

**DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE SISTEMA  
ESPECIALISTA APLICADO AO PLANEJAMENTO DA CONSTRUÇÃO  
DE EDIFÍCIOS DE VÁRIOS PAVIMENTOS**

**DISSERTAÇÃO DE Mestrado APRESENTADA AO CORPO DOCENTE DO CURSO  
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA DE ENGENHARIA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA**

**Autor:** Leonardo Rocha de Oliveira  
**Orientador:** Carlos Torres Formoso

**PORTO ALEGRE**  
**MARÇO 1994**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação.



Prof. Carlos Torres Formoso  
Orientador



Prof. Jorge Daniel Riera  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação  
em Engenharia Civil

BANCA EXAMINADORA

- Prof. Carlos Torres Formoso (Orientador)  
Ph.D., Univ. Salford, Inglaterra
- Prof. Luiz Fernando Mählmann Heineck  
Ph.D., Univ. Leeds, Inglaterra
- Prof. Claudio Mazzilli  
Dr., Univ. Grenoble, França

Deus, que filho é este  
que não ensinaste a voar e criou o avião,  
que para saber de seu irmão,  
atravessa, via satélite, a terra que lhe deste  
e que para conhecê-la melhor,  
muitas vezes se aventura levando consigo  
nada mais importante que teu nome,  
e agora vai aos céus, atrás dos mistérios da tua casa.

Deus, que filho é este  
que pede tua ajuda e herda as conseqüências da decisão  
que incansável, busca se conhecer melhor  
(tua imagem e semelhança)  
e que também quer criar e dar direito a vida,  
para poder ser chamado como és, pai.

## *AGRADECIMENTOS*

Ao amigo e orientador Prof. Carlos Torres Formoso, pelo incentivo e colaboração ao longo de todo o trabalho.

Aos demais professores do NORIE (Carin Schmitt, Denise Dal Molin, Helio Greven e Luis Carlos Bonin) que tanto se empenham pelo bem estar de seus alunos, sendo capazes de propiciar um ambiente do qual sentirei muitas saudades.

Ao amigo certo para as horas difíceis, Prof. Luis Fernando M. Heineck, que sempre incentivou a elaboração deste trabalho.

A todo o pessoal do NORIE mais especialmente aos amigos Aldo Boggio, Andrea Schuler, Andre Geyer, Ângela Mazuero, Denise Silva, Elvira Lantelme, Jose Luis Rangel, Lilian Uber, Marco Rodriguez, Marlova Kulakowski e Mírian Oliveira.

Aos amigos, colegas de turma e de trabalhos em grupo, Alexandre Rezende e Luis Carlos P. Silva F<sup>o</sup>, cuja amizade representa uma das maiores aquisições possibilitadas pelo trabalho no NORIE.

Às construtoras ENCOL, HOME, IVO A. RIZZO, MOBILI, TGD e ENGENHOSUL, pelo apoio tão valioso, sem o qual não seria possível a elaboração deste trabalho.

Aos auxiliares de pesquisa Flavio Monticelli e Paulo Otto Weber, pelo empenho e colaboração.

À Família, por todo o apoio que sempre recebi.

A minha mãe, em especial, de quem sempre recebi tudo o que mãe pode dar a um filho.

## *SUMÁRIO*

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE SÍMBOLOS E NOMENCLATURAS	IX
RESUMO	X
"ABSTRACT"	XI
<b>1. APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. justificativa da pesquisa.....	1
1.2. importância do planejamento na indústria da construção.....	2
1.3. sistemas especialistas para planejamento .....	3
1.4 objetivos .....	3
1.5. limitações do trabalho.....	5
1.6. organização do trabalho .....	5
<b>2. SISTEMA DE INFORMAÇÕES E A GERÊNCIA DE OBRAS</b> .....	<b>7</b>
2.1. planejamento e programação de obras.....	7
2.2. histórico .....	8
2.3. características do processo construtivo.....	8
2.4. importância dos sistemas de informações.....	9
2.5. técnicas empregadas no planejamento .....	10
2.6. prática de utilização.....	12
2.7. uso de sistemas especialistas para planejamento de obras.....	13
<b>3. A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO E SISTEMAS ESPECIALISTAS</b> .....	<b>15</b>
3.1. sistemas especialistas .....	15
3.2. histórico de SE para planejamento da construção .....	18
3.2.1. elsie .....	18
3.2.2. construction planex.....	19
3.2.3. consas .....	19
3.2.4. oarplan.....	20
3.2.5. predicte .....	20
3.2.6. house planner .....	21
3.2.7. comentários .....	21
3.3. descrição da proposta de sistema.....	22

<b>4. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO SEPPO .....</b>	<b>24</b>
4.1. etapas de desenvolvimento do SEPPO .....	24
4.2. fase de conceitualização .....	26
4.3. fase de formalização .....	28
4.3.1. elicitación do conhecimento.....	28
4.3.2. elicitación do conhecimento para desenvolvimento do SEPPO .....	29
4.3.3. técnicas de representação intermediária .....	30
4.3.4. representação intermediária no desenvolvimento do SEPPO .....	32
4.4. fase de Implementação .....	33
4.4.1. paradigmas de representação do conhecimento .....	34
4.4.1.1. regras .....	34
4.4.1.2. redes semânticas .....	35
4.4.1.3. enquadramentos ("frames").....	37
4.4.1.4. lógica de predicados .....	38
4.4.2. fase de implementação no SEPPO.....	40
4.5. fase de avaliação .....	41
4.5.1. técnicas para avaliação do conhecimento .....	43
4.5.2. avaliação no SEPPO .....	43
<b>5. MODELO DO CONHECIMENTO PARA GERAÇÃO DO PLANO DE OBRA .....</b>	<b>45</b>
5.1. descrição geral das edificações analisadas .....	46
5.2. geração do plano de obra por especialistas.....	47
5.3. divisão dos trabalhos para geração do plano.....	48
5.3.1. divisão dos trabalhos em serviços .....	48
5.3.2. divisão do trabalho em atividades.....	51
5.4. seqüenciamento entre serviços.....	53
5.4.1. redundância no seqüenciamento entre serviços.....	54
5.4.2. critérios de relacionamento entre serviços .....	54
5.5. seqüenciamento entre atividades.....	55
5.5.1. tipo de precedência entre atividades .....	56
5.5.2. fator de precedência entre atividades .....	57
5.5.3. quebra de precedências entre atividades .....	59
5.6. duração dos serviços.....	59
5.7. duração das atividades.....	61
5.7.1. atividades de execução vertical .....	62
5.7.2. atividades de execução horizontal.....	63
5.7.3. características gerais da duração das atividades .....	64

<b>6. DESCRIÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL .....</b>	<b>66</b>
6.1 descrição geral do sistema .....	66
6.2 estrutura interna do sistema .....	67
6.2.1. hierarquia de objetos .....	69
6.2.1.1. hierarquia das atividades.....	70
6.2.1.2. hierarquia de componentes .....	71
6.2.2. frames para representar objetos .....	72
6.2.2.1. "slots" .....	73
6.2.2.2. métodos.....	74
6.2.3. herança de propriedades .....	76
6.2.4. mecanismos de inferência no SEPPO .....	77
6.2.4.1 "forward chaining".....	78
6.2.4.2. "backward chaining" .....	79
6.2.4.3. opção entre "forward chaining", "backward chaining" e métodos .....	80
6.3. descrição geral do funcionamento do SEPPO .....	81
6.3.1. dados gerais do projeto .....	81
6.3.2 seleção das atividades presentes no projeto .....	83
6.3.2.1 seleção de atividades via orçamento discriminado .....	84
6.3.2.2. seleção de atividades via componentes da edificação .....	86
6.3.2.3. seleção das atividades na biblioteca do sistema.....	86
6.3.2.4. estabelecimento de durações das atividades.....	87
6.3.3. - geração do plano da obra .....	88
6.3.3.1. modelagem do conhecimento sobre relações de precedências.....	88
6.3.3.2. técnica de programação para geração do plano da obra.....	89
6.3.4. ajuste fino do plano.....	90
6.3.5.geração de relatórios .....	91
<b>7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS .....</b>	<b>93</b>
7.1. conclusões gerais.....	93
7.2. lições para o futuro .....	95
7.2.1. aquisição do conhecimento .....	95
7.2.2. representação intermediária do conhecimento .....	95
7.2.3. implementação do sistema .....	96
7.2.4. validação do modelo .....	97
7.3. sugestões de novos trabalhos.....	98
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO 1 - BIBLIOTECA DE ATIVIDADES DO SEPPO.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO 2 - DEMONSTRATIVO DE UTILIZAÇÃO DO SEPPO .....</b>	<b>111</b>

## ***LISTA DE FIGURAS***

### **CAPÍTULO 4**

4.1 - Processo de aquisição do conhecimento .....	25
4.2 - Descrição das etapas de desenvolvimento do SEPO. ....	26
4.3 - Exemplos de redes semânticas simples .....	36

### **CAPÍTULO 5**

5.1 - Execução de planos por especialistas .....	47
5.2 - Composição unitária extraída do sistema ORTEC. ....	50
5.6 - Representação gráfica da relação de benefícios obtida com a desagregação dos trabalhos no canteiro.....	52
5.4 - Exemplo de cartão com dados sobre cada atividade .....	55
5.5 - Processo de aquisição do conhecimento sobre duração das atividades. ....	61
5.6 - Representação intermediária do conhecimento referente à execução da atividade Reboco-Externo.....	62

**CAPÍTULO 6**

6.1	Descrição geral do modelo computacional.....	68
6.2	Exemplo de hierarquia de objetos no KAPPA.....	69
6.3	Resumo da hierarquia de atividades e componentes.....	70
6.4	Representação hierarquia dos Serviços Iniciais.....	71
6.5	Frame representativa do objeto Formas-Vigas.....	72
6.6	Janela padrão do Kappa para definição do tipo de "Slot".....	74
6.7	Janela padrão para receber o valor do "Slot".....	74
6.8	Método presente no objeto Atividades.....	75
6.9	Editor de regras do Kappa.....	77
6.10	Etapas de utilização do SEPPO.....	81
6.11	Janela padrão do Kappa para questionar valores do usuário.....	82
6.12	Função em Kappa que executa a inferência por "Backard chaining".....	82
6.13	Exemplo de regras presentes na base de conhecimento do SEPPO.....	83
6.14	Resumo do banco de dados para conversão de informações orçamento / SEPPO.....	84
6.15	Lista relacionada de precedências da atividade Locação.....	88
6.16	Tela de ajuste do plano.....	91

## *LISTA DE SÍMBOLOS E NOMENCLATURAS*

- "**backward chaining**" - tipo de inferência que busca a verificação de um fato ou atingir um objetivo, buscando regras que possam prová-lo por meio de verificação em suas premissas.
- BC** - Base de Conhecimento; parte do sistema especialista na qual o conhecimento está representado.
- CAD** - "Computer Aided Design"; projetos auxiliados por computador.
- "**cognitive science**" - é o campo da ciência no qual os processos de aquisição do conhecimento humano são estudados.
- curva ABC de atividades ou insumos** - representação das atividades ou insumos em ordem decrescente de custos.
- "**default**" - são valores próprios que especialistas ou sistemas computacionais assumem em caso de desconhecimento do valor exato a ser adotado em determinada situação.
- EC** - Engenheiro do Conhecimento; profissional responsável pelo processo de modelagem do conhecimento e implementação no ambiente computacional.
- "**emissão de mensagens**" - dispara a execução de rotinas computacionais direcionadas a objetos previamente indicados
- "**forward chaining**" - tipo de inferência que atua das premissas de regras em direção às conclusões, entrando em ação quando ocorre um fato novo, passando as novas informações.
- IA** - Inteligência Artificial; área de estudos da ciência da computação que busca emular a forma de raciocínio humano no computador.
- MI** - Mecanismos de Inferência; parte do sistema especialista responsável pela manipulação do conhecimento presente na base do sistema.
- PPO** - Planejamento e Programação de Obras.
- SE** - Sistema Especialista; sistemas computacionais que buscam emular o comportamento de especialistas humanos na execução de tarefas de sua especialidade.
- SEPPO** - Sistema Especialista para Planejamento e Programação de Obras.
- "**workstation**" - estação de trabalho; computadores de maior porte que os tradicionais computadores pessoais (PC ou Macintosh).

## ***RESUMO***

Planejamento da construção é uma tarefa fundamental no gerenciamento de empreendimentos da construção civil, envolvendo escolha de tecnologias construtivas, definição de serviços, estimativa de recursos, estabelecimento de durações, identificação das diversas interações ou restrições dentro das diferentes atividades e preparação do plano da obra.

É uma tarefa executada por profissionais especializados, dos quais é exigido um conhecimento proveniente da experiência na profissão, enfrentando situações reais de trabalho onde diversas decisões devem ser tomadas no dia-a-dia da construção.

Este trabalho propõe um modelo do conhecimento empregado por estes especialistas no planejamento de obras da construção civil. Para isso foram realizadas entrevistas com profissionais, que forneceram planos de obras já construídas ou em construção, os quais serviram de base para o desenvolvimento do processo de aquisição do conhecimento.

Com base neste estudo, é proposto o desenvolvimento de um Sistema Especialista para o planejamento da construção de edifícios com variado número de pavimentos. O sistema deve ser usado em substituição aos pacotes computacionais convencionais, os quais utilizam técnicas tradicionais de planejamento, tais como PERT/CPM, tão discutidas e pouco utilizadas.

## ***ABSTRACT***

Construction Planning is both a crucial and a challenging task in the management of construction projects. This process involves the choice of construction technology, definition of work tasks, the estimate of duration and cost for individual tasks and the preparation of project schedules.

It is a task carried out by experts, who obtain their knowledge through experience in real situations, in which several decisions have to be made day by day in construction sites.

This research work proposes a model of the knowledge used by these experts in the task of construction planning. A number of interviews were carried out with experts who provided plans of projects already finished or being built.

Based on this study, the development of an Expert System for planning the production stage of multi-floor buildings is proposed. This system is intended to replace conventional planning packages, which are based on traditional planning techniques such as PERT/CPM, so widely discussed and rarely used.

# ***CAPÍTULO 1***

## **1. APRESENTAÇÃO**

Este capítulo tem a finalidade de caracterizar o contexto no qual se insere esta dissertação. Para isso, são discutidos os motivos que levaram à elaboração deste trabalho, a importância do planejamento na Construção Civil e a forma como esta tarefa tem sido executada em empresas de construção. Também são discutidas propostas de melhorias na realização desta tarefa, tal como o uso de Sistemas Especialistas. Ao final do capítulo é apresentada a estrutura deste trabalho.

### **1.1. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA**

A indústria da construção civil é um setor produtivo que envolve grande quantidade de recursos e é de fundamental importância na economia de uma sociedade. A melhoria da qualidade do processo produtivo e a redução de custos podem causar um significativo impacto no panorama social. Grande parte desta responsabilidade é de profissionais encarregados do gerenciamento do processo produtivo, propondo alternativas, planejando a execução e analisando os resultados.

É consagrado na literatura que a tarefa de planejamento constitui-se em um dos principais fatores para o sucesso de qualquer empreendimento. O desempenho desta tarefa depende basicamente da disponibilidade de informações sobre alternativas a selecionar. Cabe ainda destacar dois outros fatores de vital importância para o bom desenvolvimento do processo produtivo:

- (a) programas para controle de qualidade ou incremento de produtividade exigem um pleno conhecimento das características dos diversos processos envolvidos na produção. Somente desta forma podem ser obtidos ganhos reais em termos de produtividade e qualidade do produto final;
- (b) a rotatividade profissional é um processo comum a qualquer empresa brasileira e que encontra índices muito altos em empresas de construção civil. Portanto, torna-se necessária uma forma de armazenar e acessar informações referentes a processos produtivos passados, evitando que a empresa recaia em problemas anteriormente identificados e solucionados.

Hoje em dia, profissionais e estudantes de engenharia possuem fácil acesso a uma larga variedade de sistemas computacionais. Já existe o reconhecimento do potencial destes sistemas em incrementar a tarefa de planejamento do processo construtivo e facilitar o trabalho de profissionais no desempenho de suas tarefas.

## 1.2. IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Planejamento da construção envolve uma série de tarefas, entre as quais pode-se destacar a identificação dos serviços em um empreendimento, determinação das precedências entre estes, definição dos recursos necessários e estimativa de duração de cada serviço. A identificação de atividades e determinação de relações de precedências exigem decisões baseadas no conhecimento do processo produtivo, métodos construtivos e tecnologias disponíveis (MOSELHI et al. 1990). As durações são estimadas com base na produtividade média para a quantidade necessária de trabalho para cada serviço. Índices médios de produtividade podem ser obtidos em publicações especializadas para diversos serviços (TCPO, 1992; REGIONAL DISCRIMINADA 1993), sendo que diversos fatores podem causar variações nestes valores (ver item 2.3).

Entre os benefícios da atividade de planejamento estão incluídas a possibilidade de executar a obra com custos reduzidos, melhorar o desempenho do processo produtivo, aumentar a capacidade de previsão na realização dos diversos serviços e promover uma melhor qualidade ao produto final (ZOZAIA-GOROSTIZA. et al. 1990). Com isso, é possibilitada à empresa uma maior competência na área gerencial, tornando-a mais competitiva.

É desejável que essas tarefas sejam realizadas de forma a integrar os diversos serviços do processo de produção. Portanto, para a Indústria da Construção Civil, faz-se necessário canalizar informações e conhecimentos capazes de interligar os diversos setores da empresa, na busca de soluções adequadas para o bom desenvolvimento da obra (GOLDMAN, 1986).

Planejamento representa uma tarefa fundamental na gerência de empresas de construção. Muitos esforços têm sido empreendidos nas últimas três décadas no sentido de melhorar a sua eficiência, mas o progresso, obtido com as tecnologias desenvolvidas, não tem deixado profissionais satisfeitos com os resultados (LAUFER & TUCKER, 1988). As técnicas de planejamento mais conhecidas para a construção civil são o Diagrama de Barras e as Redes PERT/CPM. Estas, entretanto, possuem limitações, as quais são discutidas no capítulo 2 desta dissertação.

Existem vários sistemas computacionais, disponíveis no mercado, destinados a auxiliar na geração do plano da construção. Estes sistemas tradicionais exigem uma completa descrição dos trabalhos, relações de precedência, duração e locação de recursos para cada serviço (MOSELHI et al. 1990). Tais sistemas não são capazes de armazenar e reutilizar conhecimentos sobre o processo construtivo (ver item 2.6). Portanto não podem ser utilizados sem a intensa participação de especialistas em planejamento, os quais necessitam tomar um grande número de decisões em cada ciclo de planejamento (MOSELHI et al. 1990).

Portanto, o planejamento da construção exige profissionais especializados, com experiência e conhecimento do assunto. Só assim é possível que esta tarefa seja realizada com eficiência, atingindo seus objetivos quanto à adequação de custos, prazos e qualidade do produto final (COHN et al. 1988).

Alguns pesquisadores, como MCGARLAND e HENDRICKSON (1985), apontam sugestões para incrementar a tarefa de planejamento, tais como: promover treinamento adequado para profissionais, desenvolver pesquisas que venham a identificar e sanar as atuais deficiências do planejamento formal, alterar a estrutura organizacional da empresa e utilizar técnicas do campo da Inteligência Artificial (IA).

### **1.3. SISTEMAS ESPECIALISTAS PARA PLANEJAMENTO**

Sistemas Especialistas são sistemas computacionais desenvolvidos com métodos e técnicas de IA. São sistemas que incorporam conhecimento de um domínio específico, sendo empregados na realização de tarefas especializadas, as quais normalmente exigem a participação de especialistas humanos (MORAD e BELIVEAU, 1991). Esse tipo de sistema geralmente incorpora experiência de julgamento, regras de bom senso e outras formas de conhecimento, providenciando soluções para uma série de atividades (ver capítulo 3).

A tecnologia de Sistemas Especialistas foi introduzida como mais um esforço para incrementar a eficiência das tecnologias tradicionais de planejamento da construção e tem sido objeto de um considerável número de pesquisas nos últimos anos (DE LA GARZA e IBBS, 1990; ASHLEY e LEVITT, 1987). O capítulo 2 aborda com mais detalhes a aplicação das técnicas tradicionais de planejamento de obras e no capítulo 3 estão descritos alguns SE e a sua capacidade de apoiar a tarefa de geração do plano da construção.

### **1.4 OBJETIVOS**

Este trabalho consiste num esforço de utilizar a Informática como recurso para incrementar a produtividade de profissionais de planejamento em construção na execução de atividades que ocorrem com freqüência em situações de trabalho. O sistema computacional deve atuar sobre o desempenho de indivíduos através da melhoria de sua qualificação, auxiliando a realização de uma determinada tarefa e transmitindo ao usuário o conhecimento envolvido na forma como a tarefa deve ser realizada.

O estudo visa, portanto, a suprir a atual carência de informações a respeito de procedimentos recomendáveis à produção de edificações, durante o processo de planejamento de obras. Para isto desenvolveu-se um modelo do conhecimento de especialistas, o qual foi implementado em um sistema especialista. Desta forma, busca-se acompanhar a tendência atual dos demais setores da economia nacional, na busca de uma melhor qualidade e produtividade na Indústria da Construção, possibilitando uma maior credibilidade do setor junto aos consumidores.

Com base na análise apresentada nos itens anteriores, na qual se procurou ressaltar a necessidade de planejamento por parte de empresas de construção civil e o potencial do uso de Sistemas Especialistas, foram estabelecidos os objetivos específicos desta dissertação:

- (a) este trabalho visa ao desenvolvimento de um Sistema Especialista que possa ser empregado como consultor na tomada de decisões no processo de planejamento de obras;
- (b) o uso de tecnologia da área de Inteligência Artificial busca produzir um SE capaz de realizar associações lógicas sobre o processo de planejamento praticado na construção civil;
- (c) a versão final do sistema deverá auxiliar no processo de decisões, com possibilidade de gerar resultados mesmo com informações incompletas sobre o projeto da construção. À medida que o projeto vai adquirindo sua versão final, com maiores informações disponíveis sobre a construção, o sistema fica apto a gerar um planejamento mais detalhado do empreendimento em questão;
- (d) se o projeto da obra é realizado interagindo com o sistema proposto, é possível fazer previsões em termos de tecnologia empregada e prazos de construção;
- (e) o modelo deve incluir uma redefinição dos serviços, buscando refletir a realidade do canteiro de obras (ver capítulo 4). A partir desta redefinição é gerada a seleção de componentes, a definição de precedências, o seqüenciamento e a estimativa de duração das diversas atividades.
- (f) o sistema deve possuir interfaces com "softwares" convencionais de orçamentação e representação do plano da obra (planilha eletrônica), os quais são ferramentas amplamente utilizadas em empresas de construção. Desta forma, pode ser explorado o potencial destes pacotes e as habilidades do usuário em sua manipulação. A elaboração do trabalho prevê também a interface com softwares para representação do projeto do empreendimento (CAD), de forma a criar uma ferramenta poderosa no auxílio aos diversos profissionais envolvidos com gerenciamento em empresas de construção;
- (g) o desenvolvimento deste trabalho visa, também, a contribuir para a consolidação de metodologias para modelagem e representação do conhecimento particularmente quando aplicado ao planejamento na construção civil.

Membros de diversas Escolas de Engenharia têm criticado seus métodos de ensino, em face da nova e emergente tecnologia de computadores (NIEDZWECKI et al. 1991). Com o rápido crescimento de tecnologias do conhecimento, já são encontradas diversas aplicações da Inteligência Artificial na área de gerenciamento da construção. Entre seus objetivos está a possibilidade de aumentar a quantidade de material didático para alunos, garantindo fundamentos necessários para inovar seus raciocínios e, com isso, promovendo um crescimento intelectual em suas carreiras profissionais e na área do conhecimento (NIEDZWECKI et al. 1991). Este trabalho também pode ser visto como uma ferramenta de auxílio à formação de profissionais na área de gerenciamento da construção civil.

## 1.5. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Sistemas especialistas aplicados a um domínio específico do conhecimento têm obtido mais sucesso em termos de produção de planos que representem situações reais de trabalho (LEVITT et al., 1990). Em FORMOSO (1991) são apresentadas diversas deficiências presentes em sistemas de planejamento aplicados a domínios mais amplos. Entre estas, cabe destacar que estes sistemas exigem uma quantidade muito grande de reprogramação ao serem aplicados em situações reais (DARWICHE et al., 1988).

O sistema desenvolvido é aplicado a um domínio de conhecimento bem determinado, ou seja, construção de edifícios com vários pavimentos e tecnologia tradicional: estrutura em concreto armado moldado "in loco"; fechamento em alvenaria de tijolos; revestimento em argamassas, pinturas e azulejos.

Mesmo limitando o tipo de edificação a qual o sistema se aplica, pode-se encontrar uma variedade de opções de tecnologias e materiais para realizar um mesmo componente da edificação. Como exemplo, o piso da circulação térrea pode ser executado com carpete, pedras (basalto/granito), madeira (parquet/taboão), piso cerâmico, etc. Portanto, esta versão do sistema é apta a gerar o plano da obra com uma quantidade limitada de alternativas construtivas.

Com a utilização posterior, por parte de profissionais da construção, o sistema deve ampliar suas habilidades. No capítulo 3, item 3.2 é discutido com mais detalhes o domínio do conhecimento e no item 3.2.7 é justificada a limitação das habilidades do sistema.

## 1.6. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada da seguinte forma:

- no capítulo 1 define-se a área do conhecimento (domínio) no qual se insere esta pesquisa. Para isso, apresenta-se uma introdução ao assunto, justificativa do trabalho, objetivos e limites de sua aplicação;
- no capítulo 2 é discutida a forma como se apresenta a tarefa de planejamento e programação de obras na prática profissional, com suas características, necessidades, metodologias existentes e, finalmente, uma discussão sobre o potencial de utilização de SE na tarefa de planejamento;
- no capítulo 3 apresenta-se uma discussão sobre SE, buscando identificar sua evolução como linha de pesquisa e o atual estado de desenvolvimento e aplicação. A partir daí, busca-se justificar a aplicação desta tecnologia para planejamento e programação de obras, identificando os domínios de conhecimento onde estes sistemas tem sido aplicados com melhores resultados. Com isso, passa-se a uma descrição do modelo de conhecimento utilizado neste sistema e uma revisão dos modelos existentes. Ao final deste capítulo é apresentada uma descrição das edificações às quais é aplicado este SE;

- o capítulo 4 apresenta uma revisão sobre as metodologias empregadas no desenvolvimento de SE e as tecnologias realmente utilizadas no desenvolvimento do SEPPPO, abrangendo desde as fases iniciais de concepção do sistema até as fases finais de validação do modelo proposto;
- o capítulo 5 descreve o conhecimento modelado, realizando uma análise comparativa da metodologia utilizada por especialistas na geração de planos de obra com a adotada pelo EC para modelagem na representação intermediária;
- o capítulo 6 apresenta uma descrição do sistema desenvolvido, com sua estrutura interna, interface com o usuário, forma de utilização e relatórios emitidos. Esta descrição pode ser utilizada como guia para a utilização do sistema e indica as principais possibilidades de expansão do sistema;
- o capítulo 7 apresenta as conclusões do trabalho e também sugestões para futuros estudos que dêem continuidade a esta pesquisa.

## ***CAPÍTULO 2***

### **2. SISTEMA DE INFORMAÇÕES E A GERÊNCIA DE OBRAS**

Este capítulo apresenta uma discussão sobre o processo de planejamento da produção na indústria da construção civil. São apresentados alguns conceitos e o histórico da prática profissional, buscando identificar suas origens e técnicas inicialmente propostas. Feito isso, a discussão torna-se mais atual, identificando características, necessidades, dificuldades, metodologias existentes e como são atualmente realizadas estas tarefas em empresas de construção. Finalmente, são discutidas algumas características que indicam a aplicabilidade do uso de técnicas do campo de Inteligência Artificial como SE.

#### **2.1. PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DE OBRAS**

Na literatura existe um grande número de definições distintas para a atividade de planejamento de obras. LAUFER e TUCKER (1987) define planejamento como o processo de tomada de decisões realizadas anteriormente a ação, que busca prever a tarefa e efetivar formas de realizá-la. FORMOSO (1991) resume planejamento como o processo de relacionamento de objetivos e estabelecimento de procedimentos para atingi-los, sendo eficaz somente quando vinculado ao processo de controle de execução.

A última definição é mais moderna e adaptada às atuais recomendações gerenciais para incremento de competitividade em empresas, tais como TQC (Total Quality Control), JIT (Just In Time), Kanbam, etc. (CAMPOS, 1990; ISHIKAWA, 1986; MESEGUER, 1988). CAMPOS (1990) define planejamento como uma condução simultânea de duas ações básicas: rotina e melhorias. Rotina é definido como um permanecimento da empresa no rumo atual, obedecendo a normas e evitando desvios. Desta forma, embora a empresa obtenha previsibilidade, possui também uma ameaça de perder a competitividade por permanecer estática. Assim, é necessário que sejam praticadas melhorias, sempre a partir da situação vigente e por etapas, para que a empresa possa aumentar a produtividade, reduzir custos, e assim atingir maior competitividade no mercado (CAMPOS, 1990).

Com isso, a tarefa de planejamento da construção pode ser vista como um processo gerencial de definição da estratégia e do método a ser utilizado, de modo a determinar o andamento da obra e sua realização. Portanto, o planejamento envolve um conjunto de decisões que definem a execução do empreendimento, com instruções de como realizar e manter o progresso da obra.

No item a seguir, é apresentado um histórico da tarefa de planejamento de obras, com o objetivo de analisar a evolução desta área de conhecimento.

## 2.2. HISTÓRICO

A área de gerenciamento da construção iniciou seu desenvolvimento, a nível mundial, na década de 1960, com o emprego das técnicas PERT/CPM para o acompanhamento e controle de obras (HEINECK, 1984; MOSELHI et al., 1990). É interessante observar que, mesmo diante das grandes obras conduzidas pela humanidade, ao longo dos últimos 4000 anos, poucos são os registros de estudos, depoimentos e técnicas empregadas para a gerência da construção. Mesmo após a 2ª Guerra Mundial, quando as outras indústrias assistiram ao florescer de um grande número de técnicas gerenciais, a construção civil continuou presa aos procedimentos usuais de orçamentação e ao cronograma de barras (HEINECK, 1984).

Segundo NOLAN (1974), as atividades de desenvolvimento de sistemas para planejamento da construção datam de 1959. Somente a partir de 1971 passaram a ser utilizadas as técnicas e recursos da computação. Inicialmente, apenas as grandes obras eram planejadas com utilização de computadores, pois estes eram equipamentos caros e os profissionais envolvidos eram muito especializados, tornando seu uso dispendioso (MAZIERO, 1990).

Atualmente a utilização de sistemas computacionais para o gerenciamento em construção é muito mais intensa. Os equipamentos estão cada vez mais difundidos e de fácil acesso às empresas e existe disponibilidade de pessoal apto para operação destes sistemas. O atual estágio de desenvolvimento e difusão tecnológica indica que esta disponibilidade deve aumentar ainda mais. Entretanto, é importante salientar que, até o presente, o uso de computadores para auxiliar a tomada de decisões neste domínio ainda é reduzido (LEVITT e KUNZ, 1987; HENDRICKSON et al., 1987);

As ferramentas computacionais disponíveis apresentam diversas deficiências (ver item 2.7). Ainda hoje, a maior parte das empresas de construção realiza esta tarefa de modo informal, por meio de profissionais que possuem apenas um conhecimento geral sobre o assunto e que freqüentemente não têm tempo para realizar um plano formal e bem documentado (ZOZAYA-GOROSTIZA, 1990).

## 2.3. CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO CONSTRUTIVO

A tarefa de planejamento na indústria da construção civil é bastante complexa, envolvendo um grande número de atividades e um elevado grau de incerteza, sendo, geralmente, sujeita a restrições, tais como custo, espaço físico e disponibilidade de recursos (RODERICK, 1977; HENDRICKSON et al., 1987). É uma tarefa geralmente distinta da encontrada nas outras indústrias, devido ao grande número de diferentes organizações e indivíduos envolvidos, principalmente nas etapas de projeto e produção, cada um tendo suas próprias prioridades e objetivos (COHENCA et al., 1989).

O processo produtivo não é repetidamente realizado em um mesmo local, ou seja, não existe uma fábrica fixa. Portanto as condições, nas quais a obra é executada, são variáveis e existe uma grande diversidade de matérias primas (ECHEVERRY et al., 1989). A mão de obra operária geralmente muda a cada obra e o ciclo produtivo é longo. Cabe ainda destacar que o valor de seu produto é bastante alto em relação à maioria dos produtos fabris e o período de tempo com um mesmo proprietário é relativamente longo, não sendo muito freqüente a troca por outro produto em melhores condições.

Geralmente, o processo produtivo também envolve diferentes tecnologias que possibilitam combinar a forma de executar os serviços com a disponibilidade de equipamentos. Aliado a estes fatos, ainda existem diversas condições externas que podem alterar a prática da construção, tais como: clima, disponibilidade de materiais no mercado, motivação para o trabalho, condições do subsolo, etc. Estas considerações tornam o problema de gerenciamento de construção com uma magnitude não normalmente presente nas outras indústrias (LEVITT et al., 1988; ECHEVERRY et al., 1989; HENDRICKSON et al., 1987).

Portanto, a gerência de obras envolve processos altamente variáveis, exigindo o tratamento de grandes volumes de informações. Este fato dificulta o trabalho de gerentes, pois estes devem possuir uma profunda compreensão do processo construtivo para execução de planos eficazes (FORMOSO, 1991). Atualmente, a utilização de sistemas de informações baseados em computador tem auxiliado nas tarefas de acompanhamento e controle e, a cada dia, estes sistemas têm-se tornado mais importantes.

Com o desenvolvimento já atingido pelos setores administrativos de empresas de construção, aliado à necessidade de melhorar o gerenciamento de obras civis, muitos esforços e recursos têm sido dirigidos neste sentido. O presente trabalho também pode ser inserido neste esforço.

## **2.4. IMPORTÂNCIA DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES**

A necessidade de reduzir tempo e custo e incrementar o controle do andamento da obra, aumentando assim a confiabilidade dos resultados, impõe como meta para a indústria da construção civil o planejamento e controle eficazes da obra, através da integração das diversas operações do processo de produção. Esta integração deve ser efetivada por métodos de planejamento que permitam melhorias em termos de desempenho global.

A importância de sistemas de informações para planejamento de obras é ressaltada por BHANDARI (1978). Este autor afirma que a razão principal da falência, a cada ano, de mais de 10% das empresas de construção nos Estados Unidos é a falta de informações adequadas para a gerência. Esta carência é causada por ineficácia na seleção e comunicação das informações necessárias ao processo decisório. O mesmo autor ainda ressalta que a quantidade de informações produzidas nos mais diversos empreendimentos tem aumentado vertiginosamente.

Por outro lado, o aumento na quantidade de informações não representa, necessariamente, um fator positivo em um empreendimento. Para que sejam efetivamente utilizadas, é necessária uma estrutura que permita acumular, organizar, armazenar, recuperar e transmitir as informações necessárias, devidamente selecionadas para o processo decisório (BHANDARI, 1978).

Um bom sistema computacional deve ser projetado e implementado para produzir informações úteis. Para tanto, deve ser revisto periodicamente, para assegurar que ainda atende às necessidades de informações da organização, evitando a emissão de relatórios volumosos que não contenham informações úteis aos gerentes que os recebem. Como diretriz para o atendimento das necessidades dos gerentes, os sistemas de informações devem enfatizar os relatórios mais importantes e produzir informações suscintas, preferencialmente na forma de gráficos (BHANDARI, 1978).

BHANDARI (1978) em uma análise de sistemas, para planejamento de obras, lembra que o processo decisório necessita de conhecimento, informação, inteligência e dados, onde a informação representa a ligação essencial entre o fim e os meios. O mesmo autor conclui que a indústria da construção tem reconhecido cada vez mais a necessidade da informação, onde o computador é a chave para a capacidade de processamento e o meio de melhor utilizá-la.

ALSHAWI (1993) afirma que o acesso e manutenção de informações consomem tempo e recursos, especialmente se administrado de forma consistente, e que a manipulação de informações em um ambiente dinâmico, como a construção civil, não pode ser efetivamente realizada por meios manuais. Somente através de sistemas computacionais, as informações podem ser distribuídas, resumidas, organizadas, apresentadas e transferidas em qualquer nível de detalhe desejado, com um mínimo de esforço.

