ao integrar novos funcionários a um processo ou ao redistribuir as responsabilidades de um funcionário que se retire, momentânea ou definitivamente, do processo;

- suporte à execução e gerenciamento de trabalho móvel, permitindo que atividades desenvolvidas por um funcionário que se locomove entre diversas localidades possam ser executadas e gerenciadas sem descontinuidade;
- gerenciamento descentralizado de workflow, permitindo que o gerenciamento de partes do workflow (atividades) se realize de acordo com os requisitos e as condições do local de sua execução;
- utilização integrada de aplicativos externos ao SGWF, permitindo que o usuário escolha e configure os aplicativos para a realização de suas diversas tarefas.

Como resposta a estes desafios, pode-se agregar as tecnologia de Agentes de Software [Nwan96, GenK94], de SGWF e de comunicação através da Web, não só como forma de contribuir para o cumprimento de vários dos aspectos apresentados acima como, também, para permitir que novas características e capacidades venham a ser atribuídas a tais sistemas.

Os sistemas baseados em Agentes de Software formam uma área multidisciplinar dentro da Ciência da Computação que enfatiza a realização de sistemas autônomos, massivamente distribuídos e descentralizados. Eles são particularmente adequados como elementos de apoio ao ser humano em trabalhos que requeiram certo grau de inteligência ou de execução remota como busca e filtragem de informação, configuração local e remota de ambientes de trabalho ou de software, negociação em nome de alguém ou outros trabalhos com características semelhantes [PAGE 96].

Este artigo tem como propósito apresentar a descrição de uma nova concepção para a implementação de SGWF, totalmente baseada em agentes de software. Busca-se, com isto, não só mostrar a viabilidade do uso da tecnologia de agentes como forma de aprimoramento e ampliação da capacidade e funcionalidade de SGWF para operação em sistemas distribuídos abertos como também desenvolver um SGWF adequado para uso em pequenas e médias empresas, com características de baixo custo, fácil utilização e possibilidade de ser usado através da Web. O desenvolvimento deste sistema faz parte de um projeto mais amplo, denominado Projeto PAGE (Prototyping of an AGent facility Environment) [PAGE96] que busca projetar e implementar um ambiente para o desenvolvimento e operação de agentes de software e aplicações baseadas em agentes para uso em sistemas distribuídos abertos.

Na seção 2 são apresentados os principais conceitos sobre Workflow e Sistemas de Gerenciamento de Workflow, enquanto na seção 3 faz-se um reconhecimento das diferentes partes dos SGWFs onde a tecnologia de agentes pode ser útil. Na seção 4 apresenta-se a proposta do Sistema de Gerenciamento de Workflow baseada em agentes de software. Na seção 5 são apresentados alguns aspectos da atual implementação deste sistema e dos testes com ele desenvolvidos. Finalmente, a seção 6 apresenta conclusões e a indicação de alguns trabalhos futuros.

2. WORKFLOW E SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE WORKFLOW

Workflow tem sido uma palavra-chave, tanto em ambientes empresariais quanto acadêmicos, tornando-se um guarda-chuva onde se encaixam diversos conceitos relacionados com fluxo de trabalho [Shet95]. Informalmente, um workflow corresponde a uma série de atividades organizadas de forma a realizar algum processo de negócio [GeHS95]. Tradicionalmente, os workflows são elaborados no nível de gerências e executados, manualmente ou não, por trabalhadores que operam sobre documentos. Estes documentos, normalmente compostos por formulários, são transferidos de um local de trabalho para outro, de acordo com regras e prazos estabelecidos e controlados pelos gerentes.

De uma maneira mais formal, um Workflow, ou Processo de Workflow, é uma imagem computacionalmente executável de um processo de negócio [Schj94], ou seja, um programa que coordena a execução das partes de um processo de negócio. Ele pode ser representado como um sistema composto por atividades relacionadas umas com as outras por relações de sincronismo disparadas por eventos externos, que representam o início de um processo de negócio, sua evolução e posterior conclusão [Joos95]. As atividades são executadas por seres humanos,

sistemas automáticos ou uma combinação destes. Os eventos podem ocorrer tanto por desejo humano quanto por ocorrências em sistemas automáticos.

Um Sistema de Gerenciamento de Workflow (SGWF) pode ser descrito como composto por três fases operacionais caracterizados por: modelagem, execução e gerenciamento do workflow [Joos95]. A fase de modelagem compreende os mecanismos utilizados para a elaboração tanto do modelo organizacional como do modelo da lógica operacional do Workflow. A fase de execução compreende as operações de sequenciamento e controle de execução das atividades que compõem o Workflow, além do controle de comunicação e cooperação entre diferentes elementos participantes de um, ou diferentes, workflows. Por fim, a fase de gerenciamento compreende as funções de supervisão de execução dos diferentes workflows que estejam sendo executados concorrentemente, bem como as funções de recuperação de falhas. Cada uma destas fases é discutida a seguir, com o objetivo de identificar-se as possibilidades de uso dos agentes em SGWFs.

2.1. Modelagem de Workflow

A modelagem de workflows compreende vários aspectos como a descrição de todos os elementos participantes do workflow, quais as atividades a serem executadas, como elas devem ser executadas, quem as deve executar, em que sequência e ordem, quais as informações necessárias para sua execução, etc.

Todos estes aspectos apresentam-se intimamente relacionados em um workflow, gerando uma considerável complexidade quando da elaboração de um modelo.

Modernas abordagens para a modelagem de workflows [CGP+96, Schm96] sugerem que estes sejam estruturados de forma a serem compostos por três modelos inter-relacionados:

- modelo funcional: corresponde à definição do processo de negócio. Apresenta o processo como uma composição de atividades. Explicita quais são as atividades que compõem o processo (p. ex. processo de compra de suprimentos é composto das atividades de solicitação de compra, cotação de preços, escolha de fornecedor, autorização de gerente, emissão de pedido, recebimento de material, informação ao solicitante), sendo, ainda, que cada atividade tem um conjunto de itens de trabalho a serem cumpridos e para cada item tem-se um conjunto de aplicativos e de documentos, ou classes destes, a serem acessados.
- modelo comportamental: explicita quais as políticas (conjunto de regras) para que:
 - cada atividade seja iniciada ou concluída (p. ex. atividade de escolha de fornecedor só pode ser iniciada após a conclusão de três atividades distintas de cotação de preços);
 - uma dada ordem de sequenciamento de atividades seja adotada;
 - seja feita a escolha dos elementos da organização que podem participar de certa atividade (p. ex. atividade de comprar suprimentos só pode ser atribuída a elemento pertencente ao grupo compradores).
- modelo organizacional: explicita a estrutura da organização de forma a descrever:
 - as unidades ou grupos que compõem a organização (p. ex. comprador, gerente, grupo de compradores, diretoria, etc.),
 - quais atividades cada elemento pode ou deve realizar (p. ex. comprador pode realizar atividades de cotação de preços e de escolha de fornecedores, além de obrigatoriamente realizar um relatório mensal de compras),
 - quais as responsabilidades e direitos de cada elemento (p. ex. quais os arquivos ou tipo de informação que o grupo comprador pode acessar ou escrever),
 - quais as regras de formação de grupos de trabalho com características ou responsabilidades comuns.

Uma estruturação deste tipo permite que se possa, de maneira eficiente, gerar um modelo que além de poder ser gerenciado e atualizado dinamicamente também permita extensibilidade e escalabilidade. Por exemplo, quando uma empresa contrata mais um comprador, o modelo do workflow de compras não necessita de mudanças para incluir o novo comprador, apenas sua referência é anexada ao grupo de compradores do modelo organizacional e a própria unidade de

workflow passa a atribuir-lhe atividades ou itens de trabalho referente a compras e que chegam para execução.

2.2. Execução de Workflow

A essência da execução de workflows corresponde ao entendimento do modelo do workflow e ao controle deste, sendo tudo isto realizado por uma unidade de workflow. O controle apresenta duplo aspecto: um relacionado com o controle do sequenciamento das atividades da instância de workflow como um todo, e o outro relacionado com o controle da lista de trabalho atribuída pela unidade de workflow a um elemento, ou grupo de elementos, participante do workflow.

Do ponto de vista do controle de um workflow como um todo, sua execução corresponde a: criar uma instância de workflow, escolher as políticas adequadas para sua execução, sequenciar as atividades desta instância, escolher os elementos participantes desta instância, escolher quais os elementos participantes deste workflow vão executar cada atividade, notificar os elementos participantes desta instância do workflow sobre os itens de trabalho a eles atribuídos e monitorar o estado atual da instância, de forma a cumprir requisitos de tolerância a falhas.

