

# Metodologias para o Desenvolvimento de Sistemas Especialistas para Planejamento em Construção

Carlos Torres Formoso

Titulação: Eng. Civil, M. Sc., Ph.D.

Professor Adjunto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS

Av. Osvaldo Aranha, nº 99, 3º andar

Porto Alegre - RS - CEP 90210

**Palavras chave:** Sistemas Especialistas, Engenharia do Conhecimento, Inteligência Artificial

**Key words:** Expert Systems, Knowledge Engineering, Artificial Inteligency

## RESUMO

Nos últimos anos um número relativamente grande de sistemas especialistas têm sido produzidos, tanto pela indústria quanto em centros de pesquisa. Algumas destas aplicações têm sido empregadas para resolver problemas práticos, mas a maior parte delas não foi além do estágio de protótipo.

Estes sistemas são normalmente desenvolvidos através de um processo relativamente informal e empírico, o qual envolve a implementação de um protótipo simplificado já nos estágios iniciais de aquisição do conhecimento. Esta abordagem tem sido bastante criticada pelas dificuldades de re-implementação do conhecimento.

Mais recentemente, algumas metodologias formais para a produção de sistemas especialistas têm sido propostas. Embora tais metodologias prescrevam diversas recomendações úteis, que podem ser seguidas em inúmeros casos práticos, nenhuma delas provou ainda ser aplicável de forma integral em uma ampla gama de situações.

A primeira parte deste artigo consiste em uma rápida revisão das principais metodologias propostas. A segunda parte descreve o procedimento adotado durante o desenvolvimento de um sistema especialista para o planejamento de conjuntos habitacionais, denominado House Planner.

## ABSTRACT

*Several knowledge based systems have been produced in the last decade, both in the industry and in research institutes. Some of these applications have been used in practical situations, but most of them have not been developed beyond the prototype stage.*

*Such systems are usually designed through an informal and empiric process which involves the implementation of a simple prototype of the system in the early phases of knowledge acquisition. This approach has been widely criticized because it can make both the re-implementation and updating of knowledge bases cumbersome, and seriously distort the way knowledge is represented.*

*For this reason, a number of more formal methodologies for developing knowledge based systems have been proposed in recent years. Although such methodologies have provided some useful advice, none of them has yet proved to be applicable as whole in a wide range of situations.*

*The first part of this paper consists of a general review of some of the existing formal methodologies. In the second part, the approach used for developing a knowledge based system for planning house building projects, named House Planner, is discussed.*

## Introdução

Embora sistemas especialistas tenham sido produzidos desde meados dos anos setenta, não existe ainda uma metodologia eficaz para produzir este tipo de aplicação, ao contrário de que ocorre para sistemas computacionais convencionais (De la Garza et al., 1988). É possível que metodologias desta natureza hão de surgir apenas do momento que maiores avanços sejam efetuados nos campos da engenharia do conhecimento e da psicologia cognitiva (Slatter, 1987; Baines, 1987).

Em função da ausência de metodologias formais, a grande maioria dos sistemas especialistas têm sido produzidos através de um processo informal, “ad hoc”, no qual um protótipo é desenvolvido de forma interativa desde os estágios iniciais de aquisição do conhecimento. Na literatura, este processo é usualmente denominado de “early prototyping”: os conhecimentos são implementados no protótipo à medida que são extraídos dos especialistas, sendo o mesmo subsequentemente revisado ou reformulado em ciclos interativos pela equipe envolvida em seu desenvolvimento (Buchanan et al., 1983).

Born (1989) salienta que tal procedimento é frequentemente utilizado na produção de sistemas especialistas pelas seguintes razões: (a) normalmente não existe uma especificação do sistema no início de seu desenvolvimento; (b) há indicações de que uma forma eficaz de extrair conhecimentos de especialistas consiste em mostrar aos mesmos os efeitos da implementação de regras propostas; (c) a busca de uma forma adequada de representação do conhecimento requer experimentação no computador; e (d) é difícil determinar os requisitos da interface homem-máquina sem iniciar o processo de implementação.