## 2.5. TÉCNICAS EMPREGADAS NO PLANEJAMENTO

Existem diversas técnicas de programação e controle das operações de um empreendimento. Entre estas destacam-se o simples diagrama de barras, as redes CPM e as redes probabilísticas como o PERT, e a Linha de Balanço.

O Diagrama de Barras, também chamado Gráfico de Gantt, é a técnica de planejamento mais simples e utilizada na construção civil. O nível de detalhe no desmembramento dos trabalhos no canteiro, bem como na escala de tempo, depende do interesse do usuário. Esta técnica é muito usada devido à sua facilidade de execução e compreensão. Entretanto, não mostra as seqüências e interdependências entre as operações. É fácil visualizar quando as operações estão atrasadas em relação ao programa, mas não indica os efeitos do atraso na conclusão do empreendimento. Portanto, o Diagrama de Barras é útil como um complemento a outras técnicas, por ser simples de interpretar ou como um plano preliminar (STRADAL et al, 1982).

Modelos baseados em redes, tais como CPM ("Critical Path Method") e PERT ("Project Evaluation and Review Technique") são aplicáveis a projetos com necessidade de mais detalhamento do que o produzido pelo Diagrama do Barras. Estas técnicas, no entanto, apresentam as operações como se fossem discretas, ou seja, a operação subsequente inicia apenas quando a precedente permite. É, portanto, uma técnica bastante adaptada a processos de montagem, nos quais as relações de precedência apresentam-se desta forma. No entanto, na construção civil a seqüência das operações apresenta-se de forma mais complexa (JOHNSTON, 1981). HEINECK (1983) aponta uma série de motivos que causam descontinuidades nas tarefas do canteiro. Entre estas, cabe salientar: (i) o projeto da edificação não leva em conta o processo produtivo, (ii) o processo produtivo geralmente não é visto como um seqüência de montagem, mas como uma série de impedimentos a serem removidos (iii) falta de determinados materiais ou serviços de reparos em trabalhos já executados e (iv) falta de empenho por parte do "staff" administrativo em empresas de construção. Por esses e outros motivos, como discutidos no item 5.4, diversos pesquisadores do domínio afirmam que estas técnicas tradicionais de planejamento apresentam deficiências quando aplicadas ao processo produtivo da construção civil (BIRREL, 1980; RODERICK, 1977; HEINECK, 1983; WHITE, 1985).

As técnicas de planejamento formal, baseadas em modelos PERT/CPM, possuem limitações de uso para controle da realidade da obra (RODERICK, 1977; BIRREL 1980). Estas técnicas não consideram fatores como: condições do canteiro; disponibilidade de aquisição dos diversos materiais; efeitos sobre o trabalho (aprendizado, otimizações) e disponibilidade de equipamentos (LEVITT et al. 1988). O mesmo autor ainda afirma que também é desconsiderada a possibilidade de evolução destas condições no decorrer da construção. Estas técnicas tradicionais de planejamento (redes) são aptas somente para manipular dados gerados pelo processo construtivo, não o conhecimento usado na geração do planejamento do projeto. Estes fatos justificam a utilização de profissionais especializados sempre presentes no acompanhamento da construção.

As deficiências destas técnicas são discutidas por vários pesquisadores, tais como HEINECK (1983), BIRREL (1980) e RODERICK (1977) e, entre estas, cabe destacar:

- (a) a variabilidade das durações e a falta de precisão na estimativa de atividades e recursos dificultam a aplicação das técnicas de redes (HEINECK, 1983);
- (b) as técnicas de redes são consideradas incompatíveis com a essência do processo construtivo, pois foram criadas para uso em projetos de importância nacional, onde se prima pela necessidade de cumprir o prazo de conclusão e não pelos custos ou eficiência na utilização de recursos (BIRREL, 1980);

- (c) a identificação, a separação e o seqüenciamento das diferentes tarefas, necessárias para uso destas técnicas, não existem para a maioria das obras de construção civil. Muitas das tarefas são executadas simultaneamente e até mesmo retomadas em certas ocasiões por diversos motivos, tais como condições climáticas, disponibilidade de materiais no mercado, interferências do proprietário, decisões pessoais dos gerentes, etc.;
- (d) mesmo com o uso de pacotes computacionais para manipulação de redes de planejamento, é necessária a presença de especialistas para gerar ou alterar o plano de ataque à obra e essas tarefas consomem muito tempo de trabalho dos profissionais (FORMOSO, 1991; ZOZAYA-GOROSTIZA et al., 1990);
- (e) profissionais encarregados do gerenciamento da construção no canteiro têm dificuldades em entender a complexidade das redes (BIRREL, 1980), as quais não possibilitam um meio de comunicação entre administradores e operários no canteiro.

A técnica da Linha de balanço também possui aplicação na construção civil. É recomendada para empreendimentos de natureza repetitiva, ou seja, projetos que podem ser divididos em seções com características semelhantes, tais como conjuntos habitacionais, rodovias, obras de saneamento, etc. A utilização desta técnica permite organizar a forma de execução da obra, introduzindo um ritmo de trabalho e favorecendo o efeito aprendizado da mão de obra (ROSSO, 1976).

De uma forma geral, pode-se afirmar que a utilização das técnicas supracitadas apresenta vantagens, tais como:

- (a) auxilia a estabelecer, nas fases iniciais da construção, a lógica com a qual o empreendimento será desenvolvido (HEINECK, 1983);
- (b) permite a visualização imediata dos serviços que se desviaram do programa inicial e suas influências nas demais etapas da obra (MAZIERO, 1990).
- (c) auxilia na determinação dos recursos necessários à execução dos serviços, permitindo identificar quando são utilizados em quantidades diferentes da inicialmente programada (MAZIERO, 1990).

## 2.6. PRÁTICA DE UTILIZAÇÃO

De acordo com trabalhos de pesquisa sobre planejamento de obras, a prática da construção é usualmente baseada em planejamento informal. As decisões são tomadas em curto prazo, muitas vezes realizadas no próprio canteiro. É uma tarefa que consome tempo de profissionais especializados, os quais geralmente a executam de uma forma intuitiva com base na experiência prática e em conhecimentos heurísticos e não em estudos de caráter matemático ou estatístico (LEVITT et al., 1988; ZOZAYA-GOROSTIZA et al., 1990), com grande quantidade de condicionantes em suas decisões (LAUFER e TUCKER, 1988). Portanto, a própria natureza desta tarefa dificulta o desenvolvimento de algoritmos para geração de planos e acompanhamento de obras (FORMOSO, 1991; MCGARLAND e HENDRICKSON, 1985).

Existem diversos pacotes computacionais disponíveis no mercado, destinados a auxiliar na tarefa de planejamento. Estes pacotes, no entanto, visam facilitar a utilização de técnicas tradicionais de planejamento (redes). Assim sendo, são hábeis somente para manipular informações que resultam do processo de planejamento (durações, precedências, etc).

Para gerar o plano da obra utilizando pacotes computacionais convencionais (PERT/CPM), é necessário que um especialista defina a rede completa da obra, assim como a duração das atividades. Estes planos, uma vez executados, dificilmente são aproveitados na geração do plano de novos empreendimentos, devido às já citadas características da construção civil (ver item 2.2). Quando são usados estes sistemas, o conhecimento usado na formulação e refinamento do plano não são armazenados na rede ou no pacote computacional. Esta é uma das grandes vantagens aplicadas ao uso de SE: a capacidade de armazenar conhecimentos de especialistas e utilizá-los em diferentes empreendimentos.

Observando-se a realidade da construção, fica clara a necessidade de especialistas humanos, os quais são intensivamente utilizados para solucionar problemas nas diversas fases do processo produtivo (FORMOSO, 1991; LEVITT e KUNZ, 1987). Considerando a limitada capacidade de memória do trabalho humano, gerentes da construção normalmente necessitam algum modo de formalizar e arquivar planos que possam expandir sua capacidade para entendimento da complexidade das situações (FORMOSO, 1991).

## 2.7. USO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS PARA PLANEJAMENTO DE OBRAS

Levando em conta o fato de que a pesquisa em construção não foi muito além de um estágio empírico (LEVITT e KUNZ, 1987), diversos pesquisadores afirmam que a aplicação de engenharia do conhecimento à construção pode ser vista como um importante passo no sentido de formalizar e sistematizar o vasto conhecimento prático existente na área.

Existem inúmeros trabalhos que descrevem o desenvolvimento de Sistemas Especialistas na construção civil, sendo aplicados para a solução de diferentes tipos de problemas. Planejamento de obras tem-se mostrado uma área com grande potencial para aplicação desta tecnologia. A amplitude deste domínio, combinada com a forma empírica da prática de sua execução, levou ao desenvolvimento de uma quantidade significativa de SE neste domínio (LEVITT e KUNZ, 1987).

Planejamento é uma das maiores áreas de aplicação de IA (STELL, 1987). No domínio da construção civil, SE são direcionados a auxiliar na tomada de decisões em diversas tarefas, tais como: seleção de tecnologias construtivas, definição dos serviços, estimativa de recursos e durações, estimativa de custos, preparação do plano de execução, etc. (ZOZAYA-GOROSTIZA et al., 1990; LEVITT, 1986).

Diferente do que se imagina, o processo de planejamento da construção apresenta muitas semelhanças com outros tipos de processos de planejamento (ZOZAYA-GOROSTIZA et al., 1990; CABRAL, 1988). Como exemplo, pode-se citar que tanto em uma indústria manufatureira como na construção civil, os planejadores devem identificar a melhor seqüência de operações para um produto específico, identificando condições de custo, prazo, facilidade de execução e qualidade do produto final.

Entre as vantagens do uso de SE, cabe destacar que é uma ferramenta voltada a integrar os diversos profissionais envolvidos na construção (ECHEVERRY et al., 1989). Como o plano gerado pelo sistema é capaz de apresentar o conhecimento que o gerou, pode ser ampliada a comunicação entre os diversos profissionais envolvidos no processo, tais como, gerentes, empreiteiros, fornecedores de equipamentos e materiais, projetista e proprietário.

Atualmente já existem algumas aplicações de SE no domínio de planejamento de obras, e no desenvolvimento destes deve ser identificada a intenção do usuário final e sua familiaridade com o uso de computadores (ver item 3.1). Na indústria da construção, computadores pessoais (PC) são as máquinas mais populares. É uma indústria que consiste principalmente de pequenas médias empresas, as quais não podem investir em computadores sofisticados (MOSELHI, et al., 1990).

## **CAPÍTULO 3**

### **3. A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO E SISTEMAS ESPECIALISTAS**

A solução de muitos problemas em engenharia exige profissionais que combinem um vasto conhecimento em uma área específica com experiências adquiridas ao longo do tempo na profissão (ALEGRE, 1990). Estes profissionais possuem o perfil de especialistas, sendo capazes de resolver problemas de sua especialidade com rapidez e confiabilidade. Sistemas Especialistas são programas computacionais desenvolvidos para emular o trabalho destes profissionais.

O potencial de uso desta tecnologia nas diversas áreas do conhecimento tem crescido significativamente, principalmente na última década. Na indústria da construção já podem ser encontradas diversas aplicações nas áreas de diagnósticos, interpretação, monitoramento, controle de custos e execução de serviços, planejamento, projeto e seleção de alternativas construtivas (THOMAS, 1993).

Este capítulo apresenta uma discussão sobre SE e a forma como tem sido usada esta tecnologia nas diversas áreas do conhecimento, com especial atenção ao planejamento de obras da construção civil. Inicialmente apresentam-se o conceito de SE e o estado da arte desta tecnologia. Após, apresenta-se uma justificativa para o seu uso no desenvolvimento deste trabalho, discutem-se alguns modelos de conhecimentos consagrados e utilizados neste trabalho e, finalmente, descreve-se a tipologia de edificações para as quais foi desenvolvido o sistema.

#### **3.1. SISTEMAS ESPECIALISTAS**

Existem diversas publicações onde podem ser encontradas definições de Sistemas Especialistas, tais como WIELINGA et al (1993), STOCKLEY (1987), DIM e LEVITT (1991), etc. As definições encontradas são bastante similares em essência, sendo possível identificar apenas algumas variações.

WARSAWSKI (1993) define Sistemas Especialistas como programas computacionais que utilizam conhecimento especializado para auxiliar o usuário em um tipo de problema bem definido.

GOODALL, citado por STOCKLEY (1987), define SE como sistemas computacionais que utilizam conhecimento especializado em uma área de domínio para realizar tarefas normalmente executadas por especialistas humanos.

Alguns autores fazem uma distinção entre Sistemas Especialistas ("expert systems") e Sistemas Baseados em Conhecimento ("knowledge based systems") (HARMON e KING, 1985; WIELINGA et al., 1993). IBBS (1986) aponta que Sistemas Especialistas utilizam um conhecimento

mais superficial ("surface knowledge"), enquanto que sistemas baseados em conhecimento apresentam um conhecimento mais profundo ("deep knowledge").

O termo "deep knowledge" refere-se a conhecimento proveniente de princípios básicos, tais como leis da natureza, modelos estruturais, etc., enquanto que "surface knowledge" é heurístico, baseado em experiências provenientes de ações que atingiram sucesso em um grande número de situações similares (DIM e LEVITT, 1991).

Em publicações mais recentes já não se encontra esta distinção, tanto em termos de conceituação como em termos de nomenclatura. Com base nestas referências, pode-se definir SE como sistemas computacionais que buscam emular o comportamento de especialistas humanos na execução de tarefas de sua especialidade. Operam pela aplicação de mecanismos de inferência na base de conhecimento do sistema, interagindo com o usuário por meio de interface com linguagem própria da área de domínio.

Os mecanismos de inferência são responsáveis pela manipulação do conhecimento presente na base, determinando a ordem lógica e as questões que devem ser colocadas ao usuário para se chegar à solução do problema.

A interface com o usuário pode ser considerada como um subsistema, pelo qual o usuário interage com o programa (MORAD e BELIVEAU, 1991) e apresenta três funções bem importantes (WARZAWSKI, 1993), que são: (i) apresentar ao usuário, com clareza, as questões relativas aos atributos iniciais do problema a ser resolvido; (ii) mostrar os resultados intermediários e finais da interação; (iii) apresentar os motivos pelos quais uma determinada solução foi alcançada.

A base de conhecimento é formada pelas diversas possibilidades de representação do conhecimento em SE, tais como: "frames", regras, bases de dados, procedimentos, algoritmos, etc. As formas de representação do conhecimento utilizadas no sistema desenvolvido estão apresentadas com detalhes no item 4.2 deste trabalho.

Sistemas especialistas possuem algumas características que os diferenciam de sistemas computacionais convencionais. Segundo GILMORE (1989), a principal diferença baseia-se na ênfase colocada sobre a solução adotada na programação. As aplicações convencionais de processamento de dados são tipicamente representadas como:

$$\text{dados} + \text{algoritmo} = \text{programa}$$

Por outro lado, Sistemas Especialistas podem ser caracterizados por uma arquitetura centrada na Base de Conhecimento e nos Mecanismos de Inferência, ou seja, há uma separação interna que pode ser representada como:

$$\text{conhecimento} + \text{inferência} = \text{SE}$$

Existem ainda algumas outras características de SE que os diferenciam de sistemas convencionais, tais como:

- (a) SE apresentam o que se pode chamar de transparência do conhecimento. Consiste em permitir que o usuário interrompa o programa, durante o uso, para saber os motivos pelos quais certas questões são colocadas ou as razões usadas pelo sistema para chegar às conclusões (ORTOLANO e PERMAN, 1987);
- (b) outra distinção consiste na separação entre os mecanismos de inferência (MI) e a base de conhecimento (BC). Esta separação torna possível manipular o conhecimento presente na base, sem necessidade de alterar outras partes do programa (ORTOLANO e PERMAN, 1987);
- (c) SE são capazes de produzir resultados mesmo em situações onde alguns dados são desconhecidos pelo usuário. Nestes casos, o sistema pode oferecer dados próprios ou deduzidos a partir da BC. Os dados oferecidos pelo sistema podem, geralmente, ser revisados, modificados e aceitos ou não pelo usuário (WARZAWSKI, 1993);
- (d) os dados pertinentes à sua área do domínio são organizados em estruturas especiais que facilitam seu armazenamento, manipulação e apresentação ao usuário, podendo ser modificados no decorrer da consulta (WARZAWSKI, 1993);
- (e) possibilidade de facilmente permitir um aumento na quantidade de conhecimento presente na base, causando um crescimento na gama de situações possíveis de serem enfrentadas pelo sistema. Com isso, é possível o acompanhamento da evolução da área de domínio, sem alterar os demais módulos do sistema;
- (f) possibilidade de representar com mais facilidade que em sistemas convencionais os conceitos e idéias de especialistas (STOCKLEY, 1987).
- (g) interação com o usuário apresentando uma forma de raciocínio e linguagem parecida com a de especialistas em um domínio específico (STOCKLEY, 1987).

A pesquisa em IA tem evoluído significativamente nos últimos anos e a cada dia são colocadas no mercado novas ferramentas ("shells") para o desenvolvimento de SE (ver item 4.4.2). São ferramentas genéricas, as quais podem ser adaptadas a um domínio específico do conhecimento e têm difundido o desenvolvimento de SE nas diversas áreas do conhecimento. Com a evolução em termos de hardware e software espera-se que os SE se aproximem ainda mais do modo humano de resolução de problemas em áreas específicas do conhecimento. No próximo item, é apresentado um histórico do uso desta tecnologia aplicada ao planejamento e programação de obras.

## 3.2. HISTÓRICO DE SE PARA PLANEJAMENTO DA CONSTRUÇÃO

As primeiras aplicações de SE no domínio de planejamento de obras da construção civil começaram a surgir a partir dos anos setenta. Nos últimos anos tem aumentado significativamente o interesse por estes sistemas como ferramenta de auxílio no processo gerencial da construção civil (MOHAN, 1990; MAHER et al., 1987; ADELI, 1990).

Já existe uma significativa quantidade de aplicações de SE na área de PPO, tais como: NOAH, NONLIN, DEVISER O-PLAN, etc (MOHAN, 1990). Em FORMOSO (1991) são apresentados comentários sobre 14 aplicações da tecnologia de SE no planejamento da construção (sistemas TIME, ELSIE, CALLISTO, CONSTRUCTION PLANEX, CONSAS, PLATFORM, MASON, GHOST, MIRCI, RATU-AJ, SIPEC, OARPLAN e PREDICTE). Desde então, a cada ano tem surgido novos sistemas, tais como KNOW-PLAN, CASPAR, POEM, etc (MOHAN, 1990). Neste item, estão descritos alguns dos sistemas que mais se destacaram e algumas novas propostas de sistemas nesta área de domínio.

### 3.2.1. ELSIE

O sistema ELSIE, desenvolvido na Universidade de Salford, é provavelmente o primeiro SE aplicado na Indústria da Construção que alcançou o estágio de programa comercial (BRANDON et al. 1993).

ELSIE foi projetado para ser utilizado em planejamento de nível estratégico, anterior ao início da fase de projeto. Este sistema é dividido em quatro módulos separados: "Budget", "Procurement", "Time" e "Development Appraisal". O módulo "Time" é encarregado de fornecer previsões sobre a duração do empreendimento, de forma que o cliente possa ter uma idéia do tempo necessário desde a fase de concepção até a conclusão da obra.

O sistema apresenta questões relacionadas ao padrão de qualidade da construção, características do solo, condições do canteiro, custo aproximado do projeto, tipo de fundações e algumas questões que dizem respeito às dimensões da obra (por exemplo, número de pavimentos e área média de cada pavimento). O plano da construção é gerado sob a forma de um gráfico de barras, onde o projeto é dividido apenas em grandes serviços.

ELSIE foi implementado na "Shell" denominada SAVOIR e pode rodar em qualquer micro-computador compatível com a linha PC. Inicialmente o sistema era capaz de apontar soluções somente para prédios comerciais, mas atualmente sua base de conhecimento está sendo expandida, de forma a abranger outros tipos de edificações, tais como tribunais de justiça, hospitais, estacionamentos de vários pavimentos e hotéis, todos construídos com estrutura de concreto. Aproximadamente 500 cópias deste sistema já foram comercializadas (BRANDON, 1993).

### 3.2.2. CONSTRUCTION PLANEX

CONSTRUCTION PLANEX foi desenvolvido na Carnegie-Mellon University, Estados Unidos, com o objetivo de automatizar a tarefa de planejamento da produção de empreendimentos de construção (HENDRICKSON et al. 1987).

O sistema solicita a descrição de componentes elementares da construção, condições do canteiro e disponibilidade de recursos. Durante o processo de planejamento, o sistema cria uma descrição do projeto sob a forma de classes hierárquicas. Como resultados, o sistema auxilia a seleção de técnicas de construção apropriadas, gera um plano de execução e faz previsões de custos e duração da obra.

Inicialmente, o CONSTRUCTION PLANEX era limitado ao planejamento de um pequeno número de serviços, tais como, preparação do canteiro, fundações e montagem de estruturas pré-moldadas em prédios de grande altura. Recentemente, o sistema foi ampliado de forma a abranger também o serviço de instalações elétricas. O sistema foi implementado no ambiente de programação denominado Knowledgecraft, e roda em "workstations" do tipo Explorer, produzida pela Texas Instruments.

### 3.2.3. CONSAS

O desenvolvimento do Sistema CONSAS (CONstruction Scheduling Analysis System) é decorrente de um esforço conjunto da Universidade de Illinois e do Corpo de Engenheiros do Exército Americano. O sistema modela o conhecimento de gerentes com bastante experiência, quando estes verificam, sob o ponto de vista do cliente, se os planos de produção propostos pela empresa construtora estão corretos (IBBS e DE LA GARZA, 1987). O objetivo principal desta pesquisa foi desenvolver uma ferramenta inteligente capaz de apoiar o trabalho de gerentes menos experientes. Seu domínio de atuação é limitado a edificações de média e grande altura com estrutura de concreto.

Grande ênfase no desenvolvimento deste trabalho foi dada ao processo de aquisição do conhecimento, no qual estiveram envolvidos vários especialistas.

O sistema CONSAS foi desenvolvido para rodar em micro-computadores compatíveis com a linha PC e utiliza três diferentes pacotes computacionais: (i) uma "Shell", denominada Personal Consultant Plus; (ii) um sistema comercial para planejamento e controle de projetos, denominado Primavera Project Planner; e (iii) um sistema gerenciador de bancos de dados, denominado Dbase III Plus.

### 3.2.4. OARPLAN

OARPLAN (Object-Action-Resource PLANing system) é um SE em desenvolvimento na Universidade de Stanford, Estados Unidos, que gera automaticamente planos de produção sob uma forma hierárquica a partir de uma descrição da edificação a ser construída. O sistema emprega conhecimentos relativos a princípios construtivos, a partir dos quais são estabelecidas precedências entre atividades.

Um dos objetivos principais desta pesquisa é o desenvolvimento de uma "shell" para a implementação de SE no campo do planejamento e controle da produção.

OARPLAN faz parte de um sistema de informações de caráter mais amplo, atualmente em desenvolvimento na mesma universidade. Foi implementado no ambiente de programação BB1, tendo interfaces com um sistema CAD e com uma ferramenta convencional de planejamento e controle (LEVITT, 1990).

### 3.2.5. PREDICTE

O sistema PREDICTE (PROject Early Design-stage Indicative Construction Time) foi desenvolvido em Sydney, Austrália, através de um esforço conjunto de duas empresas privadas: Digital Equipment Corporation (DEC) e Civil & Civic.

Pode ser descrito como um sistema de apoio à decisão que estima a duração da fase de produção de edificações de vários pavimentos com estrutura de concreto. O principal objetivo deste sistema é auxiliar a avaliação de projetos de edificações, durante a sua elaboração, tendo como critério a duração do empreendimento (STRETTON e STEVENS, 1990).

O conhecimento modelado no PREDICTE foi extraído de um especialista da empresa Civil & Civic, antes que o mesmo se aposentasse. Assim como o ELSIE, este sistema atingiu o estágio de pacote comercial.

O usuário é solicitado a responder entre 100 e 140 questões sobre o projeto, identificando sua localização, tamanho, forma, aparência, condições do solo e vizinhança. O plano produzido pelo sistema é expresso sob a forma de um gráfico de barras, no qual constam os principais serviços. O sistema foi implementado utilizando uma linguagem de representação do conhecimento denominada Candle, desenvolvida pela empresa DEC.

### 3.2.6. HOUSE PLANNER

HOUSE PLANNER é um sistema especialista desenvolvido na Universidade de Salford, que modela conhecimento empregado por cinco especialistas em planejamento e controle da construção na Grã-Bretanha, quando estes planejam a produção de habitações (FORMOSO, 1991).

O objetivo geral deste estudo foi investigar a viabilidade de empregar a engenharia do conhecimento para produzir modelos de conhecimento humano neste domínio. Com isto, foi analisado o emprego desta tecnologia para sanar as dificuldades geradas pela existência de gargalos de conhecimento na indústria da construção.

A aplicação resultante pode ser descrita como um sistema de apoio à decisão que pode ser empregado para gerar planos de produção a nível tático em conjuntos habitacionais de baixa altura. Uma das principais características do modelo é sua capacidade de planejar empreendimentos cuja descrição encontra-se incompleta.

HOUSE PLANNER foi implementado utilizando a "shell" Leonardo Level 3, a qual roda em micro-computadores compatíveis com a linha PC.

### 3.2.7. COMENTÁRIOS

Segundo BRANDON (1993), SE podem ser divididos em 7 distintas categorias, de acordo com seu nível de desenvolvimento: (i) configuração geral do sistema; (ii) estrutura básica do sistema (iii) sistema demonstrativo; (iv) sistema produzindo resultados; (v) sistema sendo utilizado; (vi) sistema comercial; e (vii) sistema produzindo benefícios regulares comprovados. A maioria dos sistemas apresentados não atingiram o quarto estágio, sendo que apenas dois (ELSIE e PREDICTE) chegaram ao estágio de sistema comercial.

Nenhum dos modelos desenvolvidos até agora é capaz de gerar automaticamente planos de produção detalhados, embora este seja o objetivo de vários dos trabalhos de pesquisa citados (FORMOSO, 1991).

Outra característica importante a salientar é que todos os sistemas descritos abrangem aspectos bastante específicos do processo de planejamento e controle, de forma a limitar a quantidade de conhecimento que necessita ser modelado. Os limites do domínio do conhecimento são estabelecidos através da escolha de um pequeno número de tarefas, tais como, a geração de planos (CONSTRUCTION PLANEX), atualização de planos (PLATFORM), análise de planos (CONSAS), ou também mediante a escolha de uma gama limitada de tipos de edificações ou de técnicas construtivas, tais como, prédios comerciais (ELSIE), plataformas de exploração de petróleo (PLATFORM), prédios com estruturas de concreto armado (CONSAS), residências unifamiliares de baixa altura (HOUSE-PLANNER). O sistema desenvolvido nesta pesquisa também se aplica a um tipo específico de construção, edifícios de vários pavimentos com tecnologia convencional (ver item 3.3).

Nenhuma das aplicações descritas teve como propósito substituir totalmente especialistas humanos. Ao contrário, todas elas foram desenvolvidas como sistemas de apoio à decisão, que visam tirar das mãos dos especialistas tarefas demoradas e de caráter mais repetitivo (FORMOSO, 1991).

Entre as diversas aplicações analisadas, apenas o SE TIME foi desenvolvido utilizando uma linguagem de alto nível. Todas as demais, e esta é tendência atual, foram implementadas em "Shells" ou Ambientes de Programação. Embora esta atitude cause restrições em termos de flexibilidade, este tipo de ferramenta permite que o período de desenvolvimento da aplicação seja reduzido, já que a equipe responsável por sua implementação concentra seus esforços no processo de modelagem do conhecimento (ORTOLANO e PERMAN, 1987).

Existem dois principais tipos de pesquisas que podem ser identificados entre os estudos descritos. Alguns pesquisadores concentraram-se no aspecto de aquisição do conhecimento, tendo por objetivo construir modelos válidos para representação do conhecimento. Por outro lado, outros estudos deram maior ênfase à busca de uma arquitetura adequada para sistemas neste campo, envolvendo o desenvolvimento de formalismos para representação do conhecimento, mecanismos de inferência e interfaces amigáveis.

### 3.3. DESCRIÇÃO DA PROPOSTA DE SISTEMA

A revisão dos vários modelos descritos permitiu o estabelecimento de algumas diretrizes para o desenvolvimento deste trabalho.

Uma das principais restrições encontradas para o desenvolvimento deste SE é a limitada disponibilidade de recursos computacionais, tanto em empresas de engenharia como em Universidades. Isto inviabilizou o uso de Ambientes de Programação e "Workstations", em função de seu alto custo. A decisão de empregar uma "Shell", ao invés de utilizar uma linguagem de alto nível, foi tomada em função do limitado tempo disponível para desenvolver o modelo.

As decisões relativas ao "software" e ao "hardware" fizeram com que a pesquisa se conduzisse para a primeira linha de trabalho citada no final do item 3.2.7, na qual a principal ênfase encontra-se no aspecto de aquisição e modelagem do conhecimento.

Com relação aos limites do domínio do conhecimento, optou-se também por escolher uma tipologia específica de edificações, assim como uma gama limitada de tecnologias. A escala de tempo desta pesquisa também restringiu o desenvolvimento da aplicação até o estágio de "sistema produzindo resultados" (ver item 3.2.7). Nesta fase o sistema encontra-se razoavelmente validado, sendo capaz de produzir resultados aceitáveis. Poderia, em teoria, ser empregado em situações reais, desde que o usuário tenha experiência em entender e interpretar seus resultados.

O sistema produzido tem como função a geração de planos de produção para edifícios residenciais com vários pavimentos, construídos com tecnologia dita convencional, isto é, estrutura de concreto armado com paredes de alvenaria de tijolos. Esta escolha baseou-se no fato de que este é um dos tipos de edificação mais comumente encontrado nas regiões metropolitanas brasileiras.

Finalmente, assim como os vários SE desenvolvidos neste campo, esta aplicação tem a função de um sistema de apoio à decisão. Não tem como meta substituir especialistas humanos, mas apenas facilitar e tornar mais eficaz o seu trabalho, possibilitando um aumento da eficiência do processo de construção em termos de custo, prazo e qualidade.

No capítulo a seguir é apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento do sistema especialista produzido ao longo desta pesquisa.

## ***CAPÍTULO 4***

### **4. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO SEPPO**

Este capítulo apresenta a metodologia aplicada no desenvolvimento do SEPPO (Sistema Especialista para Planejamento e Programação de Obras), a qual baseou-se na experiência de outros pesquisadores e, principalmente, na metodologia aplicada no desenvolvimento do SE House Planner, descrita em FORMOSO (1991). Entretanto, algumas peculiaridades do contexto na qual o sistema foi desenvolvido exigiu a adequação da metodologia à realidade encontrada na construção civil local.

Alguns pesquisadores afirmam que não existe uma metodologia padronizada ou universalmente aceita, capaz de definir as diversas etapas de desenvolvimento de SE, tanto para a área de planejamento de obras quanto para outras áreas do conhecimento (DE LA GARZA e IBBS 1990; WIELINGA et al., 1993). No entanto, é possível obter na bibliografia uma série de sugestões, tais como utilização de técnicas para representação intermediária do conhecimento independentes dos formalismos exigidos pelo ambiente computacional, as quais foram levados em conta neste estudo.

#### **4.1. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO SEPPO**

A bibliografia apresenta, em geral, de 3 a 5 estágios para desenvolvimento de SE. Para descrever a metodologia aplicada ao desenvolvimento deste trabalho, foi utilizada uma subdivisão em quatro estágios, que se justifica pela realidade das situações enfrentadas.

Embora se tenha buscado o desenvolvimento seqüencial dos vários estágios, não foi possível observar um limite claro entre estes, que pudesse indicar o fim de uma etapa e o início da subsequente. Na prática ocorrem algumas sobreposições entre cada etapa, como alertado por outros pesquisadores (DYM e LEVITT, 1991; MEDSKER et al., 1993).

Os quatro principais estágios de elaboração deste trabalho são:

- (I) - fase de conceitualização
- (II) - fase de formalização
- (III) - fase de implementação
- (IV) - fase de avaliação

A estrutura geral do processo de aquisição do conhecimento proposta para este trabalho é apresentada na Figura 4.1 e baseia-se na proposta apresentada por FORMOSO (1991). A elicitación do conhecimento representa o processo de entrevistas realizadas com especialistas do domínio. A transcrição e análise do conhecimento eram realizadas pelo EC logo após o processo de entrevistas, e quaisquer dúvidas ou lacunas no conhecimento eram novamente esclarecidas com entrevistas. A representação intermediária consiste em modelar no papel o conhecimento extraído dos especialistas. No processo de implementação, o conhecimento modelado na representação intermediária é representado no ambiente computacional. A validação consiste em avaliar a consistência do conhecimento presente na base do sistema, a qual deve ser realizada e conjunto com os especialistas.

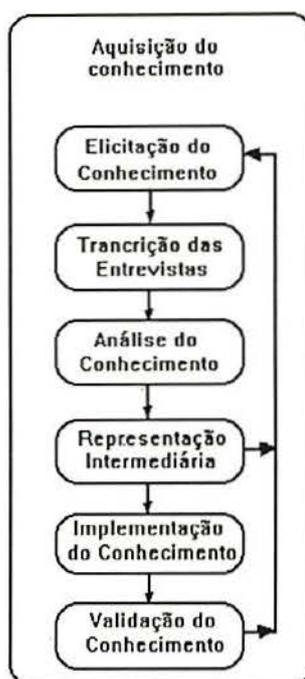


FIGURA 4.1 - Processo de aquisição do conhecimento

A eficácia de um SE é dependente da qualidade e abrangência do conhecimento que este possui (STOCKLEY, 1987). Como visto no capítulo anterior (item 3.1), SE utilizam conhecimento especializado para propor soluções a problemas do mundo real que normalmente exigem a participação de especialistas humanos (WIELINGA et al., 1993). Para que se possa utilizar este conhecimento em um SE, é necessário que este seja adquirido e representado. Portanto, os processos de aquisição e representação do conhecimento exigem cuidados para o seu bom desenvolvimento (COHN et al., 1988, ORTOLANO e PERMAN, 1987, STOCKLEY, 1987).

BUCHANAN (1983) define o processo de aquisição do conhecimento como a transferência e transformação de conhecimento especializado para sua representação na base de conhecimento do SE. KIDD e WELBANK (1984) salientam que o processo de aquisição envolve elicitación, análise, interpretação e transformação do conhecimento de um especialista humano para

que seja representado no computador. Alguns pesquisadores tendem a definir o processo de aquisição do conhecimento, abrangendo diversas etapas, que vão desde a pesquisa em bibliografia especializada até a representação final no computador (SLATTER, 1987, FORMOSO, 1991).

No presente trabalho, este processo foi dividido em quatro etapas, que são: (i) eliciação do conhecimento, (ii) etapas intermediárias de representação (iii) representação no ambiente computacional e (iv) processo de avaliação do conhecimento. A Figura 4.2 apresenta como se desenvolveu o processo de aquisição do conhecimento dentro das quatro fases de desenvolvimento do SEPPO, assim como os números dos itens nos quais estão descritos.

Ao longo deste capítulo são discutidas as quatro fases de desenvolvimento do SEPPO, sendo que, em cada fase, é apresentada inicialmente uma breve análise de experiências anteriores de outros pesquisadores e, após, a descrição dos procedimentos adotados no presente trabalho. Desta forma, busca-se auxiliar a futuros interessados nesta área de pesquisa, fornecendo um roteiro de recomendações para o desenvolvimento de SE tanto neste domínio, como em outras áreas da conhecimento.

4.2. Fase de conceitualização	
4.3. Fase de Formalização	4.3.1 Elicitação do conhecimento
	4.3.2. Elicitação no SEPPO
	4.3.3. Etapas de representação intermediária
	4.3.4. Representação Intermediária no SEPPO
4.4. Fase de Implementação	4.4.1 Técnicas de Representação do conhecimento
	4.4.2. Representação do conhecimento no ambiente computacional.
4.5. Fase de Avaliação	4.5.1. Técnicas para avaliação do conhecimento
	4.5.2. Técnicas de avaliação no SEPPO

FIGURA 4.2 - Descrição das etapas de desenvolvimento do SEPPO.

## 4.2. FASE DE CONCEITUALIZAÇÃO

Esta fase antecede o desenvolvimento do sistema, onde devem ser caracterizados os mais importantes aspectos do problema, tais como: a definição de seus objetivos, definição do domínio específico do conhecimento e a estrutura básica do sistema (DYM e LEVITT, 1991). Segundo KIM (1993) o primeiro passo a ser dado deve identificar os requerimentos de funcionamento e seus objetivos. Com base nesta análise deve-se apurar a viabilidade de sua produção, ou seja, identificar se a aplicação é capaz de proporcionar uma relação custo/benefício favorável. Para isso,

deve-se optar por uma tarefa de relativa importância, executada por profissionais especializados e que os requisitos para desenvolvimento do sistema não sejam demasiados.

