

94

Biblioteca Universitária
UFSC

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA PROGRAMAÇÃO DA
PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA DA ARGAMASSA ARMADA

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para
a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

MARIA DA GRAÇA PEREIRA



0.221.929-2

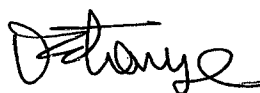
UFSC-BU

Florianópolis, 8 de abril de 1994

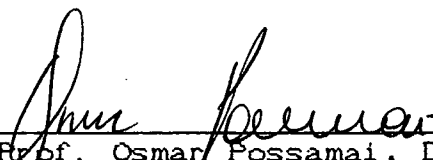
UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA PROGRAMAÇÃO DA
PRODUÇÃO NA INDÚSTRIA DA ARGAMASSA ARMADA

MARIA DA GRAÇA PEREIRA

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de DOUTOR
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO e aprovada em sua forma final pelo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

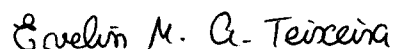


Prof. Plínio Stange, Dr.
Orientador

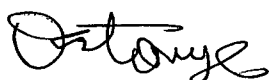


Prof. Osmar Possamai, Dr.
Coordenador do Curso

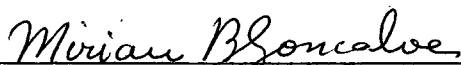
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Evelin M. A. Teixeira, Dr.
(Examinador Externo)



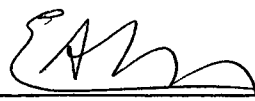
Prof. Plínio Stange, Dr.
(Orientador)



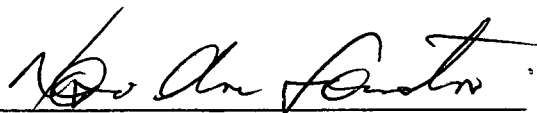
Prof. Mirian B. Gonçalves, Dr.



Prof. Marcio F. H. Carvalho, Dr.
(Examinador Externo)



Prof. Edgar A. Lanzer, Ph.D



Prof. Neri dos Santos, Dr.



Prof. William G. Whitley, Ph.D
(Moderador)

Aos meus familiares

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Plínio Stange, pela sua valiosa orientação durante a elaboração deste trabalho.

À Senhora Maria Maynart Pereira, pelo apoio e incentivo indispensáveis em todas as fases do meu curso.

As pessoas e instituições, que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho fosse concluído com êxito.

SUMARIO

CAPITULO 1. INTRODUÇÃO

1.1. Origem do Trabalho.....	1
1.2. Enunciado do Problema.....	2
1.3. Objetivos da Pesquisa.....	3
1.4. Justificativa da Pesquisa.....	5
1.5. Importância Social da Pesquisa.....	10
1.6. Hipótese da Tese.....	12
1.7. Limitações da Pesquisa.....	13
1.8. Organização do Trabalho.....	13

CAPITULO 2. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA E MÉTODOS CONVENCIONAIS PARA RESOLVER O PROBLEMA

2.1. Introdução.....	16
2.2. Programação da Produção com Restrições de Recursos.....	16
2.2.1. Características do Problema.....	19
2.2.2. Abordagens Dadas ao Problema.....	21
2.2.3. Classificação de Modelos Determinísticos.....	22
2.2.4. Técnicas PERT/CPM.....	27
2.3. Métodos Convencionais de Programação da Produção.....	29
2.3.1. Técnica Branch-and-Bound.....	29
2.3.2. Modelos Heurísticos.....	32
2.3.3. Experimentos Computacionais.....	35
2.4. Considerações Finais.....	36

CAPITULO 3. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO DA
INDÚSTRIA MANUFATUREIRA