Por outro lado, esta abordagem tem sido criticada por não gerar uma documentação completa e explícita dos conhecimentos modelados (Watson, 1989). Isto pode tornar o processo de atualização da base de conhecimento e sua re-implementação em outro ambiente, caso seja necessário, bastante difícil. Além disto, tem se reconhecido que o processo de representação do conhecimento pode ser distorcido pelo fato de que a ferramenta empregada (por exemplo, uma “shell”) impõe um formato pré-determinado ao qual o conhecimento extraído precisa enquadrar-se (Slatter, 1987).

## Metodologias Formais

Algumas metodologias para a produção de sistemas especialistas, com um caráter mais sistemático, têm sido propostas nos últimos anos. Estas podem ser classificadas em dois grupos principais. O primeiro grupo implica a representação e a análise do conhecimento adquirido dos especialistas no papel antes de implementá-lo no computador. Este processo de representação utiliza-se de um formalismo que independe da linguagem empregada na implementação. Tal formalismo é conhecido como representação intermediária, já que o mesmo pode ser situado entre a linguagem natural, empregada por especialistas para expressar seus conhecimentos, e o código utilizado na implementação.

O uso de representação intermediária tem sido fortemente recomendado por diversos autores (Alexander et al., 1986; Slatter, 1987; Breuker & Wielinga, 1989; Young, 1989). Entretanto, esta abordagem tem também sido criticada pela falta de rigorismo das metodologias disponíveis e também por inexistirem, até o momento, formalismos adequados para representação intermediária (Watson, 1989).

O segundo grupo inclui o desenvolvimento de ferramentas para a análise automatizada do conhecimento. Tais ferramentas surgiram em função da excessiva complexidade e volume do trabalho demandado para produzir uma representação intermediária completa de modelos do conhecimento humano e posteriormente representá-los no computador. KADS (Breuker & Wielinga, 1989) e KEATS (Motta et al., 1989) estão entre as ferramentas mais conhecidas. Entretanto, esta abordagem também tem suas limitações. Segundo Watson (1989), cada uma das ferramentas atualmente disponíveis apresenta pelo menos uma das seguintes desvantagens: (a) é limitada a uma única técnica de aquisição do conhecimento; (b) não produz a implementação do sistema; (c) impõe uma estratégia de solução de problemas pré-estabelecida; e (d) a representação intermediária não é completamente independente da linguagem de implementação. Nenhuma destas ferramentas são comercializadas até o presente momento.

## Objetivos do Estudo

O trabalho de pesquisa abordado neste artigo envolveu o desenvolvimento de um sistema especialista, denominado House Planner, que modela conhecimentos empregados por cinco especialistas em planejamento e controle da construção na Grã Bretanha, quando estes planejam a produção de habitações.

O objetivo geral deste estudo foi investigar a viabilidade de se empregar a engenharia do conhecimento para produzir modelos do conhecimento humano que pudesse sanar as dificuldades geradas pela existência de gargalos de conhecimento na indústria da construção.

O sistema resultante pode ser descrito como um sistema de apoio à decisão que pode ser

empregado para gerar planos de produção a nível tático para conjuntos habitacionais de baixa altura. Uma das principais características desta aplicação é a sua capacidade para planejar empreendimentos cujas descrições são incompletas.

Por ter sido elaborado em cooperação com a indústria da construção, o modelo foi desenvolvido com um certo grau de pragmatismo. Havia várias restrições de caráter prático, principalmente em função da pouca disponibilidade de tempo por parte dos especialistas. Apesar disto, procurou-se, no procedimento adotado, levar em conta alguns elementos das metodologias até então propostas para a produção de sistemas especialistas. Entre os resultados principais desta pesquisa consta um número de recomendações para a formalização de futuras metodologias, particularmente no campo do planejamento da construção. Tal procedimento será descrito no restante deste artigo. A descrição detalhada desta pesquisa pode ser encontrada em Formoso (1991).

## Procedimento Adotado

### Fases de desenvolvimento do sistema

Sob o ponto de vista temporal, o desenvolvimento do sistema foi dividido em três fases: (a) fase conceitual; (b) construção do modelo; e (c) validação do modelo.