Para o desenvolvimento do sistema SEPPO, o primeiro passo foi identificar a necessidade, por parte de empresas de construção, de utilizar sistemas computacionais capazes de auxiliar no planejamento de obras. Com a constatação desta necessidade, passou-se a entrar em contato com empresas interessadas em participar na elaboração deste projeto. Das empresas consultadas, todas demonstraram interesse nesta tecnologia, o que nos obrigou a fazer uma pré-seleção das empresas, para identificar aquelas que realmente pudessem contribuir.

Para isso, levou-se em consideração o passado da empresa, em termos de experiências neste tipo de construção, sua disponibilidade em possibilitar acesso a dados de obras já concluídas ou em execução e que possuíssem profissionais experimentados na área de planejamento dispostos a colaborar na execução do sistema.

Inicialmente cinco empresas participaram do trabalho, sendo que destas, duas possuíam em seus quadros, profissionais com destacado conhecimento e interesse para acompanhar todo o processo de desenvolvimento do SEPPO. Mesmo no caso destas duas empresas, o conhecimento destes profissionais devia-se ao fato de exercerem a profissão de engenheiro no canteiro de obras, há bastante tempo. Somente em uma empresa especializada em PPO foi encontrado um profissional que trabalhava exclusivamente na área de planejamento da construção. Este baseava seu trabalho no controle financeiro de serviços e não no seqüenciamento de atividades. Este profissional resolveu não ingressar no desenvolvimento deste trabalho, afirmando ser o único na cidade a executar este tipo de trabalho e considerando que este poderia proporcionar algum tipo de concorrência não desejável. Este fato veio a intensificar o interesse no desenvolvimento do sistema, pois demonstrou a existência de um gargalo nesta área de domínio, já referido na literatura (LEVITT e KUNZ, 1987), que consiste em um dos requisitos para o desenvolvimento de SEs.

Em função disto, não houve necessidade de investigar mais sobre a viabilidade do sistema. Levou-se em conta também o fato de que a pesquisa bibliográfica revelou a possibilidade de desenvolvimento de SEs nesta área, apesar do intenso trabalho necessário para que um sistema atinja o estágio de sistema comercial. Em função das limitações de tempo do estudo, optou-se por definir como objetivo o desenvolvimento do SEPPO até o estágio de sistema produzindo resultados.

Ao final desta etapa, já em contato com os especialistas, foi definida uma especificação mais detalhada do sistema (ver item 6.1) e as formas de apresentação de seus resultados (ver item 6.3.5), o que desencadeou a busca por ambientes computacionais capazes de gerar os resultados na forma estabelecida (ver item 6.2). A seguir é apresentada a etapa de formalização do sistema.

### 4.3. FASE DE FORMALIZAÇÃO

A etapa de formalização constituiu-se basicamente no processo de eliciação do conhecimento e sua representação intermediária, que possibilitaram a formalização do conhecimento, independente do modelo computacional. No item 4.3.1 e 4.3.2 serão respectivamente apresentadas as técnicas consagradas para aquisição de conhecimento e as técnicas efetivamente utilizadas no desenvolvimento deste trabalho. Nos itens 4.3.3 é apresentada uma breve revisão sobre a importância e elaboração do processo de representação intermediária e no item 4.3.4 as técnicas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

#### 4.3.1. ELICITAÇÃO DO CONHECIMENTO

O processo de eliciação é considerado como uma das etapas dentro do processo de aquisição do conhecimento, no qual a fonte de informação são especialistas humanos (SLATTER, 1987). A qualidade do conhecimento presente na base do sistema está diretamente ligada a este processo. A própria forma de operação da memória humana, que torna o conhecimento consciente somente quando ele é exigido, justifica a necessidade do processo de eliciação (PASTORELLO, 1991).

É nesta etapa do processo de desenvolvimento que aparece a figura do Engenheiro de Conhecimento, cuja função é capturar e transformar o conhecimento, permitindo sua representação. STOCKLEY (1987) coloca que, se este profissional possuir informações substanciais sobre o domínio enfocado, o processo de desenvolvimento do SE pode ser acelerado.

Não existe um conjunto pré-determinado de técnicas que garanta o sucesso do processo de eliciação (STOCKLEY, 1987), (DYM e LEVITT, 1991). A seguir, é apresentado um roteiro baseado em técnicas sugeridas por alguns pesquisadores (STOCKLEY, 1987; WIELLINGA et al., 1993; DYM e LEVITT, 1991) e também provenientes de estudos da área de psicologia cognitiva. Cabe salientar que as técnicas descritas estão respectivamente apresentadas por ordem de aplicação, sendo que não é esperada uma rigidez na seqüência sugerida.

- (a)- análise do conhecimento de domínio público: etapa inicial baseada em pesquisa, em publicações especializadas, visando a uma familiarização com a abrangência e terminologia do domínio. É uma forma muito genérica de aquisição do conhecimento e tanto mais importante quanto menor a habilidade do Engenheiro de Conhecimento na área de domínio;
- (b)- entrevistas não estruturadas: trata-se de uma conversa com especialistas visando a respostas espontâneas sobre fatos, conhecimentos heurísticos e procedimentos comuns. Importante para auxiliar na determinação das necessidades dos possíveis usuários do SE;

- (c)- entrevistas estruturadas: trata-se de um questionamento sobre procedimentos mais específicos proporcionando informações bem definidas e menos intuitivas;
- (d)- observação do trabalho do especialista: trata-se de um estudo desenvolvido acompanhando o profissional na realização de tarefas de rotina. Possui o objetivo de analisar as atitudes do especialista de uma forma natural no seu ambiente de trabalho;
- (e)- observações de tarefas com informações limitadas: nem sempre é explícito o conhecimento que leva a que certas tarefas sejam realizadas numa determinada cronologia. Para isso, buscam-se respostas específicas para completar informações de contexto, possibilitando priorizar relações, regras, procedimentos, enfim, o conhecimento presente na base do sistema.

#### 4.3.2. ELICITAÇÃO DO CONHECIMENTO PARA DESENVOLVIMENTO DO SEPPO

A elicitação do conhecimento na etapa de formalização foi exclusivamente executada com entrevistas, inicialmente não estruturadas e ao final, visando a necessidades mais específicas, com entrevistas estruturadas. Estas eram gravadas e inicialmente transcritas na íntegra. Conforme se desenrolou o trabalho e cresceu a experiência do engenheiro do conhecimento, a tarefa de transcrição reduziu-se a uma seleção de pequenos trechos do texto gravado durante as entrevistas.

Vários estudos no campo de engenharia do conhecimento têm indicado que modelar conhecimento de um grupo de especialistas é mais adequado que simplesmente empregar um único especialista (FORMOSO, 1991). Seguindo esta orientação, foram consultados cinco especialistas durante esta etapa do sistema.

Os especialistas envolvidos neste trabalho foram profissionais de empresas de construção que trabalhavam como engenheiros residentes no canteiro de obras, sendo responsáveis pelo gerenciamento de materiais e mão-de-obra. Possuíam tempos de experiência na profissão que variavam de 5 a 20 anos e em muitos casos eram responsáveis por mais de um empreendimento simultaneamente. Alguns outros especialistas em outras áreas específicas, tais como execução de fundações e irrigação em muros de arrimos também foram consultados, para avaliar a viabilidade de inserir conhecimento referente às suas especialidades no sistema.

Os profissionais especializados no planejamento de obras foram entrevistados, inicialmente, com o intuito de identificar como eram executados seus planos. Todos colocaram que seus planos eram baseados em serviços provenientes das composições unitárias do processo de orçamentação. Com base na análise destes serviços surgiu a discussão sobre a necessidade de elaborar o plano com atividades que realmente representassem a realidade do canteiro.

Este trabalho exaustivo de identificação de atividades foi executado junto com cinco especialistas de diferentes empresas. As sugestões de cada um eram analisadas antes de cada nova consulta. Sempre que ocorria algum desentendimento em termos de desagregação das atividades, eram sugeridas soluções que passavam por aprovações dos demais especialistas, sem que eles tomassem conhecimento de que a sugestão pudesse ter sido fornecida por um colega.

A maior dificuldade encontrada nesta tarefa de desmembrar as atividades foi o nível de informação proporcionado em cada alternativa. Inicialmente estes profissionais desejavam informações com alto grau de detalhamento, capazes de prever cada dia da construção. Este fato exigiria um desmembramento muito grande dos trabalhos no canteiro. Com o decorrer deste processo foi encontrado um determinado grau de desmembramento dos trabalhos, capaz de fornecer informações em quantidades razoáveis para o dia-a-dia da construção.

No capítulo 5 é apresentado o conhecimento modelado na representação intermediária e no capítulo 6 é apresentado o conhecimento modelado na base do sistema. Nos itens a seguir, é apresentada uma discussão sobre técnicas geralmente utilizadas para representação intermediária do conhecimento e como se desenvolveu esta tarefa na elaboração do SEppo.

#### **4.3.3. TÉCNICAS DE REPRESENTAÇÃO INTERMEDIÁRIA**

O conhecimento presente em um SE é criticamente dependente da quantidade e qualidade do conhecimento elicitado (SLATTER, 1987). O mesmo ocorre com o conhecimento modelado na etapa de representação intermediária. Sendo assim, é preferível buscar o conhecimento com especialistas experientes, pois estes conhecem muito o domínio e suas soluções tendem a ser expressas com maior velocidade e precisão. Desta forma, é facilitada a organização e estruturação do conhecimento, permitindo um menor período de tempo para a execução da base de conhecimento do SE (SLATTER, 1987).

Após a aplicação de qualquer uma das técnicas de elicitação citadas no item anterior, é recomendado que o EC desenvolva formalismos que melhor representem os diferentes tipos de conhecimento. O conhecimento modelado serve como um meio expedito de comunicação com o especialista, permitindo verificar a consistência do conhecimento obtido (FORMOSO, 1991).

É consagrada na literatura a importância da utilização da representação intermediária, servindo como um intermédio entre o conhecimento obtido e o conhecimento presente no sistema computacional. Estas representações podem ser feitas no papel ou em ambientes computacionais.

A modelagem do conhecimento no papel deve ser feita iterativamente entre o EC e especialistas do domínio, servindo como guia para implementação no SE (HEDGES, 1991). A seguir são apresentadas algumas propriedades desejadas em representações intermediárias:

- (a) devem ser representadas de forma clara e independente do ambiente computacional onde o conhecimento deve ser inserido (FORMOSO, 1991; HEDGES, 1991);
- (b) devem ser facilmente entendidas por especialistas do domínio, preferivelmente mais claras que a representação contida na base de conhecimento do SE (HEDGES, 1991);
- (c) devem conter todos os aspectos e informações relevantes sobre o conhecimento a ser implementado em um SE (HEDGES, 1991);
- (d) devem possuir uma representação suficientemente formal de modo a auxiliar na obtenção de metodologias para o desenvolvimento de SE (HEDGES, 1991).

A possibilidade de distorcer o processo de representação intermediária, buscando representá-lo somente com formalismos disponíveis no ambiente computacional e a constante evolução das pesquisas na área de IA, gerando novos formalismos para representação do conhecimento e ambientes computacionais para desenvolvimento de SEs, são motivos que levam as técnicas de representação intermediária a serem independentes dos formalismos exigidos pelos "softwares" atuais (HEDGES, 1991). Desta forma, é possível que se utilize ambientes computacionais mais poderosos, após o desenvolvimento do SE, aproveitando-se das facilidades do novo ambiente. A evolução em termos de ambientes computacionais para o desenvolvimento de SEs, principalmente em termos de interfaces com usuários, tem sido bem significativa nos últimos anos. Com isso, tem possibilitado ambientes computacionais que exigem menor conhecimento específico da área de programação da parte de usuários interessados no desenvolvimento de SEs.

A análise do conhecimento presente em representações intermediárias auxilia na identificação dos formalismos necessários para representação no computador. Também fornece uma idéia da complexidade e abrangência do domínio (HEDGES, 1991). Desta forma, pode também auxiliar na seleção do ambiente computacional que mais se adapta à representação do domínio para implementação definitiva (YOUNG, 1989). A seguir é apresentado um resumo das vantagens do uso de representações intermediárias:

- (a) serve como um registro do conhecimento elicitado, permitindo que este seja alterado com independência do ambiente computacional onde deve ser inserido definitivamente (YOUNG, 1989; SLATTER, 1987);
- (b) serve como fonte de pesquisa para reimplementações posteriores na base de conhecimento do sistema, sem ter que repetir todo o processo de elicitação (YOUNG, 1989; SLATTER, 1987);
- (c) serve como instrumento para facilitar a comunicação entre os especialistas e o EC (YOUNG, 1989; WIELINGA et al., 1993);
- (d) o uso de uma variedade de representações intermediárias pode providenciar um registro tão completo que permita identificar ou inserir conhecimento mesmo em um sistema já executável (WIELINGA et al., 1993);

- (e) o conhecimento registrado em uma representação intermediária pode ser usado para outros propósitos além da construção de SE, tais como explanação, treinamento e ainda como uma base para documentação do sistema (YOUNG, 1989).

Mesmo com a importância que esta etapa representa, não existe um conjunto de técnicas consolidadas, as quais garantam eficácia de representações intermediárias que possam ser aplicadas genericamente a qualquer domínio ou tipo de conhecimento (FORMOSO, 1991; HEDGES 1991; DYM e LEVITT, 1991).

Como as técnicas utilizadas para representação intermediária devem ser independentes das técnicas de representação no ambiente computacional, é permitida uma grande flexibilidade ao EC. Portanto, redes de inferência, tabelas, lista de passos, diagramas de precedência e regras escritas em linguagem humana, como português, podem servir como formalismos de representação intermediária. A melhor forma de representar os diferentes tipos de conhecimento é uma tarefa que o EC deve decidir e sua eficácia é dependente da experiência que este profissional possa adquirir.

Atualmente estão sendo desenvolvidas algumas pesquisas no campo de IA que buscam automatizar o processo de representação intermediária. Para isso, pesquisadores procuram desenvolver ferramentas que permitam aos especialistas, com pouco conhecimento de computação, interagir com a máquina e criar a Base de Conhecimento. O objetivo é reduzir os problemas deste processo, que exige a participação de um Engenheiro de Conhecimento. Com isto, mais aproxima-se de SE diretamente criados pelos próprios especialistas (PASTORELLO, 1991; WIELINGA et al., 1993).

O conhecimento registrado na etapa de representação intermediária serve como documentação e referência do SE definitivo. Portanto, é necessário que o conhecimento seja representado de forma clara, para que futuros interessados possam compreender e manipular o conhecimento representado. As técnicas utilizadas na representação intermediária do conhecimento, no desenvolvimento do SEPPO, são discutidas a seguir.

#### **4.3.4. REPRESENTAÇÃO INTERMEDIÁRIA NO DESENVOLVIMENTO DO SEPPO**

Para o desenvolvimento do SEPPO, as entrevistas com especialistas eram gravadas e seu conteúdo transcrito e analisado para posteriores esclarecimentos. Para a modelagem do conhecimento no papel, foram utilizados formalismos (paradigmas) independentes do ambiente de implementação no computador. O conhecimento modelado no papel era refinado e submetido às críticas dos especialistas.

À medida que as entrevistas eram feitas, o conhecimento era representado e organizado no papel. Esta organização iniciou com a formação de cartões e utilização de técnicas para planejamento de obras, as quais estão descritas a seguir.

A representação nos cartões foi utilizada para a identificação de atividades,

armazenando diversas informações referentes a cada uma delas, tais como: descrição da atividade com referências a sua boa execução, informações sobre precedências e possibilidades de alterar seu ritmo e duração. Inicialmente estes cartões eram folhas de papel, as quais podiam ser facilmente utilizadas como base para a entrevista. No decorrer do trabalho, estes cartões foram integralizados num editor de texto onde cada atividade representava um subitem. Esta opção proporcionou mais clareza e acabamento ao trabalho. Estes subitens, quando analisados, eram assinalados a caneta, destacando dúvidas para posterior esclarecimento com especialistas. Suas respostas vinham com a gravação das entrevistas e eram diretamente inseridas no texto original.

Quanto às técnicas de planejamento foram basicamente três as utilizadas na representação intermediária: gráficos de barras (Gantt), redes PERT/CPM e linha de balanço. Tais técnicas eram usadas para facilitar a visualização do encadeamento das atividades e influência de seus ritmos de execução na duração total do projeto. Destas, a técnica mais utilizada para identificar o conhecimento presente no plano originalmente fornecido pelos especialistas foi a linha de balanço. Os planos de obras já executadas ou em andamento, recebidos dos especialistas eram representados na forma de gráficos de barras. Estes planos, ao serem reelaborados em linhas de balanço, deixavam claras as suas inconsistências. Esta técnica foi de grande valor, em termos de possibilitar um meio de comunicação com os especialistas e facilitar a visualização de algumas decisões em termos do plano global da obra. As redes PERT/CPM foram utilizadas apenas no início desta fase do trabalho. Estas possuem a limitações para representar a realidade do dia-a-dia da construção, o que causou muita discussão sobre sua aplicabilidade no tipo de obra analisada (ver item 2.6).

Nesta fase do trabalho, podem-se observar diversas características do processo construtivo que dificultam o planejamento. Entre estas, cabe destacar que passada a etapa de fundações, quase sempre há trabalho no canteiro a ser executado pela mão-de-obra. Se por algum fator externo, tal como clima ou falta de determinado material, for impedida uma determinada atividade de ser executada, as equipes podem ser realocadas para realizar outras tarefas. Logo, cabe ao gerente da obra canalizar os trabalhos na direção correta, ou seja, na execução de atividades que venham a permitir a execução de outras, sempre evitando possibilidades que venham a causar retrabalho.

#### **4.4. FASE DE IMPLEMENTAÇÃO**

Nesta fase foi realizada a implementação detalhada do conhecimento no ambiente computacional considerado mais adequado para o desenvolvimento do sistema (ver item 4.4.2). Esta fase exige um grande consumo de tempo junto ao computador e deve ainda contar com consultas periódicas a especialistas. Desta forma, busca-se evitar a existência de lacunas no conhecimento, ou seja, situações possíveis de ocorrer e que o sistema não contenha informações capazes de enfrentá-las.

Representar conhecimento consiste em encontrar estruturas adequadas, no ambiente computacional, para expressar os diferentes tipos de conhecimento do domínio da aplicação. Isto

deve ser feito de forma que sejam atingidos os objetivos propostos pelo sistema. De forma mais genérica, a representação do conhecimento pode ser definida como o processo de modelagem do conhecimento no ambiente computacional.

Para que o conhecimento contido em um SE seja utilizado, devem ser estabelecidos mecanismos adequados de interpretação e manipulação do mesmo. Com isso, torna-se possível inferir soluções para o problema do domínio a partir da Base de Conhecimento do Sistema. A seguir, são apresentados os principais modelos (paradigmas) computacionais da IA para a representação e utilização do conhecimento.

#### **4.4.1. PARADIGMAS DE REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO**

O desenvolvimento de paradigmas de representação do conhecimento é objeto de estudo da área de ciência cognitiva, que é uma subárea da Inteligência Artificial. Paradigmas podem ser definidos como técnicas utilizadas para simular o conhecimento humano em computadores.

Pesquisas no campo de IA têm produzido novos paradigmas para representar conhecimento e ambientes computacionais híbridos, capazes de oferecer esquemas para representação simultânea de mais de um formalismo.

Os paradigmas mais difundidos para representação do conhecimento são: regras, redes semânticas, enquadramentos ("frames") e lógica de predicados, os quais são descritos nos subitens a seguir.

##### **4.4.1.1. REGRAS**

Representar o conhecimento por meio de regras se constitui numa das formas mais simples de codificar o "know-how" de especialistas. Estes profissionais tendem naturalmente a expressar suas experiências em termos de regras situação-ação na solução de problemas (STOCKLEY, 1987).

Regra é um paradigma de representação no qual partes isoladas de conhecimento sempre expressam um condicional, com um antecedente e um conseqüente, como apresentado a seguir:

**SE condição ENTÃO ação**

ou

**SE condição ENTÃO conclusão**

Como visto, cada regra aproxima um fragmento independente de conhecimento. Desta forma, podem-se destacar algumas propriedades deste tipo de representação, tais como:

- (a) as regras podem ser criadas individualmente, não sendo necessárias muitas preocupações com a seqüência na qual serão encadeadas para atendimento de inferências;
- (b) o conhecimento existente pode ser refinado, permitindo um crescimento incremental da base de conhecimento, aumentando a performance do SE;
- (c) é possível implementar mecanismos de explanação capazes de expor a linha de raciocínio do SE, desde que seja traduzida a lógica de cada regra em linguagem natural, incrementando a credibilidade do SE;
- (d) são capazes de resolver um grande número de problemas possivelmente complexos, utilizando regras relativamente simples e combinando os resultados de maneira apropriada.

Duas estratégias de inferência são as mais comuns em SE com base de regras: (i) raciocínio dirigido pelas regras ou raciocínio regressivo ("backward chaining"); (ii) raciocínio orientado pelas metas ou raciocínio progressivo ("forward chaining").

No raciocínio regressivo, o sistema seleciona uma ou mais regras, cuja conclusão está relacionada com o objetivo. Desta forma, o sistema busca satisfazer a todas as condições para que o objetivo seja comprovado.

No raciocínio progressivo, o sistema busca a identificação de fatos que levem ao objetivo. Os passos intermediários são situações que podem ser alcançadas a partir do estado inicial, ao invés de serem objetivos secundários a serem alcançados na busca da solução do problema.

#### 4.4.1.2. REDES SEMÂNTICAS

Uma rede semântica representa relações entre elementos, com base em hierarquias, e pode ser definida como um grafo orientado.

Seus componentes básicos são os nodos e as ligações. Nodos são usados para representar elementos e ligações (ou arcos), representam relações entre elementos. Uma ligação se apresenta como um vetor orientado de um nodo a outro e pode ser vista como alguma coisa que se afirma ser verdade sobre um elemento em relação a outro. Os nodos de redes semânticas são utilizados para representar uma grande variedade de coisas, tais como indivíduos, conjuntos, predicados, etc.

Uma ligação é fundamentalmente uma relação binária que pode ser verdadeira ou falsa. A figura 4.3 apresenta exemplos de redes semânticas que representam as afirmações: "todos os canários são pássaros.", "João gosta de Maria." e "todos os pássaros têm asas.".

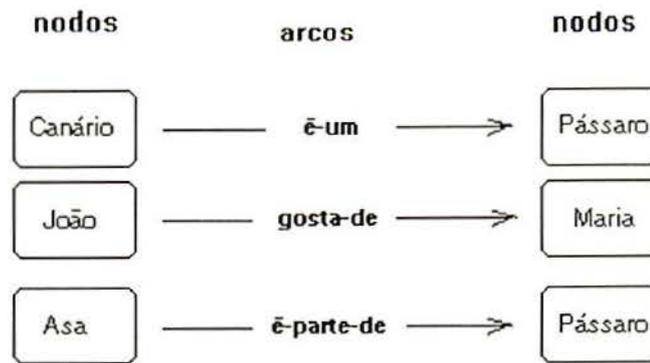


FIGURA 4.3 - Exemplos de redes semânticas simples

As relações binárias mais comuns em redes semânticas são **é-um-tipo-de** e **é-parte-de**. A ligação **é-um-tipo-de** é utilizada para representar o fato de que um elemento é membro de uma classe de elementos que possuem uma coleção de propriedades discriminatórias em comum. Uma ligação **é-parte-de** define um componente de uma instância, de uma subclasse ou de uma classe, onde instâncias representam nodos terminais de uma hierarquia.

As classes podem ser consideradas uma interpretação genérica e as instâncias interpretações individuais. No primeiro caso, os nodos representam descrições aplicáveis a vários indivíduos e no segundo caso representam indivíduos ou descrições aplicáveis apenas a um indivíduo. Sendo assim, qualquer característica que defina uma classe (tais como, peso, cor e tamanho) pode ser representada como a associação entre um nodo e uma propriedade. Deste modo, podem-se formar heranças que nos assegurem que qualquer propriedade que afirmamos ser verdadeira para uma classe de elementos, também deve ser verdadeira para qualquer instância ou subclasse desta classe.

Os procedimentos, baseados em redes semânticas, são geralmente diretos, pois associações podem ser feitas, simplesmente, percorrendo as ligações no sistema. Alguns cuidados devem ser tomados, pois as relações apresentadas não são totalmente rigorosas e podem ser desenvolvidas relações inválidas. Por exemplo, ao criar-se uma relação definindo que alvenarias são construídas por pedreiros, isto não significa que uma determinada alvenaria, estabelecida por uma instância, está sendo construída naquele momento. Cabe também destacar algumas propriedades deste tipo de representação do conhecimento:

- (a) o significado de uma rede semântica não é somente interpretado pela rede, mas também estabelecido pelos procedimentos que a interpretam;
- (b) o conhecimento é claramente representado, permitindo facilidades de interpretação por parte de usuários ou especialistas nas fases de avaliação ou ampliação da base de conhecimento do sistema.

#### 4.4.1.3. ENQUADRAMENTOS ("FRAMES")

O conhecimento humano possui a importante habilidade de interpretar novas situações, a partir de conhecimento adquirido de situações similares. Esta habilidade permite um crescimento do conhecimento com cada experiência, ao invés de reaprender a partir das condições iniciais de cada caso.

Com base em experiências passadas, a mente humana mantém grandes coleções mentais de estruturas de conhecimento que incluem estas expectativas por omissão para as características correspondentes. Por exemplo, apenas com base na experiência, esperamos que carros tenham rodas, portas, motor que utilize combustível e seja capaz de transportar pessoas. Estas são expectativas em relação a um carro e, a menos que exista evidência em contrário, espera-se que sejam verdadeiras para todos os carros.

Enquadramentos são usados para caracterizar a compreensão básica de coisas que tipicamente são verdadeiras para algumas classes genéricas de elementos (PASTORELLO, 1991). Portanto, enquadramentos podem ser definidos como uma forma estrutural para organizar o conhecimento, com ênfase em conhecimento por omissão ou "default" (KAPPA MANUAL, 1991). Esta forma de representação do conhecimento possui vários conceitos em comum com redes semânticas. Cada enquadramento representa uma classe de elementos, da mesma maneira que um nodo é usado para representar tais elementos em uma rede semântica.

Um enquadramento possui "slots" para representar uma propriedade padrão ou atributo do elemento que está sendo representado pelo enquadramento. Cada "slot" é identificado pelo nome do atributo correspondente e inclui um valor, ou intervalo de valores, ao qual pode ser associado. Para domínios complexos, "slots" podem ser subdivididos em outros "slots" de modo a apresentar um maior grau de detalhamento do atributo ou propriedade.

O sistema de "frames" baseia-se intensamente no conceito de herança de propriedades. Uma "frame" que representa uma classe de objetos, a um dado nível de especificação, pode incluir "slots" e valores em "slots", que são herdados de "frames" de níveis mais elevados. O uso de defaults e de valores de atributos herdados permite procedimentos eficazes, pois desobriga da necessidade de realizar inferências para redescobrir fatos conhecidos em novas situações, do mesmo modo que pessoas utilizam o conhecimento de experiências passadas.

Uma das dificuldades da representação por "frames" é o problema de estabelecer valores "default". Algumas vezes é difícil que um grupo de especialistas concorde exatamente em quais são as características típicas (ou discriminatórias) de um objeto. Cada visão individual do objeto é influenciada por experiências pessoais. Por exemplo, quando se apresenta um objeto como um carro, uma pessoa pode imaginar um carro esporte e outra uma camionete utilitária.

Outra dificuldade deste tipo de representação é que estes não fornecem facilidades diretas para descrever de forma explícita o modo como deve ser utilizado o conhecimento. Para isso, devem ser atrelados alguns procedimentos próprios do ambiente computacional onde o sistema será desenvolvido, exigindo ambientes híbridos ou rotinas em linguagens de programação. Apesar destas dificuldades, o formalismo de representação por meio de "frames" constitui-se num poderoso mecanismo para representação do conhecimento. Entre as vantagens do uso deste formalismo, pode-se destacar:

- (a) capturar o modo que muitos especialistas utilizam para representar o conhecimento do domínio;
- (b) é fácil para o EC representar o conhecimento;
- (c) permitir proceder mesmo quando a informação é incompleta;
- (d) permitir inferir rapidamente, através do mecanismo de herança, fatos que não são observados diretamente (ex.: imediatamente podemos assumir que um objeto tem rodas se ele é um carro);
- (e) possibilitar uma estruturação concisa de relações úteis entre o conhecimento representado;
- (f) a representação e descrição dos objetos em ambientes baseados em "frames" é bastante facilitada. Por exemplo, um "frame" que representa um carro pode incluir descrições de peso, tamanho, proprietário, potência do motor, etc.;
- (g) é possível incluir descrições parciais de valores de atributos, auxiliando na preservação da integridade da base de conhecimento do sistema;
- (h) o conhecimento representado é facilmente interpretado por especialistas, simplificando as fases de avaliação e validação do conhecimento presente no sistema;

#### 4.4.1.4. LÓGICA DE PREDICADOS

O que se busca com esta representação é expressar um conjunto de situações, a partir das quais todo o restante possa ser gerado com a aplicação de um conjunto finito de regras de prova (regras combinatórias), desde que seja provado que essas regras preservem a verdade (Pastorello XXX). Portanto, a linguagem lógica pode ser considerada como uma aproximação do conhecimento sobre o mundo, contido em sentenças, tais como: "Todos os homens são mortais.", que pode ser traduzida na forma:

$$(\forall x) \text{Homem}(x) \rightarrow \text{Mortal}(x)$$

a qual pode ser lida: "Para todo o objeto x, se x é um homem, então x é mortal".

Existe nesta representação um conjunto de inferências, graças as quais, a partir de fatos conhecidos como certos, podem-se derivar outros fatos. Desta forma, a verdade de qualquer nova afirmação pode ser testada de um modo bem específico, contra fatos que já são conhecidos como certos. Por exemplo, supondo que agregamos a uma base de conhecimento

Homem (Fulano).

a partir deste fato e do anterior (Homens são mortais), podemos concluir, usando inferência, que o fato a seguir deve ser verdade:

Homem (Fulano) -> Mortal (Fulano)

ou seja, "Fulano é mortal".

Talvez a principal característica deste tipo de representação seja que as deduções possuem correção garantida, com uma amplitude que outros paradigmas de representação ainda não alcançaram. O conjunto de conclusões que podem ser obtidos de uma coleção de proposições lógicas está completamente especificado pelas inferências.

Como o procedimento de inferência utilizado por um programa em lógica é independente da base de conhecimento, o desenvolvimento de um sistema resume-se a formação da base de conhecimento, ou seja, encontrar uma descrição adequada para o domínio. Entre as facilidades obtidas pelo uso deste tipo de representação, ainda podemos citar:

- (a) a possibilidade de criação de mecanismos de explanação do conhecimento presente na base do sistema;
- (b) o crescimento da abrangência do domínio é incremental, como ocorre em representação por meio de regras;
- (c) quando o EC codifica um conjunto de crenças sobre a área de domínio, o próprio ambiente deriva conclusões que são implicadas logicamente pelas crenças;
- (d) um bom sistema com o conhecimento representado por lógica de predicados é capaz de derivar conclusões a partir de dados incertos, proceder analogicamente e generalizar o conhecimento apropriadamente (PASTORELLO, 1991).

Entre as limitações deste tipo de representação, uma das mais importantes é que os métodos dedutivos muitas vezes são inadequados. A ausência de controle especificado pelo usuário nos sistemas em lógica atuais intensifica essa limitação. Também existe necessidade de melhorias no uso de sistemas de programação em lógica. Este fato pode ser solucionado no futuro com o desenvolvimento de ambientes computacionais mais aptos e amigáveis à manipulação e depuração destes sistemas.

#### 4.4.2. FASE DE IMPLEMENTAÇÃO NO SEPPO

Para o desenvolvimento do SEPPO, a fase de implementação foi iniciada com a escolha do ambiente computacional. Havia três opções de Shells, das quais uma deveria ser utilizada como ambiente para desenvolvimento do sistema. Estas opções eram: Leonardo Level 3; Guru; Kappa 1.2.

A Shell denominada Leonardo é comercializada pela empresa inglesa Software Directions e foi desenvolvida em Fortran 77, disponível em várias versões para computadores pessoais e estações de trabalho. Esta shell possui características positivas, tais como: ambiente híbrido que permite representar o conhecimento por meio de regras e "frames", "slots" que podem representar outras "frames", linguagem própria de programação e acesso a dados no formato DBase III Plus. Também existem alguns aspectos que limitam o uso deste ambiente, tais como: interface pobre, roda em ambiente DOS e ocupa muito espaço na memória, deixando pouco espaço livre para trabalho com a base de conhecimento.

A shell denominada Guru é comercializada pela empresa MDBS, INC. que possui representação no país. É um sistema que roda em ambiente DOS e que possui diversos comandos para manipulação de dados no formato DBase III Plus. O conhecimento nesta Shell é representado apenas por meio de regras. Permite a criação de rotinas escritas em linguagem própria ou em "C", que foi a linguagem que gerou este ambiente. Também possui uma interface bastante pobre.

Kappa é uma Shell desenvolvida em linguagem "C" e comercializada pela empresa norte-americana Intellicorp. Roda em ambiente Windows e pode ser descrita como um sistema orientado por objetos. Estes são representados por "frames", os quais possibilitam todo o potencial de herança de propriedades, inerentes desta técnica de representação do conhecimento. Permite programação em linguagem própria, acesso a bibliotecas em "C" e inferências baseadas em regras. Possui interfaces para bancos de dados no formato DBF (DBase III Plus), planilha eletrônica para ambiente Windows, linguagens de programação para Windows, enfim, todo o potencial de interfaces e multitarefas disponíveis no ambiente Windows. Como limitação, esta Shell não permite lidar com incertezas (ver item 6.2.4), apesar de possuir encadeamento pra frente e para trás ("Backward" e "Forward Chaining").

Optou-se por utilizar Kappa no presente estudo por dois principais motivos, que são:

- (a) roda em ambiente Windows, permitindo o desenvolvimento de bases de conhecimento maior porte e inferências mais complexas, sendo o limite de suas extensões a configuração do "hardware" e não apenas a memória gerenciada pelo DOS. Com isto, pode-se eliminar a necessidade de modularização do sistema, com formação de bases pequenas a serem carregadas a cada opção de uso do sistema;

(b) o outro motivo, foi a possibilidade de criar interfaces bastante amigáveis, por meio de janelas, padrão Windows, onde qualquer usuário deste ambiente é capaz de operar com facilidade e utilizar este ambiente multitarefa para gerar gráficos, executar cálculos em planilhas, mensagens e auxílios em editores, etc.

Feita a opção pelo ambiente computacional, iniciou-se a tarefa que mais consumiu tempo e apresentou dificuldades no trabalho dentro da Shell, que foi a implementação do conhecimento no ambiente computacional. Esta dificuldade se deu, mais exatamente, na formação das inferências necessárias para manipular o conhecimento presente nas "frames". O trabalho nos "frame"s foi bastante simples, já que esta Shell possui diversas facilidades para manipular o conhecimento representado desta forma.

Para formar as inferências, a prévia revisão bibliográfica sugeria uma abordagem "top-down", ou seja, dos resultados desejados em direção aos requerimentos exigidos para sua geração. Um dos grandes problemas encontrados foi a necessidade de zerar valores próprios ("default") para que as inferências questionassem estes valores ao usuário. Em contrapartida, se todos os valores presentes nas "frames" fossem zerados, as inferências tornar-se-iam muito grandes e colocariam muitas questões dos usuários, exigindo muito tempo na geração do plano da obra. A solução adotada na programação está descrita no item 6.3.3.

#### 4.5. FASE DE AVALIAÇÃO

Alguns pesquisadores salientam que especialistas têm dificuldade em apresentar todos os fatos relevantes e relacionamentos existentes, dificultando a obtenção de SE com a performance de um especialista humano. Estes profissionais tendem a esquecer ou simplificar detalhes sobre seu conhecimento (STOCKLEY, 1987). Este é um dos fatos que torna necessário o processo de avaliação e ampliações posteriores da base de conhecimento do Sistema.

A confiança em um sistema não depende apenas da qualidade dos resultados produzidos, mas também da segurança de que os fundamentos do sistema sejam corretos e apropriados para o domínio em questão (PASTORELLO, 1991; STOCKLEY, 1987).