3.1. Introdução.....	38
3.2. Aspectos da Inteligência Artificial.....	38
3.2.1. Sistemas Especialistas.....	39
3.2.2. Arquitetura de um Sistema Especialista.....	42
3.2.3. Representação do Conhecimento.....	43
3.2.4. Metas a Serem Alcançadas no Desenvolvimento de Sistemas Especialistas.....	45
3.2.5. Sistemas de Apoio à Decisão.....	48
3.2.6. Análise Cognitiva.....	49
3.2.7. Aspectos da Engenharia do Conhecimento.....	49
3.3. Sistemas Especialistas para a Programação da Produção na Manufatura.....	51
3.3.1. IMACS.....	51
3.3.2. ISIS.....	52
3.3.3. PTRANS.....	53
3.3.4. OPAL.....	53
3.3.5. OSCAR.....	54
3.3.6. ReDS.....	54
3.3.7. RBD.....	56
3.3.8. EXCAP.....	58
3.4. Sistemas Especialistas para o Planejamento na Indústria da Construção Civil.....	59
3.4.1. Callisto.....	59
3.4.2. OARPLAN.....	60
3.5. Discussão.....	61

3.6. Considerações Finais.....	65
--------------------------------	----

CAPÍTULO 4. PRODUÇÃO DE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS DE ARGAMASSA ARMADA

4.1. Introdução.....	67
4.2. A Tecnologia da Argamassa Armada.....	67
4.2.1. Desenvolvimento Histórico.....	67
4.2.2. Características do Material.....	69
4.2.3. Aspectos Construtivos.....	73
4.3. Identificação do Problema.....	74
4.3.1. Processo de Produção dos Componentes Pré-Moldados... 75	
4.3.2. Montagem das Peças de Argamassa Armada.....	75
4.3.3. Gargalos na Produção dos Componentes Pré-Moldados... 76	
4.4. Abordagem Proposta.....	80
4.4.1. Componentes Pré-Moldados Produzidos na Primeira Etapa.....	81
4.4.2. Fluxos das Etapas de Produção das Peças.....	84

CAPÍTULO 5. O DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ESPECIALISTA

5.1. Introdução.....	89
5.2. Metodologia.....	90
5.3. Escolha do Software.....	92
5.3.1. Comparações entre as Ferramentas Disponíveis.....	96
5.3.2. Características da "Shell" Selecionada.....	98
5.4. Arquitetura do Sistema de Programação da Produção.....	99
5.5. Desenvolvimento do Modelo.....	100

5.5.1. Aquisição do Conhecimento.....	101
5.5.2. Técnicas de Elicitação.....	105
5.5.3. O Desenvolvimento do Protótipo.....	107
5.6. Especificações do Sistema.....	109
5.6.1. Informações de Entrada e de Saída do Sistema.....	109
5.6.2. A Utilização do Conhecimento	111
5.7. Considerações Finais.....	112

CAPÍTULO 6. DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO

6.1. Introdução.....	113
6.2. Visão Global do Sistema.....	113
6.2.1. Tipos de Operação do Sistema.....	115
6.2.2. Divisão em Módulos.....	116
6.3. O Ambiente Windows.....	119
6.4. Estrutura do Sistema.....	121
6.4.1. O Uso de Regras de Produção.....	123
6.4.2. A Organização dos "Frames".....	125
6.4.3. A Importância das Funções no Desenvolvimento do Sistema	126
6.4.4. O Uso de Listas.....	128
6.5. Procedimentos Gerais Utilizados no Desenvolvimento do Sistema.....	130
6.5.1. Organização do Conhecimento.....	131
6.6. Mecanismos de Inferência.....	133
6.7. Interação entre o Sistema e o Usuário.....	133
6.7.1. Telas de Consulta.....	134
6.8. Implantação do Sistema.....	135

6.9. Validação do Sistema.....	136
6.10. Considerações Finais.....	137

CAPITULO 7. RESULTADOS OBTIDOS

7.1. Introdução.....	138
7.2. Avaliação dos Resultados Obtidos.....	138
7.3. Vantagens Aferidas na Aplicação do Sistema.....	145
7.4. Considerações Finais.....	146