Os objetivos principais da fase conceitual foram identificar o papel que a aplicação poderia assumir no âmbito do problema existente e estabelecer os limites do domínio de conhecimento relevante à construção do modelo. Ao final desta fase, a estrutura básica do modelo havia sido definida, assim como a escolha de uma "shell" adequada para a sua implementação final.

A segunda fase pode ser descrita como o estágio de construção do modelo propriamente dito, envolvendo a aquisição de conhecimento de especialistas a nível bastante detalhado e sua implementação efetiva no computador.

A fase de validação do modelo teve como objetivo principal verificar se o sistema havia atingido o nível de qualidade requerido, assim como identificar as principais limitações do modelo.

As duas primeiras etapas serão descritas em mais detalhes no decorrer do presente artigo. A validação do modelo não será discutida neste artigo devido a limitações de espaço e ao seu caráter metodológico distinto.

### Estrutura do processo de modelagem

No início da pesquisa a disponibilidade de conhecimento de especialistas na indústria era desconhecida, não existindo, naquele momento, especialistas comprometidos em fornecer as informações necessárias à construção do modelo. Além disto, não existia uma especificação formal do sistema a ser implementado.

Este caráter exploratório do estudo indicava para a necessidade de se implementar um protótipo da aplicação já nos estágios iniciais de aquisição do conhecimento. Tal protótipo poderia dar indicações com relação à viabilidade do modelo e, ao mesmo tempo, servir para comunicar os objetivos do trabalho a potenciais colaboradores da pesquisa.

Tendo-se em conta as limitações deste tipo de abordagem, citadas anteriormente, optou-se por representar e analisar todo o conhecimento modelado, simultaneamente à imple-

mentação do protótipo, mediante o emprego de uma representação intermediária no papel. O objetivo deste procedimento não era construir no papel um modelo do conhecimento que fosse completo, formal e detalhado, mas sim utilizar um grupo de estruturas que permitissem armazenar e analisar porções organizadas do conhecimento envolvido.

A estrutura geral do processo de modelagem do conhecimento está apresentada na figura 1. No primeiro estágio, os conhecimentos extraídos dos especialistas são simplesmente transcritos. Tais conhecimentos são então analisados e sistematizados no papel, utilizando formalismos de representação intermediária. O modelo no papel é subsequentemente refinado durante as entrevistas. O protótipo é implementado de forma interativa, sendo submetido à crítica dos especialistas diversas vezes até que seu desempenho seja aceitável.

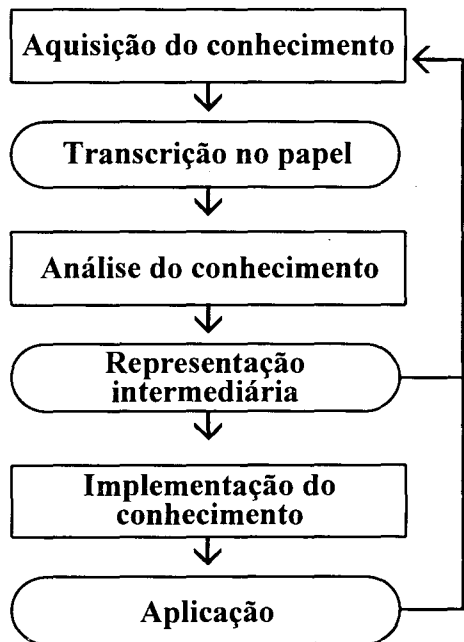


Figura 1: Representação esquemática do processo de modelagem

## Fase conceitual

O primeiro passo neste estágio foi investigar a disponibilidade de conhecimento de especialistas na indústria da construção e identificar um grupo de profissionais dispostos a contribuir nesta pesquisa.

Vários estudos no campo da engenharia do conhecimento têm indicado que modelar o conhecimento de um grupo de especialistas é, via de regra, mais adequado que simplesmente empregar o conhecimento de um único especialista. Mittal & Dym (1985) e Basden (1990) salientaram que especialistas em áreas de conhecimento bastante amplas e complexas normalmente dominam apenas uma parcela do conhecimento relevante. Gaines (1987) também ratifica esta idéia, afirmando que o sistema cognitivo básico que deve ser considerado na engenharia do conhecimento é a organização social, ao invés do indivíduo.