Para isso, devem ser explorados dois aspectos que visam a garantia de que SE proponham soluções adequadas para a solução de problemas. O primeiro aspecto chamado de (i) Verificação ou Teste é expresso em termos de manipulação da Base de Conhecimento e execução dos esquemas de inferência. O segundo aspecto, chamado de (ii) validação, procura considerar se as soluções propostas pelo sistema estão de acordo com o esperado na solução das tarefas.

(I) Para facilitar a tarefa de verificação, é proposto por DYM e LEVITT (1991) que sejam utilizados somente paradigmas formais de representação, ou seja, paradigmas conhecidos e documentados na literatura. Deve-se também identificar as facilidades proporcionadas pelo software utilizado para representar o conhecimento. É uma tarefa que acompanha o processo de

implementação do conhecimento no ambiente computacional e se estende até o final da fase de avaliação, identificando possíveis inconsistências nas inferências ou erros na lógica da programação. Para executar esta tarefa, são sugeridas algumas técnicas, tais como (GEISSMAN citado por DYM e LEVITT, 1991):

- (a) verificar que o sistema seja desenvolvido com todas as especificações desejadas e que a versão final seja dividida em módulos com objetivos bem definidos e tamanho razoável;
- (b) verificar se os resultados obtidos em cada um dos módulos atinge os objetivos do sistema como um todo;
- (c) verificar que cada módulo do programa seja escrito com um estilo correto e dentro do padrão estabelecido para todo o sistema, preferencialmente dentro dos padrões usuais de programação;
- (d) verificar que o sistema final seja compilado sem erros e executado como definido pelo projeto. Esta tarefa se refere ao nível de transparência do conhecimento, possibilitando aos usuários o acompanhamento do raciocínio usado pelo sistema para apontar soluções;

(II) A tarefa de validação é caracterizada por testes que verifiquem as habilidades e o grau de confiança dos resultados fornecidos pelo sistema, possibilitando a execução de sua versão final. Para isso, são necessárias algumas comparações com a forma tradicional de execução desta tarefa por empresas de construção. Desta forma, busca-se avaliar a performance, tanto da qualidade, quanto do tempo dispendido pelo sistema para realizar a tarefa do domínio.

Entre as utilidades do processo de validação, podemos destacar:

- (a) eliminação de erros - envolve a identificação de situações aplicadas em circunstâncias impróprias, ou seja, em contradição com os procedimentos de especialistas;
- (b) identificação de vazios - mesmo com especialistas existem situações onde o conhecimento não é completo. Em SE aplicados a planejamento de obras é muito difícil acessar a complexidade do conhecimento. Portanto, espera-se que o conhecimento presente no sistema seja suficiente para realizar tarefas com certo grau de confiança, mesmo em situações não previstas;
- (c) evolução de performance - serve para testar o nível de apropriação dos resultados apresentados pelo sistema. Desta forma, busca-se incrementar a eficácia do SE.

#### 4.5.1. TÉCNICAS PARA AVALIAÇÃO DO CONHECIMENTO

Não existem critérios padronizados para execução da tarefa de validação em SE (DYM e LEVITT, 1991). Podem ser usadas algumas técnicas, tais como entrevistas generalistas com especialista, as quais podem fornecer provas de que as soluções propostas pelo sistema estejam corretas. MARCOT, citado por DYM e LEVITT (1991), apresenta alguns critérios que devem ser obedecidos por SE, que são: adaptabilidade, adequação, disponibilidade, validade, generalidade, realismo, abrangência, teste de uso, utilidade.

Existem referências indicando que os critérios supracitados são bastante subjetivos e que o melhor processo de validação seria o uso do sistema em situações reais, criando uma biblioteca de projetos para posterior análise de especialistas (DYM e LEVITT, 1991).

Vista a importância e utilidades do processo de validação, a seguir são apresentadas algumas técnicas propostas ao bom desenvolvimento desta tarefa.

- (a) Validação informal - esta técnica é caracterizada por testes realizados junto a especialistas, durante as diversas fases do desenvolvimento do SE. Apresenta três objetivos principais, que são: (i) verificar se os especialistas estão de acordo com as soluções propostas pelo sistema, (ii) verificar suas reações frente ao questionamento e apresentação da interface do sistema e (iii) identificar suas opiniões sobre a praticidade geral do uso do SE.
- (b) Experimentação estruturada - esta técnica de validação consiste em confrontar soluções propostas pelo sistema com soluções de especialistas, em casos bem específicos do domínio, comparando suas soluções.
- (c) Validação comparativa - envolve a experimentação do SE em problemas do mundo real, onde os resultados são conhecidos e podem ser comparados com os produzidos pelo sistema.

#### 4.5.2. AVALIAÇÃO NO SEPPO

No desenvolvimento deste trabalho, a tarefa de verificação foi realizada no próprio ambiente computacional, utilizando-se de suas potencialidades. O ambiente é capaz apenas de identificar erros de sintaxe na programação, não possuindo nenhuma ferramenta para auxílio na identificação de erros de lógica na programação. Temos informações de que a versão 2.0 do Kappa já possui um "debugador" capaz de auxiliar nesta tarefa, a qual ocupou quantidade significativa de tempo, devido à precariedade de exemplos e constantes erros dos manuais do sistema.

O processo de validação no SEPPO não foi muito extenso, limitando-se a demonstrações da utilização do sistema para especialistas no domínio. Devido ao limitado tempo para o desenvolvimento deste trabalho e ao fato de que entre seus objetivos não estava a geração de um sistema comercial (ver item 3.3), não foi muito estendida esta fase.

A maioria dos testes de validação dos resultados foram realizados dentro do centro de pesquisa, para os quais foi utilizada a sensibilidade do autor e demais pesquisadores que

acompanharam o desenvolvimento deste trabalho. Foram também utilizadas comparações com os planos fornecidos pelos especialistas e com os planos gerados em linha de balanço, elaborados na etapa de representação intermediária (ver item 5.4).

O sistema está à disposição de profissionais interessados em sua utilização, de modo a ampliar suas habilidades ou mesmo direcioná-lo mais especificamente a determinados tipos de contratos ou realidades locais (ver item 7.3).

## ***CAPÍTULO 5***

### **5. MODELO DO CONHECIMENTO PARA GERAÇÃO DO PLANO DE OBRA**

Este capítulo consiste em uma descrição geral da forma como é executada a tarefa de planejamento de obras por especialistas e das técnicas empregadas para modelagem do conhecimento presente na representação intermediária. Para isso, é discutido o conhecimento empregado por estes profissionais na realização desta tarefa e as ferramentas utilizadas para criação, representação e controle do plano gerado.

O conhecimento descrito analisado refere-se basicamente a três tarefas: (i) identificação de atividades que representem a realidade dos trabalhos no canteiro, em substituição aos serviços tradicionalmente utilizados pelos especialistas, (ii) fatores e tipos de precedências possíveis de ocorrer entre as atividades, capazes de encadeá-las e gerar o plano da obra e (iii) conhecimento referente ao tempo de execução de cada atividade.

Esta etapa do trabalho foi realizada com a participação de cinco especialistas. No entanto, não estava-se tratando com cinco posicionamentos ambíguos, mas de um consenso originário da interação com estes profissionais. Este consenso é proveniente de consulta bibliográfica e do processo de modelagem e aferição proporcionado pela representação intermediária do conhecimento.

A interação com os especialistas se deu por meio de entrevistas, as quais iniciaram de modo informal e abrangente e, no decorrer do trabalho, com entrevistas mais estruturadas e específicas. Cabe salientar que os paradigmas utilizados para modelagem do conhecimento, discutidos neste capítulo, são independentes daqueles utilizados para a representação do conhecimento no ambiente computacional, os quais estão discutidos no capítulo 6.

Cabe aqui a descrição de três termos que são bastante utilizados neste capítulo. Os dois primeiros estão definidos em CABRAL (1988) e o terceiro é proveniente do trabalho desenvolvido.

Serviços - é um conjunto de operações, que ao ser realizado, resulta numa parte funcional da obra, podendo envolver várias categorias de mão-de-obra;

Operação - é o conjunto de tarefas executadas de forma contínua e sem interrupções, com início e fim bem definidos, por um tipo específico de mão-de-obra;

Atividade - é intermediário entre os dois primeiros, sendo um conjunto de operações, capaz de envolver várias categorias de mão-de-obra, sem interrupções, com início e fim bem definidos.

A seguir é apresentada uma descrição geral das edificações, cujos planos foram fornecidos pelos especialistas e serviram de apoio ao processo de aquisição do conhecimento.

### 5.1. DESCRIÇÃO GERAL DAS EDIFICAÇÕES ANALISADAS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram acompanhadas as construções de cinco edificações. Procurou-se abranger a maior diversidade em tipos de edifícios de vários pavimentos, tanto em termos de contratos, quanto em padrões de acabamento. Foram pesquisados três diferentes tipos de contratação (construção a preço de custo, contratação de serviços e incorporação), três diferentes padrões de acabamento (alto, normal, baixo) e analisadas suas influências no plano da obra.

Os prédios analisados foram quatro edifícios residenciais e um comercial, os quais possuíam diferenças, além das supracitadas, na tecnologia construtiva, materiais empregados, prazo de execução e forma de contratação da mão-de-obra. A seguir é apresentada uma breve descrição das cinco edificações analisadas:

- (a) edifício residencial de 10 pavimentos com construção a preço de custo e venda dos apartamentos ainda no projeto. Prédio com alto padrão de acabamento, com construção prevista para 36 meses. A pesquisa iniciou ao final do estaqueamento, quando todos os apartamentos já estavam vendidos. O prédio sofreu atraso no plano inicialmente proposto e não foi possível acompanhar sua conclusão;
- (b) edifício de quatro pavimentos com padrão normal, contratado por particular para execução por empresa de construção. A pesquisa iniciou quando estavam sendo executados os revestimentos e foi acompanhada sua execução até o final;
- (c) edifício de alto padrão, com 8 pavimentos e custos totalmente incorporados pela construtora, para posterior venda dos apartamentos. A pesquisa iniciou na fase de acabamentos da edificação, acompanhou a venda e pequenas alterações pré-ocupação indicadas pelos compradores de algumas unidades;
- (d) edifício de baixo padrão com oito pavimentos e financiamento por órgão público. A pesquisa iniciou com o prédio já concluído, tendo sido apenas empregado no estudo os dados gerados pelo plano;
- (e) edifício comercial de padrão normal, com oito pavimentos e custos divididos em duas cotas iguais entre particular e a empresa construtora. A pesquisa iniciou na fase de execução da estrutura e acompanhou sua construção até o final;

O conhecimento modelado na representação intermediária originou-se, basicamente, dos planos gerados para execução destes prédios e da experiência dos profissionais envolvidos na sua geração, além de bibliografia especializada. A seguir, é apresentada uma descrição geral da tarefa de planejamento de obras, na forma como é realizada por profissionais em suas empresas.

## 5.2. GERAÇÃO DO PLANO DE OBRA POR ESPECIALISTAS

Para gerar o plano da construção de um empreendimento, os profissionais utilizam basicamente dois documentos, que são o orçamento discriminado e o projeto arquitetônico da edificação.

Via de regra, em empreendimentos executados a preço de custo ou mesmo por incorporação, quando o proprietário do imóvel não possui uma entidade fiscalizadora da produção, os planos são gerados com pouca desagregação dos trabalhos, indicando a execução de uma média de trinta serviços. Estes serviços indicam grandes metas a serem atingidas e a distribuição de custos, em geral feita mensalmente, representa apenas uma previsão de gastos para o proprietário, não representando prejuízos para a construtora o fato do plano não corresponder à realidade do processo produtivo.

Em empreendimentos executados para órgãos que possuam entidades fiscalizadoras, o plano inclui maior quantidade de itens, indicando percentuais mensais de execução dos serviços indicados no orçamento discriminado. Desta forma, se determinado serviço possui um custo total X para ser executado em dois meses, a metade de X deve ser gasta no primeiro mês e a outra no segundo, desconsiderando uma série de fatores que indicam custos mais elevados no início da execução do serviço. Planos executados para órgãos públicos possuem uma série de exigências próprias da entidade governamental, as quais, não sendo cumpridas, podem acarretar em prejuízo para a empresa construtora. A Figura 5.1 descreve como se dá o processo de geração do plano de uma edificação.

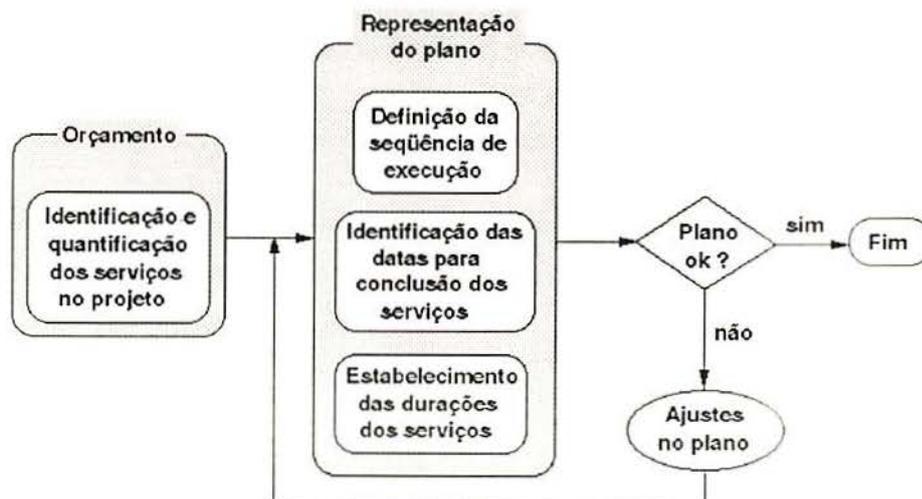


FIGURA 5.1 - Execução de Planos por especialistas

A Figura 5.1, representa a forma como é gerado o plano de obra por especialistas, os quais necessitam do orçamento discriminado para identificação dos serviços presentes no projeto. Conhecendo-se estes, passam a definir seu seqüenciamento, onde inicialmente são identificadas as datas para conclusão dentro do prazo previsto para execução da edificação. Baseado na experiência do profissional são definidas as durações para execução de cada serviço, onde são feitos os

ajustamentos, buscando-se a possibilidade de conclusão da obra no prazo definido, adequando necessidades mensais de desembolso. Algumas decisões, tais como posicionamento das instalações provisórias e acessos ao canteiro, geralmente, são tomadas no local da obra.

Esta tarefa parte da discriminação dos trabalhos do canteiro em serviços, os quais os especialistas e a bibliografia reconhecem que não reflete a maneira pela qual o trabalho é conduzido no canteiro. Portanto, os orçamentos convencionais não refletem a forma como os custos dos serviços realmente incidem, servindo apenas para indicar uma estimativa de custo dos principais elementos construtivos (CABRAL, 1988).

É reconhecida a necessidade de novos procedimentos mais vinculados à realidade, tal como o orçamento operacional, no qual as tarefas não são tomadas em unidades de trabalho, mas como operações, na forma em que se espera que o trabalho seja realmente desenvolvido. Apesar deste reconhecimento por parte dos especialistas, nenhuma das empresas consultadas adotava tais procedimentos, embora em três destas já se iniciavam esforços na busca de maior controle aos trabalhos no canteiro.

### **5.3. DIVISÃO DOS TRABALHOS PARA GERAÇÃO DO PLANO**

Edificações de vários pavimentos, tal como a maioria dos empreendimentos da construção civil, têm seu plano gerado com base em serviços provenientes do orçamento convencional.

Nesta pesquisa, para a geração do plano da obra, os trabalhos foram divididos em atividades. Os dois subitens a seguir comentam a elaboração do plano no modo convencional e o adotado no desenvolvimento do SE.

#### **5.3.1. DIVISÃO DOS TRABALHOS EM SERVIÇOS**

Para identificação dos serviços deve-se recorrer a discriminações orçamentárias e cadernos de encargos, os quais são definidos como (FORMOSO et al., 1986a):

- (a) discriminação orçamentária- lista dos serviços que devem ocorrer na execução de uma obra;
- (b) caderno de encargos- discrimina os serviços e especifica os materiais, estabelecendo normas e critérios de execução e utilização. Indica a técnica de execução dos serviços na obra.

Portanto, através da discriminação orçamentária, dos projetos, caderno de encargos e das condições locais da obra, obtém-se a relação de todos os serviços necessários à criação do plano da obra.

Os serviços possuem valores associados ao custo unitário de execução, onde atuam três variáveis orçamentárias (CABRAL, 1988): quantitativos, composições unitárias e preços dos insumos.

São geralmente agrupados, com base em diferentes critérios, tais como, tecnologia construtiva, tipo de material empregado, etapa de execução no canteiro, tipo de profissional, etc. (FAILLACE, 1988). Portanto, são critérios subjetivos, tal como o utilizado pela Norma NBR 12721, denominado Função Construtiva, que discrimina os serviços em 24 *Capítulos*, sendo cada um subdividido nos denominados *Título-Base*, que agrupam serviços de características semelhantes (ABNT, 1992). Cabe salientar que este critério é apenas recomendado por esta norma, sendo possível o uso de qualquer outra forma de agrupamento.

Portanto, os critérios para desagregação dos trabalhos no canteiro apresentam características que visam a possibilidade de utilizar composições unitárias representativas de cada serviço. Estas composições implicam em certos erros, tais como, quando um serviço envolve operações cuja unidade de medida não é proporcional a do serviço, ou ainda, quando na execução, o método de produção não é retratado fielmente (CABRAL, 1988).

Nas empresas que participaram do desenvolvimento deste trabalho, são usados programas computacionais para elaboração e cálculo do orçamento. Estes programas agrupam os serviços usando critérios próprios ou mesmo o da NBR 12721, sendo o principal objetivo facilitar a identificação da composição unitária que representa o serviço, bastando indicar a sua presença no projeto e o quantitativo, para que o sistema efetue o cálculo do orçamento.

Para desagregação da obra em serviços, são utilizados, basicamente, três critérios, que são (CABRAL, 1988):

- (a) Tempo - busca identificar um conjunto de tarefas, ou operações a serem executadas de forma contínua, com início e fim bem definidos e sem interrupções;
- (b) Equipe - para execução de cada serviço é estabelecida uma equipe de diferentes profissionais, também com diferentes tempos necessários para cada;
- (c) Unidade de medida - as composições unitárias dos serviços baseiam-se na hipótese da proporcionalidade constante do custo total do serviço com sua quantidade. Portanto, o custo fixo é considerado variável, estando de acordo com a unidade utilizada para medição do serviço (m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>, etc.). Portanto, quando a quantidade do serviço for muito diferente da que originou o custo unitário e que serviu como constante na orçamentação, ter-se-á um erro na previsão do custo.

Com base nestes critérios, o plano gerado pelos especialistas é baseado em serviços que normalmente incluem uma grande quantidade de operações. Portanto, a representação do plano apresenta uma quantidade relativamente pequena de subitens, quando confrontada com o total de operações presentes na construção de qualquer edifício.

Como exemplo, abaixo está uma composição unitária proveniente do sistema ORTEC (SCHMIDT, 1987). Estas composições também podem ser encontradas na revista da PINI (TCPO 1992) ou mesmo na REGIONAL DISCRIMINADA (1993).

Grupo: 8 PORTAS				
SubGrupo: 01 PORTAS DE MADEIRA				
Composição: 02 INTERNA, ABRIR, CEDRO, UMA FOLHA (80X210 CM)      Unidade: UN				
CODI	NOME DO INSUMO	UN	PRECO (CR\$)	COEFIC.
1518	FOLHA PORTA INT CEDRO ABRIR - 80X210 CM	UN	0	1.0000
2633	TACO PINHO - 3X10X10 CM	UN	1325	6.0000
4613	PREGOS BITOLAS VARIADAS	KG	9168	0.1500
601	CIMENTO PORTLAND COMUM 320	KG	1287	4.5000
603	AREIA MEDIA (UMIDADE 3%)	M3	75700	0.0150
2703	PEDREIRO	H	5182	3.0000
2701	CARPINTEIRO	H	5182	4.0000
2702	SERVENTE	H	3388	2.2500
1501	BATENTE CEDRO 3X15 CM	M	0	5.0000
1504	GUARNIÇÃO CEDRO - 15X50 MM	M	0	10.0000
Comentário: ESTA COMPOSIÇÃO É ESPECÍFICA P/ PORTAS COM ESTAS CARACTERÍSTICAS. A VERGA É RETA.				

FIGURA 5.2 - Composição unitária extraída do sistema ORTEC.

Cabe destacar que o serviço representado pela composição unitária da Figura 5.2 é executado em diferentes etapas da construção, inviabilizando qualquer possibilidade de planejamento estratégico em termos de datas para previsão de início, duração e conclusão de forma contínua. Neste exemplo, a colocação da folha da porta é posterior à colocação da guarnição, a qual também é posterior à colocação do taco, existindo descontinuidades na execução deste serviço. Este motivo já é suficiente para que não possa ser considerado como uma atividade. No item 5.5.2 estão detalhados os critérios utilizados para desagregação das atividades.

O trabalho executado junto com os especialistas permitiu a identificação de algumas características da forma de realização desta tarefa, tais como:

- (a) o plano gerado pelos profissionais busca principalmente identificar a data exigida para conclusão de grandes estágios da construção (ver item 5.2), exigindo uma série de decisões diárias a fim de atingir os objetivos do plano;
- (b) a forma utilizada para representação (gráfico de barras) possibilita uma quantidade muito pequena de informações, comparando com a quantidade de conhecimento normalmente empregada na geração do plano;
- (c) os motivos que levam ao seqüenciamento entre os serviços e ao estabelecimento de suas durações, não são identificáveis no plano gerado ;

- (d) o tempo de total de execução do projeto é um dado inicial, oriundo basicamente da experiência do profissional na adequação de recursos ou do tipo de contrato. A partir deste dado, os serviços são dispostos de modo a permitirem sua conclusão;
- (e) o acompanhamento dos serviços se dá de forma linear ao longo dos pavimentos. Por exemplo, a metade da alvenaria concluída num prédio de dez pavimentos, significa que a alvenaria do quinto pavimento deve estar concluída;
- (f) serviços subempreitados por terceiros são contratados e pagos na forma citada no item anterior. No exemplo da alvenaria, em caso de subempreitada num prédio de dez pavimentos, o encunhamento deve estar pronto no quinto pavimento para poder ser creditada cinquenta por cento da execução do serviço;

Para contornar os problemas apresentados pela discretização dos trabalhos em serviços, foi elaborada uma pesquisa para avaliar a possibilidade de utilizar outro parâmetro capaz de produzir melhores resultados em termos de representação da realidade ocorrida no canteiro. Este trabalho foi executado com auxílio de pesquisa em bibliografia especializada e por meio de entrevistas com os especialistas, está descrito no item a seguir.

### 5.3.2. DIVISÃO DO TRABALHO EM ATIVIDADES

O principal objetivo da desagregação dos trabalhos do canteiro em atividades foi analisar a viabilidade de gerar o plano da obra de acordo com a execução dos trabalhos no canteiro. No plano convencional, a geração do plano é tecnicamente dificultada, pois utiliza como parâmetro o serviço e este não está adequadamente relacionado ao tempo, como as atividades (ver item 5.3.1)

O plano da obra, baseado em serviços, na forma como é executado pelos profissionais, discretiza pouco a obra, dificultando a obtenção de informações detalhadas para o acompanhamento da execução. Este plano é utilizado apenas para indicar metas a serem atingidas em termos de conclusão dos serviços. Nos casos estudados, onde o plano inicial foi acompanhado e alterado de forma a refletir a realidade do canteiro, ficaram visíveis algumas discontinuidades. Este fato reflete a inadequação do parâmetro utilizado e a indicação de que, por mais que seja trabalhado o plano inicial, diversas são as situações capazes de alterá-lo.

No início das entrevistas, os profissionais estavam bastante otimistas com o uso do computador para auxiliá-los na tarefa de planejamento de obras. Portanto, a pesquisa iniciou buscando identificar necessidades diárias de consumo de materiais e serviços. Com o decorrer do trabalho, chegou-se à conclusão de que seria bastante difícil esta tarefa, exigindo que a obra fosse discretizada a nível em operações.

CABRAL (1988) propõe uma metodologia para desagregação dos serviços em operações, indicando inclusive índices de consumo dos insumos para cada uma delas. Esta

possibilidade foi aventada neste trabalho, considerando que forneceria uma quantidade grande de informações bastante detalhadas dos trabalhos no canteiro, as quais seriam de grande valia para a empresa de construção. Entretanto, dada a quantidade de operações identificadas pelo autor e presentes na construção de qualquer edifício, daria muito trabalho à geração do plano e à identificação das operações presentes num determinado projeto, inclusive gerando relatórios muito extensos com a representação do plano da obra. Este fato, desviaria a pesquisa do seu curso inicial, de identificar a possibilidade de utilizar a IA aplicada ao planejamento de edifícios (ver item 1.4).

Portanto, foi possível concluir que quanto mais discretizada a obra, maior o número de informações gerados pelo seu plano e, conseqüentemente, maior o esforço necessário para geração do plano. O gráfico da Figura 5.3, de caráter meramente conceitual, auxilia a visualização do que foi considerado como ponto ótimo para a geração do plano, justificando a escolha da discretização em termos de atividades.

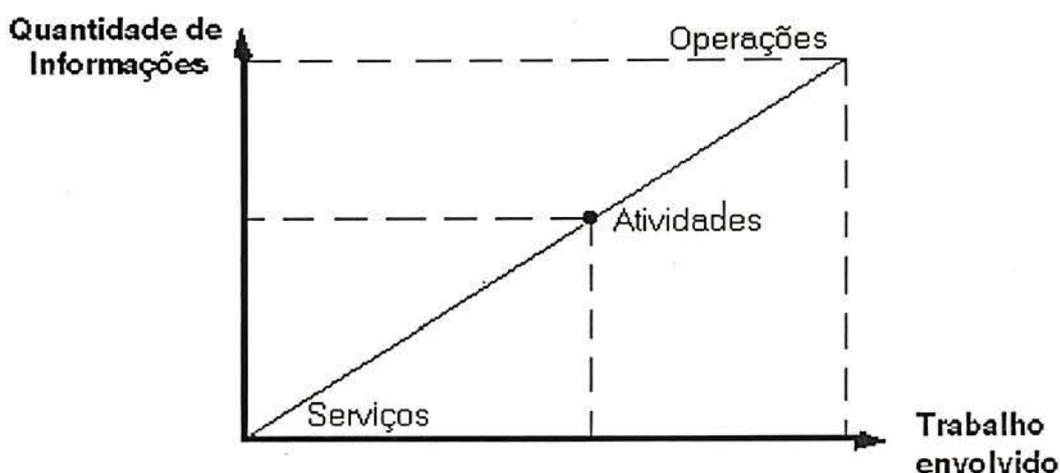


FIGURA 5.3 - Representação gráfica da relação de benefícios obtida com a desagregação dos trabalhos no canteiro

Para facilitar o processo de identificação das possíveis atividades presentes numa edificação, optou-se por separá-las em grandes grupos, onde cada grupo representava estágios da construção, ou seja, grandes metas a serem atingidas. Estas metas foram: Serviços Iniciais, Fundações, Estrutura, Fechamento, Revestimento e Acabamento. Outras atividades que acompanhavam várias etapas da construção e não se identificavam como pré-requisitos para atingir estas metas, foram agrupados num subgrupo chamado despesas. Neste grupo estão algumas atividades, tais como, Limpeza Permanente, Administração da Obra, e até mesmo Elevadores, que possuem seus custos diluídos em diversos meses, apenas com sua execução, no canteiro, de forma puntual. Cabe esclarecer que não era esperada uma rigidez em termos de execução de cada etapa. Diversas atividades dos grupos posteriores são iniciadas sem a conclusão do grupo anterior.

Foram sugeridos outros critérios para agrupamentos destas atividades, tais como apresentados no item 5.3.1, os quais foram rejeitados pelos especialistas. Portanto, o critério adotado foi o considerado mais representativo da realidade dos profissionais em termos de geração de planos de obra.

A tarefa de identificação das atividades foi executada com o auxílio de técnicas de representação intermediária. O conhecimento resultante das entrevistas era modelado, de forma a gerar uma biblioteca de atividades, com seu seqüenciamento representado em linha de balanço. Desta forma, tornou-se possível avaliar a execução das atividades ao longo dos diversos pavimentos.

Foi também proposta a representação das atividades em redes. Porém, esta técnica indicava a necessidade de um desmembramento muito grande dos trabalhos para uma efetiva representação. Mesmo desmembrando o edifício, considerando cada pavimento como uma sub-unidade, não foi obtida a desagregação suficiente para utilização de redes, mas a indicação de que esta seria uma tarefa capaz de consumir muito tempo da pesquisa.

A versão final da biblioteca de atividades foi criada em forma de texto e dividida em subgrupos, os quais estão vinculados às grandes metas a serem atingidas na construção (ver item 6.3).

#### **5.4. SEQÜENCIAMENTO ENTRE SERVIÇOS**

A maioria dos serviços presentes num determinado projeto possui uma grande quantidade de precedências. No entanto, somente algumas destas precedências tornam-se relevantes na geração do plano da obra. Diversos serviços possuem precedências que seus precedentes também possuem, fato que passamos a chamar de redundância. Este fato, bem como os motivos que levam ao estabelecimento das relações de precedências, são o objeto de estudo deste item.

Para facilitar a identificação dos critérios utilizados pelos especialistas para seqüenciamento dos serviços, o plano fornecido em gráfico de barras, foi representado em linha de balanço. Este procedimento identificou uma série de inconsistências nos planos fornecidos, tais como desrespeito de precedências e demanda de pessoal com grande variabilidade. Esta técnica de representação de planos de obra também salientou diversas possibilidades de alteração nas datas dos serviços, capazes de influenciar no plano da obra, entre as quais podem ser destacados:

- (a) opção de início dos serviços nos diversos pavimentos, indicando alterações nas precedências e, conseqüentemente, novas possibilidades de início de serviços sucessores;
- (b) técnicas construtivas a serem adotadas para eliminar certas precedências e/ou possibilitar recursos capazes de alterar o prazo de execução;

- (c) técnicas de canteiro ou regras práticas, capazes de eliminar precedências, levando em consideração a possibilidade de evitar retrabalhos e alterações nos custos de execução;
- (d) seqüenciamento ideal em termos de qualidade do produto final, identificando precedências que possam induzir a uma quantidade mínima de retrabalho;
- (e) possibilidades de atingir uma maior qualidade do produto final, com previsão de alterações nos custos.

#### **5.4.1. REDUNDÂNCIA NO SEQÜENCIAMENTO ENTRE SERVIÇOS**

Para cada serviço é possível identificar uma lista de relacionamentos que podem tornar-se relevantes numa relação de precedência. Para identificar esta relevância, foram realizadas entrevistas com os especialistas, os quais, com o auxílio da representação intermediária, foram capazes de identificar, para cada projeto, os relacionamentos não redundantes entre os serviços.

Este estudo das relações de precedência iniciou-se a nível de serviços e foi aprofundado no estabelecimento de relações entre atividades (item 5.5). Este fato possibilitou duas conclusões, que são:

- (a) a lista de precedências de cada unidade construtiva é tão maior quanto maior a desagregação dos trabalhos;
- (b) dentro de uma lista de precedências, conforme a solução adotada na programação, apenas uma normalmente torna-se efetivamente relevante.

Mais detalhes sobre a elaboração deste trabalho podem ser encontrados no item 5.5X2. A seguir, são discutidos os motivos que levam ao estabelecimento de precedências entre serviços.

#### **5.4.2. CRITÉRIOS DE RELACIONAMENTO ENTRE SERVIÇOS**

Para identificar os motivos que levam ao estabelecimento de precedências entre serviços, foi realizada uma série de entrevistas com os especialistas. Estas entrevistas foram baseadas na lista de precedências de cada serviço (ver Figura 5.4), questionando, a cada item da lista, os critérios que levaram ao estabelecimento da precedência. Esta tarefa foi iniciada a nível de serviços, sendo significativamente intensificada a nível de atividades (ver item 5.5.2)

Com o objetivo de identificar os critérios utilizados pelos especialistas, o plano fornecido originalmente em gráfico de barras foi representado em linha de balanço. Este procedimento salientou uma série de possibilidades de alterações e quebra de precedências em cada plano, identificando inclusive diversas possibilidades em termos de tempo para execução dos edifícios.

A representação destes critérios no papel, permitiu o estabelecimento da relação de precedências entre atividades, as quais estão descritas no item a seguir.

## 5.5. SEQÜENCIAMENTO ENTRE ATIVIDADES

Para o estabelecimento da seqüência entre atividades, os especialistas utilizaram critérios provenientes de sua experiência na profissão. Para aquisição deste conhecimento, foi utilizado como referência a pesquisa desenvolvida por FORMOSO (1991), baseada num estudo de KÄHKÖNEN e ATKIN (1990). O processo de identificar as relações de precedências foi, inicialmente, realizado a nível de serviços, os quais, apesar de apresentarem um nível de desagregação inferior ao das atividades, possuem características muito semelhantes.

A modelagem deste conhecimento foi executada para cada atividade identificada, sendo o conhecimento registrado em fichas, tal como a apresentada na Figura 5.4. Assim, para cada atividade, elaborou-se uma relação de suas precedências, com seus respectivos tipos e fatores, bem como diversas características de sua execução.

REBOCO PAREDES EXTERNAS		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- exige andaimes para movimento nos pavimentos e régua para alisar o reboco.</li> <li>- é executada por uma equipe composta de pedreiros e serventes.</li> <li>- exige a presença de salpique externo para garantir a aderência. Isto ocorre, pois os planos possuem muita área e a tensão de cisalhamento é grande.</li> <li>- pode ser executado com argamassa mista, de modo a economizar tempo e dinheiro, eliminando a presença do emboço.</li> <li>- em caso de revestimento externo com pedras, plaquetas ou fulget, não é necessário o desempenho. Entretanto, deve ser perfeitamente alinhado e aprumado.</li> <li>- para sua aplicação, as paredes não devem ser excessivamente molhadas, de modo a garantir melhor aderência.</li> <li>- quando se tratar de revestimento externo com material cerâmico ou pedras, deve ser iniciado de cima para baixo.</li> </ul>		
Precedências	Fator	Tipo
Chapisco Paredes Externas	Cobrimento	Fim p/ Início
Emboço Paredes Externas	Cobrimento	Fim p/ Início
Duração: ver Fig 5.6		

Figura 5.4 - Exemplo de cartão com dados sobre cada atividade

Esta forma de organização do conhecimento possibilitou a identificação de três aspectos do relacionamento: (i) evitar redundâncias no relacionamento entre atividades, (ii) identificar, dentro da lista de precedências, aquela realmente responsável pelo sequenciamento e (iii) tornar explícita a relação de precedência e, desta forma, auxiliar na busca de alternativas construtivas capazes de evitar a relação de precedência.

Para representar a relação de precedência entre atividades, foram utilizadas basicamente três informações, que são: (i) tipo de precedência, (ii) fator de precedência e (iii) as atividades precedentes. Os subitens a seguir fornecem informações mais detalhadas sobre os critérios adotados na representação do relacionamento entre atividades.

### 5.5.1. TIPO DE PRECEDÊNCIA ENTRE ATIVIDADES

O tipo de precedência entre duas atividades indica a data de início da atividade sucessora, em relação à data de execução das precedentes. Este conhecimento foi adquirido na bibliografia (FORMOSO, 1991, KARTAM e LEVITT, 1991) e por meio de entrevistas com os especialistas, cujas respostas eram gravadas e representadas, tal como descrito na Figura 5.6. Para execução desta tarefa foi bastante utilizada a técnica da linha de balanço, de forma a representar o plano original, fornecido pelos profissionais, ao longo dos pavimentos. Os três tipos de precedências identificados estão descritos a seguir:

- (a) Início para Início - É um tipo de precedência que exige que a atividade antecedente seja iniciada para que sua sucessora possa ser iniciada. Geralmente assume um intervalo de tempo, o qual pode ser determinado em função da duração de cada atividade ou mesmo da técnica empreendida na execução dos trabalhos.
- (b) Fim para Início - Exige que a atividade precedente seja concluída para que a sucessora possa ser iniciada. É um tipo de precedência muito comum em redes PERT/CPM e tão mais usadas na construção de edifícios quanto maior for a discretização dos trabalhos no canteiro.
- (c) Fim para Fim - Trata de atividades que devem ter sua conclusão ligada à conclusão da precedente. É um tipo de ligação muito comum, principalmente com atividades de curta duração, as quais devem ser iniciadas o mais próximo possível da conclusão da atividade precedente.