CAPITULO 8. CONCLUSÕES

8.1. Contribuições Gerais.....	147
8.1.1. Nova Visão na Programação da Produção de Peças de Argamassa Armada.....	147
8.2. Contribuições Específicas do Sistema Desenvolvido.....	148
8.2.1. Contribuições Metodológicas.....	149
8.3. Sugestões para Pesquisas Futuras	149
8.3.1. Utilização da Filosofia Just-In-Time na Manufatura.....	149
8.3.2. Utilização de Redes de Petri na Simulação do Processo Produtivo.....	151
8.3.3. Utilização dos Recursos da Linguagem C.....	151
8.3.4. Modelagem do Conhecimento sobre Argamassa Armada...	152

GLOSSÁRIO.....	153
----------------	-----

ANEXO A.....	156
--------------	-----

ANEXO B.....	192
ANEXO C.....	193
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	196

LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1 - Classificação dos Modelos Determinísticos.....	25
Fig. 3.1 - Estrutura de um Sistema Especialista.....	43
Fig. 3.2 - Estrutura de um Sistema para Planejamento de Produção.....	48
Fig. 3.3 - Os Três Níveis da Metodologia do Conhecimento Orientado para o Projeto.....	51
Fig. 4.1 - Processo Geral de Produção de Argamassa Armada.....	78
Fig. 4.2 - Fluxo do Processo de Produção da Armadura.....	85
Fig. 4.3 - Fluxo do Processo de Moldagem.....	86
Fig. 4.4 - Fluxo da Etapa de Cura e Transporte das Peças.....	87
Fig. 4.5 - Fluxo das Etapas Finais do Processo de Produção.....	88
Fig. 5.1 - Critérios de Comparação Entre os Softwares Pesquisados.....	98
Fig. 5.2 - Arquitetura de um Sistema para Programação da Produção.....	100
Fig. 5.3 - Informações de Entrada e de Saída do Sistema.....	111
Fig. 6.1 - Fases de Operação do Sistema.....	116
Fig. 6.2 - Resumo dos Procedimentos Gerais do Sistema.....	119
Fig. 6.3 - Tela Representativa do Ambiente Windows 3.1.....	121
Fig. 6.4 - Relações Entre as Peças Básicas do Sistema Desenvolvido em KAPPA.....	122
Fig. 6.5 - Regra do Sistema que Determina Prioridades para a Linha 2.....	124
Fig. 6.6 - Editor do Objeto 'FRS' e Seu "Frame".....	126
Fig. 6.7 - Função que Faz Parte do Sistema Desenvolvido.....	128

Fig. 6.8 - Editor de "Slot" do Tipo Lista.....	130
Fig. 6.9 - Estrutura Hierárquica que Representa as Peças Fabricadas.....	132
Fig. 6.10 - Interação Entre o Sistema e o Usuário.....	134
Fig. 7.1 - Comparação Entre a Programação da Produção de Armaduras Obtida pelo Especialista e a Programação da Produção Oferecida pelo Sistema.....	139
Fig. 7.2 - Comparação Entre a Programação da Produção de Argamassa para Moldagem Obtida pelo Especialista e a Programação Oferecida pelo Sistema.....	140
Fig. 7.3 - Gráfico do Nível de Utilização dos Recursos de Horas/Homens Trabalhadas, para a Programação Elaborada pela Fábrica para Confecção de Armaduras.....	142
Fig. 7.4 - Gráfico do Nível de Utilização dos Recursos de Horas/Homens Trabalhadas para a Programação, da Confecção de Armaduras, Obtida pelo Sistema Especialista.....	143
Fig. 7.5 - Gráficos Comparativos do Nível de Utilização de Recursos Horas/Homens para a fabricação de Argamassa, Obtidos pelo Especialista e pelo Sistema.....	144

RESUMO

A proposta do presente trabalho é o desenvolvimento de um sistema especialista para programação da produção de componentes pré-moldados de argamassa armada. O sistema é capaz de modelar o conhecimento usado pelos peritos no ambiente de manufatura.

O processo de aquisição do conhecimento envolveu a eliciação do conhecimento, obtida diretamente junto aos peritos, e a análise de relatórios das fábricas de componentes de argamassa armada.

Na seqüência, é apresentada uma aplicação prática do sistema desenvolvido, objetivando ressaltar sua utilidade e identificar suas dificuldades e limitações.