Do ponto de vista do controle da lista de trabalho atribuída pela unidade de workflow a um elemento participante do workflow, sua execução corresponde a: organização dos itens de trabalho de cada participante segundo políticas e regras pré-definidas (p. ex. sequenciamento segundo data limite de entrega do trabalho), invocação de aplicações externas ao workflow para executar tarefas automaticamente (p. ex. software de groupware para agendar uma reunião de um grupo com igual responsabilidade de trabalho) ou como ferramenta para o elemento responsável pela tarefa (p. ex. planilha para armazenar dados de cotação de preços). Há que se notar, ainda, que cada item de trabalho tem seu conjunto específico de dados, ou mesmo uma específica formatação desses dados, o que requer a devida conversão de formato dos dados, antes ou depois de seu uso em um item de trabalho. No caso de haver possibilidade de uso de vários aplicativos externos para um mesmo item de trabalho, cada elemento participante deve ainda escolher o de sua referência antes de iniciar a execução do item de trabalho.

2.3. Gerenciamento de Workflow

O Gerenciamento de Workflow compreende essencialmente dois grandes aspectos: um referente ao gerenciamento da execução de uma instância de workflow, e o outro referente ao monitoramento de várias instâncias de workflow interligadas por alguma política.

Quanto ao gerenciamento da execução de uma instância de workflow, executa-se principalmente:

- o monitoramento do estado atual da instância: com isto permite-se a manutenção de um histórico da instância de workflow, a ser utilizado como informação para recuperação e tolerância a falhas ou para informação a outras instâncias relacionadas

- atribuição dinâmica de políticas de execução: com isto permite-se a realização de alterações no sequenciamento da instância de workflow, devido a circunstâncias ou ocorrências de certos eventos em seu ambiente de execução que exijam mudança de política de sequenciamento.

O monitoramento de várias instâncias de workflow interligadas por alguma política é executado pela unidade de controle de workflows. Para isto ele se utiliza das informações de gerenciamento de cada instância e de políticas que determinam o relacionamento entre as instâncias.

É importante salientar que tanto as políticas globais como as específicas das instâncias podem estar armazenadas em bases de regras que se encontram distribuídas lógica e geograficamente, podendo ainda ser alteradas dinamicamente em função de eventos ocorridos após o início de execução de cada instância de workflow. O acompanhamento dinâmico destas bases de regras pode agregar grande flexibilidade e adaptabilidade aos SGWFs.

2.4. Arquitetura de Sistemas Gerenciamento de Workflow

Diferentes propostas de arquitetura para SGWFs têm sido elaboradas [CGP+96], muitas delas discrepantes entre si. Entretanto, nos últimos anos, tem prevalecido a tendência por uma

padronização quanto à terminologia e interfaces usadas nestes sistemas. Um grande passo neste sentido foi a constituição da Workflow Management Coalition (WfMC), entidade sem fins lucrativos para o incentivo do uso de tecnologia de workflow e desenvolvimento de seus padrões. A WfMC elaborou um Modelo de Referência [WFMC96], como uma representação arquitetural de SGWF, onde se identificam as interfaces mais importantes destes sistemas, com o propósito de criar uma estrutura que favoreça a interoperabilidade entre os SGWFs.

Esta proposta tem sido muito questionada, principalmente pelos participantes da corrente de raciocínio que defende a padronização CORBA para interoperabilidade [OMG96] como prioridade absoluta [SBM96, MSK+97]. Outros entendem que a interoperabilidade deva ser obtida essencialmente através da World Wide Web [MSK+97, MPS+97].

3. AGENTES EM SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE WORKFLOW

A utilização de Agentes de Software tem sido sugerida como ferramenta de apoio para algumas das fases de workflow [MLF+96], principalmente devido à complexidade advinda dos requisitos de operação em ambientes de processamento distribuído aberto [ISO94].

Atualmente diversos projetos de pesquisa e desenvolvimento baseados em agentes estão em andamento, cobrindo uma grande variedade de áreas [PAGE96]. Infelizmente, devido a tal diversidade, existe pouco consenso entre os pesquisadores sobre o que é um agente. Independente desta discordância, alguns conceitos, podem ser considerados básicos para o entendimento de todos os tipos de agentes de software. O agente apresenta certas habilidades, em diferentes graus de intensidade, tais como:

- autonomia - reflete o seu comportamento em relação às solicitações e ocorrências externas
- mobilidade - indica o poder de migração que um agente apresenta.
- comunicabilidade - representa o grau de complexidade das interações que um agente pode manter com outros elementos de software.

A composição destas habilidades permite que um agente de software apresente diferentes comportamentos, inclusive apresentando características de inteligência, interação e cooperação com outros elementos [PAGE96, MLF+96, MFF+97, Cast95].

Os resultados provenientes de pesquisas organizacionais no campo dos agentes [CGH+95, WooJ95] podem contribuir para a modelagem e implementação de SGWFs, simplificando estilos de comunicação e cooperação entre as unidades de workflow, ampliando a arquitetura convencional cliente-servidor, normalmente usada na implementação destes aspectos e adaptando o SGWF ao ambiente dinâmico das empresas (onde, frequentemente, situações não previstas podem ocorrer), tanto em termos dos objetivos a serem alcançados quanto em termos dos recursos disponíveis.

3.1. Agentes na modelagem de workflow

Apesar de toda a estruturação proposta para o processo de modelagem de cada workflow, este continua sendo significativamente complexo. Um agravante a esta complexidade ocorre quando as informações a serem reunidas se encontram distribuídas por diversas localidades remotas, podendo inclusive encontrarem-se armazenadas em bases de dados com diferentes características.

Neste ambiente distribuído e heterogêneo, o Analista de workflow pode realizar sua tarefa de, ao menos, duas maneiras diferentes: escolhendo um modelo já pronto, a partir de repositórios de modelos de workflow da empresa e posteriormente realizando alterações desejadas, ou então criando novos modelos. Em ambos os casos estas atividades tornam-se muito mais complexas e demoradas quanto mais as bases de dados da empresa se tornam maiores, distribuídas e heterogêneas.

Um Analista de Workflow que queira escolher entre modelos já existentes precisa saber onde estes modelos se encontram e escolher aquele(s) dentro das características desejadas. Quando o Analista de Workflow deseja criar um novo modelo pode orientar seu trabalho a partir de sequências de criação pré-determinadas ou procurar por modelos com partes que sejam similares às características desejadas, como por exemplo: atividades; condições de início ou

término de processo ou atividade: tipo de dados; ou regras de acesso, de segurança, de operação ou de gerenciamento.

Neste contexto os agentes de software poderiam oferecer grande colaboração ao responsável pela tarefa de modelar workflows. O Analista de Workflow poderia fazer uso de um agente que trabalhasse em seu nome e que realizasse sequencialmente cada uma das atividades abaixo ou poderia utilizar-se de vários agentes especializados, cada um realizando algumas dentre as tarefas de:

- buscar nas bases de dados distribuídas da empresa por sequências de modelagem de workflow;
- percorrer as bases de dados distribuídas da empresa em busca de modelos de workflow que contenham certas partes que sejam similares às características previamente determinadas pelo Analista de Workflow;
- solicitar ou mesmo negociar as partes de modelos desejadas e remetê-las ao Analista de Workflow;
- percorrer os servidores de aplicativos da empresa para encontrar aplicativos que possam ser utilizados como apoio ao desenvolvimento das atividades dos participantes do workflow ou para a execução automática de certas atividades.

Outras possibilidades de uso de agentes ainda podem ser levantadas, variando conforme o detalhamento ou a forma de trabalho do Analista de Workflow ou ainda conforme a composição da organização.

Todas estas atividades passíveis de serem realizadas por agentes inteligentes poderiam ainda ter sua complexidade aumentada se consideradas em um ambiente de Empresa Virtual [NIII+95] onde a empresa é composta por várias outras, enfatizando as questões de distribuição, heterogeneidade e relativa autonomia de cada ambiente. Nestes casos, a informação a ser solicitada necessitaria de: verificação de aspectos de segurança para ser solicitada, negociação de maneira mais apropriada para requerer a informação, formatação antes da utilização, etc.

3.2. Agentes na execução de Workflow

Em todas as atividades de execução de workflow mencionadas na seção anterior os agentes poderiam oferecer grande colaboração, tanto para o controle como para os participantes do workflow. Em particular, em relação ao controle de execução do workflow, os agentes poderiam ser utilizados para a realização de:

- busca de dados de controle de workflow, baseada nas condições atuais do ambiente de execução, de forma a habilitar a escolha da política de controle de execução mais adequada quando da criação de uma instância de workflow.
- varredura das bases de dados comportamentais para obtenção da política mais adequada de sequenciamento das atividades da instância do workflow.
- varredura dos locais de trabalho (posicionamento lógico dos participantes do workflow) em busca de dados de atribuição de itens de trabalho aos participantes do workflow de forma a escolher o participante mais adequado (ou conjunto de participantes) passíveis de receberem novos itens de trabalho desta instância de workflow.
- varredura dos locais de trabalho para notificação aos participantes dos itens de trabalho atribuídos a cada um.
- varredura dos locais de trabalho para acompanhamento do estado atual de cada item de trabalho das atividades de uma instância de workflow.
- varredura dos locais de trabalho em busca de informação a respeito do estado de execução de itens de trabalho de outras instâncias de workflow e que tenham importância para a política de sequenciamento ou controle de uma dada instância.