### 5.5.2. FATOR DE PRECEDÊNCIA ENTRE ATIVIDADES

Muitas vezes, para execução de uma atividade, não existe apenas uma precedente, nem apenas um motivo que leve ao estabelecimento da relação de precedência entre duas atividades. Neste sentido, procura-se identificar os motivos que levam ao estabelecimento de precedências entre duas atividades. Para isso, durante as entrevistas formais, questionou-se os especialistas sobre os fatores que levam às precedências. Assim, foi possível estudar com maior profundidade as relações de precedência entre as atividades, facilitando a obtenção de um consenso entre os especialistas e uma maior credibilidade do conhecimento obtido.

Muitos dos motivos identificados repetiam-se nas relações entre várias atividades. Portanto, apesar desta tarefa ter sido executada apenas sobre os projetos indicados, espera-se que possa ser aplicada a diversas outras atividades que venham a ser identificadas por futuros interessados em dar seqüência a este trabalho. A seguir estão descritos os fatores de dependência entre atividades identificados neste trabalho:

- (a) **INFORMAÇÕES ÚTEIS** - Possibilita informações úteis para o desenvolvimento da atividade subsequente. São informações tais como previsão de custos ou tempo de execução, cuja precedência pode ser contornada. Como exemplo, pode-se citar a atividade de sondagem para previsão da profundidade média e tipo de estaca a ser utilizada (se o terreno é conhecido e o usuário sabe o tipo de estaca a ser utilizada, a precedência com a sondagem pode ser eliminada).
- (b) **INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS** - Fornece informações para a execução de seus sucessores, os quais não poderiam ser executados sem estas. Como exemplo, pode-se citar o projeto de locação de pilares, indicando o posicionamento dos pilares para execução da locação da obra.
- (c) **SEGURANÇA FURTO** - Garante segurança quanto a furtos de materiais e equipamentos da atividade sucessora. Como exemplo, temos o tapume e barracão para vigia noturno, a fim de evitar que sejam furtadas ferramentas e materiais do canteiro.
- (d) **SEGURANÇA DANOS** - Garante segurança a danos que causem retrabalho a outras atividades. Como exemplo, pode-se citar a execução dos acabamentos dos pisos após a execução dos rebocos, que evita danos aos pisos, previamente colocados, pelo trânsito de materiais e pessoal.
- (e) **SEGURANÇA PESSOAL** - Trata de atividades que devem ser previamente executadas para garantir a segurança física do pessoal no canteiro ou transeuntes que circulem nas proximidades. Por exemplo, devem ser colocadas bandejas salva-vidas antes dos revestimentos externos, assim como o tapume previamente às demolições de construções existentes.

- (f) **APROVEITAMENTO RECURSOS** - Este fator trata de pessoal ou equipamento que esteja sendo utilizado numa atividade e que deverá ser empregado na subsequente. É um fator que pode ser contornado, se contratada mais mão-de-obra ou equipamentos. Como exemplo, podemos citar os andaimes, os quais, quando utilizados no revestimento de uma das fachadas externas da edificação, impossibilitam a execução de revestimento nas demais fachadas, caso não sejam utilizados mais andaimes. Outro exemplo, em termos de mão-de-obra, são os profissionais utilizados na execução de armadura. Enquanto estes executam uma certa armadura, não podem estar executando outra a ser utilizada mais tarde.
- (g) **COBRIMENTO** - Trata de atividades executadas em camadas, que exigem a execução da camada anterior para sua execução. Como exemplo, podemos citar a pintura, que não pode ser executada sem que o reboco esteja pronto.
- (h) **APOIO ESTRUTURAL** - Ocorre quando uma atividade produz um elemento capaz de providenciar uma base de fixação para outro elemento. executado por outro serviço.
- (i) **SEGURANÇA CLIMA** - A execução de algumas atividades pode ser prejudicada ou mesmo ter sua duração alterada por influência do clima. Para evitar estes problemas, alguns elementos construtivos devem ser executados com antecedência, para evitar que o clima possa causar influências negativas sobre outros. Como exemplo, pode-se citar as paredes externas, executadas antes das internas, para evitar que a chuva impeça trabalhos internos na edificação. Outro exemplo, seria a colocação de vidros nas janelas, para garantir o fechamento, evitando danos que a chuva possa causar aos pisos e revestimentos internos.
- (j) **NECESSIDADE TERMINADA** - Ocorre quando um elemento deixa de ser necessário no canteiro. Como exemplo, pode-se citar as instalações provisórias, as quais, em determinada etapa da construção, deixam de ser necessárias e exige-se sua retirada para execução de outras atividades no local.
- (k) **FLEXIBILIDADE** - quando mais de uma atividade está sendo executada num mesmo espaço físico, a ordem de execução é da menos flexível para a mais flexível. Como exemplo, pode ser citada a instalação elétrica e hidráulica numa mesma área. A instalação hidráulica deve ser anteriormente executada, pois é mais difícil executar desvios em sua tubulação.

Dentre os motivos identificados, alguns são obrigatórios e resultantes da natureza do processo produtivo. No entanto, existem muitas possibilidades de alterações no planejamento previamente estabelecido e que exigem decisões no decorrer do processo produtivo. Para isso, alguns dos fatores podem ser quebrados. Este fato levou a realização de entrevistas com os profissionais para identificar técnicas construtivas capazes de eliminar estas precedências. O item a seguir descreve como se desenvolveu esta tarefa.

### 5.5.3. QUEBRA DE PRECEDÊNCIAS ENTRE ATIVIDADES

A quebra de precedência significa a possibilidade de evitar a atuação de determinadas relações de precedência. Para que isto ocorra, são necessárias algumas atitudes a serem tomadas pelo gerente do canteiro para viabilizar a quebra de precedências. Portanto, ela está intimamente ligada ao critério adotado no estabelecimento da precedência. Por exemplo, o critério de "informações úteis" pode ser quebrado se forem conhecidas certas informações provenientes da atividade precedente.

Algumas destas quebras são bem intuitivas enquanto que outras exigem conhecimento de técnicas construtivas próprias de cada atividade, as quais são provenientes da experiência do profissional em situações reais de trabalho. Para aquisição deste conhecimento, foram realizadas entrevistas de modo bem direto, questionando ao profissional práticas construtivas capazes de eliminar determinadas precedências, estabelecidas principalmente pelo fator de "Segurança Danos".

A representação intermediária do conhecimento referente à quebra de precedências foi efetuada através de regras escritas em linguagem humana. Estas regras estão presentes no cartão representativo de cada atividade, sendo que, na linha referente à atividade precedente, existe apenas a indicação da possibilidade de quebra, com as regras representadas logo abaixo. Um exemplo desta representação encontra-se na Figura 5.4.

A utilização de representação intermediária viabilizou a busca de consistência ao conhecimento adquirido, por meio de consulta aos diversos especialistas, os quais podiam claramente identificar o conhecimento presente na regra. Este trabalho foi posteriormente estendido, de modo a identificar condições de alterar o ritmo das atividades e sua influência no tempo total da construção.

## 5.6. DURAÇÃO DOS SERVIÇOS

Existem duas formas de alterar a duração total do plano de um projeto quando já estão definidos os serviços, que são: (i) alterar o seqüenciamento dos trabalhos e (II) alterar a duração dos serviços do caminho crítico. O primeiro foi analisado no item anterior e o segundo é o objeto de estudo deste item.

Para a identificação de possibilidades de prazos para execução de serviços, poder-se-ia ter produzido um trabalho de porte bem maior, exclusivamente sobre o assunto (ver sugestões de novos trabalhos 7.3). Neste estudo, foram apenas identificados, por meio de entrevistas estruturadas (ver item 4.3.2), as possibilidades de alteração do prazo de execução de cada serviço no canteiro e sua influência no plano global da obra. Nestas entrevistas, foram colocadas questões do tipo:

- (a) Quais os fatores globais capazes de alterar a duração do projeto?
- (b) Existem influências sazonais capazes de influenciar nos fatores globais do projeto?

- (c) Existem fatores de localização capazes de influenciar na duração de um projeto?
- (d) Como seria possível acelerar a execução de determinado serviço e quais as conseqüências em termos de custo total da obra?
- (e) Qual o tempo considerado ideal para execução do serviço e quais os motivos que levam a este ritmo?
- (f) Alterando o prazo de execução, seriam possíveis obter vantagens em termos de diminuição do custo final, diluição de custos e qualidade do produto final?
- (g) Quais os principais fatores externos capazes de alterar o ritmo de execução deste serviço?

A resposta a estas questões foram obtidas por meio de entrevistas gravadas, as quais foram posteriormente transcritas no papel. A representação do conhecimento referente a este assunto, deu-se basicamente por meio de regras escritas em Português, nos cartões representativos de cada serviço e, posteriormente, de cada atividade (ver itens 5.4 e 5.5). Estas regras foram agrupadas em dois grandes grupos: (i) o primeiro representava a construção como um todo e (ii) o segundo dizia respeito exclusivamente a cada serviço, indicando a possibilidade de alteração no seu prazo, por meio de incrementos de recursos, treinamento de funcionários, tecnologias construtivas, subempreitada de serviços, enfim, identificando condições capazes de alterar a duração de cada serviço.

Esta tarefa também possibilitou o conhecimento de noções gerais para estabelecimento de valores próprios ("defaults"), baseado nos dados fornecidos pelos especialistas (ver item 6.3.2.4). Este estudo foi elaborado apenas com os serviços presentes nas obras analisadas (ver item 5.1). Portanto, não foi elaborado um estudo para identificar serviços alternativos em substituição aos do projeto, os quais seriam capazes de alterar a duração total da obra e possibilitar alterações nos custos e na construtibilidade do projeto (ver item 7.3).

Como exemplo da forma como se desenvolveu esta tarefa, a Figura 5.5 apresenta uma descrição geral deste processo. No item 5.7 é apresentado um cartão representativo de uma das atividades identificadas neste trabalho e a representação do conhecimento relativo ao tempo de sua execução.

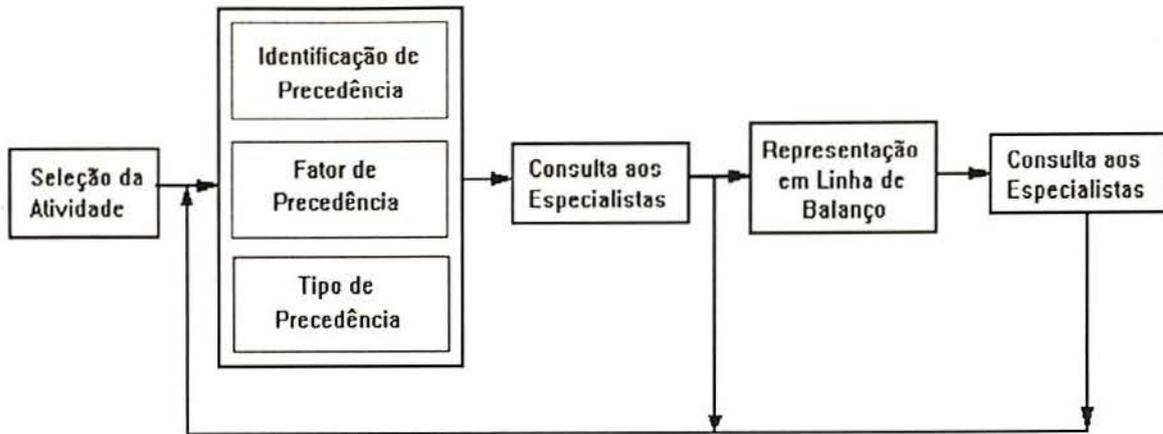


Figura 5.5 - Processo de aquisição do conhecimento sobre duração das atividades.

Como pode-se notar, foi um trabalho que exigiu uma intensa participação dos profissionais especializados na tarefa de PPO.

## 5.7. DURAÇÃO DAS ATIVIDADES

O estudo de durações das atividades foi o que mais consumiu tempo com entrevistas e causou maior dificuldade em termos de adquirir e modelar o conhecimento dos especialistas. Estima-se que foram consumidas, em todo o período de entrevistas, entre cinquenta e oitenta horas de consulta aos especialistas, sendo que aproximadamente setenta por cento deste tempo foi dispendido no processo de aquisição do conhecimento relativo à duração das atividades.

É um conhecimento proveniente basicamente da experiência do profissional e para sua modelagem, pouco apoio foi obtido na bibliografia. Esta apresenta apenas recomendações generalistas, relacionadas à qualidade e à produtividade na CC. Não foi encontrado nada que indicasse parâmetros capazes de alterar o ritmo de cada atividade, ou até que ponto podem ser obtidos ganhos na velocidade de execução.

Este conhecimento, à medida que ia sendo adquirido, era modelado por meio de regras ou frases explicativas, escritas em cada cartão representativo das atividades. Esta atitude gerou a identificação de dois tipos de conhecimento: (i) específicos da atividade, tal como incrementar o ritmo através da utilização de equipamentos exclusivos para execução de determinadas atividades e (ii) conhecimento capaz de alterar a duração de diversas atividades, tal como aumentar o número de profissionais no canteiro ou utilizar guindaste para transporte vertical.

A figura 5.6 apresenta um cartão representativo de uma atividade que serve de exemplo para demonstrar a linguagem utilizada e forma de representação das regras nos respectivos cartões.

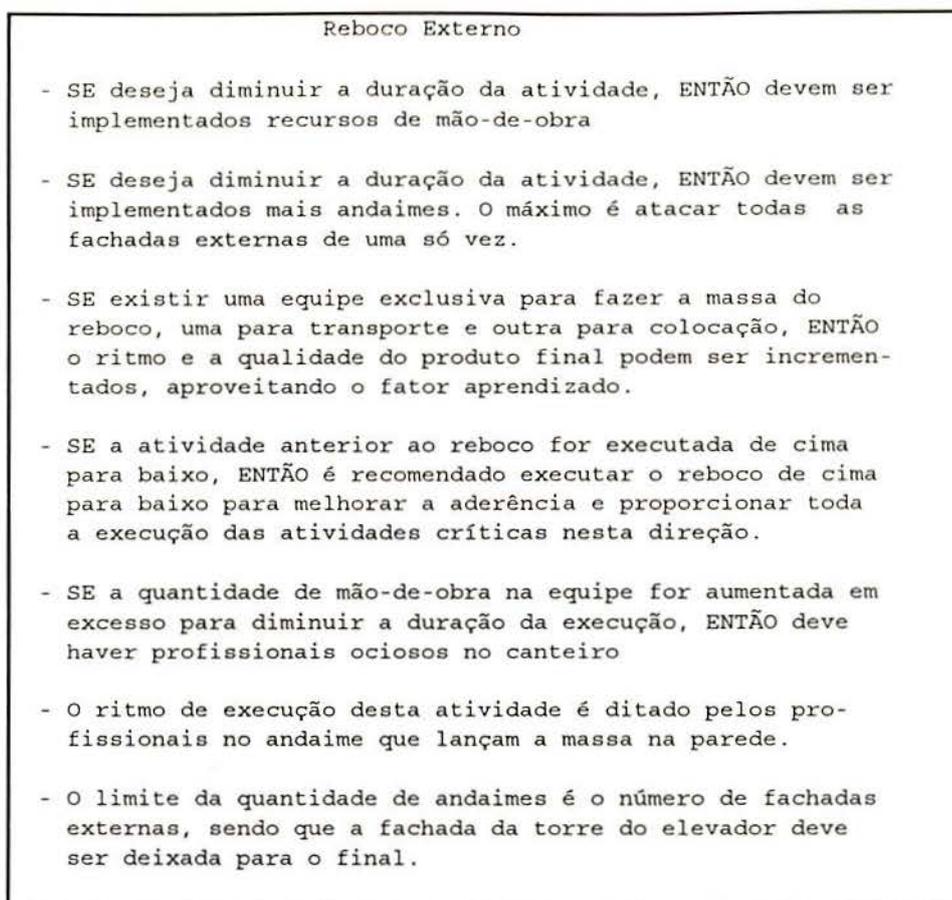


Figura 5.6 - Representação intermediária do conhecimento referente à execução da atividade Reboco Externo.

Para o estudo das durações, as atividades foram divididas em dois grupos: (i) o primeiro diz respeito a atividades executadas verticalmente, ou seja, que sua representação na Linha de Balanço envolva sua execução ao longo dos pavimentos e (ii) a segunda, trata de atividades executadas horizontalmente, ou seja, que possuem sua representação como uma barra horizontal na mesma técnica. A seguir são apresentadas algumas características destes dois tipos de atividades.

### 5.7.1. ATIVIDADES DE EXECUÇÃO VERTICAL

As atividades deste grupo possuem características semelhantes quanto a sua disposição na geração do plano:

- (a) são geralmente executadas seqüencialmente, tendo seu ritmo estabelecido em termos de pavimentos completados;
- (b) a alteração, na direção de execução de qualquer atividade, deve implicar em profundas alterações na direção da execução das atividades sucessoras e no plano inicialmente concebido;

- (c) suas relações de precedência estão muito ligadas ao ritmo de execução das atividades antecedentes ao longo dos pavimentos;
- (d) suas durações apresentam-se de modo variável, com algumas executadas em tempo bastante reduzido, as quais, em geral, têm seu início retardado de modo a serem concluídas junto com sua precedente;
- (e) exigem um controle rigoroso do planejamento, de modo a indicar, com precisão, a entrada de equipes subcontratadas, especializadas na execução de certas atividades;
- (f) a execução simultânea de várias atividades, num mesmo pavimento ou mesmo em pavimentos diferentes, pode causar congestionamento em termos de movimentação de mão-de-obra e de materiais na edificação;
- (g) são atividades suscetíveis ao uso de técnicas para incremento de produtividade dentro do canteiro, tais como treinamento de mão-de-obra, rotinização e desenvolvimento de ferramentas especiais, pois são repetitivas ao longo dos diversos pavimentos;
- (h) para estimativa de duração pode-se levar em consideração a curva de aprendizagem (ROSSO, 1980) se a atividade for executada por uma mesma equipe ao longo dos pavimentos.

O nível de discretização destas atividades poderia ter sido bem maior, tomando cada pavimento como uma unidade construtiva. Entretanto, a possibilidade de utilização de uma mesma equipe para execução contínua ao longo dos diversos pavimentos e a forma como realmente são executadas no canteiro, indicaram que era uma atitude desnecessária. Além disso, quando foi acompanhada sua execução através do cronograma da obra, foi considerado mais vantajoso indicar o percentual total de execução em função do número de pavimentos do que inserir no plano tantas linhas quanto forem os números de pavimentos para cada atividade.

### 5.7.2. ATIVIDADES DE EXECUÇÃO HORIZONTAL

As atividades do segundo grupo estão normalmente localizadas na fase inicial da construção e vão desde a elaboração de projetos até o estaqueamento. Na fase final da construção são encontradas outras atividades deste tipo, tais como desmontagem de instalações provisórias, ajardinamento e playground. Podem, então, ser caracterizadas como atividades executadas ao nível do terreno.

Sofrem a influência de diversas variáveis externas, algumas das quais já estão citadas no item 2.3. Entre as variáveis que devem ser levadas em consideração para estabelecer o tempo de duração para estas atividades, podemos destacar:

- (a) condições iniciais do terreno;
- (b) características do solo e subsolo;
- (c) disponibilidade de recursos na fase inicial da construção;

- (d) facilidade de acesso ao canteiro;
- (e) relevo do terreno;
- (f) disponibilidade no mercado de contratação de empresas especializadas na execução de determinadas atividades (principalmente para cravamento de estacas e equipamentos de escavação);
- (g) influências do clima.

Como visto, as atividades deste grupo possuem características próprias capazes de diferenciá-las das atividades descritas no grupo anterior. No entanto, muitas características relacionadas à duração são comuns às diversas atividades. Este assunto é objeto de discussão do item a seguir.

### 5.7.3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA DURAÇÃO DAS ATIVIDADES

Com poucas exceções, as principais variáveis capazes de incrementar o ritmo de execução das atividades estão relacionadas ao número de profissionais, envolvidos em cada equipe, e a quantidade a ser executada. Algumas atividades, além do fator mão-de-obra, apresentam características bem próprias capazes de alterar sua duração. Por exemplo, o uso de dois ou mais jogos de fôrmas para estrutura de concreto, é um fator de vital importância para determinar a duração da execução da estrutura. Portanto, neste trabalho, as entrevistas foram dirigidas de modo a se obter características generalistas e também próprias de cada atividade, capazes de influir na duração do empreendimento.

O conhecimento adquirido dos especialistas foi representado por meio de regras escritas em linguagem humana. Para cada condição alterada, tanto em termos gerais quanto em termos de atividade, era questionada a interferência no plano da obra. Esta atitude, deve-se ao fato de possibilitar a obtenção de valores próprios para execução das atividades. Maiores detalhes sobre a importância destes valores estão descritos no item 6.3.2.4 deste trabalho.

Para obtenção dos dados numéricos referentes à duração de cada atividade, não foram executadas medições no canteiro. Seria uma grande contribuição estabelecer constantes para cada atividade capazes de servirem de base de cálculo da duração. No entanto, este seria um trabalho de caráter específico, que ficou como sugestão para futuros trabalhos (ver item 7.3).

Os valores adotados para durações, presentes neste trabalho, são provenientes da experiência dos especialistas em planejamento de obras e indicam prazos considerados satisfatórios para execução das atividades. Estes profissionais, tal como a bibliografia, indicam que as atividades possuem um ritmo próprio de execução, o qual deve ser acompanhado no canteiro de modo a evitar atrasos em sua conclusão. Para auxiliar o especialista nesta tarefa, para cada atividade identificada neste trabalho, estão listados os fatores capazes de influenciar no ritmo de execução. Este

conhecimento está presente nos cartões representativos de cada atividade e, quando acompanhada a execução de determinada atividade, pode ser consultado de forma a obter procedimentos capazes de recolocá-lo no curso pré-estabelecido.

No capítulo, a seguir, é abordada a forma como o conhecimento adquirido dos profissionais e modelado na representação intermediária foi representado no ambiente computacional, juntamente com as técnicas adotadas na programação, as quais são responsáveis pela utilização deste conhecimento.

# CAPÍTULO 6

## 6. DESCRIÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

O conhecimento adquirido dos especialistas e modelado através da representação intermediária foi implementado num ambiente computacional de modo a formar a base de conhecimento do SE. Para isso, foram utilizados formalismos de representação próprios da "Shell" denominada Kappa. Os motivos que levaram ao uso desta "Shell" estão descritos no item 4.4.2 e o conhecimento a ser implementado, o qual está modelado na representação intermediária, está descrito no capítulo anterior.

Este capítulo apresenta a implementação do conhecimento no Sistema Especialista, o qual denominamos SEppo (Sistema Especialista para Planejamento de Obras) e está dividido em seis subitens, que são:

- 6.1 apresenta uma visão geral do funcionamento do sistema com descrição das diversas etapas de interação com o usuário;
- 6.2 apresenta a estrutura interna do sistema, descrevendo os formalismos utilizados na criação da base de conhecimento do sistema, hierarquia de objetos, herança de propriedades e mecanismos de inferência;
- 6.3 descreve as diversas etapas de iteração com o sistema e as respectivas técnicas de programação utilizadas na realização das tarefas;
- 6.4 apresenta os relatórios gerados para acompanhamento do plano;
- 6.5 descreve impressões fornecidas pelos especialistas sobre a utilização do SEppo.

Maiores detalhes sobre o funcionamento e potencialidades do ambiente computacional, utilizados ou não na criação do SEppo, estão disponíveis no manual do Kappa (KAPPA MANUAL, 1991).

### 6.1 DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA

O SEppo possui habilidades e conhecimento referentes a quatro tarefas, as quais podem ser consideradas como estágios na geração do plano da obra, que são:

- (a) a primeira refere-se a uma descrição geral da edificação a ser planejada. Apresenta algumas questões consideradas pelos especialistas de fundamental importância para a geração do plano. São informações de contexto e dizem respeito ao local onde será executado o projeto e ao produto edificação propriamente dito;

- (b) a segunda etapa refere-se à seleção das atividades presentes na edificação;
- (c) a terceira é referente ao estabelecimento do ritmo da construção, onde são apresentadas ao usuário questões referentes ao estabelecimento das durações das atividades e do tempo total necessário à execução do empreendimento;
- (d) a quarta etapa é referente à geração do plano da obra.

O conhecimento e os mecanismos de inferência referentes à utilização do SEPPO estão presentes em um mesmo ambiente. Portanto, o sistema não está dividido em módulos, tal como alguns dos SE descritos na bibliografia (ver item 3.2) e recomendado por alguns pesquisadores da área (ver item 4.4.2). Este fato se deve, principalmente, à evolução do "hardware" e do "software" utilizado, os quais são capazes de gerenciar maior capacidade de informações simultaneamente. Com isso, nos objetos representativos das atividades da construção, são encontradas propriedades referentes às diversas etapas de utilização do sistema, envolvidas na tarefa de planejamento de obras.

A Figura 6.1 apresenta uma descrição geral do sistema implementado com seus respectivos ambientes computacionais utilizados. Nos itens a seguir é justificado o emprego de cada um dos ambientes, bem como as técnicas de programação adotadas nas diversas tarefas do sistema. Maiores informações sobre o sistema ORTEC e planilha eletrônica EXCEL podem ser encontradas nos respectivos manuais.

Na interação com o usuário, o sistema é capaz de adotar valores próprios, os quais normalmente são assumidos pelos especialistas quando não são conhecidas as informações solicitadas. Desta forma, é possível a geração do plano mesmo quando a descrição do projeto está incompleta.

## 6.2 ESTRUTURA INTERNA DO SISTEMA

Kappa é um "software" especialmente desenvolvido para elaboração de sistemas com base de conhecimento. Para isto, estão disponíveis uma série de alternativas, tanto em termos de técnicas de programação, como representação e manipulação de objetos. Entre estas, pode-se citar: representação hierárquica de objetos, programação baseada em regras com caminhamento direcionado para frente e para trás ("Backward" e "Forward Chaining") e diversas funções e objetos pré-estabelecidos para uso no desenvolvimento das mais diversas aplicações.

Para representação do conhecimento, Kappa permite a utilização de dois dos formalismos descritos no item 4.4, os quais são Regras e Frames. As Frames são utilizadas para representar objetos (ver item 6.2.2) os quais podem ser relacionados por meio de regras ou linguagem de programação.

## DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO COMPUTACIONAL

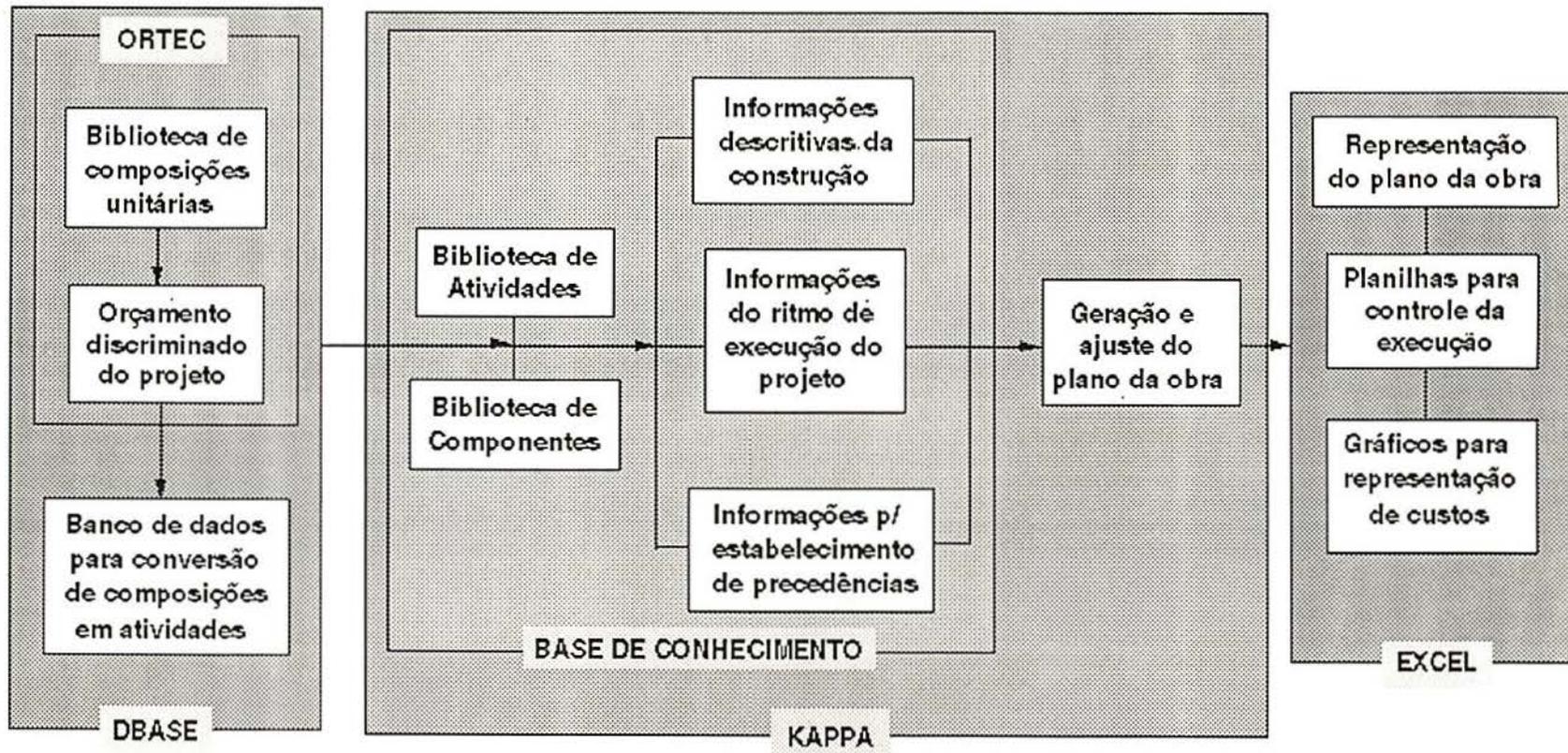


FIGURA 6.1. Descrição geral do modelo computacional

### 6.2.1. HIERARQUIA DE OBJETOS

Os objetos em Kappa são a base de representação do conhecimento e podem ser relacionados entre si, de modo a representar conceitos ou objetos do mundo real (KAPPA MANUAL, 1991).

Considerando um edifício como um objeto, este possui atributos, tais como cor, custo e localização. Também possui componentes, tais como portas, paredes, telhados e janelas. Em Kappa, estes objetos podem ser representados como classes ou instâncias. Uma classe pode ser definida como um objeto geral e instância como um objeto específico, tal como um membro individual de uma classe.

Como exemplo de classe e instâncias, a Figura 6.2 apresenta uma das hierarquias presente no SEPPO, onde Estacas representa uma classe, a qual possui diversas instâncias que representam tipos de estacas que podem estar presentes numa determinada edificação.

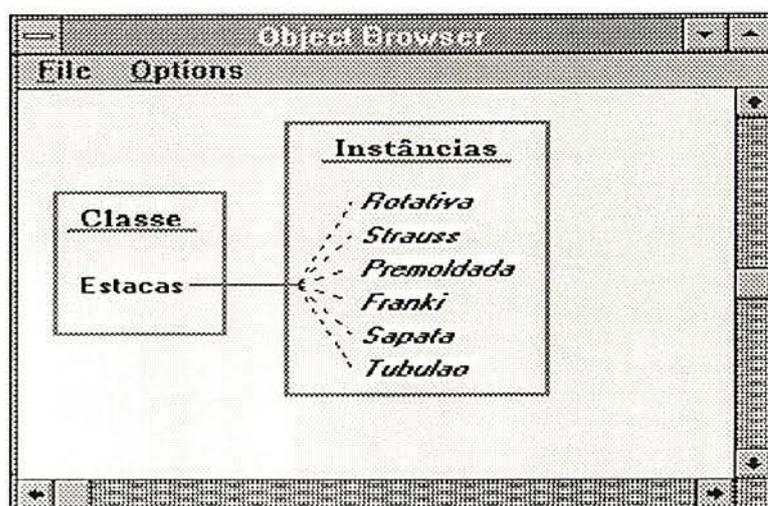


FIGURA. 6.2 - Exemplo de hierarquia de objetos no KAPPA.

Desta forma, a classe Estacas possui propriedades que são herdadas pelas suas instâncias, as quais podem possuir propriedades próprias que não são herdadas por nenhum outro objeto. Por exemplo, a classe Estacas possui propriedades, tal como custo total de execução e duração de sua execução no canteiro que devem ser herdadas por suas instâncias. Por outro lado, suas instâncias apresentam características próprias, tal como uma descrição específica do tipo de tecnologia exigida na sua execução. No SEPPO são muito poucos os casos de propriedades específicas de instâncias e todas as que ocorrem dizem respeito apenas a descrição do objeto.

No SEPPO, existe uma grande classe denominada *Edificacao*, a qual possui duas sub-classes denominadas Atividades e Componentes, as quais representam as duas grandes hierarquias do sistema. A subclasse Atividades é o superior de uma hierarquia que representa as diversas

atividades que formam a biblioteca do sistema, identificadas de acordo com os procedimentos descritos no item 5.3.2. A subclasse Componentes, superior hierárquico dos diversos componentes presentes no sistema, foi criado com base em uma outra pesquisa em desenvolvimento na UFRGS, a qual visa representar de forma hierárquica os diversos componentes presentes numa edificação em um sistema CAD (ver item 6.2.1.2). Desta forma, com base nas propriedades destes objetos, busca-se automatizar a representação gráfica do projeto (ver item 7.3). A Figura 6.3 apresenta um resumo da hierarquia presente no sistema e a seguir são apresentados maiores detalhes sobre as hierarquias de Atividades e Componentes.

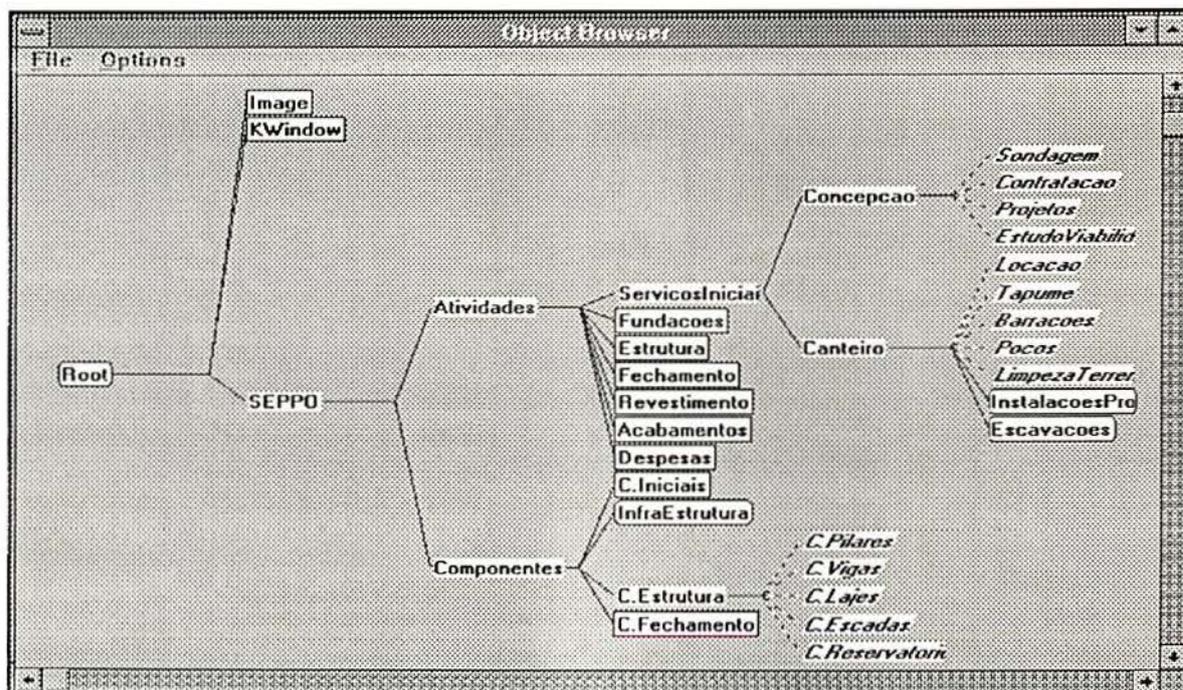


FIGURA 6.3 Resumo da hierarquia de atividades e componentes

### 6.2.1.1. HIERARQUIA DAS ATIVIDADES

As atividades identificadas nos projetos analisados (ver item 5.1) estão representadas hierarquicamente. O critério utilizado para agrupamento foi o mesmo adotado na representação intermediária, ou seja, de acordo com os grandes estágios de execução da obra (ver item 5.3). Entre as classes representativas destes estágios e as instâncias representativas das atividades, ocorrem diversas subclasses intermediárias, as quais possuem basicamente duas funções, que são:

- representar estágios intermediários de execução das grandes fases da obra;
- agrupar atividades de propriedades semelhantes, de forma a incrementar a organização da representação hierárquica. Como exemplo, a subclasse escavações apresenta duas instâncias (EscavaçãoManual e EscavaçãoMecânica), as quais podem ambas estar presentes na execução da obra (ver Figura 6.4).