Entretanto, houve uma certa dificuldade inicial em se conseguir um número razoável de especialistas dispostos a contribuir com o estudo, por duas razões. Primeiramente, poucas empresas de construção na Grã Bretanha tinham em seus quadros especialistas em planejamento e controle em construção, o que veio a confirmar a existência de um gargalo de conhecimento neste campo, também referido na literatura (Levitt & Kunz, 1987). Em segundo lugar, dentre as empresas de construção que tinham tais especialistas, estes não possuíam disponibilidade de tempo para dar uma contribuição significativa ao estudo.

Optou-se então por desenvolver um protótipo bastante simplificado do sistema nesta primeira fase do processo de modelagem, empregando-se o conhecimento de apenas um especialista que havia concordado em fornecer as informações necessárias. Este es-

pecialista era o chefe do departamento de uma empresa construtora de abrangência nacional.

Entrevistas informais constituíram-se na única forma de aquisição do conhecimento utilizada na fase conceitual, já que o objetivo principal deste estágio era apenas identificar a estrutura básica do domínio de conhecimento, o que daria condições ao desenvolvimento do protótipo. O emprego de outras técnicas de aquisição do conhecimento foi deixado para a fase de construção do modelo propriamente dita, quando existiriam informações mais detalhadas sobre as características do domínio e dos especialistas envolvidos.

Antes de iniciar as entrevistas, a empresa construtora forneceu uma documentação relativa a nove empreendimentos habitacionais já concluídos ou em andamento naquele momento. Esta documentação incluía o plano de produção, as principais plantas do projeto arquitetônico, uma descrição do canteiro e as condições contratuais básicas, para cada empreendimento. Estas informações foram empregadas para estabelecer uma estrutura prévia nas entrevistas, o que possibilitou que o tempo disponível por parte do especialista fosse empregado de uma forma eficiente.

Cinco entrevistas de aproximadamente uma hora e meia foram suficientes para obter o conhecimento necessário para produzir o protótipo. As entrevistas foram todas gravadas e transcritas para o papel. A partir destas transcrições, o conhecimento foi analisado e sistematizado no papel, com o uso de uma representação intermediária. Esta constou principalmente de redes de inferência, tabelas, listas de passos, diagramas de precedência, regras expressas em inglês, etc.

A escolha de uma ferramenta adequada para implementar o protótipo não pode ser

baseada nos requisitos para o sistema final, já que se conhecia muito pouco sobre o domínio de conhecimento. Escolheu-se uma “shell” denominada Crystal, principalmente pelo seu baixo custo, por ser fácil de utilizar e por possuir bons recursos para desenvolver uma interface homem-máquina eficaz.

Ao final da fase conceitual foi possível estabelecer uma especificação mais detalhada da aplicação. Foi também possível definir os critérios para a escolha da “shell”, na qual o sistema seria definitivamente implementado. Foi feita uma análise entre as diversas “shells” disponíveis no mercado britânico, optando-se por escolher Leonardo Level 3, principalmente por que a mesma possuía formalismos adequados para representação do conhecimento.

### **Fase de construção do modelo**

Ao início desta fase, foram efetuados mais contatos com a indústria visando a formar um painel composto por vários especialistas para fornecer os conhecimentos necessários. Neste aspecto, a existência de um protótipo do sistema, embora simples, cumpriu um papel de fundamental importância em termos de motivar profissionais da indústria. Estes demonstraram muito mais interesse na pesquisa a partir do momento que havia o protótipo para ser visto.

Incluindo o especialista que havia participado da fase conceitual, um total de cinco especialistas participaram do processo de aquisição do conhecimento nesta segunda fase. Todos eles trabalhavam em departamentos de planejamento e controle de empresas construtoras de médio porte na Grã Bretanha.

A estrutura do processo de modelagem permaneceu basicamente aquela apresentada na figura 1. As sessões de aquisição de conhe-

cimento, que contavam com a participação de especialistas, continuaram a ser previamente estruturadas com base na documentação relativa a vários empreendimentos planejados no passado, fornecida pelas empresas participantes.