Em relação ao apoio a cada elemento participante do workflow os agentes poderiam ser utilizados para a realização de:

- oferecimento de interfaces configuráveis pelo participante em substituição às interfaces de aplicativos que estejam operando em conjunto com o workflow (p. ex. um item de trabalho do workflow usa uma determinada planilha para a entrada e apresentação de dados mas o participante prefere a interface de uma certa base de dados, o que é mapeado pelo agente);

- executando configuração prévia de aplicativos a serem usados em algum item de trabalho, de acordo com preferências do participante do Workflow;
- ordenação automática dos itens de trabalho atribuídos a um participante, de acordo com políticas pré-definidas para a instância. A ordenação pode ser executada tanto imediatamente após um item de trabalho ser acrescentado ou retirado da lista, ou apenas após receber informação a respeito da mudança de estado em atividades, ou itens de trabalho, relacionados com algum item de trabalho local.
- localização e obtenção automática e prévia dos dados, documentos, instruções de trabalho ou outras informações relevantes para cada item de trabalho.
- consulta a um sistema de apoio à decisão a respeito de regras que possam vir a ser utilizadas pelo participante do workflow em determinado item de trabalho;
- comunicação automática a participantes ou postos de trabalho a respeito de mudanças no estado da atividade ou de itens de trabalho relacionados.
- comunicação automática à unidade de Workflow a respeito de atrasos, ou sua possibilidade, na execução de um certo item de trabalho ou atividade.

3.3. Agentes no Gerenciamento de Workflow

No conjunto de atividades referentes ao gerenciamento de workflow, os agentes podem ser úteis ao executarem operações de:

- percorrer os postos de trabalho para coletar informações específicas sobre o estado atual de cada atividade ou item de trabalho, encarregando-se de tomar a decisão de enviar à unidade de workflow as informações do estado atual e de ocorrências anômalas, atrasos na execução de itens de trabalho ou outros eventos de interesse;
- varredura das bases de regras de políticas para obtenção e compreensão da nova política de sequenciamento a ser designada para uma específica instância de workflow.
- mover-se entre os postos de trabalho e ali permanecer por determinado período de forma a coletar informações gerenciais específicas relacionadas com a interligação de instâncias de workflow ou a respeito de desempenho de elementos que participem de várias instâncias diferentes de workflow.

3.4. Classificação Agentes para Sistemas de Gerenciamento de Workflow

Analisando as possibilidades para o uso de agentes em Sistemas de Gerenciamento de Workflow pode-se concluir que uma classificação de agentes de software nestes sistemas pode ser:

- **Agentes de Workflow:** são os responsáveis pelas execuções das unidades workflows; devem controlar o sequenciamento e a execução das atividades e dos itens de trabalho que as compõem. Cada unidade de workflow deve ser representada por um agente de workflow.
- **Agentes de Interface:** estes agentes são usados para tornar a interface com o sistema mais intuitiva e adaptada às preferências dos participantes. Cada participante deve possuir o seu agente de interface. Estes agentes permitem ao participante comunicar-se com o sistema em uma linguagem de alto nível, capaz de suportar ambigüidades, omissões e os inevitáveis erros de utilização. Estes agentes atuam com verdadeiros assistentes pessoais, reduzindo a carga de trabalho e de informação do participante, desobrigando-o de tarefas rotineiras e enfadonhas e também gerenciando a lista de trabalhos atribuídas pelo sistema ao participante.
- **Agentes de Informação:** suas principais funções são a busca, a interpretação e o gerenciamento de informações provenientes de diversas fontes distribuídas pela(s) empresa(s) participante(s) do workflow. Quando for o caso devem negociar a aquisição da informação. Facilitam a adaptação do ambiente em caso de mudanças nos formatos ou nos sistemas de armazenagem de dados da(s) organização(ões). Estes agentes podem receber suas tarefas tanto dos agentes de interface como daqueles de workflow.

4. UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE WORKFLOW BASEADO EM AGENTES

O Sistema de Gerenciamento de Workflow conforme descrito neste artigo corresponde ao núcleo operacional de um Ambiente de Gerenciamento de Workflow totalmente baseado em agentes de software. O ambiente se destina a operar em pequenas e médias empresas e também em empresas virtuais por elas compostas. Estas empresas são justamente aquelas que não têm condições financeiras para a aquisição ou mesmo condições técnicas de manter algum dos grandes sistemas dedicados, e proprietários, de gerenciamento de workflow.

O ambiente proposto pressupõe uma interoperabilidade relativa às perspectivas computacionais de médio prazo daquele tipo de empresas. Para isto considera como disponível a infra-estrutura de comunicação da Web e a operação de Máquinas Virtuais Java. Esta decisão habilita ao desenvolvimento de sistemas de baixo custo de implantação e operação pois permite uma relativa independência do middleware disponível em cada empresa e também não requer treinamento muito especializado ao usar uma interface padrão, e bem conhecida, de interação homem-máquina.

A opção por basear o desenvolvimento do sistema em agentes de software se deve não apenas à sua modularidade e mobilidade mas, principalmente, à flexibilidade oferecida pela possibilidade de uma evolução gradativa na funcionalidade do ambiente ao se compor as habilidades dos agentes em novos serviços. Em particular, um fator importante pela opção pelos agentes é a possibilidade de decisão autônoma em relação às tarefas ou seu fluxo em função das condições momentâneas do processo de negócio da empresa.

Uma visão geral do ambiente é apresentada esquematicamente na figura 1. Do ambiente foram desenvolvidos

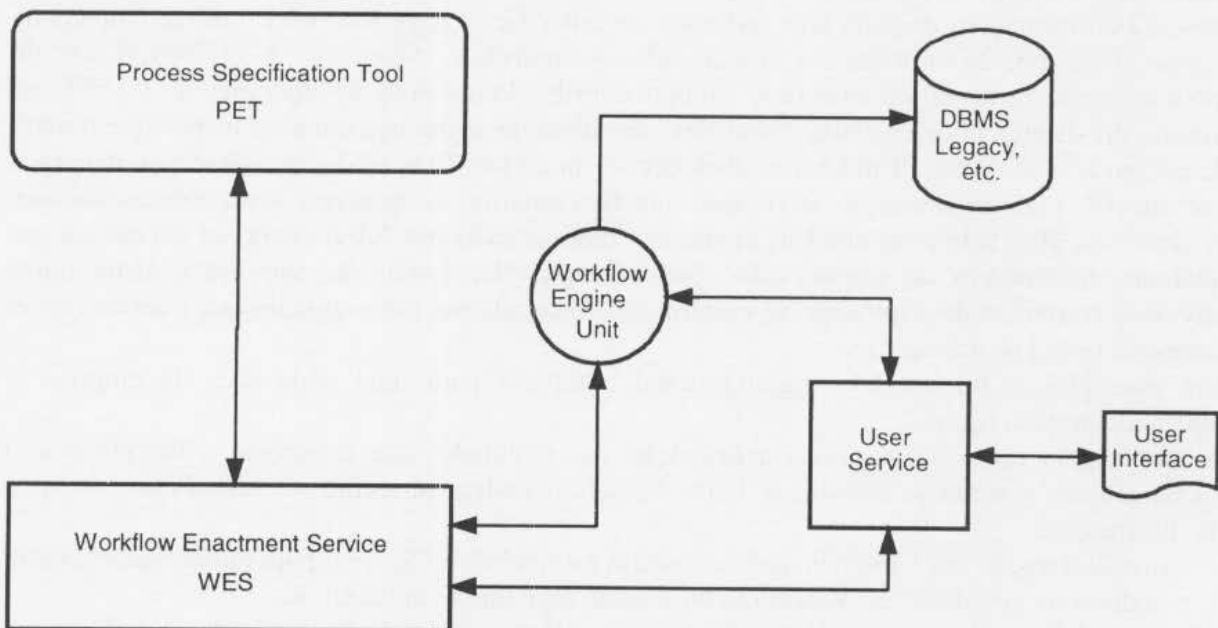


Figura 1 - Visão geral do ambiente de gerenciamento de workflow baseado em agentes

Seus cinco componentes principais são:

- Process Specification Tool – PET (Ferramenta de Especificação de Processos) : Realiza a modelagem funcional, comportamental e organizacional do workflow e também cria os esquemas para execução do Workflow;
- Workflow Engine Unit – WEU (Unidade de Execução de Workflow): Unidade responsável pela execução dos workflows modelados;
- Workflow Enactment Service – WES (Serviço de Controle de Workflow): Elemento de gerenciamento, responsável pelo controle de execução dos workflows.
- User Service – US (Serviço do Usuário): Gerencia a lista de tarefas atribuídas a cada usuário e também monitora o andamento dos workflows ativos instanciados pelo usuário;

- User Interface – UI (Interface do Usuário): Elemento de interação do usuário com o ambiente de gerenciamento de Workflow;

A seguir são discutidos detalhadamente estes componentes.