Portanto, como se pode observar, os critérios adotados na representação das atividades na base de conhecimento são abstratos, baseado em conhecimentos heurísticos de especialistas no planejamento de obras. A Figura 6.4 apresenta grande parte da hierarquia do meta-estágio Serviços Iniciais, na forma como estão representados no SEPPO.

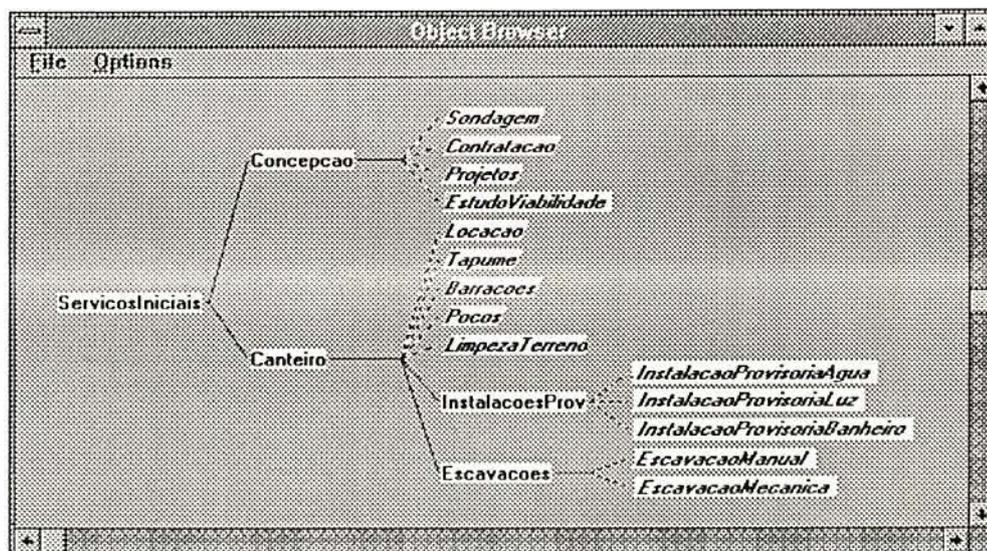


FIGURA. 6.4 Representação da hierarquia dos Serviços Iniciais

A hierarquia de atividades, representada no ambiente computacional, serve de base à geração do plano da obra. No entanto, em determinados projetos pode ocorrer a existência de atividades que não estão presentes na base original do SEPPO (ver item 7.3). Esta possibilidade de inserir atividades é uma recomendação dos especialistas e de pesquisadores (FORMOSO 1991). Foi prevista na elaboração do trabalho e deve ser executada com as ferramentas próprias da "Shell" (ver manual do Kappa). Para que uma atividade venha a fazer parte do plano da obra, basta que seja indicada sua localização dentro dos meta-estágios da construção e devidamente indicada suas relações de precedência (ver item 6.3.3.1).

#### 6.2.1.2. HIERARQUIA DE COMPONENTES

Atualmente a hierarquia dos Componentes no sistema é usada exclusivamente para auxiliar a seleção de atividades presentes num determinado projeto. Como exemplo, se o usuário indica a existência de pilares, os quais serão executados com tecnologia tradicional, então as atividades de execução das fôrmas, armaduras, concretagem e desforma dos pilares serão automaticamente indicadas como presentes no plano da construção. O modo como o sistema obtém estas conclusões está descrito no item 6.3.2.2.

O critério adotado para representação hierárquica dos componentes no SEPPO foi o mesmo adotado na representação das atividades (ver item 6.2.1.1). A Figura 6.3 apresenta um resumo da hierarquia representativa dos componentes da edificação.

Os procedimentos empregados para inserir e deletar os objetos representativos dos componentes são os mesmos das atividades. A principal diferença entre estas está nos "Slots", os quais representam as propriedades dos objetos. As atividades possuem características que dizem respeito à geração do plano, enquanto que os objetos apresentam características que dizem respeito às suas dimensões e coordenadas de localização no projeto, as quais são necessárias para representação gráfica do projeto. Esta possibilidade de alteração ainda não está disponível na presente versão do SEPPO, mas futuramente poderá ser facilmente implementada.

## 6.2.2. FRAMES PARA REPRESENTAR OBJETOS

Os objetos no Kappa são representados em forma de Frames, tal qual a apresentada na figura 6.5, que representa a atividade de execução de fôrmas das vigas, denominado FormasVigas.

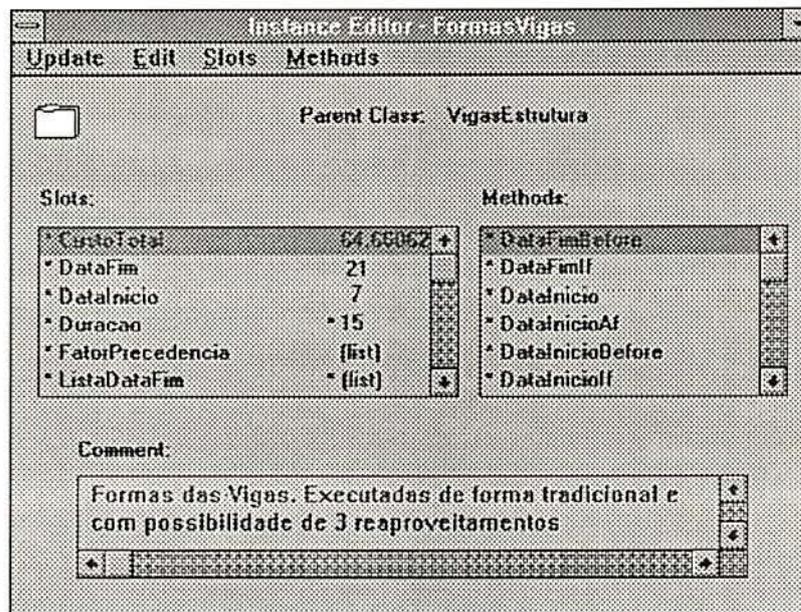


FIGURA 6.5 Frame representativa do objeto FormasVigas

As Frames possuem "Slots", métodos e um campo para comentários. São manipuladas por meio de menu, como representado na parte superior da Figura 6.5. Este é responsável pela manipulação das informações presentes na Frame, tais como: criar, deletar e alterar o nome de "Slots" e Métodos (Slots e Methods), editar o campo de comentários (Edit), salvar, renomear e criar novas Frames a partir da presente (Uppdate).

O campo de comentário (Comment:) serve para armazenar informações adicionais do objeto, além das presentes nos "Slots". São informações referentes ao motivo pelo qual o objeto foi criado, sua função no sistema, posição na hierarquia, enfim, informações que dizem respeito ao objeto representado. "Slots" e Métodos também possuem este campo para inserir comentários.

### 6.2.2.1. "SLOTS"

"Slots" podem ser definidos como os responsáveis pela descrição de um determinado objeto no computador, representando propriedades de objetos do mundo real. Um objeto pode possuir tantos "Slots" quantas forem as características que se deseja representar.

Podem ser próprios de determinado objeto ou mesmo herdados de superiores hierárquicos. No primeiro caso representam atributos exclusivos dos objetos, os quais podem ser aplicados a seus descendentes. No segundo, expressam propriedades herdadas, as quais são definidas no objeto mais apropriado, de forma a que todos os seus descendentes herdem esta propriedade.

"Slots" podem assumir valores do tipo booleano (Verdadeiro ou Falso), caracter ou numérico, ambos capazes de receber um único valor ou uma lista de valores. Também é possível representar objetos como "Slots". Desta forma, é possível que se represente uma classe ou uma instância, com seus atributos, como extensão das propriedades de um objeto. A figura 6.6 apresenta a janela "default" do Kappa para definição do tipo de valor a ser recebido pelo "Slot".

Os valores nos "Slots" servem para descrever a propriedade assumida. Como exemplo, o "Slot" DataInicio apresenta como valor a data em que deve ser iniciada a execução da atividade. A Figura 6.6 apresenta um "Slot" de valor único e tipo numérico. O tipo de valor que pode ser assumido é definido no campo denominado "Value Type" e no campo "Numeric Range" delimita-se o valor máximo e mínimo que o "Slot" pode receber. No caso de "Slot" do tipo caracter, aparece um campo denominado "Allowable Values", o qual deve ser preenchido com os valores que podem ser assumidos pelo "Slot". Deixando este campo vazio, o "Slot" pode assumir quaisquer valores.

Os valores presentes nos "Slots" também são herdados por objetos hierarquicamente inferiores. Esta herança ocorre de forma dinâmica, alterando-se, no decorrer da utilização do sistema, os valores dos objetos sucessores que não possuem valores próprios.

A figura 6.7 apresenta a janela própria do Kappa destinada a receber o valor do "Slot", a qual pode ser acessada diretamente da "Frame" do objeto (Figura 6.5), ou mesmo ter seu valor alterado por diversos meios, tais como, inferências em regras, funções, diretamente no objeto, ou mesmo por meio de métodos.

**Options of FormasVigas:Datalnicio**

**If Needed Method**

**Before Change Method**

**After Change Method**

\* **Cardinality**  single

\* **Value Type**  text  number  boolean

object

**Numeric Range** \* min  \* max

\* **Prompt Line**

FIGURA 6.6 - Janela padrão do Kappa para definição do tipo de "Slot".

**Slot Editor - FormasVigas:Datalnicio**

Update Edit Reset Options...

**Value:**

**Comment:**

FIGURA 6.7 - Janela padrão para receber o valor do "Slot".

### 6.2.2.2. MÉTODOS

Métodos são procedimentos capazes de dar ação e mobilidade aos atributos de um objeto (KAPPA MANUAL, 1991). O processo de ativar um método direcionado a um determinado objeto é denominado emissão de mensagem, a qual, quando recebida, ativa a ação especificada pelo método. Também podem ser disparados automaticamente, funcionando como monitores dos valores nos "Slots". Neste caso, podem agir de três modos:

- (a) If Needed - é automaticamente executado sempre que o valor é requisitado e não há nenhum valor presente no "Slot". No entanto, se o "Slot" possui um valor, mesmo obtido por herança, o método não entra em ação. É bastante utilizado no SEPPPO para estabelecer valores default. A Figura 6.8 apresenta o Método denominado DataFimIf, o qual foi criado na classe Atividades para ser herdado por todas as atividades presentes na biblioteca do sistema.
- (b) Before Change - é executado antes do "Slot" receber o novo valor. É bastante utilizado para identificar a validade do dado a ser inserido pelo usuário. Como exemplo, se a data de início de uma atividade está para ser alterada, um método é automaticamente disparado para verificar se não existem relações de precedência capazes de impedir esta alteração.
- (c) After Change - este método é executado após o valor ser alterado. É um monitor muito utilizado para identificar as conseqüências da alteração de um valor. Como exemplo, se a data de início é alterada, o sistema questiona se a duração ou a data de conclusão da atividade também devem ser alteradas.

Para que este tipo de monitoramento ocorra é necessário que se indique nas opções que definem cada "Slot" presente no objeto. A figura 6.6 apresenta a janela onde são definidas estas opções. Cabe salientar que as opções de monitoramento podem ser alteradas a qualquer momento, por meio de funções, regras ou mesmo por outro método.

A emissão de mensagens para alterar os valores dos "Slots" é uma técnica de alterar valores bastante utilizada no SEPPPO. A geração do plano da obra é uma das tarefas do sistema totalmente executadas por meio desta técnica. Estas mensagens são capazes de disparar métodos, tais como o descrito na Figura 6.8, para o objeto. No caso do exemplo, o método executa a soma da data de início da atividade com a duração, de forma a estabelecer a data de término da atividade. Portanto, o mesmo método está sendo usado de duas formas: como monitor do "Slot", sugerindo ao usuário um valor default para o "Slot" DataFim quando não há nenhum presente e alterando este valor pelo envio de mensagens.



FIGURA 6.8 - Método presente no objeto Atividades

Os métodos são definidos nas "Frames" e são herdados por descendentes hierárquicos, tal como todas as propriedades definidas para os objetos. Este fato, aliado à possibilidade de uso de parâmetros, permite que um mesmo método seja utilizado por diversos objetos. Como exemplo do uso de métodos, pode-se citar o estabelecimento do valor "default" para a duração das atividades. Sempre que o usuário deseja conhecer o valor da mesma e o "Slot" não tem disponível, é disparado um método que identifica as regras capazes de estabelecer este valor e dispara as inferências para encontrá-lo.

Os métodos são produzidos em linguagem de programação orientada a objetos próprios de Kappa e podem conter rotinas altamente sofisticadas, capazes de acessar bibliotecas em linguagem C, criar imagens, alterar características de um objeto, alterar valores dos "Slots", disparar outros métodos e realizar diversas outras tarefas disponíveis no ambiente computacional (ver manual do Kappa).

Os métodos, destinados ao uso por diversos objetos em uma hierarquia, devem ser definidos na classe que os apresente como inferiores hierárquicos. No SEppo, diversos métodos estão criados na classe Atividades, possibilitando seu uso por todas as atividades presentes na biblioteca do sistema. A potencialidade de herança de propriedades em métodos e nos mais diversos atributos de um objeto está discutido no item a seguir.

### 6.2.3. HERANÇA DE PROPRIEDADES

A herança de propriedades no Kappa é uma poderosa ferramenta para a representação do conhecimento. Já foi visto que objetos inferiores numa hierarquia herdam de seus superiores os diversos atributos. Cabe acrescentar que a definição do tipo de "Slots", os valores assumidos, as opções de métodos para monitoramento e os valores desejáveis também são passíveis de herança.

Como exemplo, o objeto *ServicosIniciais* é uma classe que possui atributos, tais como *Custo de Execução*, *Data de Início* e *Duração*. Estes atributos são herdados pelos seus descendentes, os quais, além das características herdadas, possuem características próprias. Estas são herdadas por seus sucessores hierárquicos e isto ocorre até o nível de instâncias, onde são representados os objetos finais de uma hierarquia. Considerando que o objeto *ServicosIniciais* assume um valor numérico para o "Slot" *Custo*, todos os seus sucessores hierárquicos receberão este mesmo valor no caso de não possuírem valores próprios ou mesmo se tiverem seus valores zerados. Neste caso, o objeto herda automaticamente o valor do superior hierárquico mais próximo.

A herança de propriedades é um mecanismo bastante poderoso no desenvolvimento de SE. No entanto, muitas vezes são assumidos valores indesejáveis e que não correspondem à realidade do domínio. Portanto, é exigida muita atenção do EC na depuração, desenvolvimento e manipulação do conhecimento presente na base do sistema.

#### 6.2.4. MECANISMOS DE INFERÊNCIA NO SEPPO

Como apresentado nos itens anteriores, a "Shell", denominada Kappa, apresenta uma diversidade de meios para o desenvolvimento das aplicações, tais como programação tradicional, programação orientada a objetos, procedimentos com base em regras e até mesmo uma combinação de várias destas técnicas em uma mesma situação. Portanto, é uma decisão do EC a determinação da técnica mais apropriada na resolução das diversas situações que exigem soluções de programação. Este item é dedicado a uma descrição dos procedimentos com base em regras utilizados no SEPPO.

A regra apresentada a seguir é uma versão em Português de uma das regras utilizadas no sistema, a qual se destina à seleção de atividades:

```

IF      estrutura será executada de forma convencional
      E      a obra possui pilares

THEN   serão executadas formas, armaduras, concretagem e desforma dos
        pilares
  
```

O enunciado, seguido do IF, é denominado de premissa e o seguido do THEN de conclusão. Em programação convencional, premissas indicam quando uma regra deve ser aplicada e conclusões indicam o que acontece quando a regra é aplicada.

Em Kappa, os fatos envolvidos na aplicação das regras estão ligados a valores presentes nos "Slots" dos Objetos. A Figura 6.9 apresenta a regra denominada RSAESR9 na forma como é utilizada no sistema, apresentando o editor de regras da "Shell".

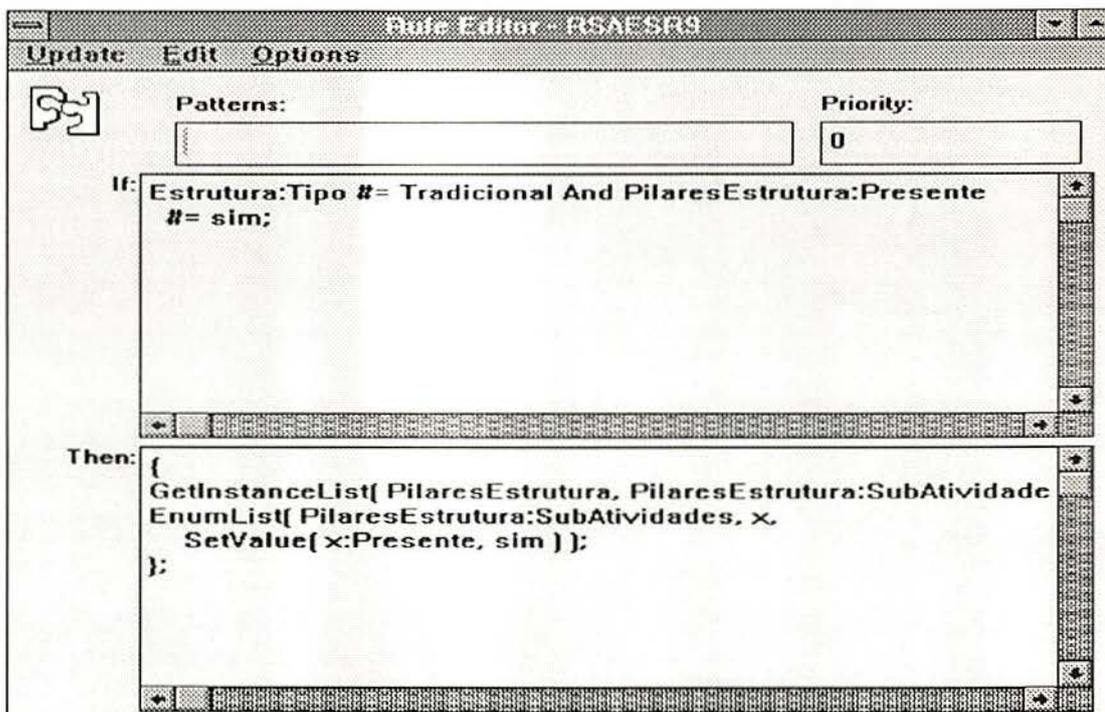


FIGURA 6.9 - Editor de regras do Kappa.

O conhecimento modelado nas regras é similar ao disponível em aplicações computacionais convencionais (IF isto THEN aquilo). Em Kappa e em outras "Shells" existem mecanismos de inferência, que são rotinas especialmente desenvolvidas para manipular as regras e aplicá-las apropriadamente. Este fato não ocorre com sistemas convencionais, os quais exigem indicação explícita do momento em que certas condições devem ser levadas em consideração.

Tanto no Kappa como em algumas outras "Shell"s analisadas, existem basicamente dois tipos de direção de encadeamento de regras, que são "Forward Chaining" e "Backward Chaining", os quais estão, respectivamente, discutidos nos subitens a seguir.

#### 6.2.4.1 "FORWARD CHAINING"

Uma das formas de utilização dos mecanismos de inferência é proceder sobre as consequências de uma alteração. Deste modo, as inferências atuam das premissas das regras em direção às conclusões. É também chamado de procedimento dirigido por evento e entra em ação quando ocorre um fato novo em uma aplicação, como, por exemplo, quando é alterado o valor de um "Slot". Este fato é capaz de ativar uma regra e alterar outros valores. Cada vez que determinado valor é alterado durante o processo de "Forward Chaining" o novo valor torna-se um novo fato capaz de ativar novas regras e alterar outros valores e este ciclo repete-se até que certas condições estejam satisfeitas. Portanto, o caminhar nas regras inicia com fatos conhecidos e finaliza com fatos adicionais inferidos pelas regras.

Como exemplo deste procedimento, a seguir estão apresentadas duas regras que pertencem ao SEPPPO mas estão representadas representadas em linguagem coloquial.

```
IF      algum componente dos Servicos Iniciais foi selecionado
ENTÃO  existem atividades na etapa de Servicos Iniciais
```

```
IF      nenhum componente dos Servicos Iniciais foi selecionado
ENTÃO  não existem atividades na etapa de Servicos Iniciais
```

A partir do momento em que o sistema identifica a presença de algum componente da etapa de Serviços Iniciais, o sistema assume que o objeto ServicosIniciais, da hierarquia de Atividades, está presente no plano da obra. Se a conclusão apresentada nesta regra é premissa em outras, como por exemplo:

```
IF      existem atividades na etapa de Servicos Iniciais
      E  Limpeza do Terreno foi selecionado
ENTÃO  a atividade Limpeza do Terreno está presente no plano da obra
```

No caso da regra anterior, a primeira condição da premissa tem seu valor proveniente de inferência e, no caso do exemplo, é verdadeira. A segunda condição deve ser testada e caso se confirme, o sistema infere o valor indicado na conclusão da regra.

Na execução das inferências, a quantidade de regras a serem ativadas em "Forward Chaining" pode ser limitada pelo EC, criando o que se denomina de "Ruleset". Caso isto não ocorra, o sistema realiza uma busca extensiva nas regras para identificar as que devem ser ativadas e então dispara a inferência, alterando todos os valores resultantes da condição inicial. Neste caso o processo de inferência é mais demorado e exige bastante atenção do EC, de modo a não permitir a alteração de valores não desejados.

Inferências por Forward Chaining são utilizadas no SEPPO em diversas situações, tais como:

- (a) na fase inicial de uso do sistema onde são colocadas algumas questões ao usuário e a partir de suas respostas o sistema assume outros valores;
- (b) na seleção de atividades a partir da identificação da presença de componentes;
- (c) para obter informações sobre a duração das atividades.

#### 6.2.4.2. "BACKWARD CHAINING"

O outro tipo de inferência nas regras, disponível na Kappa, é o mecanismo denominado "Backward Chaining" ou procedimento dirigido a objetivos. Este mecanismo procura verificar um fato ou atingir um objetivo, buscando regras que possam prová-lo por meio de verificação em suas premissas. As premissas de uma regra, por sua vez, tornam-se novos fatos a serem verificados por outras regras e este ciclo se repete até que o objetivo seja atingido. Este mecanismo é apropriado quando existe uma questão específica a ser respondida, ou seja, obter um valor para um "Slot".

Como exemplo de Backward Chaining, a seguir é apresentada uma regra, a qual pertence ao SEPPO, mas está representada em linguagem coloquial.

```

IF      existem empresas disponíveis para execução de estacas
        rotativas
      E   não ocorrerem muitas chuvas no período de execução
      E   o número de estacas sendo menor que 20

ENTÃO   a atividade Estacas Rotativas pode ser executada em 1 semana
  
```

Neste caso o objetivo da inferência é obter um valor para a duração da atividade Estacas Rotativas. Para que este valor seja obtido existem questões a serem respondidas nas premissas da regra. Caso o sistema encontre premissas cujos valores são desconhecidos, estes serão questionados ao usuário.

No caso do exemplo, se as duas primeiras premissas forem verdadeiras e a terceira desconhecida, o usuário é questionado apenas sobre a terceira premissa e caso sua resposta seja um número menor que 20, o sistema assume o valor 1 para a duração da atividade.

Este tipo de inferência foi também bastante usado no SEPPO e sua principal aplicação é voltada ao estabelecimento de valores "default", tal como a duração das atividades. Neste caso, o objetivo é bem definido (identificar a duração de determinada atividade), buscando nas regras as condicionantes para estabelecer este valor. As regras presentes no sistema para execução desta tarefa são originárias das entrevistas com os especialistas e possuem um caráter bastante empírico, provenientes de suas experiências na profissão (ver item 5.7).

#### **6.2.4.3. OPÇÃO ENTRE "FORWARD CHAINING", "BACKWARD CHAINING" E MÉTODOS**

Em determinadas situações a mesma relação de regras pode ser usada para inferências por "Backward" ou "Forward Chaining", podendo ser combinadas em uma mesma aplicação. Geralmente o processo de "Forward Chaining" é mais apropriado quando o usuário entra com novos valores e busca suas conseqüências. Este caso é bastante usado em aplicações de simulação, onde algumas condições, quando alteradas, geram novas situações.

Em alguns casos, nos quais uma determinada informação é necessária, o processo de "Backward Chaining" é mais apropriado. Isto ocorre principalmente em aplicações voltadas a diagnósticos, quando um procedimento deve ser obtido.

Por outro lado, em diversas situações, a programação orientada a objetos pode ser bem mais eficiente que inferências em regras. Métodos são mais rápidos do que inferências em regras, pois não são tão flexíveis na busca por objetos que combinem determinadas condições capazes de alterar a ordem de disparo das regras.

Portanto, a opção pelo mecanismo capaz de atingir os resultados esperados no desenvolvimento de um sistema é um encargo do EC. No caso do SEPPO, em várias situações, foi testada mais de uma alternativa, sendo feita a opção pela considerada mais eficaz em cada caso. A medida que o EC torna-se mais hábil com o ambiente computacional e familiarizado com as técnicas de programação disponíveis, fica facilitada a escolha pela alternativa capaz de produzir os resultados desejados com menor quantidade de trabalho na programação.

### 6.3. DESCRIÇÃO GERAL DO FUNCIONAMENTO DO SEPPO

Para utilização do SEPPO existe uma seqüência de etapas a serem cumpridas para que sejam obtidos os resultados desejados. A figura 6.10 ilustra as etapas de iteração na geração do plano de um novo empreendimento. Como se pode notar, o sistema está dividido em cinco grandes etapas, sendo que, em caso de alteração em planos já iniciados, o sistema pode ser utilizado diretamente em cada etapa, independentemente da seqüência recomendada. Como exemplo, em caso de inserir uma atividade da biblioteca, em uma obra para a qual o plano já foi gerado, basta que se utilize a etapa número 2 diretamente. Se a duração desta atividade é conhecida, logo após sua inserção pode ser gerado o plano da obra.

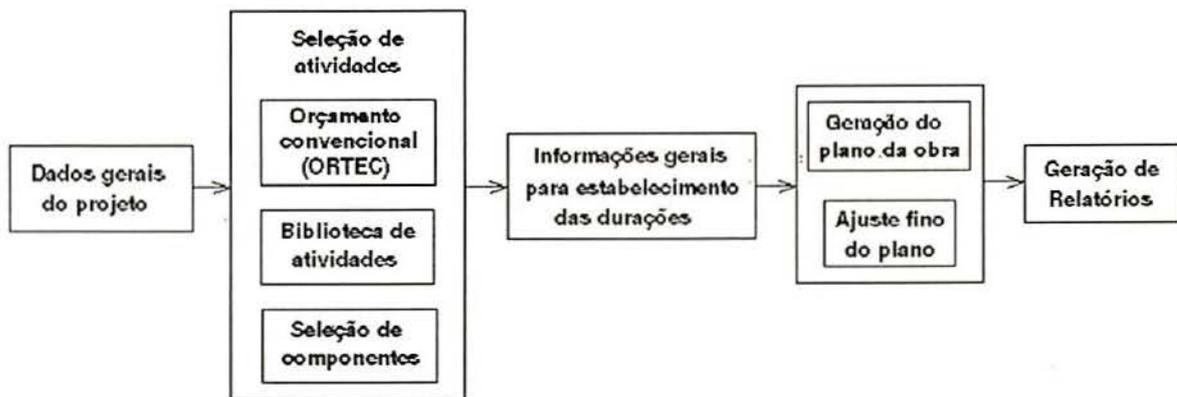


FIGURA 6.10 Etapas de utilização do SEPPO

Os itens a seguir apresentam maiores detalhes de cada etapa de utilização do sistema, com exemplos de interfaces e descrição da técnica de programação adotada pelo EC.

#### 6.3.1. DADOS GERAIS DO PROJETO

Esta etapa apresenta ao usuário uma série de questões relativas ao projeto e local da obra, tais como, área do terreno, número de pavimentos e padrão de acabamento da edificação. A quantidade total de questões apresentadas ao usuário é variável e depende do conhecimento que este possui do projeto. Por exemplo, o sistema pergunta ao usuário o número de pavimentos do prédio a ser executado. Se o usuário ainda não sabe responder esta questão, o sistema pergunta o número médio de pavimentos das edificações na vizinhança, o número máximo de pavimentos permitidos na DM (Diretrizes Municipais que regulamentam as construções urbanas) e assim por diante, até que seja possível estabelecer um valor para a questão inicial. Se o usuário não sabe a resposta de nenhuma das questões, o sistema assume um valor, o qual posteriormente pode ser alterado pelo usuário. Todas as questões apresentadas nesta etapa utilizam a janela padrão do ambiente computacional, a qual é apresentada na Figura 6.11.

FIGURA 6.11 Janela padrão do Kappa para questionar valores do usuário

Estas questões são apresentadas ao usuário por meio de função, a qual foi gerada com a linguagem de programação própria do ambiente computacional. Quando o usuário desconhece a resposta de qualquer uma das questões apresentadas, é ativada uma inferência por meio de "Backward Chaining" que busca as regras capazes de estabelecer o valor desejado. Na Figura 6.12 é apresentado um resumo comentado da execução desta tarefa.

```

AskValue (Edificacao:NumeroDePavimentos);
/* pergunta ao usuário o número de pavimentos da edificação */
If Not KnownValue?(Edificacao:NumeroDePavimentos)
  Then AtivaBacwardChain(Edificacao, NumeroDePavimentos)

                          Função AtivaBackwardChain

DeleteGoal (GoalBackAtividades);
/* Deleta o Goal caso este exista, para criar um novo com outro objetivo */
MakeGoal (GoalBackAtividades, KnownValue? ( Edificacao, NumeroDePavimentos);
/* cria Goal com o valor a ser descoberto */
SeleRegras (1, RPavimentos, 6);
/* seleciona as regras a serem utilizadas na inferência e coloca-as no Global:Regras */
BackwardChain (GoalBackAtividades, Global:Regras);
/* dispara a inferência com objetivo e regras definidas */

```

FIGURA 6.12 - Função em Kappa que executa a inferência por "Backard chaining"

O procedimento apresentado na Figura 6.12 é o mesmo para qualquer questão que o usuário não conheça a resposta. Na Figura 6.13 estão apresentadas algumas das regras a serem ativadas pelo exemplo anterior.

If	KnownValue? (Global:PavimentosVizinhanca)
Then	(Edificacao:NumeroDePavimentos)= (Global:PavimentosVizinhanca)
If	KnownValue? (Global:DMPavimentos)
Then	(Edificacao:NumeroDePavimentos)= (Global:DMPavimentos)

FIGURA 6.13 - Exemplo de regras presentes na base de conhecimento do SEPPO

No caso discutido anteriormente, o sistema busca identificar o valor das premissas das regras, as quais, se não tiverem valores nulos (desconhecidos), são capazes de fornecer valores correspondentes a utilizações anteriores do sistema. Este fato ocorre em qualquer inferência executada no sistema. Para evitar este tipo de problema, aconselha-se que após a utilização do sistema a sessão de trabalho seja salva em um arquivo com nome diferente do original. Desta forma, ficam preservadas as informações representativas, exclusivamente, de determinado projeto, para o qual se deseja gerar o plano da construção.

Após o sistema apresentar estas questões ao usuário, passa-se à etapa de seleção das atividades, a qual está descrita no item a seguir.

### 6.3.2 SELEÇÃO DAS ATIVIDADES PRESENTES NO PROJETO

A seleção das atividades na seqüência normal de utilização do sistema é a segunda etapa, tal como apresentada na Fig. 6.10. e pode ser feita por três meios independentes, que são:

- (a) via seleção automática de atividades baseadas nos serviços presentes no sistema de orçamentação denominado ORTEC, para o qual foi realizado um trabalho para adequar as atividades do SEPPO às composições unitárias do orçamento. Desta forma as atividades são selecionadas automaticamente e com dados de custo, restando ao usuário a geração do plano;
- (b) com base na identificação dos componentes presentes na edificação, os quais, por meio de inferências, selecionam as atividades. É uma opção a ser utilizada por usuários que não conheçam suficientemente o projeto ou não estejam familiarizados com as atividades do sistema;
- (c) com base na biblioteca de atividades presentes no sistema, a qual é uma opção para usuários com habilidades no uso do SEPPO, pois exige conhecimento sobre as atividades e sobre o projeto a ser planejado.

Nos itens a seguir estão, respectivamente, descritas cada uma das formas de realizar esta tarefa.

### 6.3.2.1 SELEÇÃO DE ATIVIDADES VIA ORÇAMENTO DISCRIMINADO

O sistema ORTEC foi desenvolvido a partir de uma metodologia de estimativa de custos desenvolvida por SCHMIDT (1988). Este sistema é atualmente comercializado e possui uma grande base de dados com composições unitárias, muito semelhantes às disponíveis em publicações especializadas (REGIONAL DISCRIMINADA, 1993; TCPO, 1992).

Estas composições unitárias representam serviços e estão agrupadas de acordo com critérios apresentados em SCHMIDT (1988). A base de dados é gerenciada por um campo de códigos e estão organizados de modo a representar o agrupamento das composições. Por exemplo, os serviços de execução de alvenaria estão representados na faixa de código que varia de 0600000 a 0699999. Mais especificamente, alvenarias com blocos cerâmicos (tijolos) estão representados na faixa de 0601001 a 0601400 e, com maior grau de detalhe ainda, alvenarias de blocos cerâmicos, com espessura de 15 cm, estão representadas na faixa de código que varia de 0601001 a 0601199.

A partir da base de dados do ORTEC, quando da execução do orçamento discriminado de uma obra, é criada uma base de dados com apenas as composições presentes em determinado projeto, com seus valores de quantidades e custos. Para realizar a conversão dos serviços disponíveis na base de dados do ORTEC para as atividades presentes na base de conhecimento do SEPPO, foi elaborado um banco de dados intermediário. Este banco de dados possui informações de código inicial e final das composições representativas das atividades. Como exemplo, a seguir é apresentado um resumo do banco de dados de conversão.

Cod. Inicial	Cod. Final	Atividade	Fator
10100	10299	Projetos	1.00
10300	10499	Sondagem	1.00
10500	10799	Contratacao	1.00
10800	10899	Projetos	1.00
20100	20299	LimpezaTerreno	1.00
.	.	.	.
42300	42399	ConcretagemBlocos	0.50
42300	42399	ArmaduraBlocos	0.30
42300	42399	FormaBlocos	0.20
42400	42599	LastroVigasFundacao	0.40
42400	42599	LastroBlocos	0.60
.	.	.	.
1127001	12899	PisoVinilico	1.00
1129001	13099	PisoParquet	1.00
1131001	13199	PisoTaboao	1.00
1132001	13499	PisoParquet	1.00
1135001	13899	PisoCarpete	1.00
.	.	.	.

FIGURA 6.14 - Resumo do banco de dados para conversão de informações orçamento / SEPPO

Este banco de dados foi elaborado com base em uma pesquisa, de forma a identificar os serviços capazes de gerar atividades. No caso da Figura 6.14, todos os serviços identificados no orçamento, que se incluírem na faixa de código delimitada pelos campos CodigoInicial e CodigoFinal do banco de dados intermediário, geram a atividade identificada no campo denominado Atividade. Em determinados casos ocorre discretização dos serviços em mais de uma atividade. Por exemplo, os serviços na faixa entre 42300 e 42399 são responsáveis pela geração de mais de uma atividade, cada uma com um percentual representativo do custo total dos serviços incluídos nesta faixa. O percentual representativo do custo do serviço a ser indicado para cada atividade está apresentado na coluna da direita da Figura 6.14, no campo denominado Fator.

A discretização das atividades é executada automaticamente pelo SEPPO, por meio de uma função, que elabora a comparação entre os dois bancos de dados (do orçamento discriminado do projeto e o gerado na pesquisa) para a seleção das atividades a serem indicadas no plano da obra.

O banco de dados intermediário foi criado no padrão DBase III Plus, o qual é amplamente utilizado por usuários de computadores. Portanto, este pode ser alterado a qualquer momento, permitindo ajustes no trabalho original e adequação a possíveis alterações tanto na biblioteca de atividades do SEPPO quanto nas composições unitárias do ORTEC.