A única diferença dizia respeito à diversidade de técnicas de aquisição do conhecimento que foram utilizadas nesta segunda etapa. Além das entrevistas, foram também empregadas outras técnicas, de caráter mais formal, denominadas introspecção e listagem de passos. Introspecção consiste em pedir ao especialista que descreva como este busca a solução de um problema imaginário, simplificado, mas com algumas características típicas de problemas reais. Na listagem de passos, o especialista descreve todas as etapas necessárias para a execução de uma tarefa, não interessando a seqüência em que as mesmas devem ser executadas. Ambas as técnicas mostraram-se bastante adequadas para a aquisição de conhecimentos no campo do planejamento em construção.

No total, dezessete sessões de aquisição do conhecimento foram efetuadas nesta fase, tomando aproximadamente quarenta e cinco horas de especialistas. Além destas sessões, alguns dos especialistas também forneceram material escrito, que era empregado para auxiliar a tarefa de planejamento, tais como “checklists”, listas de atividades, partes pré-estabelecidas de redes, constantes de mão de obra, etc.

## **Principais Recomendações**

O procedimento empregado para o desenvolvimento de House Planner pode ser encarado como uma metodologia prescritiva. Em

outras palavras, a metodologia adotada foi eficaz na construção deste modelo, mas não poderia, necessariamente, ser generalizada para uma ampla gama de situações. Entretanto, com base neste estudo, várias recomendações podem ser feitas para o desenvolvimento de futuras metodologias de caráter mais amplo, principalmente no campo do planejamento em construção. Tais recomendações estão sintetizadas a seguir:

- (a) o desenvolvimento de um protótipo nos estágios iniciais do processo de aquisição de conhecimento cumpriu um papel de fundamental importância para a motivação dos especialistas. Em geral, eles puderam entender com maior clareza os objetivos do estudo e sentiram-se bastante estimulados a participar da pesquisa, a partir do momento em que puderam ver o protótipo rodando no computador;
  - (b) a utilização relativa a um conjunto de empreendimentos já planejados foi bastante útil para estruturar previamente as sessões de aquisição de conhecimento, o que resultou em um eficiente uso do escasso tempo que os especialistas podiam dedicar à pesquisa;
  - (c) o emprego de regras superficiais, de caráter heurístico, mostrou-se inadequado ao desenvolvimento do modelo. Seguindo as recomendações de Basden (1990) e Berry & Broadbent (1986), procurou-se identificar as relações causais que estão por trás de tais regras. Esta abordagem trouxe as seguintes vantagens à elaboração do modelo: tornou-se mais fácil de chegar a um consenso entre os diferentes especialistas; as explicações dadas pelo sistema passaram a ser mais ricas; tornou-se mais fácil de incorporar conhecimentos advindos da literatura; e ficou mais fácil de verificar se a base de conhecimento estava completa;
  - (d) o estudo confirmou a importância da representação intermediária, principalmente durante os estágios iniciais de aquisição do conhecimento. Esta forma de representação permitiu que os especialistas checassem o conhecimento analisado, antes que este fosse implementado no computador. Este procedimento também foi bastante útil quando foi necessário transferir a base de conhecimento da "shell" onde foi implementado o protótipo para aquela onde o sistema final foi desenvolvido.
- O papel cumprido pela representação intermediária foi sensivelmente reduzido à medida que a aquisição do conhecimento tornava-se mais detalhada, devido ao excessivo trabalho manual requerido. Este problema poderá ser superado no futuro, assim que surjam no mercado as primeiras ferramentas automatizadas para a análise do conhecimento;
- (e) duas das técnicas formais de aquisição do conhecimento empregadas, introspecção e listagem de passos, mostraram-se bastante naturais aos especialistas em planejamento de construção;
  - (f) as versões parciais do sistema foram bastante úteis para extrair conhecimentos mais detalhados dos especialistas. Os mesmos foram submetidos a várias sessões nas quais eram solicitados a examinar o sistema e a sugerir modificações; e
  - (g) construir o modelo com base no conhecimento de um painel de especialistas confirmou ser uma abordagem bastante interessante. As sessões de aquisição do conhecimento nos quais mais de um especialista participavam eram, em geral, mais produtivas que aquelas nas quais apenas um especialista contribuía. Como já era esperado, cada especialista tinha uma gama de experiências em termos de tipos de empreendimentos e tecnologias diferente

dos demais. Cada um deles era estimulado a dar contribuições relativas àqueles aspectos do problema nos quais tinham mais experiência.