O modelo foi implementado numa "shell" para sistemas especialistas chamada KAPPA v. 1.2, que é executada em qualquer micro-computador IBM-PC padrão ou compatível.

Finalmente, são apresentadas as conclusões obtidas e as sugestões originadas em decorrência do desenvolvimento e aplicação do sistema especialista proposto.

ABSTRACT

The purpose of the present work is to develop an expert scheduling system for producing ferrocement elements. The system is able to encapsulate some of the expertises used by planners in manufacturing environment.

The knowledge acquisition process involves both the elicitation of knowledge directly from experts, and analysis of reports from ferrocement elements factories.

Subsequently, an application of the expert scheduling system is presented in order to verify its uses and to identify its principal difficulties and limitations.

The model was implemented on an expert system shell called KAPPA Level 1.2, which runs in any standard IBM-PC micro-computer or compatibles.

Finally, the end conclusions and the suggestions for future works are presented.

CAPITULO 1. INTRODUÇÃO

1.1. Origem do Trabalho

No Brasil, por muito tempo, a Civil foi a Engenharia na qual dispúnhamos de considerável domínio tecnológico em praticamente todos os estágios, ao contrário da Mecânica, da Elétrica, da Química, etc.

Atualmente, no entanto, o quadro mudou. Verifica-se um grande avanço nos ramos das Engenharias Mecânica, Elétrico\Eletrônica e Química, entre outras, principalmente no que diz respeito à automação industrial. E a Engenharia Civil apresenta sérios gargalos tecnológicos.

Na verdade, este desenvolvimento deve-se à necessidade que o País tem de alcançar competitividade industrial, a nível internacional, considerando tanto o preço quanto a qualidade do produto.

No entanto, um dos maiores problemas do Brasil está no deficit habitacional de aproximadamente 13 milhões de habitações, conforme dados fornecidos pelo Governo Federal. Tal situação obriga uma rápida mudança no setor da construção civil, no sentido de intensificar a utilização de filosofias e técnicas modernas na Engenharia Civil.

O deficit habitacional traz consigo problemas sociais graves e é agravado pela migração de pessoas dentro do País, tornando as grandes metrópoles ingovernáveis. A infra-estrutura destas cidades não consegue atender a demanda existente, o que dificulta o planejamento territorial, impedindo a organização racional dos espaços urbanos.

Considerando os problemas acima, Stange (1989) apresentou uma extensa proposta para utilização dos princípios modernos de automação industrial, em conjunto com ferramentas de pesquisa

operacional no setor da construção civil. A proposta sugere a construção de um núcleo habitacional planejado com os serviços mínimos necessários, tais como: comércio, administração, etc. Nesta proposta, seriam empregados componentes pré-moldados e pré-fabricados, embora sendo elementos que facilmente se adaptam aos propósitos da automação, este recurso é pouco utilizado na sua fabricação.

Este trabalho de pesquisa teve origem na proposta acima. Alguns itens do mesmo foram viabilizados e desenvolvidos detalhadamente, utilizando ferramentas adequadas dentro das áreas de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC, tais como: "Sistemas Especialistas em Engenharia de Produção" e "Pesquisa Operacional Aplicada à Engenharia Civil".

A tecnologia de sistemas especialistas, utilizada em conjunto com a pesquisa operacional no estudo do problema de programação da produção de componentes pré-moldados, visa contribuir como uma nova área de aplicação dessas ferramentas.

Ao oferecer uma solução, diferente da obtida por métodos clássicos, através da utilização de técnicas e ferramentas de inteligência artificial, dá-se flexibilidade ao modelo, considerando a variabilidade do problema estudado.

1.2. Enunciado do Problema

O problema de programação da produção "job shop" pode ser definido como a seleção de uma seqüência de operações na qual as execuções resultam na conclusão de uma ordem, dos tempos determinados de início e fim, bem como dos recursos necessários alocados para cada operação. Em adicional, o problema de programação da produção consiste numa organização temporal de um conjunto de tarefas de forma que sejam satisfeitos determinados objetivos (Allen, 1983). Várias restrições concernentes à localização temporal das tarefas (datas fixadas, seqüência de processamento) e aos recursos que são necessários para realizá-las

são estabelecidas (Carlier e Pinson, 1989).