Este procedimento foi aplicado na base de dados do ORTEC, mas pode também ser aplicado em outros sistemas de orçamento, dos quais, diversos utilizam bancos de dados no padrão DBase III Plus. Para que isto seja possível, basta alterar a faixa de códigos do banco intermediário, pois estes outros sistemas, normalmente, também utilizam um campo de código para gerenciar o banco de composições.

A metodologia adotada é capaz de adaptar-se a alterações e inovações na tecnologia construtiva, tanto em termos de composições unitárias para orçamentos quanto em termos de atividades presentes na biblioteca do SEPPO.

A tarefa de discretização dos trabalhos do canteiro em atividades pode ser executada com base em outro critério (ver item 5.3). Esta tarefa exigiria alterações no banco de dados intermediário e na base de conhecimento do sistema. No entanto, a metodologia de transferência de informações pode ser preservada.

A seleção de atividades, via orçamento, é a opção que exige menos trabalho do usuário e fornece maior quantidade de informações ao plano, pois possui informações de quantitativos e custos. Este último permite a elaboração de vários relatórios, tais como cronograma físico-financeiro, gráficos de apropriação de custos, custos acumulados, etc. (ver item 6.3.5).

### 6.3.2.2. SELEÇÃO DE ATIVIDADES VIA COMPONENTES DA EDIFICAÇÃO

No uso do SEPPPO, o usuário é questionado se possui o orçamento discriminado do projeto executado no ORTEC. Caso a resposta seja positiva, é aconselhável o uso da leitura automática, a qual está descrita no item anterior. Caso o orçamento não tenha sido realizado é possível executar o sistema de orçamento de dentro do SEPPPO e elaborá-lo, de modo a possibilitar a leitura automática.

Pode ocorrer, no entanto, que o empreendimento a ser planejado encontre-se ainda no estágio de concepção, no qual o projeto não foi concluído e o usuário pretende apenas elaborar uma análise da influência de determinadas alternativas construtivas no tempo de execução, ou mesmo analisar condições externas capazes de proporcionar a elaboração do plano no tempo desejado. Neste caso, o usuário pode optar por duas outras formas de estabelecer as atividades presentes no plano: via seleção de componentes, a qual será descrita neste item; ou através da seleção de atividades diretamente da biblioteca do sistema, que está descrita no item posterior.

A seleção de atividades via componentes do projeto é uma opção destinada a usuários não muito familiarizados com as atividades presentes na biblioteca do sistema. É voltada à seleção de componentes de um edifício, os quais exigem atividades para sua execução (ver item 5.3). A seleção de componentes é feita para cada um dos meta-estágios de execução da edificação, os quais são acessados por funções diretamente da tela. Estas funções, ao serem ativadas, agem de duas formas: (i) em caso de projeto novo, em que o sistema realiza inferências de forma a sugerir componentes, de acordo com informações fornecidas na etapa inicial (ver item 6.3.1); (ii) em caso de reutilização, quando o sistema apresenta como sugestão os componentes pré-selecionados no último uso desta etapa. A partir da seleção de componentes, o sistema automaticamente executa a seleção das atividades.

Esta opção foi estabelecida de forma a permitir a execução automatizada do projeto da edificação. Nas outras opções, tal como a apresentada a seguir, na qual as atividades são selecionadas diretamente da biblioteca do sistema, a inferência é invertida, ou seja, com base nas atividades são selecionados os componentes da edificação.

### 6.3.2.3. SELEÇÃO DAS ATIVIDADES NA BIBLIOTECA DO SISTEMA

A técnica de programação e o modo de funcionamento da seleção de atividades diretamente da biblioteca do sistema são semelhantes à seleção via componentes do projeto. São selecionadas atividades para cada meta-estágio de execução da obra diretamente na tela do computador, que apresenta as atividades de cada estágio junto com uma lista das atividades pré-selecionadas. Em caso de projeto novo, as atividades são pré-selecionadas por meio de inferências nas informações iniciais e, no caso de replanejamento, com base na última utilização do sistema.

Como no caso da seleção via componentes do projeto, após a seleção das atividades de cada estágio, o botão que ativa a função tem sua cor alterada, de modo a indicar ao usuário que as atividades de determinada etapa já foram selecionadas.

Esta opção de seleção de atividades exige, por parte do usuário, um relativo conhecimento das atividades presentes na biblioteca do sistema. É uma opção que proporciona uma visão geral da hierarquia utilizada na representação das atividades. Desta forma, permite ao usuário um panorama de como alterar as atividades presentes na biblioteca do sistema.

A nível de instâncias, nas quais as atividades estão representadas, não é necessária a criação de "Slots" para representar atividades que, porventura, venham a ser inseridas no sistema. Os "Slots" presentes nos objetos superiores na hierarquia, os quais são herdados por atividades a serem inseridas, são suficientes para representar a atividade no plano da obra. No entanto, os valores presentes nestes "Slots", tais como duração e atividades precedentes, devem ser colocados pelo usuário quando inserida a atividade. É desejável que também sejam inseridas regras capazes de inferir valores em alguns destes "Slots", tais como correspondentes à duração da execução, como descrito no item a seguir.

#### **6.3.2.4. ESTABELECIMENTO DE DURAÇÕES DAS ATIVIDADES**

Esta etapa de utilização do sistema é responsável pelo estabelecimento dos valores "default" de duração das atividades presentes no plano da obra. Sua elaboração e interface com o usuário são bastante semelhantes à apresentada no item 6.3.1 (dados gerais do projeto). É dedicada a receber informações de contexto, capazes de influenciar no tempo de execução das atividades. São questões provenientes da experiência de profissionais especializados em planejamento de obras (ver item 5.7), dizem respeito a condições climáticas no local da construção, disponibilidade de mão-de-obra e equipamentos para serviços especializados, capacidade gerencial da construtora e também relativas às necessidades do usuário no prazo de execução do empreendimento.

Ao final destas questões o sistema apresenta uma mensagem de espera ao usuário, enquanto dispara inferências, por "Forward Chaininig", para estabelecer a duração das diversas atividades presentes na construção. Com o estabelecimento das durações, o sistema passa à etapa de geração do plano da obra, a qual está descrita no item a seguir.

### 6.3.3. - GERAÇÃO DO PLANO DA OBRA

A aquisição do conhecimento referente ao estabelecimento das relações de precedência estão descritas no item 5.5.1 e a técnica empregada para modelagem na representação intermediária no item 5.5. Neste item estão descritas as técnicas empregadas para modelagem do conhecimento no ambiente computacional, bem como a técnica de programação empregada na geração do plano da obra.

#### 6.3.3.1. MODELAGEM DO CONHECIMENTO SOBRE RELAÇÕES DE PRECEDÊNCIAS

Os critérios para estabelecimento dos fatores e tipos de precedências estão apresentados, respectivamente, nos itens 5.5.2 e 5.5.1. Neste item estão descritos os procedimentos adotados para implementação deste conhecimento no ambiente computacional.

Como foi descrito no item 6.2.2.1 os valores nos "Slots" podem ser representados de várias formas, inclusive como listas de valores. Com isso, para cada objeto representativo das atividades foram criados três "Slots", que armazenam informações referentes às atividades precedentes. Estes "Slots" são denominados: Precedencias, TipoDePrecedencia e FatorDePrecedencia. A Figura 6.15 apresenta um exemplo de listas de valores relativos a relações de precedência.

Relações de precedência da atividade <i>Locacao</i>			
Nº da Precedência	Precedência	Tipo de Precedência	Fator de Precedência
1	Tapume	Fim p/ Início	Segurança Danos
2	Projetos	Fim p/ Início	Informações Necessárias

FIGURA 6.15 - lista relacionada de precedências da atividade Locação

Como se pode notar no exemplo anterior, a atividade Locacao está relacionada com a atividade Tapume, segundo as informações presentes na primeira linha da tabela. Na geração do plano da obra, o sistema busca todas as atividades representadas no "Slot" Precedencias, tomando sua posição na lista e identificando o tipo e fator de precedência localizados nos respectivos "Slots", na mesma posição. A atividade identificada com a maior data de início é considerada a precedência ativa e seu nome é representado num "Slot" de valor único denominado "PrecedenciaAtiva". Assim, quando inseridas ou retiradas atividades da lista de precedências, ocorre a necessidade de gerar novamente o plano da obra, de forma a verificar se ocorre alteração na precedência ativa da atividade.

### 6.3.3.2. TÉCNICA DE PROGRAMAÇÃO PARA GERAÇÃO DO PLANO DA OBRA

A geração do plano é executada, através da linguagem de programação do Kappa, pelo envio de mensagens aos objetos representativos das atividades. No desenvolvimento do sistema foram testadas outras técnicas, tais como programação por meio de regras e programação diretamente em funções, as quais não apresentaram resultados satisfatórios.

A dificuldade na utilização de regras para geração do plano se deu basicamente em dois fatos: (i) na identificação de prioridades de disparo das regras, (ii) necessidade de conhecimento, por parte do usuário, do funcionamento desta técnica em caso de alteração das relações de precedências das atividades e (iii) do ambiente computacional para criação de regras capazes de inserir as atividades no plano. Também são exigidas, a cada alteração nas relações de precedência, as prioridades de disparo das regras e relação de regras a serem ativadas em uma inferência.

A programação diretamente em funções mostrou-se mais eficiente que programação em regras. No entanto, este procedimento exige a repetição de uma série de rotinas, as quais devem estar presentes na geração do plano de cada etapa da construção. Desta forma, também é dificultada a alteração das relações de precedências, pois exige a criação de funções específicas, a serem acessadas sempre que se deseja proceder com a alteração.

O procedimento adotado, por meio de envio de mensagens aos objetos, foi considerado o mais eficaz na execução da tarefa. Para sua execução, foram criados métodos na classe Atividades, a qual é o superior hierárquico de todas as atividades presentes na biblioteca do sistema. Portanto, os Métodos criados neste objeto são herdados por todas as atividades presentes no sistema.

Os métodos criados para a geração do plano executam basicamente as seguintes tarefas:

- (a) identificam as atividades presentes em cada meta-estágio de execução da obra;
- (b) para cada atividade presente no projeto, identificam suas precedências e indicam a data mais adequada para seu início.

O princípio de funcionamento dos métodos é bastante simples. No entanto, foi exigido um certo trabalho na sua execução, pois para estabelecer a seqüência de execução é necessário que as atividades, a serem planejadas, estejam precedidas por atividades que já tenham programadas suas datas de execução. Além disso, das precedências selecionadas em cada atividade, apenas uma torna-se relevante na geração do plano (ver item 5.4.1), a qual é indicada no caso do usuário desejar quebrar a relação de precedência.

Os métodos utilizados na geração do plano da obra estão presentes no sistema computacional com comentários para compreensão de seus procedimentos. Não estão presentes no corpo deste trabalho, pois exigem conhecimento da área de programação de computadores, que fogem ao escopo deste trabalho.

A geração do plano pode ser feita em todas as atividades selecionadas para a edificação ou apenas para cada um dos meta-estágios de execução da obra. As funções que executam estas opções são acessadas, por botões, diretamente na tela do computador. A sugestão que se faz para uso destas opções é que inicialmente seja gerado todo o plano da obra e após gerado em cada estágio. Isto ocorre porque o plano gerado para cada etapa apresenta na tela imagens para indicar a data de início, duração e fim de cada atividade, permitindo ao usuário a alteração destas datas diretamente na tela. Este recurso foi denominado de ajuste fino do plano e está descrito no item a seguir.

#### **6.3.4. AJUSTE FINO DO PLANO**

Na etapa de geração do plano da obra, ficam disponíveis ao usuário diversos botões na parte superior da tela, os quais executam o plano da obra para cada estágio da construção e apresentam imagens relativas às datas de execução das atividades, tal como apresentado na Figura 6.15. Ao centro estão representadas as datas de início, duração e fim da atividade. As barras horizontais são responsáveis pela alteração destas datas. A barra da esquerda permite alterar a data de início e a da direita a data de conclusão da atividade.

Estas barras acionam Métodos que funcionam como monitores da alteração de valores, agindo nos modos "Before Change" e "After Change" (ver item 6.2.2.2) e incluem rotinas escritas em linguagem própria do Kappa, as quais estão disponíveis no sistema com comentários explicativos de suas atribuições. Estas rotinas atuam de modo a permitir a alteração, por parte do usuário, no plano proposto pelo sistema, mas exigem o conhecimento responsável pela alteração. Como exemplo, quando o usuário deseja alterar a data de início de uma atividade que possui precedências, para uma data anterior à indicada, o procedimento permitido pelos métodos é o seguinte: (i) apresenta as precedências com seus respectivos tipos e fatores, indicando aquela que realmente está ativa e sugerindo que esta tenha sua data de conclusão diminuída, (ii) sugerindo diminuir o tempo de duração de modo a concluí-la mais cedo e (iii), por fim, permitindo a quebra da relação de precedência, levando a atividade a ser replanejada com as demais precedências da lista.

As alterações ocorrem de forma dinâmica, possibilitando ao usuário a visualização do resultado da alteração. Para alterar os valores é necessário que o usuário forneça ao sistema os motivos das alterações. Somente desta forma o sistema torna-se capaz de armazenar e fornecer o conhecimento referente à geração do plano da construção.

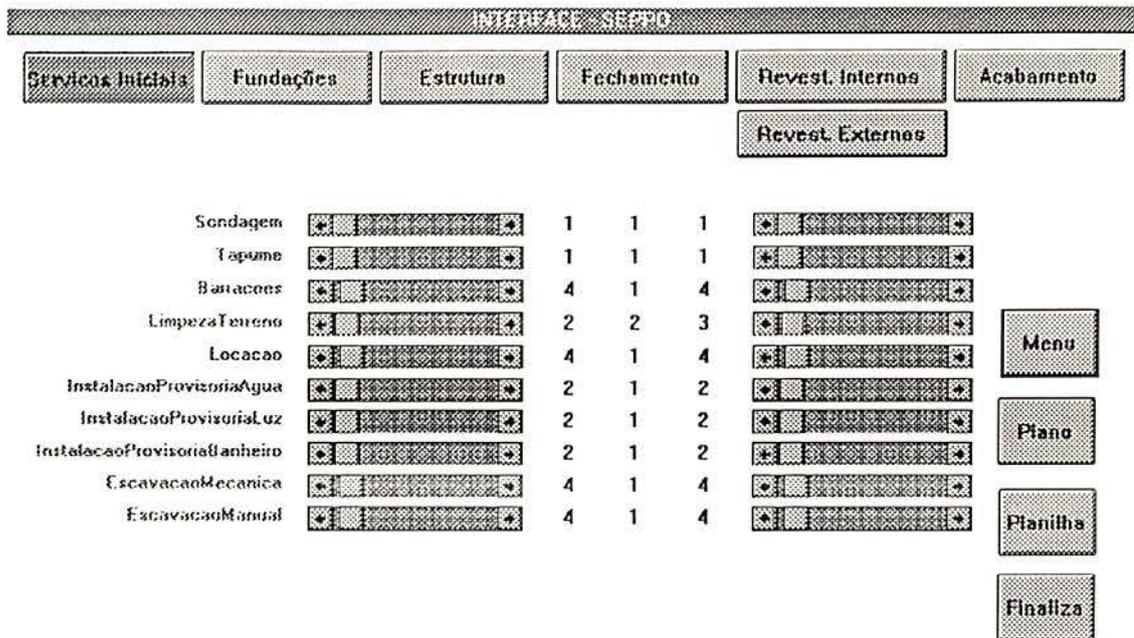


FIGURA 6.16 - Tela de ajuste do plano

Cabe salientar que os métodos, em caso de alteração dos valores inicialmente propostos, não realizam a reelaboração completa do plano. Portanto, é necessário que o usuário, após executadas as diversas alterações, gere o plano novamente.

Esta possibilidade de realizar pequenos ajustes no plano é um importante auxílio no acerto de detalhes em função do calendário. Por enquanto esta é a única forma de ajustar o plano em função dos diversos feriados e possíveis contratempos que possam ocorrer ao longo do período da construção. Já está prevista a interface do SEPPO para um pacote especializado em representação de planos com calendário acoplado (ver item 7.3), tal como o Microsoft Project for Windows.

### 6.3.5. GERAÇÃO DE RELATÓRIOS

A "Shell" utilizada, apesar de ter se mostrado com grande potencial na geração do SE, não apresenta muitas ferramentas para geração de relatórios. No entanto, existe uma grande facilidade para utilização de diversos pacotes que rodam em ambiente Windows, tais como planilhas eletrônicas, editores de texto e editores gráficos, os quais podem receber e fornecer informações do Kappa, que possui diversas funções apropriadas à realização desta tarefa.

Em muitas das empresas consultadas durante o período de elaboração deste trabalho, a representação do plano era executada em planilha eletrônica, o que significa que esta tecnologia já é utilizada nesta tarefa. Para representação do plano de obra gerado pelo SEPPO, optou-se pela planilha eletrônica por vários motivos, tais como geração de gráficos, disposição dos dados em células com colunas e linhas, soma automatizada de valores e macros para automatizar a execução das potencialidades citadas.

A planilha eletrônica escolhida foi o Microsoft Excel, a qual se mostrou bastante apta a realizar as tarefas necessárias. Os relatórios gerados são voltados à representação e ao acompanhamento do plano de obra e consistem basicamente de dois tipos: (i) cronograma de execução representado em gráfico de barras e (ii) cronograma físico-financeiro.

O gráfico de barras é a técnica mais utilizada na representação de planos de obras (ver item 2.5). No caso do plano gerado pelo SEPPO, as atividades possuem representação semanal. Está sendo investigada a possibilidade de geração de gráficos com barras interligadas e linha de balanço (ver item 7.3).

O cronograma físico-financeiro também é gerado automaticamente no Excel, desde que o sistema possua informações de custo das atividades (orçamento do ORTEC). As informações semanais são agrupadas a cada quatro semanas e ao final do relatório estão presentes informações de desembolso e de percentuais de custo, todas disponíveis em agrupamentos de quatro semanas.

Com base nestes relatórios o usuário é capaz de gerar diversos gráficos, tais como distribuição de custos, custos acumulados, curva ABC de atividades e diversas outras planilhas para acompanhamento da construção. Algumas destas opções não são geradas automaticamente pelo SEPPO, portanto é desejável que o usuário possua certas habilidades no uso da planilha eletrônica.

A opção pela geração dos relatórios na Planilha Excel atingiu os resultados exigidos pelos especialistas envolvidos na elaboração do sistema. Outra característica positiva é o fato de o ambiente apresentar muitas ferramentas para análise, impressão e representação dos dados gerados pelo SEPPO.



## ***CAPÍTULO 7***

### **7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS**

Este capítulo apresenta as conclusões referentes ao desenvolvimento desta pesquisa, as principais lições a serem deixadas para futuros interessados em desenvolver SE aplicados às mais diversas áreas de domínio e sugestões de trabalhos que venham a dar continuidade a este. Inicialmente são apresentadas conclusões de caráter geral do trabalho e, a seguir, é discutida a experiência obtida nas etapas de aquisição do conhecimento, representação intermediária, implementação e validação do sistema computacional. Finalmente, são apresentadas sugestões a profissionais e pesquisadores interessados em ampliar as habilidades do sistema desenvolvido.

#### **7.1. CONCLUSÕES GERAIS**

O objetivo principal deste trabalho foi de analisar a possibilidade de utilizar tecnologia da área de IA para modelar conhecimento especializado, referente à área de planejamento da construção de edifícios de vários pavimentos. O conhecimento adquirido de profissionais da área foi modelado na representação intermediária e no ambiente computacional. No entanto, para utilizar o conhecimento presente no sistema e gerar o plano da obra, não foram utilizadas exclusivamente técnicas de IA. Foram também utilizadas técnicas de programação orientada a objetos, as quais se aproximam mais de programação convencional. Portanto, o sistema resultante pode ser visto como um misto de aplicação de tecnologias da área de IA e programação convencional.

O sistema foi desenvolvido em cooperação com profissionais da indústria da construção. Portanto está direcionado a produzir resultados que satisfaçam as necessidades do setor empresarial. No entanto, a pesquisa possui uma série de limitações oriundas da disponibilidade de tempo e recursos. O sistema é capaz de gerar o plano da obra apresentando o conhecimento envolvido nesta tarefa, distribuindo os custos ao longo do período previsto para a execução, para uma quantidade limitada de atividades e tecnologias construtivas. Existem também diversas informações capazes de serem extraídas de planos de obra, as quais não estão disponíveis nesta versão do sistema, tais como: curvas ABC de atividades e insumos, representação do plano em forma de rede ou linha de balanço, sugestões para aplicação de sistemas de controle de qualidade na execução das atividades e indicações de tecnologias alternativas capazes de alterar o ritmo de execução dos trabalhos. Todas as informações supracitadas podem ser implementadas em versões futuras do sistema, tanto por profissionais em empresas de construção como por pesquisadores.

Atualmente o sistema se encontra num estágio intermediário entre sistema demonstrativo e sistema produzindo resultados (ver item 3.3.6.). Para que o sistema atinja níveis mais elevados na escala de Brandon (1993), tal como o de sistema comercial, é necessário, principalmente, que seja dada continuidade ao processo de validação do sistema. A versão atual possui aproximadamente 450 objetos, 300 regras, 150 funções e 100 métodos monitorando as ações no sistema e enviando mensagens aos objetos. Infelizmente, as descrições de sistema apresentadas na bibliografia não têm este tipo de informação, impossibilitando comparar o sistema descrito com os demais.

Além da possibilidade de apresentar o conhecimento relativo à geração do plano, outra vantagem obtida pelo uso do SEPPO é a economia de tempo que pode ser obtida pelos profissionais. Usuários familiarizados com o sistema são capazes de gerar o plano da obra em tempo que varia de trinta minutos a duas horas, de acordo com a quantidade de ajustes no plano originalmente gerado. Profissionais executando esta tarefa, manualmente, levam de 2 a cinco dias e normalmente encontram dificuldades que se estendem desde o estabelecimento de precedências até os cálculos matemáticos para fechamento do cronograma físico-financeiro.

Além das vantagens supracitadas, o sistema é bastante flexível em termos de adequação à novas tecnologias construtivas e, principalmente, está desenvolvido em um ambiente computacional capaz de realizar interfaces com outros aplicativos, ou até mesmo com outros SEs, de modo a formar uma poderosa ferramenta de auxílio gerencial a empresas de construção.

Os especialistas envolvidos no processo de desenvolvimento e validação do sistema consideraram satisfatórias as habilidades da versão atual do sistema. Alguns deles, não usuários de computadores, esperavam muito mais dos resultados gerados pelo sistema. Profissionais habituados ao uso de computadores, como auxiliar na tarefa de planejamento, portanto conscientes das atuais limitações, ficaram mais satisfeitos com o potencial do sistema. Muitos destes profissionais foram capazes de verificar a flexibilidade do sistema em se adaptar a inovações tecnológicas e a facilidades para ampliar a quantidade de informações que podem ser extraídas, principalmente, criando interfaces com pacotes convencionais.

O objetivo desta pesquisa foi atingido, mas não na forma esperada. Técnicas de programação convencional demonstraram maior eficácia na execução de diversas tarefas presentes no sistema. No entanto, não se está afirmando sobre a inviabilidade do uso de técnicas do campo de IA. Apenas se concluiu que, na tarefa de planejamento de obras, a união destas duas tecnologias é capaz de incrementar significativamente a área de domínio.

## 7.2. LIÇÕES PARA O FUTURO

### 7.2.1. AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO

As principais conclusões obtidas com o processo de aquisição do conhecimento foram:

- (a) os planos fornecidos pelos especialistas, ou seja, material referente a casos reais, foi a maior fonte de informações no estágio inicial do processo. Este material serviu de base a diversas entrevistas com os especialistas, que não possuíam muito tempo disponível para as entrevistas;
- (b) as entrevistas com os profissionais representaram a técnica de aquisição mais utilizada no processo de aquisição;
- (c) o processo de gravação e transcrição das entrevistas foi bastante útil nas etapas iniciais. À medida que o trabalho foi evoluindo, com as questões tornando-se mais específicas e a prática do EC sendo ampliada, a transcrição tornou-se um trabalho que consumia um tempo excessivamente longo e produzia resultados pouco relevantes;
- (d) a utilização de vários especialistas, como recomendado na bibliografia, confirmou-se como um forte auxílio no processo de aquisição, por dois motivos: (i) alguns profissionais são mais acostumados com certos tipos de tecnologias e padrões construtivos e (ii) são capazes de proporcionar um processo de validação do conhecimento adquirido.

### 7.2.2. REPRESENTAÇÃO INTERMEDIÁRIA DO CONHECIMENTO

As principais lições obtidas do processo de representação intermediária do conhecimento foram:

- (a) os planos fornecidos pelos especialistas, relativos à representação da execução do empreendimento, são bastante simples quando comparados com a quantidade de informações necessárias à sua execução;
- (b) a representação dos planos em linha de balanço, a qual era desconhecida por alguns dos especialistas envolvidos no trabalho, destacou uma série de inconsistências nos planos fornecidos, tornando-se um importante aliado na aquisição do conhecimento referente ao estabelecimento de precedências;
- (c) mesmo profissionais experimentados, como os envolvidos neste trabalho, apresentavam resistência ao indicar dados "default", sempre fazendo diversas considerações;

- (d) o estudo referente ao ritmo de execução das atividades considerou necessário o acompanhamento dos trabalhos no canteiro. Foram apenas obtidas algumas considerações próprias de determinadas atividades e gerais referentes à totalidade do projeto. Dados "default" referentes à duração das atividades são provenientes da experiência na profissão e geralmente são apresentados dentro de uma faixa de tempo;
- (e) o processo de aquisição do conhecimento é capaz de identificar o tipo de conhecimento empregado pelos profissionais. O conhecimento referente ao estabelecimento de precedências é mais técnico e simples de validar, enquanto que o referente ao estabelecimento de durações e ritmo da obra é mais heurístico;
- (f) se o EC for um profissional da área em que o SE está sendo aplicado, o desenvolvimento desta etapa pode ser acelerado. No entanto devem ser tomados cuidados para que o conhecimento modelado não apresente interpretações próprias deste profissional.

### 7.2.3. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

As principais lições adquiridas com o processo de implementação do sistema foram:

- (a) o ambiente computacional (Kappa 1.2) mostrou-se uma poderosa ferramenta para o desenvolvimento de aplicativos. É um ambiente sofisticado e complexo que exige bastante de usuários interessados em usufruir de todo o seu potencial;
- (b) a versão da "Shell", que foi utilizada nesta pesquisa, apresenta alguns defeitos, dos quais podemos destacar: (i) diversos erros no manual, (ii) ambiente para programação em linguagem orientada a objetos extremamente pobre de recursos, (iii) pouco espaço para escrever textos referentes a comentários explicativos de regras e objetos, (iv) freqüentes erros no ambiente, os quais, muitas vezes, exigiam o fechamento da sessão no "Windows" e (v) ausência de auxílio ("help") "on line";
- (c) o ambiente computacional também apresentou diversas qualidades, das quais podemos destacar: (i) possibilidades de gerar interfaces com outros pacotes computacionais, (ii) interpretar rotinas e bibliotecas em linguagem C, (iii) interação amigável com o EC, (iv) facilidade para gerar interfaces com usuário e (v) ferramentas para acompanhar o processo de inferência em regras;
- (d) o desenvolvimento da aplicação confirmou a necessidade de grande quantidade de tempo do EC junto ao computador, implementando o sistema, tal como apontado por Formoso (1991). Sem dados exatos, estima-se que 80% do tempo total do EC foi gasto no processo de implementação;

- (e) se o EC possui conhecimento do ambiente computacional, principalmente para identificar a melhor técnica a ser adotada na programação, pode ser de grande auxílio em termos de acelerar o processo de implementação;
- (f) muitas vezes, ao não escolher de início a melhor alternativa na programação, pode acarretar grandes alterações na estrutura do sistema e um consumo adicional de horas de trabalho no computador.

#### 7.2.4. VALIDAÇÃO DO MODELO

O processo de validação, neste trabalho, não foi intensivamente explorado, como sugerem pesquisadores da área (ver item 4.5), em função das limitações de tempo. No entanto, podem ser apontadas algumas importantes lições:

- (a) especialistas não habituados com o uso de computadores tendem a exigir muito mais do sistema computacional do que profissionais que os utilizam;
- (b) testes para verificar a consistência dos resultados obtidos, quando comparados com resultados fornecidos por especialistas, são capazes de acelerar o processo, tornando a validação menos dependente do escasso tempo dos especialistas;
- (c) o processo de validação, executado por um EC com experiência na área de domínio, oriunda de centros de pesquisa, é capaz de viciar os resultados, tornando-os distantes dos resultados esperados por profissionais de empresas de construção;
- (d) o processo de validação, em etapas intermediárias de desenvolvimento, foram considerados improdutivos, portanto, sugere-se que seja realizado com o sistema em estágio adiantado, quando já estão disponíveis interfaces com usuários. É também aconselhável que o EC crie sessões especiais para realizar a validação;
- (e) é preciso deixar claro aos especialistas que o processo de validação não significa um curso de aprendizado do uso do sistema, portanto, deve ser conduzido pelo EC de modo a realizar a depuração técnica, visto que especialistas tendem a direcionar a consulta ao aprendizado de utilização e questionar sobre a apresentação e possibilidades das interfaces.
- (f) o processo de validação é fundamental para a identificação de lacunas do conhecimento e das limitações do sistema. Auxilia, também, na identificação de futuros trabalhos que venham a expandir as habilidades e dar continuidade ao original. Algumas destas sugestões estão descritas no item a seguir.

### 7.3. SUGESTÕES DE NOVOS TRABALHOS

Devido às características da "Shell" utilizada e do crescente potencial de computadores, são ilimitadas as possibilidades de trabalhos que venham a contribuir com este. A seguir estão enumeradas algumas das principais sugestões de prosseguimento, identificadas no desenvolvimento do trabalho.

- (a) Profissionais da indústria da construção, baseados na atual disponibilidade de pacotes computacionais aplicados ao domínio, indicam que o sistema tem boas condições de ser aceito no mercado, caso atinja o estágio comercial. Para que isto seja possível é necessário prosseguir o processo de validação, o qual indicará a quantidade de trabalho necessário para atingir esse estágio. Um dos principais fatores que podem dificultar a comercialização do sistema é o alto custo do Kappa, sem o qual o sistema não pode funcionar.
- (b) A tarefa de geração do plano, na forma como é executada pelo sistema, exige conhecimento sobre seleção de atividades, estabelecimento de precedências e durações. A limitada quantidade de tempo disponível para desenvolver este trabalho restringiu a modelagem do conhecimento em cada área. Em cada uma delas poderiam ser desenvolvidos trabalhos mais profundos de modelagem do conhecimento.
- (c) O desenvolvimento de interfaces para sistemas CAD seria um importante incremento às habilidades do sistema. Entre suas atribuições podemos destacar a automatização do processo de seleção de atividades, descrição geométrica dos componentes permitindo automatizar o processo de orçamentação e simular a execução do empreendimento de acordo com o plano gerado.
- (d) A versão atual do sistema gera o plano em forma de gráfico de barras. Outras técnicas para representação, tais como redes ou linha de balanço seriam capazes de incrementar significativamente a representação do plano de obra.
- (e) Atualmente a geração do plano considera apenas o relacionamento de precedências entre atividades, ficando a encargo do usuário ajustes menores, de modo a adequar a distribuição de custos ao longo do período da construção. Sistemas especializados na distribuição de custos poderiam incrementar significativamente as habilidades do sistema.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ABEL, M. **Introdução aos sistemas especialistas. Descrição dos sistemas MYCIN, PROSPECTOR, DIPMETER, ADVISOR e MUPROSPECTOR.** Porto Alegre: UFRGS, PGCC, 1986 (Caderno Técnico).
- 2 ADELI, H. **Knowledge engineering.** New York: McGraw Hill, 1990.
- 3 ALEGRE, L. Aplicação de sistemas especialistas para diagnosticar danos à formação produtora de petróleo. **Boletim Técnico Petrobras.** Rio de Janeiro, v.33, n.1, p.11-20, jan./mar. 1990.
- 4 ALEGRE, L.; PINTO, A.C.C. Sistemas especialistas: tópicos e avaliação de uma ferramenta para o desenvolvimento. **Boletim Técnico Petrobras,** Rio de Janeiro, v.32, n.4, p.247-251, out./dez. 1989.
- 5 ALSHAWI, M.; AOUAD, G. **A strategic integration of information technology and business strategies: a structured methodology.** University of Salford, Department of Surveying, Salford, Manchester. Current Paper, 1993.
- 6 ASHLEY, D.B.; LEVITT, R.E. Expert systems in construction: work in progress. **Journal of Construction Engineering and Management,** New York, ASCE, v.1, n.(4), p.303-311, 1987.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Avaliação de custos unitários e preparo de orçamento de construção para incorporação de edifício em condomínio: NBR 12721.** Rio de Janeiro, 1992.
- 8 ATTARWALA, F.T.; BASDEN, A. A methodology for constructing expert systems. **R & D Management,** v.15, n.2, p.141-149, 1985.
- 9 BASDEN, A. On the application of expert systems. **International Journal of Man-machine Studies,** London, p. 461-477, 1983.
- 10 BÉDARD, C.; RAVI, M. Knowledge based approach to overall configuration of multistory office buildings. **Journal of Computing in Civil Engineering,** New York, ASCE, v.5, n.4, p.336-353, Oct. 1991.
- 11 BHANDARI, Narindar. Interaction of information flow with construction management systems. **Journal of the Construction Division,** New York, ASCE, p.261-267, Sept. 1978.
- 12 BRANDON, P.S. et al. Expert systems: the strategic planning of construction projects. **The RICS/ALVEY research for chartered quantity surveyors.** London, RICS, 1988.
- 13 BRANDON, P.S. Knowledge based systems: markets and methodologies. **International symposium on economic evaluation and the building environment.** Keynote Papers, v.6, p.11-27, Lisboa, 1993.

- 14 BIRREL, G.S. Construction planning beyond the critical path. **Journal of the Construction Division**, New York, ASCE, v.106, n.3, p.389, Sept. 1980.
- 15 BUCHANAN, B.G. - Constructing an expert system. In: HAYES-ROTH, F.; WATERMAN, D.A.; LENAT, D.B. (Eds.), **Building expert systems**, Reading, Mas.: Addison-Wesley, 1983.
- 16 CABRAL, E.C.C. **Proposta de metodologia de orçamento operacional para obras de edificações**. Florianópolis: (Mestrado em Engenharia) UFSC, 1988 .
- 17 CAMPOS, V.F. **Gerência da qualidade total: estratégia para aumentar a competitividade da empresa brasileira**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni: Escola de Engenharia da UFMG, 1990.
- 18 CHANG, T.C.; IBBS, W.C. Priority ranking: a fuzzy expert system for priority decision making in building construction resource scheduling. **Building and Environment**. v.25, n.3, p.253-267, 1990.
- 19 CHORAFAS, D.N. **Sistemas especialistas: aplicações comerciais**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1988.
- 20 COHENCA, D. et al. Factors affecting construction planning efforts. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, ASCE, v.115, n.1, Mar. 1989.
- 21 COHN, L. F. et al. Knowledge aquisition for domain experts. **Journal of Computing in Civil Engineering**, New York, ASCE, v.2, n.2, p.107-120, Apr. 1988.
- 22 DARWICHE et al. OARPLAN: Generating project plans by reasoning about objects, actions, and resources. **AI for engineering design, analysis and manufacturing**, London, Academic Press, 2(3), p. 169-181, 1988.
- 23 DE LA GARZA, J.; IBBS, W.C. Knowledge elicitation study in construction schedule domain. **Journal of Computing in Civil Engineering**, New York, ASCE, v.2, n.4, p.135-153, Apr.1990.
- 24 DIECKMANN, J.E. Explanation of construction engineering knowledge in expert systems. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, ASCE, v.114, n.3, Sept. 1988.
- 25 DIM, C. L. e LEVITT, R. E. **Knowledge-based systems in engineering**. New York: McGraw-Hill, 1991.
- 26 EAST, W. Knowledge based approach to project scheduling system selection. **Journal of Computing in Civil Engineering**, New York, ASCE, v. 2, n.4, p. 307-328, Oct. 1988.
- 27 ECHEVERRY, D. et al. A knowledge based approach to support the generatiion of construction schedules. In: TOPPING, B.H.V. (Ed.) **Artificial intelligence techniques and applications for civil and structural engineers**. Edinburgh, p.115-122, 1989.
- 28 FAILLACE, R.R. - **Discriminações técnicas**. Porto Alegre: Departamento de Engenharia Civil, UFRGS,1988. (Caderno Técnico, 185).
- 29 FIKES, R.; KEHLER, T. The role of frame-based representation in reasoning. **Communications of the ACM**, New York, v.28, n.9, p. 904-920, 1985.