Além disto, o fato de que havia planejadores de construção com diferentes níveis de especialização foi benéfico ao estudo. Os mais experientes eram capazes de achar soluções para os problemas mais difíceis, enquanto os menos experientes conseguiam explicar relações causais com mais clareza e possuíam mais tempo disponível.

## Considerações Finais

Este artigo discute aspectos relativos ao desenvolvimento de metodologias para a produção de sistemas especialistas. A bibliografia existente revela que não existe ainda uma metodologia formal que sistematize o processo de modelagem do conhecimento de especialistas humanos e a representação deste em um programa computacional.

Apresentou-se uma metodologia prescritiva, a qual foi utilizada para o desenvolvimento de um sistema especialista que apoia o processo de planejamento de construções habitacionais de baixa altura. Entre as principais conclusões da pesquisa, constam algumas recomendações para o desenvolvimento de futuras metodologias de caráter mais amplo, principalmente no campo do planejamento e controle da construção.

## Referências

### Bibliográficas

- BASDEN, A. (1990) Towards a methodology for building expert systems. *Codex, Uxbridge, Creative Logic*, 2(1): pp. 15-19.
- BERRY, D. C. & BROADBENT, D. E. (1986) Expert systems and the man-machine interface. *Expert Systems, Oxford, learned Information*, 3(4): pp. 228-231.
- BORN, G. (1989) Guidelines for quality assurance of expert systems. *Specialist Group on Expert Systems Newsletter, London, British Computer Society*, 22: pp. 25-43.
- BREUKER, J. & WIELINGA, B. (1989) Models of expertise in Knowledge acquisition. In: GUIDA, G. & TASSO, C. (Eds.) *Topics in expert system design. Amsterdam, North-Holland*. pp. 265-295.
- BUCHANAN, B. G. et al. (1983) Constructing an expert systems. In: HAYESROTH, B. G. et al. (Eds.) *Building expert systems. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley*. Ch. 5, pp. 127-167.
- DE LA GARZA et al. (1988) Knowledge elicitation techniques for construction scheduling. In: ADELI, H. (Ed.) *Microcomputer base expert systems in civil engineering. New York, ASCE*.
- FORMOSO, C. T. A Knowledge based framework for planning house building projects. *Salford, Univ. of Salford, Aurveying Dept.*, 1991. Ph. D. Thesis
- GAINES, B. R. (1987) Foundations of Knowledge engineering. In: BRAMER, M. A. *Research and Development in Expert Systems III. Cambridge, Cambridge Univ. Press*. pp. 13-24. *British Computer Society Workshop Series*.



- LEVITT, R. E. & KUNZ, F. C. (1987) Using artificial intelligence techniques to support project management. Stanford, Stanford Univ. Working Paper #1
- MITTAL, S. & DYM, C. L. (1985) Knowledge acquisition from multiple experts. *AI Magazine*, 6(2): pp. 32-36.
- MOTTA, E. et al. (1989) A methodology and tool for knowledge acquisition in KEATS-2 In: GUIDA, G. & TASSO, C. (Eds.) *Topics in expert system design: methodologies and tools*. New York, North Holland. pp. 297-322.
- SLATTER, P. E. (1989) *Building expert systems: cognitive emulation*. Chichester, Ellis Horwood.
- WATSON, I. (1989) *a methodology for knowledge analysis*. Liverpool, Univ. of Liverpool. Ph. D. Thesis.
- YOUNG, R. (1989) Role of intermediate representations in knowledge elicitation. In: MORALEE, D. S. (Ed.) *Research and Development in Expert Systems IV*. Cambridge, Cambridge Univ. Press. pp. 285-286. British Computer Society Workshop Series.