4.1. PET - Ferramenta de Especificação de processos (Process Specification Tool)

A PET incumbe-se da modelagem funcional, comportamental e organizacional dos processos de negócio da empresa.

A modelagem organizacional é realizada através da especificação de uma estrutura hierárquica, um tipo de organograma, dos grupos de trabalho da empresa. A descrição dos grupos se faz através da especificação de quatro atributos:

- Cargo: Atributo chave do organograma, não podendo se repetir;
- Servidor: Identificação do servidor onde estão armazenadas as contas do cargo e principalmente o US (User Service) deste cargo.
- Grau de Acesso: Determina o grau de acesso às diversas tarefas da organização.
- Identificação dos membros do cargo: login e nome completo dos ocupantes (usuários) dos cargos.

Em termos de segurança de acesso às atividades dos workflows, foi criado um mecanismo de segurança compatível tanto com os mecanismos normalmente usados nas empresas quanto com os mecanismos tradicionais de acesso a sistemas de informação. Como atividades (modelo comportamental) e organização são modelados independentemente, a segurança de acesso a atividades requer uma identificação de grau de segurança para a atividade e grau de acesso para quem a deseje executar. A determinação do grau de acesso foi composta por dois elementos, um identificador (uma letra) da(s) área(s) a que se relaciona o cargo e um identificador do nível de acesso às informações daquela área atribuído ao específico cargo. Estabeleceram-se 5 níveis de acesso: 1-básico, 2-intermediário, 3-avançado, 4-supervisor, 5-gerente. A cada atividade do modelo comportamental do workflow também é atribuído um grau de segurança de 1 a 5. Cada usuário do sistema pode executar atividades com nível de segurança igual ou menor que o nível de acesso a si atribuído. Também estabeleceu-se uma classificação de área genérica, denotada por área X, para expressar as atividades que funcionários de qualquer área possam acessar. Assim, uma atividade com nível de segurança representado por X1 poderia ser executada por qualquer funcionário da organização (por exemplo "ler jornal da empresa"). Uma outra atividade com nível de segurança X5 poderia ser executada por todos aqueles que tivessem nível gerencial (nível de acesso 5).

Um exemplo de um modelo organizacional completo para uma dada área da empresa é representado pela figura 2.

A modelagem funcional expressa a descrição das atividades que compõem o workflow e o encadeamento entre estas atividades. Estes elementos podem ser expressos através de três tipos de informação:

- *var*: declaração das variáveis internas usadas no workflow. Servem para passar valores entre as diversas atividades do Workflow ou mesmo para outros aplicativos.
- *control*: fluxo de controle do Workflow. Especifica a ordem de execução das atividades e a interação entre elas, ou seja, contém a expressão do fluxo lógico do Workflow.
- *tasks*: relação de atividades do workflow. Contém o nome da atividade, o(s) serviço(s) que será(ão) utilizado(s) para sua execução e seus parâmetros.

O modelo comportamental é expresso através da programação dos serviços e da avaliação de condições. Os serviços correspondem a métodos utilizados quando da execução de uma atividade. São divididos em duas categorias: Genéricos e Específicos. Os Serviços Genéricos realizam operações comuns à maioria das organizações (p. ex. comunicação). Os Serviços Específicos são utilizados para acessar componentes de software externos ao ambiente e que serão integrados aos Workflow, como DMBS, sistemas legados e sistemas especialistas. Esses serviços devem ser programados especificamente para cada organização, levando em conta as características (interface, formato dos dados, ambiente, etc.) desses sistemas.

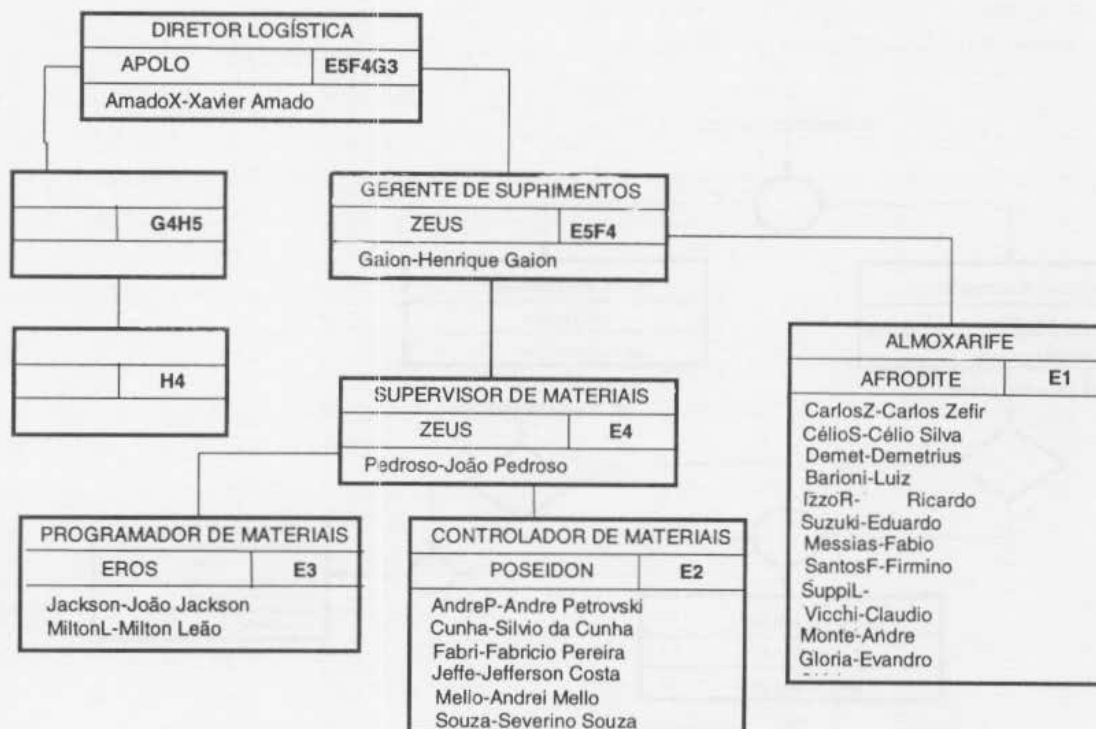


Figura 2 - Exemplo de um modelo organizacional

Para a representação gráfica dos modelos funcional e comportamental de um workflow utiliza-se símbolos especiais tais como o apresentados na figura 3.

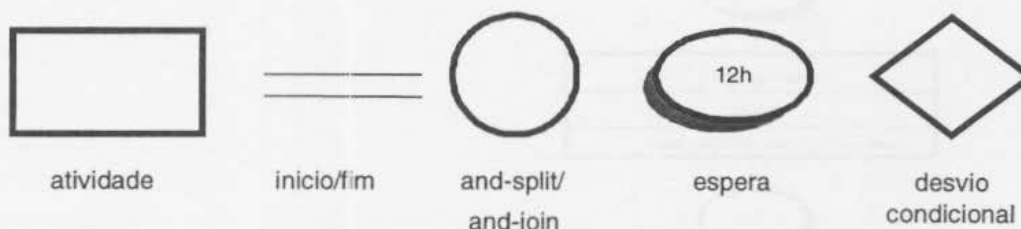


Figura 3 - Simbologia simplificada para modelagem funcional e comportamental de workflow

O símbolo de atividade é dividido em três campos onde constam: nome da atividade (topo), serviço(s) relacionado(s) à atividade (meio) e os parâmetros a serem passados quando da execução do serviço (inferior).

Para exemplificar uma modelagem, considere-se um Workflow de Requisição de Material. Ao iniciar o processo, o sistema deve verificar se o usuário tem permissão para requisitar os materiais e verificar a quantidade em estoque. Se a quantidade em estoque e a permissão forem positivados o sistema deve reservar o material, avisar o almoxarife para disponibilizar o material, aguardar a disponibilidade, e em seguida avisar o solicitante para retirar o material. Por fim, deve verificar se após a retirada, algum material atingiu o estoque mínimo e, caso isto tenha ocorrido, iniciar um Workflow de Reposição no Estoque. A Fig. 4 mostra uma representação gráfica simplificada de um Workflow de Requisição de Materiais.