1.3. Objetivos da Pesquisa

O objetivo principal deste trabalho é tornar mais eficiente a programação da produção de componentes pré-moldados de argamassa armada, empregando a tecnologia dos sistemas especialistas.

O sistema desenvolvido neste trabalho, além do objetivo principal que é minimizar o tempo de produção das peças de argamassa armada para uso na construção civil, visa também dar suporte aos técnicos envolvidos no processo de tomada de decisão e à administração da produção, que são os usuários finais do sistema.

Outro objetivo importante é difundir a tecnologia usada para fabricar em escala industrial os componentes de argamassa armada utilizados para construir centros educacionais, conjuntos habitacionais e outras construções que se enquadrem neste processo. Esta tecnologia ainda não está totalmente dominada e conhecida, embora seja muito utilizada e tenha se tornado popular com o projeto de construção de escolas e postos de saúde. No entanto sua aplicação pode trazer vantagens para outros tipos de construção. Como método para tanto, foi desenvolvida uma estrutura heurística, com base numa situação real, considerando as restrições múltiplas de recursos encontradas na programação da produção e a necessidade de uma ferramenta de apoio à decisão, motivada pela falta de subsídios necessários aos administradores de produção, a fim de colocar em prática, de uma forma sistemática, os processos de fabricação das peças pré-moldadas de argamassa armada.

As técnicas de inteligência artificial e de pesquisa operacional foram utilizadas para produzir planos adequados ao domínio do problema real. Vários testes e experimentos foram feitos com a finalidade de obter uma estrutura para fazer parte de

um sistema integrado que posteriormente poderá ser desenvolvido, dando continuidade a esta pesquisa. A união destes sistemas distintos é também um objetivo que deverá dar prosseguimento a este trabalho.

O sistema integrado proposto por Stange (1989) deverá conter seis subsistemas, os quais terão, respectivamente, as seguintes funções:

- Subsistema Administração, onde são tomadas as decisões e lançadas as diretrizes básicas de atuação da empresa.
- Subsistema Planejamento, onde é estabelecido o planejamento da produção para um determinado tempo.
- Subsistema Programação da Produção, onde são elaborados os planos de produção detalhadamente, prevendo os tempos das atividades, evitando gargalos.
- Subsistema Produção, chamado chão de fábrica, onde obtêm-se os resultados da produção propriamente dita.
- Subsistema Avaliação, onde se faz a comparação entre o programado e o obtido.
- Subsistema Feed Back, onde se fecha a malha do sistema integrado e, a partir dos resultados obtidos nos subsistemas anteriores, é feita uma comunicação para os outros subsistemas com a finalidade de analisar e eliminar os problemas identificados no subsistema Avaliação.

Nesta pesquisa, só foram tratados os subsistemas Planejamento e Programação da Produção.

No desenvolvimento deste trabalho, inicialmente pensou-se em simulações para caracterizar a manufatura, quando não houvesse situações reais que permitissem a representação da produção de componentes pré-moldados.

Contudo, a utilização deste recurso não foi necessária. Isto porque, através do estudo do domínio do problema real, foi perfeitamente possível encontrar situações que permitiam a sua reprodução dentro de uma modelagem apropriada para o sistema desenvolvido. A ferramenta de inteligência artificial encontrada através de extensa pesquisa e, posteriormente utilizada, contribuiu muito para que este objetivo fosse alcançado.

1.4. Justificativa da Pesquisa

A programação da produção é um problema complexo, que tem exigido muita atenção por parte dos pesquisadores. Numerosos trabalhos importantes foram desenvolvidos sobre o assunto nas últimas décadas.