- 30 FORMOSO, C. T. et al.- **A estimativa de custo de obras de edificações**. Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1986a. (Caderno de Engenharia, 9).
- 31 FORMOSO, C.T. **Análise dos números-índices de preços da indústria da construção - subsetor edificações**. Porto Alegre: Escola de Engenharia, 1986b. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS.
- 32 FORMOSO, C.T. **A knowledge based framework for planning house building projects**. Salford: Tese (Doutorado), University of Salford, Department of Quantity and Building Surveying, 1991.
- 33 GILMORE, M.L. Knowledge-based systems in construction and civil engineering. **Journal of Computing in Civil Engineering**, New York, ASCE, v. 7, nº 3, p. 147, Agosto 1989.
- 34 GOLDMAN, P. **Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil**. São Paulo: Pini, 1986.
- 35 HAMILTON, Ian. Developing expert systems for management applications. **Building cost modelling and computers**. University of Salford, 1987.
- 36 HARMON, P.; KING, D. **Expert systems - artificial intelligence in business**. New York, John Willey, 1985.
- 37 HEINECK, Luis F.M. Modelos para o planejamento de obras. In: **Encontro de pesquisa operacional no Rio Grande do Sul**, 2., 1984 Santa Maria, RS. **Anais**, pags. 239-252. Santa Maria, Imprensa Universitária, 1984. p.
- 38 HEINECK, Luis F.M. **On the analysis of activity durations on three house building sites**. Leeds, University of Leeds. 1983, Tese (Doutorado).
- 39 HEINECK, Luis F.M. **Sistematização de informações disponíveis para o orçamento e controle de custos em empreendimentos imobiliários em Porto Alegre**. Florianópolis: Curso de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 1990.
- 40 HENDRICKSON, C. et al. Expert system for construction planning. **Journal of Computing in Civil Engineering**, New York, ASCE, v. 1, nº 4, outubro 1987.
- 41 HERBSMAN, Z.J. et al. A generative knowledge-based expert system for project cost control and crew configuration. In: **International Congres In Constructions Management**, 5., 1990, Sydney, Australia, vol. 2, p. 497-504.
- 42 IBBS, C.W. Future directions for computerized construction research. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, ASCE.
- 43 IBBS, C.W.; DE LA GARZA, J.M. Knowledge engineering for a construction scheduling analysis systems. In: ADELI, H. (Ed.) **Expert systems in construction and structural engineering**. London, Chapman & Hall, 1987. p. 137-159.
- 44 ISHIKAWA, Kaoru **TQC - Total Quality Control: estratégia e administração da qualidade**. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos, 1986.
- 45 JONHSTON, D.W. Linear scheduling method for highway construction. **Journal of Construction Division**, New York, ASCE, v.107, n.2, p. 247-261, June 1981.

- 46 KÄHKÖNEN, K.E.E.; ATKIN, B.L. Modeling activity dependencies for construction projects planning. In: **International symposium on building economics and construction management**, 1990, Sydney, Australia. **Proceedings**. Sydney: CIB: University of Tecnology, 1990. v.6, p.251-262.
- 47 KAPPA MANUAL - **KAPPA version 1.2**, Intellicorp, Inc., abril, 1991.
- 48 KARTAM, N.A.; LEVITT, R.E.; WILKINS, D.E. - Intelligent planning of construction projects. **Journal of Computing in Civil Engineering**, New York, ASCE, v. 4(2), p. 155-176, Oct. 1989.
- 49 KIDD, A.L.; COOPER, M.B. Knowledge acquisition. In: **Expert systems: state of the art report**. London, Pergamon, 1984. Cap.7, p.
- 50 LAUFER, A; TUCKER, R.L. Is construction project planning really doing its job? a critical examination of focus, role and process. **Construction Management and Economics**, London, v.6, n.4, p. 339-355, 1988.
- 51 LEVITT R.E. Expert systems in construction. In: KIM, S.S. et al. (Eds.) **Survey of the state-of-the-art expert/knowledge based systems in civil engineering**. Champaign, Ill.: US Army Corps of Engineers. 1986, Cap.2, p.
- 52 LEVITT R.E.; KUNZ, J.C. **Using artificial intelligence techniques to support project management**. Stanford, Stanford University, 1987. (Working Paper, 1).
- 53 LEVITT R.E. e KUNZ, J.C. - Using knowledge of construction and project management for automated schedule updating. **Project Management Journal**, v.16, n.5, p. 57-76, 1985.
- 54 LEVITT R. E. et al. Artificial intelligence techniques for generating construction project plans. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, ASCE, v.114, n.3, p. 329-343, Sept. 1988.
- 55 LEVITT R.E. Knowledge planning systems: an engineering perspective. **International Conference on expert planning systems**, 1., 1990, Brighton. p.181-185.
- 56 MAHER, M.L. et al. Expert systems for civil engineers: technology and application. New York: **American Society of Civil Engineers**, New York, 1987.
- 57 MAZIERO, Lucia T.P. **Aplicação do método da linha de balanço no planejamento de obras repetitivas**; um levantamento das decisões fundamentais para sua aplicação. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1990, Dissertação ( Mestrado em Engenharia ).
- 58 McGARTLAND, M.R.; HENDRICKSON, C.T. Expert system for construction project monitoring. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, ASCE, Vol. 111, n. 3, 1985
- 59 MESSEGER, A.G. **Garantía de calidad en construccion**. Seminário S.8 del Curso CEMCO 88 del Instituto Eduardo Torroja (CSIC), Madrid, Abril 1988.

- 60 MOHAN, S. Expert systems technology in the domain of construction. In: **International Conference on Robotics and Artificial Intelligence in Building**, 4., Haifa, 1987. **Proceedings of the fourth international conference on robotics and artificial intelligence in building**.
- 61 Expert systems applications in construction management and engineering. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, ASCE, V. 116, n. 1, mar. 1990.
- 62 MORAD, A.A.; BELIVEAU, Y.J. Knowledge-based planning system. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, ASCE, V 117, n.1, Mar. 1991.
- 63 MOSELHI, O.; NICHOLAS, M.J. Hibrid expert system for construction planning and scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, New York, ASCE, V. 116, n. 2, Jun. 1990.
- 64 MURLIDHARAM T.L. et al. Expert tower analysis and design systems: architecture and heuristics. **Journal of Computing in Civil Engineering**, New York, ASCE, v. 5, n. 2, Apr. 1991.
- 65 NAVICHANDRA, D. et al. GHOST: Project network generator. **Journal of Computing in Civil Engineering**, New York, ASCE, v.2, n.3, p. 239-254, 1988.
- 66 NIEDZWECKI, J.M.; EARLES, J.A. Strategy for design of intelligent tutoring systems. **Journal of Computing in Civil Engineering**, New York, ASCE, v. 5, n.2, Apr. 1991.
- 67 NOLAN, Richard L. **Managing the crisis in data processing** - Harvard business review. Boston - MA - Jan., Feb. 1974
- 68 ORTOLANO, L.; PERMAN, C. Software for expert systems development. **Journal of Computing in Civil Engineering**, New York, ASCE, v.1, n.4, p. 225-240, Oct. 1987.
- 69 PASTORELLO, M.A. **Sistemas baseados em conhecimento: formas de representação de conhecimento, sistemas especialistas e paradigmas de inferência**. Porto Alegre: UFRGS, PGCC, 1991,(Caderno Técnico).
- 70 PICCHI, F. A. **Sistemas de qualidade: uso em empresas de construção**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1993, (Tese de Doutorado).
- 71 REGIONAL-SUL ORÇAMENTOS E CUSTOS. **Regional discriminada**, Porto Alegre, dezembro, 1993.
- 72 RODERICK, I.F. Examination of the use of critical path methods in building. **Building Technology and Management**. v.15, n.3, p. 16-19, 1977.
- 73 ROSSO, T. Operações repetitivas na construção. In: Encontro nacional da construção, 3., 1976, Porto Alegre. **Anais do III Encontro Nacional da Copnstrução**. Porto Alegre: SERGEL, 1976, v.2, 4º Comissão, pags. 2-23.
- 74 **Racionalização da construção**. São Paulo: USP, 1980. 300p.

- 75 SCHMIDT, C.M. **Orçamentos de edificações residenciais: método sistematizado para levantamento de dados em planta e cálculo de quantitativos.** Porto Alegre: Escola de Engenharia, 1987. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS.
- 76 SILVA, M.A.C. **Identificação e análise dos fatores que afetam a produtividade sob a ótica dos custos de produção de empresas de edificações.** Porto Alegre: Escola de Engenharia, 1986. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS.
- 77 SLATTER, P. **Building expert systems: cognitive emulation.** Chichester: Ellis Horwood, 1987.
- 78 STEEL, S. Topics in planing. In: **Lecture notes in artificial intelligence.** Advanced topics in artificial intelligence 2nd advanced course, ACAI' 87. Oslo, Norway, 28 de julho a 7 de agosto, 1987.
- 79 STOCKLEY, J.E. Knowledge acquisition for expert systems. In: BRANDON, P.S. (Ed.) **Building cost modelling and computers.** London: Spon, 477-480, 1987.
- 80 STRADAL, O; CACHA, J. Time space scheduling method. **Journal of Construction Division,** New York, ASCE, v.108, n.3, p. 445-457, Sept. 1982.
- 81 STRETTON, A.; STEVENS, G. PREDICTE; an expert system for estimating indicative construction times for multi-storey buildings at concept stages. In: **International symposium on buildings economics and construction management,** 1990, Sidney, Australia.
- 82 **TABELAS de composições de preços para orçamento.** 10. ed. São Paulo: Pini, 1992.
- 83 THOMAS, N.G. Using object-oriented techniques for developing integrative expert systems in building defect diagnosis. In: **International symposium on economic evaluation and the building environment,** 1993, Lisbon. v.1, p. 130-139.
- 84 TRIMBLE, G. Expert systems: some practical issues. In: HAMILTON, G.; WAGER, D. (Eds.). **Expert systems for construction and services engineering.** London: CICA & BSIRIA, 1986, p.91-98.
- 85 WATSON, I. et al. A knowledge analysis methodology using an intermediate knowledge representation based on conceptual graphs. In: **International workshop on expert systems and their applications,** 9., 1989, Avignon. v.1, p. 183-198, 1989.
- 86 WARZAWSKI, A. Expert systems in construction planning. In: **International symposium on economic evaluation and the building environment,** 1993, Lisbon. Keynote Papers, v.6, p. 01-10.
- 87 WHITE, A. The critical path method and construction contracts: a polemic. **Construction Management and Economics,** London, v.3, n.1, p.15-24, 1985.
- 88 WIELINGA, B.J., e BREUKER, J.A. - Interpretation of verbal data for knowledge acquisition. In: O'SHEA, T. (Ed.) **Advances in artificial Intelligence.** Amsterdam, Elsevier, 1985.

- 89 YOUNG, R. Role of intermediate representations in knowledge elicitation. In: MORALLE, D. S. (Ed.) **Research and development in expert systems IV**. Jornal da Universidade de Cambridge, 285-296. British Computer Society Workshop Series, 1989.
- 90 ZOZAIA-GOROSTIZA et al. A knowledge-intensive planner for construction projects. **Building and Environment**. v. 25, n.3, p. 269-278, 1990.

***ANEXO 1***

**BIBLIOTECA DE ATIVIDADES DO SISTEMA**

## Atividades

### ServicosIniciais

#### Concepcao

- ⇒ Sondagem
- ⇒ Contratacao
- ⇒ Projetos
- ⇒ EstudoViabilidade

#### Canteiro

- ⇒ Locacao
- ⇒ Tapume
- ⇒ Barracoes
- ⇒ Pocos
- ⇒ LimpezaTerreno

#### InstalacoesProvisorias

- ⇒ InstalacaoProvisoriaAgua
- ⇒ InstalacaoProvisoriaLuz
- ⇒ InstalacaoProvisoriaBanheiro

#### Escavacoes

- ⇒ EscavacaoManual
- ⇒ EscavacaoMecanica

### Fundacoes

#### Contencoes

- ⇒ CortinaConcreto
- ⇒ CortinaGabioes
- ⇒ CortinaBlocos
- ⇒ ImpermeabilizacaoCortinas

#### BlocosFundacao

- ⇒ LastroBlocos
- ⇒ FormaBlocos
- ⇒ ArmaduraBlocos
- ⇒ ConcretagemBlocos

#### Estacas

- ⇒ Rotativa
- ⇒ Strauss
- ⇒ Premoldada
- ⇒ Franki
- ⇒ Sapata
- ⇒ Tubulao

#### VigasFundacao

- ⇒ LastroVigasFundacao
- ⇒ FormasVigasFundacao
- ⇒ ArmaduraVigasFundacao
- ⇒ ConcretagemVigasFundacao
- ⇒ ImpermeabilizacaoFundacao

## Atividades

### Estrutura

#### PilaresEstrutura

- ⇒ FormasPilares
- ⇒ ArmadurasPilares
- ⇒ ConcretagemPilares
- ⇒ DesformaPilares

#### VigasEstrutura

- ⇒ FormasVigas
- ⇒ ArmadurasVigas
- ⇒ ConcretagemVigas
- ⇒ DesformaVigas

#### LajesEstrutura

- ⇒ FormasLajes
- ⇒ ArmadurasLajes
- ⇒ EletrodutosLajes
- ⇒ ConcretagemLajes
- ⇒ DesformaLajes

#### EscadasEstrutura

- ⇒ FormasEscadas
- ⇒ ArmadurasEscadas
- ⇒ ConcretagemEscadas
- ⇒ DesformaEscadas

#### ReservatoriosEstrutura

- ⇒ FormasReservatorios
- ⇒ ArmadurasReservatorios
- ⇒ ConcretagemReservatorios
- ⇒ DesformaReservatorios

#### JuntasConcretagem

- ⇒ JuntasDilatacao

### Fechamento

#### Paredes

- ⇒ AlvenariaExterna
- ⇒ AlvenariaInterna

#### Telhado

- ⇒ EstruturaTelhado
- ⇒ Telhamento
- ⇒ ProtecoesTelhado

#### Aberturas

##### Janelas

- ⇒ ContramarcoJanelas
- ⇒ MarcoJanelas

##### Portas

- ⇒ ContramarcoPortas
- ⇒ MarcoPortas
- ⇒ FerragemPortas
- ⇒ FolhasPortas

## Atividades

### Revestimento

#### Revestimentos Internos

##### Revestimento Paredes Internas

- ⇒ Chapisco Paredes Internas
- ⇒ Emboco Paredes Internas
- ⇒ Reboco Paredes Internas
- ⇒ Azulejo Paredes Internas
- ⇒ Massa Corrida Paredes Internas
- ⇒ Cerâmica Paredes Internas
- ⇒ Pintura Paredes Internas

##### Revestimento Forros Internos

- ⇒ Chapisco Forros Internos
- ⇒ Emboco Forros Internos
- ⇒ Reboco Forros Internos
- ⇒ Forro Interno Madeira
- ⇒ Forro Interno Gesso
- ⇒ Pintura Forros Internos

##### Revestimento Escadas Internas

- ⇒ Revestimento Granitina Degraus
- ⇒ Revestimento Pedras Degraus
- ⇒ Revestimento Madeira Degraus
- ⇒ Revestimento Cimento Degraus
- ⇒ Regularização Degraus
- ⇒ Revestimento Cerâmica Degraus

#### Revestimentos Externos

##### Revestimento Paredes Externas

- ⇒ Chapisco Paredes Externas
- ⇒ Emboco Paredes Externas
- ⇒ Reboco Paredes Externas
- ⇒ Fulget Paredes Externas
- ⇒ Paredes Externas Pedras
- ⇒ Cerâmica Paredes Externas
- ⇒ Paredes Externas Pastilhas
- ⇒ Pinturas Externas

##### Impermeabilizações

- ⇒ Impermeabilização Lajes
- ⇒ Impermeabilização Reservatórios
- ⇒ Impermeabilização Alvenarias

#### Instalações

- ⇒ Instalações Hidráulicas
- ⇒ Instalações Gas
- ⇒ Instalações Elétricas
- ⇒ Instalações Telefônicas
- ⇒ Instalações Lixo
- ⇒ Instalações Incêndio

## Atividades

### Acabamentos

#### AcabamentosInternos

##### AcabamentoPisosInternos

- ⇒ PisoConcreto
- ⇒ PisoCimentado
- ⇒ PisoCeramico
- ⇒ PisoGranitina
- ⇒ PisoVinilico
- ⇒ PisoPedras
- ⇒ PisoParquet
- ⇒ PisoCarpete
- ⇒ PisoTaboao
- ⇒ Contrapiso

##### AcabamentoEscadas

- ⇒ DegrausAcabamento
- ⇒ CorrimaoAcabamento
- ⇒ AcabamentosExternos
- ⇒ AcabamentoPisosExternos
- ⇒ PisoExternoConcreto
- ⇒ PisoExternoCeramica
- ⇒ PisoExternoPedras
- ⇒ PavimentacaoExternaVias

##### AcabamentoJanelas

- ⇒ VidrosJanelas
- ⇒ FerragemJanelas

##### CercasGrades

- ⇒ CercasGradesFerro

##### ServicosFinais

- ⇒ LimpezaFinalPredio
- ⇒ Ajardinamento
- ⇒ LigacoesDefinitivas
- ⇒ DesmontagemInst.Provisorias

##### AreaLazer

- ⇒ Playgrownd
- ⇒ Sauna

### Despesas

#### Elevador

- ⇒ ElevadorPassageiros6
- ⇒ ElevadorPassageiros8
- ⇒ ElevadorPassageiros12

#### Consumo

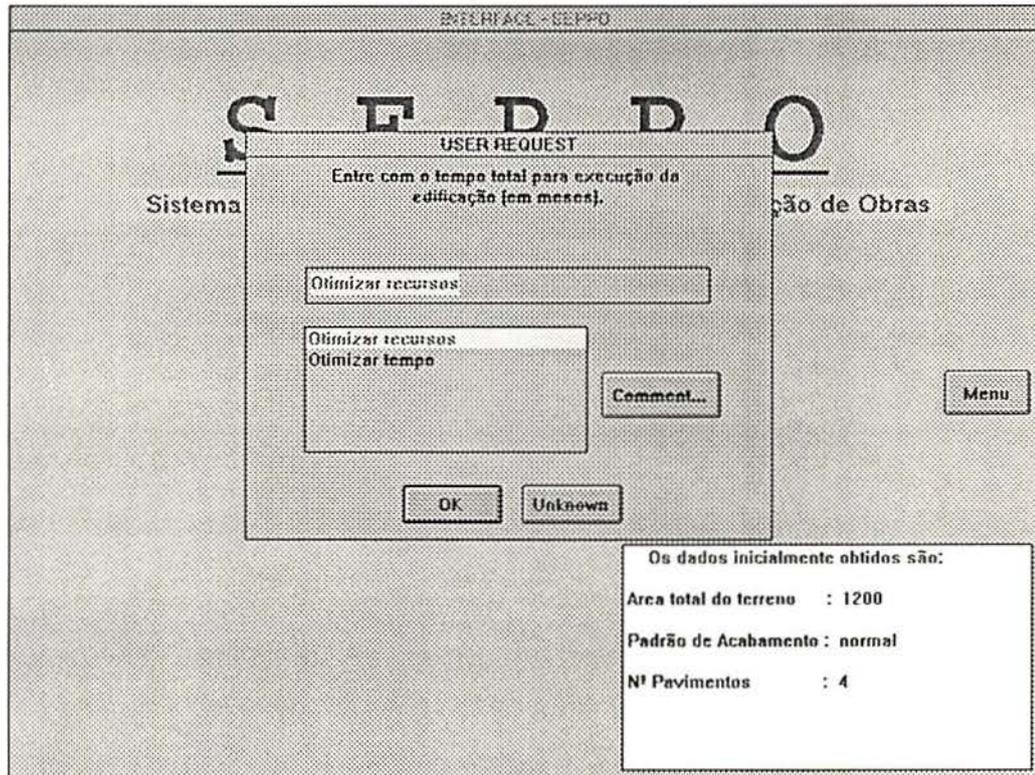
- ⇒ LimpezaPermanente
- ⇒ LocacaoEquipamentos
- ⇒ ControleQualidade
- ⇒ AdministracaoObra

## ***ANEXO 2***

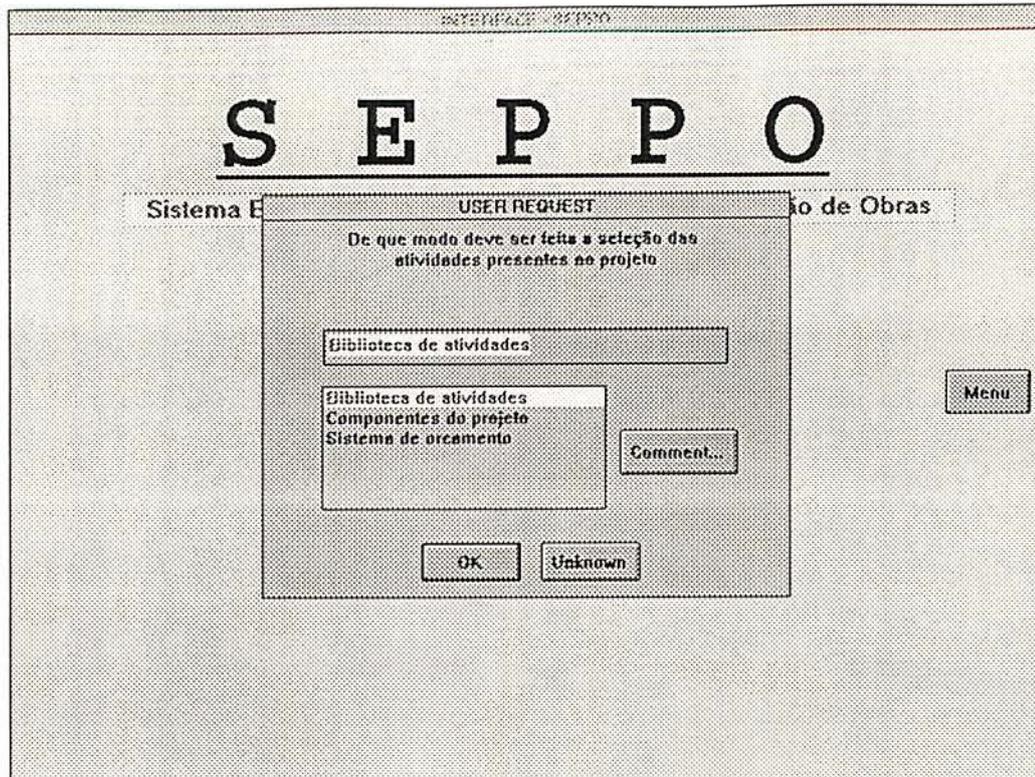
**DEMONSTRATIVO DE UTILIZAÇÃO DO SEPP0**



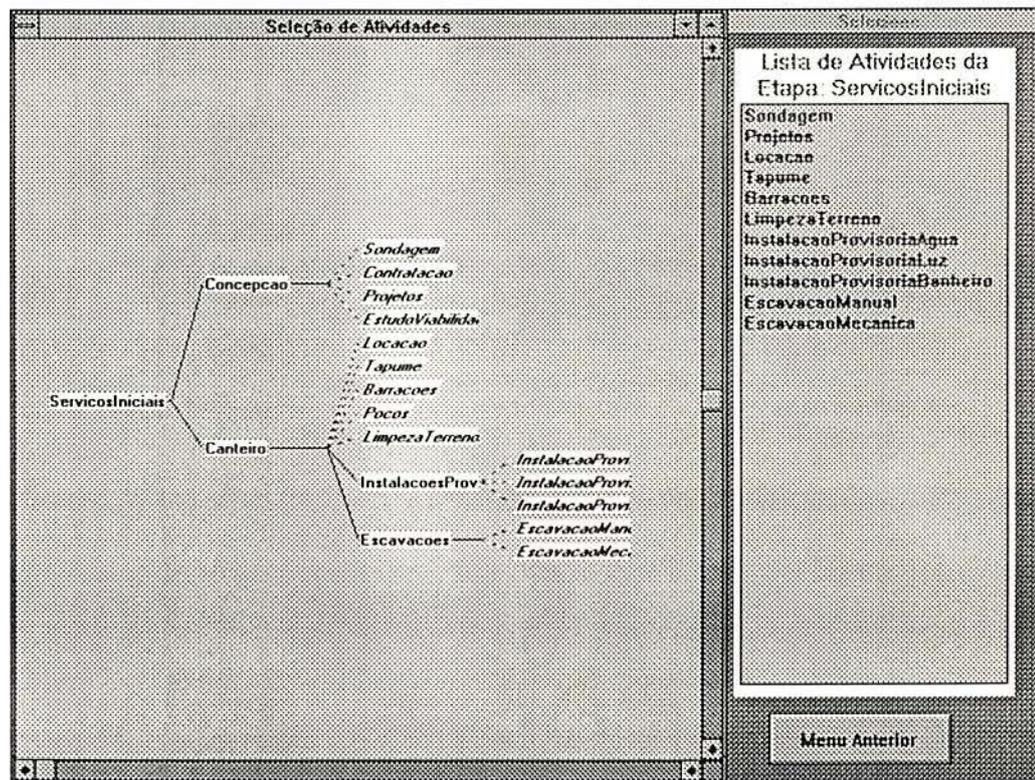
Tela 1 - tela de apresentação. O sistema entra em ação quando o ícone do mouse é clicado sobre o botão referente a opção do usuário.



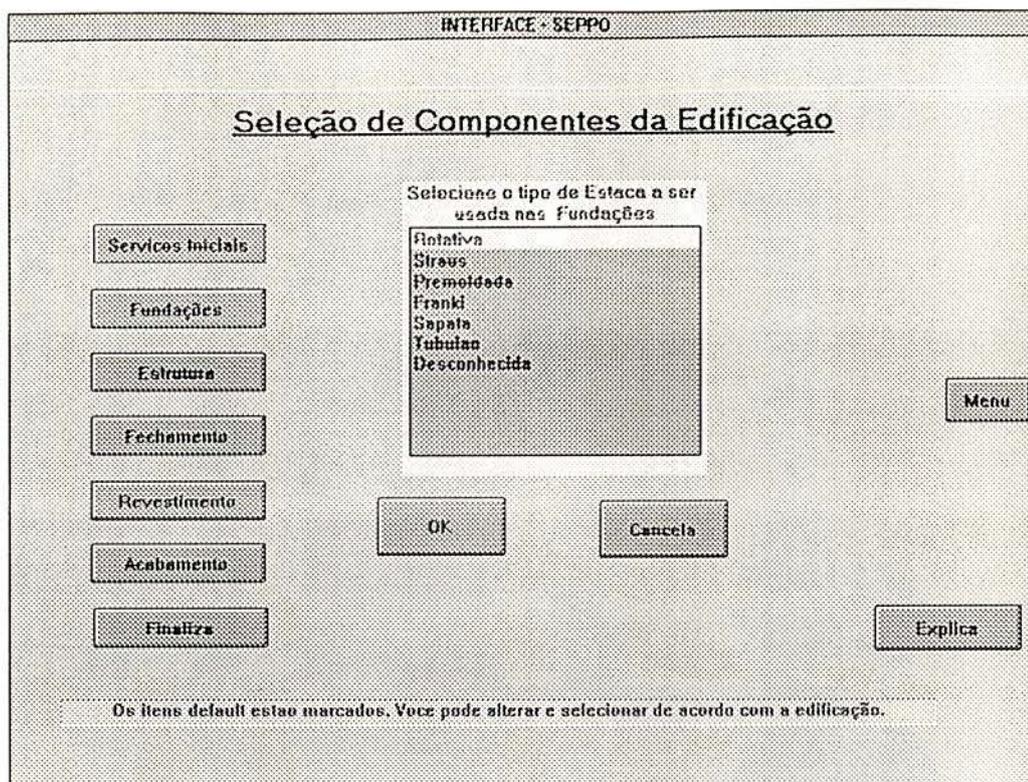
Tela 2 - dados gerais do projeto. No centro está a janela de interface com o usuário e à direita em baixo são apresentadas as respostas do usuário ou assumidas pelo sistema.



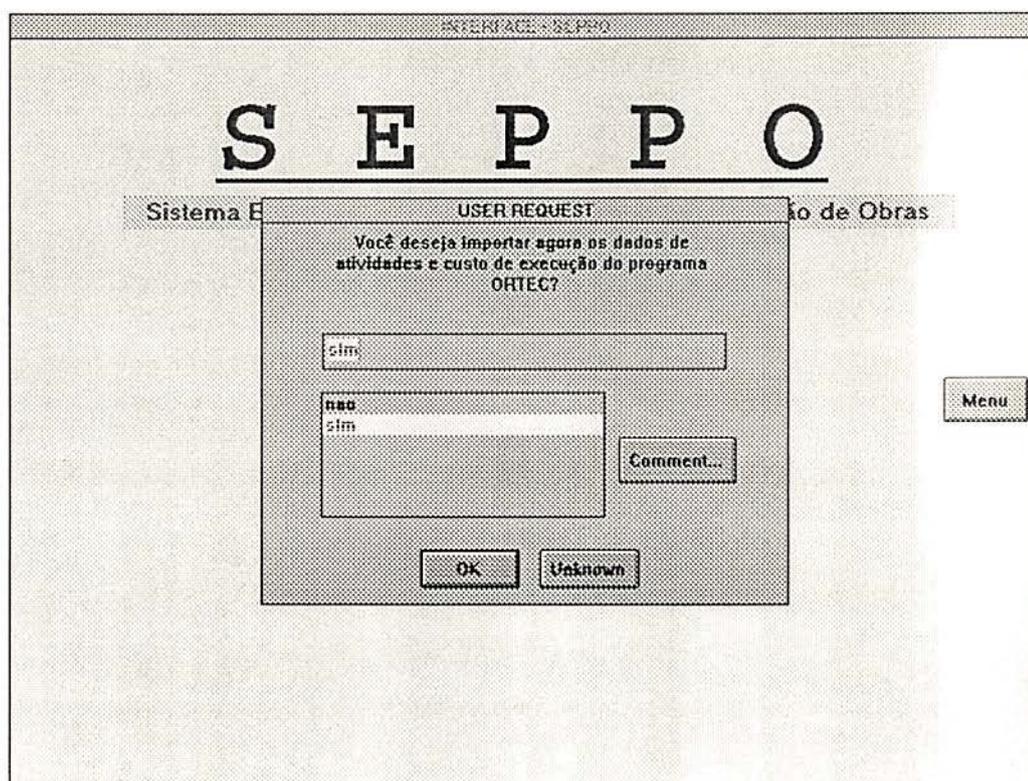
Tela 3 - opções para seleção de atividades. Como apresentado no capítulo 6, o sistema permite que a seleção de atividades seja executada por três meios: (i) na biblioteca de componentes do sistema, (ii) por meio de seleção de componentes e (iii) diretamente do orçamento discriminado (ver item 6.3).



Tela 4 - seleção via biblioteca de atividades. O menu da direita apresenta as atividades selecionadas em cada grupo e na tela à esquerda são apresentadas as atividades do grupo, que podem ser selecionadas diretamente com o ícone do mouse sobre seu nome.



Tela 5 - seleção via componentes da edificação. Os botões à esquerda ao serem acionados apresentam componentes de cada grupo, os quais são selecionados diretamente no menu. Os botões referentes a grupos já selecionados sofrem alteração na sua cor.



Tela 6 - seleção via orçamento discriminado (ORTEC). Esta opção seleciona automaticamente as atividades da biblioteca do SEPPPO e passa os quantitativos de execução e custo.

INTERFACE - SEPPPO

# S E P P O

Sistema E io de Obras

**USER REQUEST**

Qual o nível de disponibilidade de mão-de-obra no local da construção?

media

alta

baixa

media

Comment...

Tela 7 - informações referentes ao ritmo de execução da obra. Como no caso da Tela 1, para qualquer valor desconhecido pelo usuário o sistema assume valores "default" provenientes do conhecimento dos especialistas envolvidos na elaboração do trabalho.

INTERFACE - SEPPPO

Serviços iniciais	Fundações	Estrutura	Fechamento	Revest. Internos	Acabamento
				Revest. Externos	
Instalação			7	1	7
Formallosos			7	2	8
Armadores			7	2	8
Concretagem			9	1	9
Formas Vigas			8	2	9
Armatura Vigas			8	2	9
Concretagem Vigas			10	2	11
Impermeabilização			12	1	12

Tela 8 - geração e ajuste fino do plano. Neste ponto o plano pode ser gerado totalmente (botão Plano) ou para cada grupo de atividades, permitindo ajustes, diretamente na tela do computador, nas datas de início, fim e duração das atividades.

Microsoft Excel

File Edit Formulas Format Data Options Macro Window Help

Normal

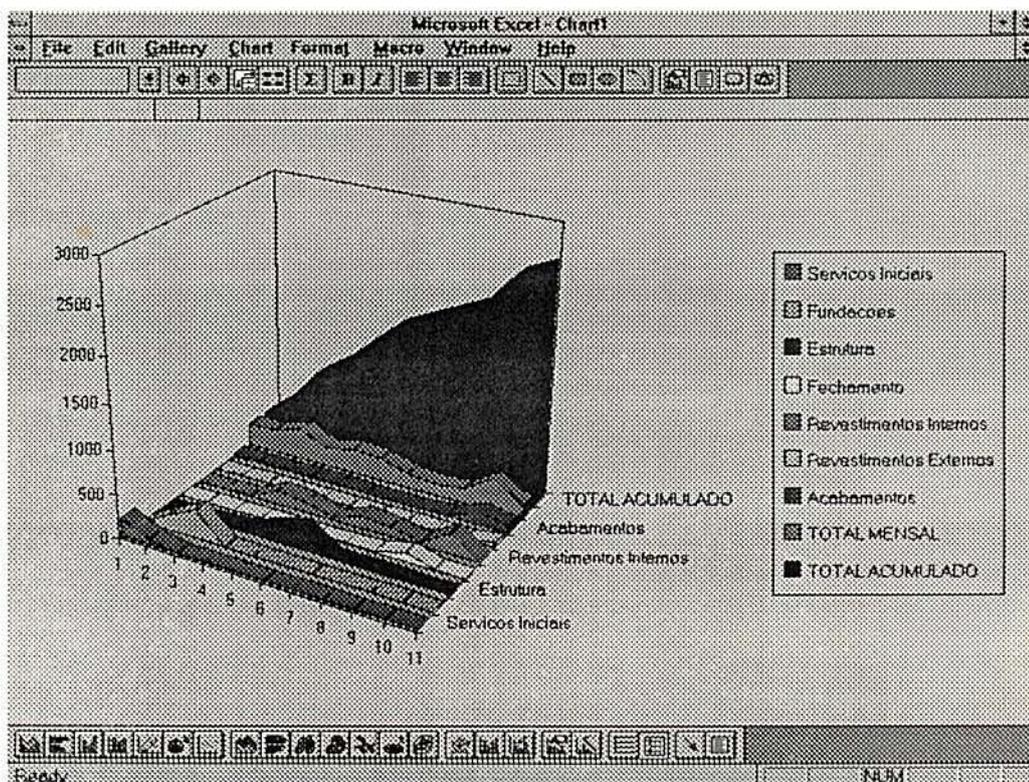
A1

YABMESR.XLS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3		Services Iniciais								
4		Sondagem		3						
5		Projetos		155.625	51.875					
6		Locacao			0.30412					
7		Topome		16.5343						
8		Barracoes			0.96823					
9		Limpeza Terreno		20.6						
10		Instalacao Provisora Agua		5.45						
11		Instalacao Provisora Luz		16.6901						
12		Instalacao Provisora Banheiro		0.36914						
13		Escavacao Manual			8.64					
14		Escavacao Mecanica			6.06					
15										
16										
17		Fundacoes								
18		Rateira			89.56					
19		Forma Blocos			10.744					
20		Armadura Blocos			74.778					
21		Concreto Legem Blocos				97.728				
22		Formas Vigas Fundacao				16.116				
23		Armadura Vigas Fundacao				61.182				
24		Concreto Legem Vigas Fundacao				146.592				

Ready NUM

Tela 9 - representação do plano na planilha eletrônica. O plano gerado pelo sistema é representado na planilha e distribuído ao longo do tempo de execução do projeto em grupos de quatro semanas.



Tela 10 - representação gráfica da distribuição de custos. Este é um dos exemplos de informações que podem ser geradas pela planilha eletrônica.