No exemplo da figura 4, a atividade VERIFICAR QUANTIDADE utiliza o Serviço específico MATERIAIS e passa os parâmetros quantidade (método a ser utilizado) e a variável de retorno. Neste caso, materiais() é o serviço específico que efetua manutenção em todos os Bancos de Dados da área de materiais. Por outro lado, a atividade DISPONIBILIZAR MATERIAL, utiliza o Serviço genérico COMM e passa os parâmetros 'warning', que neste caso também é o método a ser chamado e a mensagem a ser enviada. No caso, comm() é o serviço de comunicações geral do ambiente, que serve para enviar mensagens e possui métodos como 'warning', 'error', 'aprove', etc.

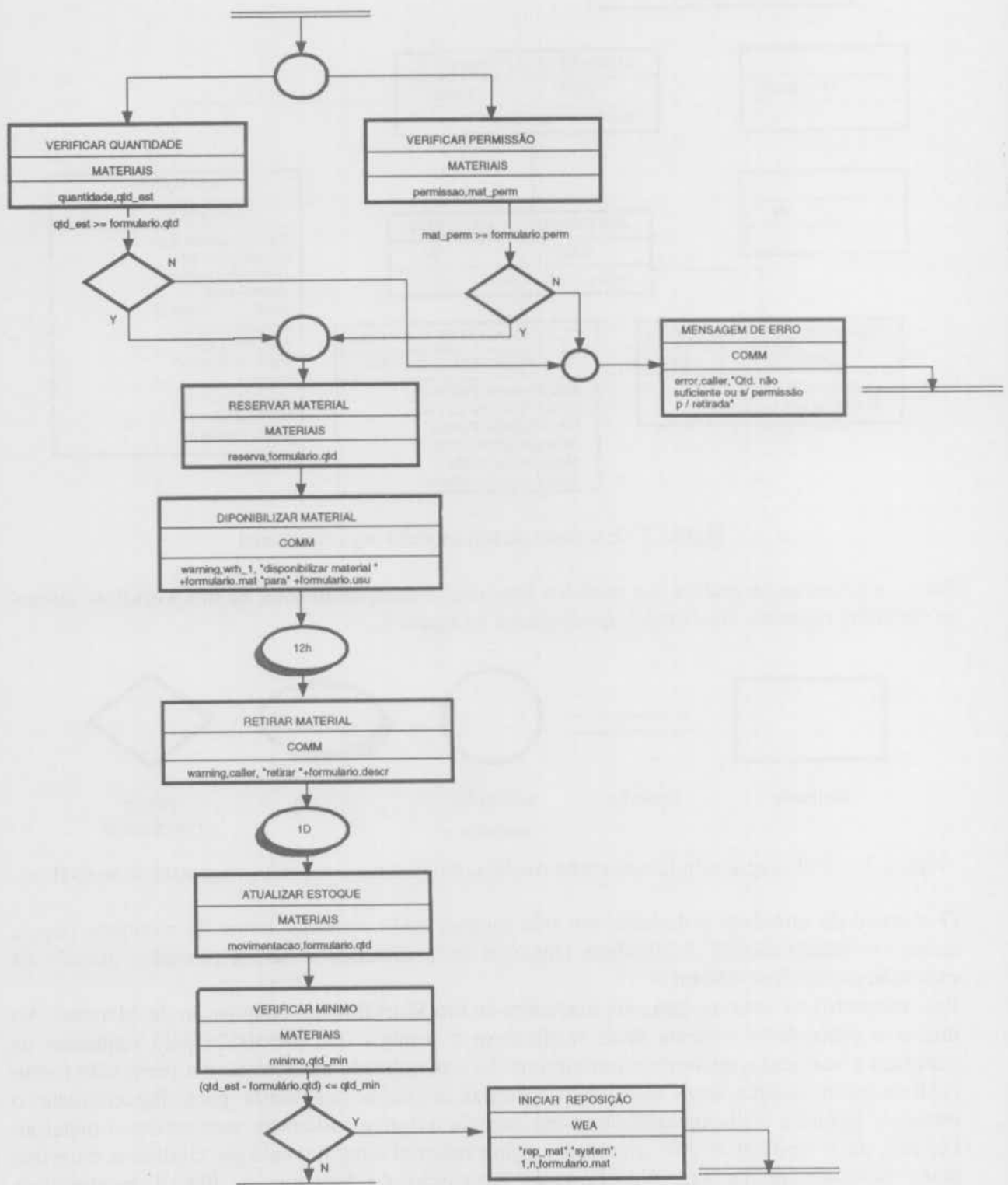


Figura 4 - Representação Gráfica de um Workflow de Requisição de Materiais

Os modelos funcional e comportamental podem ser expressos tanto de modo gráfico (fig. 4) como diretamente em modo textual. Embora ainda não tenha sido implementada uma ferramenta para tal, o modelo gráfico deverá ser automaticamente traduzido para uma Linguagem de Modelagem de Workflow especificamente desenvolvida para este sistema. Um exemplo do modelo de workflow de requisição de materiais expresso na Linguagem de Modelagem de Workflow é apresentado na figura 5.

```

VAR
  tak_atu=0
  qtd_est=0
  mat_perm=0
  qtd_min=0
CONTROL
  AND_SPLIT 2
    SUBTASK1
      START verificar_quantidade
      IF qtd_est >= req_mat.qtd
      RETURN true
      ELSE
      RETURN false
      ENDIF
    SUBTASK2
      START verificar_permissao
      IF req_mat.per >= mat_perm
      RETURN true
      ELSE
      RETURN false
      ENDIF
  AND_JOIN
  START reservar_material
  ELSE
  START mensagem_erro
  RETURN false
  ENDIF
  START disp_material
  WAITS 12h
  START retirar_material
  WAITS 1d
  START atualizar_estoque
  START verificar_minimo
  RETURN true
TASKS
  verificar_quantidade:materiais(quantity,req_mat.mat,qtd_est,erro)
  verificar_permissao:materiais(permission,req_mat.mat,mat_perm,erro)
  reservar_material:materiais(reserve,req_mat.mat,req_mat.qtd,erro)
  disp_material:comm(warning,Almoxarife,Disponibilizar material,erro)
  retirar_material:comm(warning,req_mat.n_usu,Retirar material,erro)
  atualizar_estoque:materiais(reduction,req_mat.mat,req_mat.qtd,erro)
  verificar_minimo:materiais(minimal,req_mat.mat,qtd_min,erro)
  mensagem_erro:comm(error,req_mat.n_usu,"Qtd. nao suficiente ou s/ permissao",erro)

```

Figura. 5: Um exemplo do modelo de workflow na Linguagem de Modelagem do Workflow

Para otimizar a mobilidade dos agentes na rede, a Linguagem de Modelagem de Workflow foi elaborada de forma que Workflows muito complexos possam ser divididos em "subtasks" em tempo de modelagem [CGP+96], caso em que cada WEU representaria apenas uma parte daquele do Workflow.

A partir do modelo em Linguagem de Modelagem de Workflow é gerada a Workflow Engine Unit (WEU), agente que contém todas as informações necessárias para a execução do workflow. Tanto este elemento do sistema como a forma de sua geração serão detalhados mais adiante.

4.2. WEU - Unidade de Execução de Workflow (Workflow Engine Unit)

A WEU é um agente de software encarregado da execução de uma instância de um determinado Workflow, a partir de sua representação em uma Linguagem de Modelagem de Workflow. Para tal, esta unidade deve ser capaz de armazenar e também interpretar o modelo do Workflow, conforme especificado na Linguagem de Modelagem de Workflow, e, posteriormente, executar este modelo de workflow através da ocorrência de todas as atividades que o compõem. Cada Workflow modelado tem ao menos uma WEU que o represente.

Esta unidade é instanciada a partir de um gabarito (template) de workflow, conforme modelado através da PET. A instancição ocorre por solicitação de algum usuário do Sistema de Gerenciamento de Workflow ou mesmo por solicitação de outra WEU que autonomamente decida por isso.

A partir de sua instancição pelo WES, a WEU é totalmente autônoma e responsável pela sua atuação como unidade que executa o Workflow. Ela deve ser capaz de cumprir ou solicitar que sejam cumpridas, todas as atividades do Workflow, sem ajuda de nenhum outro componente ou elemento externo. Em sua operação a WEU pode migrar ao longo da rede corporativa, como forma de garantir privacidade de comunicação ou otimização de interação com outros elementos do sistema de gerenciamento de workflow ou mesmo com aplicativos externos.

Dois principais aspectos da WEU devem ser detalhados, sua estrutura e sua operação.