Por outro lado, o problema da adequação da indústria da construção civil convencional à automação industrial é bastante difícil. No entanto, o problema relativo à manufatura de componentes pré-moldados, estudado neste trabalho, apresenta maior possibilidade de êxito para aplicação dos métodos a serem utilizados no tratamento dos dados, porque a padronização é mais fácil neste caso, simplificando o processo de produção.

A indústria dos pré-moldados e pré-fabricados em geral, segundo Revel (1973) e Babcock (1973) apresenta vantagens, que justificam a sua utilização, tais como:

- economia de madeira e conjunto de andaimes;
- economia de cimento, de aço e de instalações;
- economia de mão de obra e melhores condições de trabalho;
- economia de transportes;
- indiferença às condições atmosféricas e climáticas;

- obtenção de alta qualidade (compacidade do concreto e colocação das armaduras);
- inexistência de retração que afete a qualidade da construção;
- possibilidade de iniciar de imediato o serviço de construção;
- emprego do concreto e de argamassa "in situ" reduzido ao mínimo e, portanto, pouca umidade;
- necessidade e utilidade da padronização dos elementos; e
- possibilidade de utilizar concretos leves, protegendo as armaduras contra a oxidação.

Os progressos na qualidade da pré-fabricação permitiram seu desenvolvimento a uma escala que ultrapassou a fase artesanal.

As grandes empresas se equiparam e criaram instalações capazes de grandes volumes de produção.

Este desenvolvimento industrial repercutiu, em particular, sobre as fabricações de :

- pilares de estruturas;
- vigas retangulares em concreto armado ou protendido;
- vigas de baldrame;
- vigas-calhas em concreto armado;
- vigas I, utilizadas como apoio de lajes;
- estacas;
- painéis de vedação;

- lajes tubulares em concreto protendido;
- paredes de vedação; e
- sistemas de condutores pluviais.

Sob o ponto de vista arquitetônico, as obras construídas com sistemas industrializados e, particularmente, com pré-fabricados de concreto, podem se constituir numa atividade tão criativa quanto projetar segundo critérios convencionais (Porto, 1989).

A industrialização dos pré-fabricados surgiu com o objetivo duplo de aumentar a produção e diminuir os custos, conduzindo as empresas a utilizarem em grande escala os pré-fabricados nas construções de concreto armado e concreto protendido.

A argamassa armada, que se constitui num tipo particular de concreto armado, resulta em peças pré-moldadas que proporcionam, além de um custo 40% mais baixo do que as estruturas convencionais de concreto, maior rapidez na montagem e uma boa adequação a qualquer tipo de terreno (Lima, 1991). Esta afirmação é embasada em pesquisas e experiências práticas realizadas com reconhecido sucesso há 20 anos por Lima (1991).

A argamassa armada tem um trabalho diferente do concreto, é mais flexível e menos passível às fissuras. Para tanto é necessário um perfeito resultado de armadura de pele, obtida através da aderência da argamassa à malha da pele. A confecção das peças requer o uso de formas metálicas especiais e mesas vibratórias. Enquanto as formas asseguram perfeito acabamento das faces, através da vibração se obtém alta compactidade e resistência, reduzindo qualquer tipo de absorção, o que barateia custos com manutenção. Para a cura das peças são necessários tanques de secagem onde permanecem, durante o processo, imersas na água (Pedreira, 1988).

O problema alvo deste trabalho requer sua programação de

produção feita por meio de uma estrutura heurística, porque não se enquadra em um algoritmo. Neste caso, a utilização de um sistema especialista se justifica para selecionar planos de produção otimizados, pois o conhecimento humano é que determina, atualmente, a programação da produção.

É importante sistematizar este conhecimento para obter melhor rendimento no processo de produção. Desta forma, o trabalho desenvolvido apresenta relevância sob o ponto de vista científico e tecnológico, tornando-se importante dentro do contexto da pesquisa de novas abordagens e contribuindo para a solução do problema de programação da produção de componentes pré-moldados de argamassa armada.

A programação da produção é um assunto pesquisado nas últimas quatro décadas e possui elevada complexidade. Especificamente, a solução para o problema aqui apresentado exigiu um grande esforço de pesquisa, em virtude da sua não trivialidade.

A solução deste problema integra a utilização de técnicas do campo da engenharia de produção e da engenharia civil. O resultado final deste trabalho consiste em uma ferramenta de programação da produção para a manufatura específica de peças de argamassa armada, trazendo uma contribuição para este setor, dentro de um domínio de conhecimento delimitado.

A literatura apresenta muitos trabalhos na área de inteligência artificial para selecionar planos de produção mais eficientes, tendo como objetivo a otimização. Exemplificando:

Bell (1989) fornece uma estrutura para planejamento e programação de produção em inteligência artificial e ilustra a forma como são criados vários gráficos PERT (Program Evaluation Research Task) na tentativa para encontrar uma programação apropriada e conveniente no domínio real do problema. Seu trabalho se concentra na representação e raciocínio sobre as restrições impostas pelo problema em estudo. Cita também como o planejamento obtido pode ter sucesso em alguns domínios. Bell (1989) mostra

ainda como a busca por uma programação válida, e freqüentemente estruturada, pode ser obtida de forma que os planos preliminares sejam sucessivamente refinados em planos mais detalhados.

Kim e Schniederjans (1989) apresentam uma estrutura heurística de um problema de planejamento de multiprojeto e demonstram como a estrutura pode ser usada para resolver problemas de programação da produção. A estrutura conceitual e uma estratégia são desenvolvidas para um sistema especialista em domínios de programação da produção em projetos múltiplos. Apresentam também uma bem sucedida aplicação prática do sistema especialista.

Formoso (1991) apresenta uma pesquisa para estudar a possibilidade de usar engenharia do conhecimento no desenvolvimento de modelos de planejamento da construção embasados na perícia humana, podendo ser empregados para resolver alguns dos gargalos de conhecimento existentes na indústria da construção. O resultado é um sistema que pode ser descrito como uma estrutura com base de conhecimento utilizada para dar suporte ao processo de tomada de decisão a nível tático na construção de habitações planejadas. A pesquisa envolve a modelagem do conhecimento que é usado nos projetos reais e cobre um bom número de situações que são típicas nas companhias de construção inglesas, considerando as necessidades práticas da indústria em termos de ferramentas de planejamento.

Levitt (1990) apresenta um trabalho, dando continuidade a uma extensa pesquisa, focalizando sistemas de planejamento com base de conhecimento. Ressalta a importância destes sistemas e o progresso obtido no fim dos anos oitenta nesta área da inteligência artificial. Contudo, salienta as limitações de muitos destes sistemas. Apresenta também uma análise dos sistemas mais populares nesta área.

Best e Inkpen (1990) desenvolveram um sistema com base de conhecimento capaz de gerar uma seqüência de atividades para a manufatura de um produto bem definido, conseguindo uma geração de

vários planos ao invés de uma simples seqüência de atividades, fornecendo melhor qualidade no plano final e aplicando as técnicas largamente usadas dentro do domínio do planejamento. A pesquisa foi realizada com êxito se estendendo aos modelos para modelagem do conhecimento relevante e refinando as técnicas de representação do conhecimento.

Considerando o conteúdo apresentado neste item, justifica-se a importância desta pesquisa na verificação da aplicabilidade da modelagem do conhecimento humano para auxiliar na programação da produção de peças pré-moldadas de argamassa armada. Pois existe uma preocupação crescente em melhorar o planejamento e a programação da produção, possibilitando encontrar soluções próximas da ótima, isto é, muito eficientes.

1.5. Importância Social da Pesquisa

O movimento moderno que teve seu início nos anos 20, na Europa, considerou como ponto mais importante a habitação popular e a racionalização e industrialização da construção. Os grandes projetos habitacionais na época: Törten, Dammerstock, Siemmerstock, Wannsee e Weissenhof na Alemanha, Pessac e La Murette na França, Hook of Holland e Kiefhoek na Holanda, criados por arquitetos como Gropius, Le Corbusier, Mies van der Rohe, Beaudouin, Lods, Prouvé, Stan, Oud etc., importantes na cristalização do movimento, fizeram da habitação social e de sua produção em massa o motivo de seus objetivos (Mazza, 1988). Os dois arquitetos que mais se destacaram neste movimento foram Gropius e Le Corbusier. Na década de 20, ambos emitiam opiniões incrivelmente atuais, tais como:

"É uma transformação radical de todo processo construtivo através da produção industrial é, portanto, uma necessidade para soluções atuais deste importante problema" (Gropius, 1927).