4.2.1. Estrutura da WEU

Como todo agente de software, a WEU tem um programa a ser executado e um conjunto de dados. Assim sendo, especificamente no caso de workflow, os dados são divididos em três partes, dados do modelo de workflow, dados de execução do agente e dados resultantes do workflow. Essa estruturação pode ser representada pela figura 6, cujos elementos são mais detalhados a seguir.

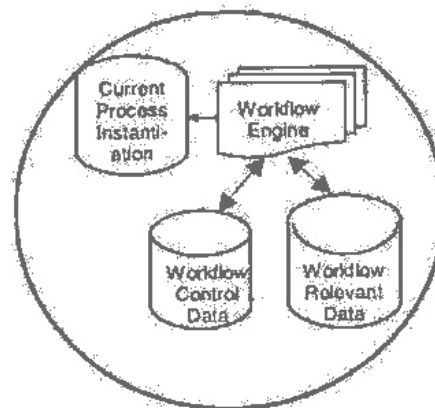


Figura 6 - Esboço da estrutura de uma WEU

- **Workflow Engine:** trata-se do programa propriamente dito, que é composto por duas partes. Uma primeira corresponde a um thread de controle do agente, ou seja, a parte que se encarrega do controle da execução do modelo de workflow. A segunda parte corresponde a um script composto por um Analisador Léxico, para interpretar os comandos do modelo corrente de workflow conforme descrito pela Linguagem de Modelagem de Workflow, e por um conjunto de métodos relativos à execução do workflow, tais como comunicação com outros elementos, armazenagem de informação, etc.
- **Current Process Instantiation:** corresponde à cópia presente de todo o modelo de Workflow que será executado. Vale enfatizar que no caso desta WEU ser uma 'filha' de outra, ela possui apenas a parte do modelo com as atividades que lhe caberão executar, armazenados durante sua criação. Os dados deste modelo são interpretados em tempo de execução do workflow engine.
- **Workflow Control Data:** corresponde às informações de controle de execução do Workflow, tais como tarefa corrente, endereço IP atual, etc. Essas informações devem ser persistentes pois servem para manter o estado atual do Workflow não só no caso de execução do workflow mas também para o caso de suspensão do agente quando da sua migração de uma máquina para outra (quando a WEU fica temporariamente inativa) e também como medida de segurança para re-início do agente em caso de queda do ambiente ou do sistema.
- **Workflow Relevant Data:** corresponde às variáveis temporárias definidas na seção VAR da Linguagem de Modelagem de Workflow. Essas variáveis têm que ser persistentes ao longo

da execução do Workflow, como medida de segurança, motivado pelas mesmas condições que requerem que os dados de controle assim o sejam.

Como forma de minimizar o tamanho do agente, a instanciação da WEU foi otimizada de forma que esta contenha apenas as informações necessárias para sua execução. Assim, na composição do Analisador Léxico, apenas os interpretadores dos comandos que são utilizados no modelo do Workflow são a ele agregados.

4.2.2. Operação da WEU

A WEU é instanciada pela WES e seu thread de controle é ativado, passando a ser executado. Este thread de controle assume, então, toda a coordenação da execução de cada uma das atividades modeladas para o Workflow.

Para otimizar a execução e o controle de cada Workflow, em particular no caso de ocorrência de ramos de atividades em paralelo, foram atribuídas certas características para a Linguagem de Modelagem de Workflow que permitem que uma WEU possa solicitar ao WES a instanciação de WEUs "filhas", quando da existência destes ramos de atividades em paralelo. Neste caso a WEU "mãe" entra em suspensão e as WEUs "filhas" são instanciadas apenas com aquela parte do modelo que forma o ramo paralelo que irão representar. Ao término do trecho em paralelo as WEUs "filhas" são desativadas e a WEU "mãe" reiniciada. Ao longo de toda sua execução estas WEUs "filhas" comportam-se como WEUs completas, ou seja, como agentes autônomos.

4.3. WES - Serviço de Controle de Workflow (Workflow Enactment Service)

O Workflow Enactment Service é o agente responsável pelo gerenciamento de workflows. Os serviços de gerenciamento, neste caso, correspondem, principalmente, aos de: Instanciação de WEUs, Monitoramento das WEUs, e Segurança e Tratamento de Erros.

No escopo deste trabalho optou-se por ter o serviço de controle de todos os Workflows em execução através de um agente não móvel, realizando os serviços de gerenciamento dos Workflows de uma forma centralizada por rede local (LAN). Esta opção simplifica a operação de um sistema como este em uma organização onde todos os postos de trabalho estejam vinculados a uma única LAN, caso que cobre a maioria das organizações de médio e pequeno porte.

Para o caso em que pequenas e médias empresas venham a usar a WEB como infra-estrutura de comunicação para desenvolver trabalho cooperativo, como o proposto para Empresas Virtuais, pequenas alterações seriam necessárias. As empresas continuariam a operar seus próprios Workflows normalmente com um WES por LAN. Os Workflows da Empresa Virtual deveriam ser classificados como "Global" e um dos WESs já existentes, ou um especial, deveria se encarregar do gerenciamento destes Workflows globais. Quando um usuário, ou mesmo um outro Workflow, solicitar a instanciação de um Workflow global esta solicitação deve ser imediatamente comunicada ao WES global, que o instancia e passa a gerenciar a nova WEU criada. A política de controle dos Workflows globais e os mecanismos de migração dos agentes de workflow (WEU) são os mesmos que aqueles realizados localmente em uma só LAN. Como única diferença tem-se que cada vez que uma WEU migra para uma nova LAN ela é também registrada no novo WES.

A operação do sistema aqui proposto através da infra-estrutura da WEB requer um aprimoramento das questões de segurança de informação, tema aqui não discutido. Cada WES deveria somente ser acessada externamente através de "firewalls" e as informações contidas nos agentes deveriam ser criptografadas.

Embora tecnicamente possível, a realização de um controle descentralizado através de um sistema multi-agentes [WeiS96] não estaria de acordo com o propósito inicial de desenvolver-se um sistema que operasse preferencialmente em pequenas e médias empresas. O desenvolvimento de um sistema com características multi-agente requereria uma maior complexidade na construção dos agentes, principalmente no que diz respeito à elaboração e implementação dos aspectos de cooperação e coordenação do trabalho destes agentes, de forma

a realizar um gerenciamento eficaz. Assim, optou-se, no escopo deste trabalho, pelo gerenciamento centralizado.

O agente WES tem uma estrutura formada por um thread de controle e outros três serviços de gerenciamento, conforme mostra a figura 7. A seguir são detalhados os principais serviços realizados pela WES.

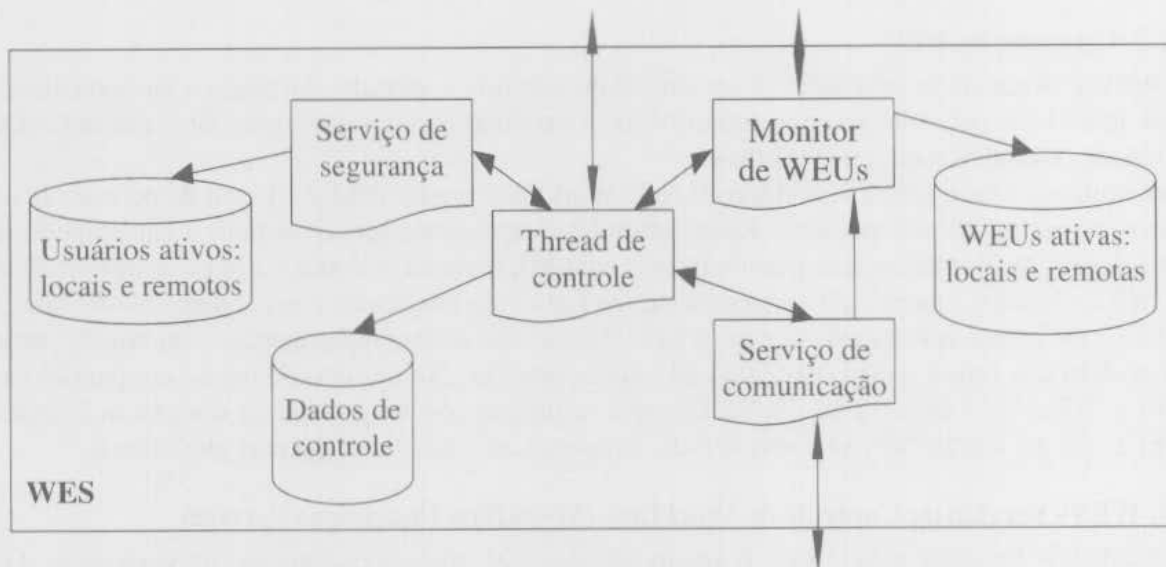


Figura 7 - Esboço da estrutura do WES

4.3.1. Thread de controle

Esta é a parte do agente responsável pela coordenação de todo o trabalho da WES. Trata-se de um processo contínuo, e persistente através dos dados de controle, que é ativado assim que o sistema se inicia e se encarrega da ativação e da coordenação de execução dos outros elementos que compõem a WES.

Além das atividades de coordenação encarrega-se de:

- tomar as decisões em caso de ocorrência de erros comunicados pelas WEUs ativas através do serviço de comunicação
- ativar o serviço de segurança quando recebe solicitação de instanciação de uma WEU
- solicitar, após verificação das questões de segurança, que a PET encaminhe diretamente ao Monitor de WEUs os dados para a instanciação de uma nova WEU
- solicitar, após verificação das questões de segurança, que o Monitor de WEUs instancie uma WEU que tenha migrado de outra LAN, a partir dos dados fornecidos pelo serviço de comunicação.

4.3.2. Monitor de WEUs

Trata-se de um processo que é ativado pelo thread de controle e assim se mantém enquanto existirem WEUs ativas. Dentre as suas responsabilidades encontram-se

- providenciar a instanciação de WEUs, a partir de dados encaminhados pela PET
- manter um controle das WEUs ativas

O controle das WEUs corresponde não só ao registro das diversas informações correntes (usuário, tempo de atividade, etc.) daquelas que se encontram ativas na LAN local mas também o endereço daquelas que migraram para outras LANs e, portanto, se encontram sob controle de outro WES. As informações a respeito das WEUs ativas são persistentes através dos dados de WEUs ativas.

4.3.3. Serviço de Segurança

Trata-se de um processo ativado pelo thread de controle toda vez que houver solicitação de:

- verificação da identificação e senha de um usuário, local ou remoto, que haja solicitado sua entrada no sistema
 - instanciação de uma WEU por parte de um usuário habilitado no sistema
- Os dados de segurança são persistentes através do registro de usuário ativos.

4.3.4. Serviço de Comunicação

Trata-se de um processo contínuo (daemon) que, uma vez ativado pelo thread de controle, monitora uma específica porta da máquina onde se encontra. Encarrega-se de receber as comunicações endereçadas ao WES e, em particular, as solicitações de instanciação de WEUs (Workflows). Este serviço as interpreta e sinaliza para o thread de controle a solicitação. Também, é este serviço que recebe os arquivos que compõem as WEUs que migraram para a LAN local.

Além de interagir com o thread de controle também se comunica com o Monitor de WEUs para encaminhar a este as informações de novos endereços de uma WEU ativa que migrou.

4.4. US - Serviço de Usuário (User Service)

O Serviço de Usuário (US) corresponde a um agente que tem a responsabilidade de gerenciar as atividades de um dado cargo da organização, fazendo o papel do chefe de seção humano. A cada cargo corresponde uma única instância de um US, embora vários usuários possam estar afetos a este cargo. Em condições normais o US se mantém estático em uma das máquinas onde trabalhem usuários do respectivo cargo, ou na máquina servidora da maioria dos aplicativos usados naquele cargo. Sob condições especiais este agente pode migrar para as máquinas dos usuários do cargo para realizar seus trabalhos.

Este serviço tem a responsabilidade de realizar tanto a atribuição e controle das atividades requeridas por WEUs para o cargo quanto a busca de informações sobre o estado de workflows solicitados por algum usuário do cargo.

A atribuição e controle de atividades corresponde a:

- distribuir entre os usuários as tarefas atribuídas àquele cargo. Para tal, executa um controle das atividades atribuídas ao cargo através da manutenção de uma lista das atividades atribuídas a cada usuário do cargo. Quando uma WEU atribui uma atividade ao cargo, a US avalia as condições de atribuição de atividades (p. ex. tempo médio, carga atribuída, etc.) aos usuários do cargo e então atribui a tarefa a algum usuário. Uma política de atribuição simples corresponde à avaliação apenas do número de atividades atribuídas a cada usuário. Variadas políticas de atribuição podem ser adotadas, com os mais diversos graus de complexidade, dependendo do grau de inteligência atribuído ao US quando de sua criação. Este, também deve redistribuir atividades que tenham sido rejeitadas por algum usuário.
- Comunicar com as WEUs, informando sobre o término de execução de atividades ou a rejeição de certa atividade pela indisponibilidade de usuários para realizá-la.
- auditar a execução das atividades, obtendo informações como tempos mínimos e máximos de execução, tipos e valores de atrasos, atividades rejeitadas, etc.
- informar sobre a auditoria de atividades, quando solicitado pelas WEUs.

A busca de informações sobre o estado de workflows solicitados por algum usuário do cargo faz com que a US solicite ao WES a instanciação de um agente móvel denominado Unidade de Busca (Search Unit- SU). Este agente migra pelo domínio do sistema para verificar o estado atual do específico workflow solicitado procurado. Ele primeiro consulta no WES do domínio local a tabela de WEUs ativas em busca daquela(s) que, no momento, represente(m) o específico Workflow. Independentemente do domínio onde a WEU esteja, a SU migra para onde ela se encontra e dela requer a informação necessária, podendo também requerer informações do US do cargo a que a atividade tenha sido atribuída. Por fim, retorna ao US que solicitou sua instanciação e entrega a informação.

É claro que todo este trabalho poderia ser realizado através de troca de mensagens. A eficiência de um ou outro modelo, entretanto, depende do volume de consultas necessárias para obter as informações requeridas originalmente e também da dispersão das WEUs que no momento

representem o Workflow. Desta forma, até por compatibilidade com todo o sistema, optou-se por ter a SU como um agente móvel.

4.5. UI - Interface de Usuário (User Interface)

A Interface de Usuário (UI) é um agente encarregado de realizar a interface entre um usuário e o sistema, com cada instância sendo configurada individualmente para um só usuário.

Esta interface oferece ao usuário uma tela com duas áreas: Pendências e Opções. Na área de Pendências, estão representadas as atividades que o US distribuiu para o usuário e na área de Opções estão representados apenas aqueles Workflows que o usuário está habilitado a solicitar a instanciação. A cada um destes elementos representados se associa uma atividade específica. Com estas atividades se associam os aplicativos para executá-las e os mecanismos para indicar sua conclusão ou rejeição. Com os Workflows disponíveis associam-se solicitações de instanciação de novos Workflows ou verificação do estado daqueles já instanciados.

Ambas as áreas da UI são administradas pelo US. Para que o US possa acessá-la rapidamente, a UI deve ficar no mesmo servidor que o US, permitindo, também, que o usuário trabalhe em qualquer terminal conectado a este servidor.

Para diminuir o número de informações que as WEUs devem solicitar e também para agilizar o Workflow, a UI também deve coletar os dados iniciais de alguns Workflows que necessitam de dados de entrada. A partir da entrada destes dados básicos, o US solicita a instanciação da WEU para o WES.

5. ALGUNS ASPECTOS DE IMPLEMENTAÇÃO

A implementação dos agentes que compõem o sistema foi toda realizada em Java [GosM95], usando-se o Java Development Kit (JDK v 1.1).

Dos elementos principais do sistema apenas a PET não foi implementada, sendo que todos os modelos, atualmente, são gerados diretamente em Linguagem de Modelagem de Workflow, respeitando, entretanto, todas as características projetadas para a PET.

Na implementação dos serviços específicos que requerem acesso a Sistemas Gerenciadores de Bases de Dados (DBMS) utilizou-se o recurso Java Data Base Connectivity (JDBC), disponível no JDK através da classe *java.sql*, para a geração de comandos SQL. Como os testes realizados foram em ambiente MS-SQL-Server, utilizou-se o driver *jdbcKona* [Jard97] para interpretação dos comandos SQL.

Os testes de operação do sistema foram feitos em uma rede LAN simulando uma empresa industrial, onde o workflow modelado é o processo de manutenção de máquina. O modelo utilizado apresenta três ramos paralelos, executados por agentes autônomos que ao fim de seu trabalho são desativados e o controle do fluxo retorna ao agente principal que iniciou o Workflow. Foram modelados os cargos de Gerente de Produção, Supervisor de Produção, Programador de PCP, Equipe de Manutenção e Almoxarifes. A figura 8 esboça o ambiente computacional do exemplo.

A título de exemplo pode-se mencionar que o arquivo executável de uma instância da classe WEU, que executa o workflow do exemplo tem 10 Kbytes, sendo 2 Kbytes referentes ao modelo do workflow mencionado.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma nova concepção para Sistemas de Gerenciamento de Workflow. Esta é totalmente baseada em agentes de software, os quais realizam desde o completo roteamento e controle de atividades do workflow até a configuração personalizada de interfaces para cada usuário do sistema. O sistema desenvolvido não só apresenta-se adequado para uso em pequenas e médias empresas, com características de baixo custo, fácil utilização e possibilidade de ser usado através da Web em uma só empresa ou na composição de Empresas Virtuais mas também mostra a viabilidade do uso da tecnologia de agentes como forma de

aprimoramento e ampliação da capacidade e funcionalidade de SGWF para operação em sistemas distribuídos.

Trabalhos futuros deverão abordar, na área conceitual a realização de melhorias na simbologia adotada e na Linguagem de Modelagem. Em termos de implementação, os trabalhos devem incluir a implementação da ferramenta de modelagem de processos (PET), maior elaboração dos Serviços de Controle de Workflows (WES) e da Unidade de Execução de Workflow (WEU). Também serão desenvolvidos serviços de acessos a sistemas legados e realizados exaustivos testes com workflows altamente complexos.

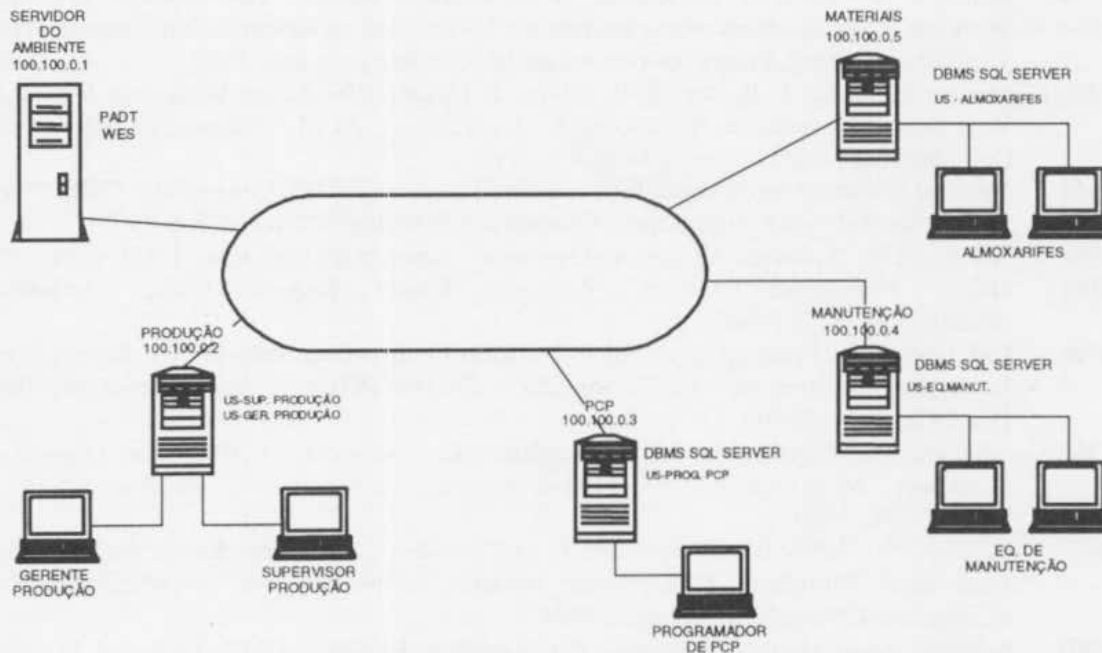


Figura 8 - Esboço do ambiente computacional de um dos testes do sistema

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Cast95] Castelfranchi, C. "Guarantees for Autonomy in Cognitive Agent Architecture", In Wooldridge, M. and Jennings, N.R (Editors), *Intelligent Agents: Theories, Architectures, and Languages, Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 1995.
- [CCPP95] Casati, F.; S. Ceri; B. Pernizi; G. Pozzi, "Conceptual Modeling of Workflows", Proc. of 14th Intern. Conf. on Object Oriented and Entity Relationship, Australia, 1995.
- [CGH+95] Chess, D.; B. Grosz; C. Harrison; D. Levine; C. Parris and G. Tsudik, "Itinerant Agents for Mobile Computing", IEEE Personal Communications, 1995.
- [CGP+96] Casati, F.; P. Grefen; B. Pernizi; G. Pozzi; G. Sánchez, "WIDE - Workflow Model and Architecture", CTIT Technical Report 96-16, University of Twente, Holanda, 1996.
- [GeHS95] Georgakopoulos, D.; M. Hornick; A Sheth, "An Overview of Workflow Management: from Process Modeling to Workflow Automation Infrastructure", Distributed and Parallel Databases, vol. 3, n. 2, 1995.
- [GenK94] Genesereth, M.R. and Ketchpel, S.P., "Software Agents", Communications of the ACM, 37(7): 48-53, 1994.
- [Geor95] Georgakopoulos, D., Tutorial on "Realizing the Workflow Paradigm in Products, Methodologies, Infrastructure, and Current Research", disponível em <http://info.gte.com/ftp/doc/dimitrios/workflow/tutorial.html>, 1995.
- [GosM95] Gosling, J. and McGilton, H. "The Java Language Environment: A White Paper", Java Home Page, disponível em <http://java.sun.com>, 1995.
- [ISO94] ISO/IEC 10746-2 / ITU-T X.902. "Basic Reference Model of Open Distributed Processing-Part 2: Descriptive Model", 1994.
- [Jard97] Jardin, C., "Java Eletronic Commerce Sourcebook", John Willey, 1997.
- [Joos95] Joosten, S., "Conceptual Theory for Workflow Management Support Systems" Technical Paper, Center for Telematics and Information Technology, University of Twente, 1995.

- [McC93] McCarthy, D. R.; S. K. Sarin, "Workflows and Transactions in InConcert", IEEE Data Engineering Bulletin, 1993.
- [MFF+97] Mendes, M., et.all, 'Architectural Considerations About Open Distributed Agent Support Platforms', Proceedings of ISADS '97, Berlin, 1997.
- [MLF+96] Mendes, M., et.all, 'Agents skills and their roles in mobile computing and personal communications', IFIP 96, Camberra, September 1996.
- [MPS+97] Miller, J., Palaniswami, D., Sheth, A., Kochut, K., Singh, H., "WebWork: METEOR's Web-based Workflow Management System" Journal of Intelligent Information Systems, vol. 10, n.º 2, 1997.
- [MSK+97] Miller, J. A., Sheth, A. P., Kochut, K. J., Palaniswami, D., "The Future of Web-Based Workflows", Proceedings of the International Workshop on Research Directions in Process Technology, Nancy, France, disponível em <http://lsdis.cs.uga.edu>, 1997.
- [MWFF92] Medina-Mora, R.; T. Winograd; R. Flores; T. Flores, "The Action Workflow Approach to Workflow Management Technology", Proceedings ACM Computer Conference on Computer-Supported Cooperative Work, 1992.
- [NIIP+95] National Industrial Information Infrastructure Protocols (NIIP) Consortium, "NIIP Virtual Enterprise- Reference Architecture: Concepts and Guidelines", revision 6, 1995.
- [Nwan96] Nwana, H.S., "Software Agents: An Overview". Knowledge Eng. Rev., 11(3): 1-40, 1996.
- [OMG96] Object Management Group, "Common Object Request Broker Architecture Specification", v. 2, 1996.
- [PAGE96] PAGE Project - Prototyping an Agent Platform Environment, Projeto de Cooperação entre Instituto de Informática - PUC-Campinas e GMD-FOKUS/ Technical University Berlin, Brasil/Germany, 1996.
- [SBM96] Schulze, W., Bohm, M., Meyer-Wegener, K., "Services of Workflow Objects and Workflow Meta-Objects in OMG-compliant Environments", in Proceedings of OOPSLA'96, 1996.
- [Schj94] Schuster, H., Jablonski, S., Kirsche, T. and Bussler, C., A Client/Server Architecture for Distributed Workflow Management Systems, disponível em www6.informatik.uni-erlangen.de:1200/publ/sjkb94.ps.Z, 1994
- [Schm96] Schmidt, Marc-Thomas, "Defining the Workflow Facility", OMG Technical Document, disponível em www.omg.org/pub/docs/cf/96-11-03.ps, 1996.
- [Shet95] Sheth, Amit, "Workflow Automation: Applications, Technology and Research" in SIGMOD Conference, 1995.
- [Skyr97] Skyrme Associates, D., "The Virtual Corporation", disponível em <http://www.skyrme.com/insights/2virtorg.htm>, 1997.
- [Wei96] Weiss, G., Sandip, S., "Adaptation and Learning in Multi-Agent Systems", Springer Verlag, 1996.
- [WooJ95] Wooldridge, M. and Jennings, N.R., "Intelligent Agents: Theory and Practice", The Knowledge Engineering Review, 10(2): 115-152, October 1994, Revision of January 1995.
- [WFMC96] Workflow Management Coalition, "Workflow Overview" e "Workflow Terminology and Glossary", disponível em <http://www.aiai.ed.ac.uk/WfMC/>, 1996.