"A indústria, em larga escala deve se ocupar com construções e estabelecer os elementos construtivos da casa na base da

produção em massa" (Le Corbusier, 1927).

"Nós estamos nos aproximando de um estado tecnológico de eficiência onde será possível racionalizar os edifícios e produzi-los em fábricas, resolvendo sua estrutura semelhante a um número de componentes para montar" (Gropius, 1927).

"O processo construtivo deve se livrar dos métodos medievais e a construção da casa transferida para as grandes fábricas e oficinas. Uma grande parte do processo construtivo pode ser feita nas fábricas, com juntas a seco e com a ajuda de ferramental próprio" (Le Corbusier, 1927).

Atualmente, no Brasil, necessita-se de projetos que, a exemplo da Europa na década de 20, impulsionem a construção para a produção em massa, tendo como objetivo resolver os problemas habitacionais. O País possui uma grande infra-estrutura já montada em fábricas de componentes de argamassa armada. O objetivo inicial seria construir escolas, contudo, a longo prazo o problema habitacional deve ser tratado. O importante, no momento, é dominar a tecnologia da produção industrial de peças pré-moldadas de argamassa armada.

Portanto, tendo em vista a importância da tecnologia da produção industrial dos componentes de argamassa armada, trabalhos científicos que tentem otimizar a sua fabricação e utilização trazem uma grande contribuição, no sentido de suprir de informações o setor da construção civil no que se refere aos pré-moldados, principalmente, no que diz respeito à fabricação otimizada destes componentes para construção. Embora uma solução ótima neste caso seja difícil de encontrar com os meios conhecidos, as tentativas com êxito, para melhorar a eficiência do seqüenciamento da produção na indústria, reduzem consideravelmente os seus custos globais.

Graças a esta tecnologia de baixo custo, já foi construída uma série de obras em benefício da população de pouco poder aquisitivo. Entre essas obras estão construções de escolas,

creches, casa comunitárias, CIEPs (Centros Integrados de Educação Pública), postos de saúde, abrigos de ônibus, componentes para saneamento básico, além de bibliotecas, passarelas e diversos equipamentos urbanos.

Vários governos estaduais e prefeituras vêm construindo obras em pré-moldados de argamassa armada nos últimos anos, com sucesso na adequação das mesmas para a finalidade a que se destinam, e com a vantagem do baixo custo apresentado.

Um exemplo bem sucedido e pioneiro deste tipo de empreendimento se deu na periferia de Salvador, onde uma grande série de obras de cunho social em pré-moldado de argamassa armada serviu de base para projetos mais ambiciosos de âmbito nacional.

As fábricas para a produção industrial de peças pré-moldadas de argamassa armada, montadas em todo o País, estão aptas a produzir grandes quantidades de componentes diferentes, oferecendo um extenso meio para o desenvolvimento de pesquisas na área. Esta oportunidade e a motivação inicial, que norteou a pesquisa, ou seja, contribuir na diminuição do deficit habitacional, somaram-se, resultando no desenvolvimento e conclusão do estudo aqui proposto.

1.6. Hipótese da Tese

A pesquisa tem, como hipótese principal a ser testada:

- os sistemas especialistas são capazes de modelar o conhecimento de especialistas humanos na busca da otimização do seqüenciamento da produção de peças pré-moldadas de argamassa armada, encontrando soluções que melhorem este processo.

As hipóteses complementares são as seguintes:

- existem gargalos no conhecimento existente e disponível para encontrar a programação que otimize o seqüenciamento dos processos

na fabricação dos pré-moldados de argamassa armada;

- o sistema desenvolvido pode tornar-se uma importante ferramenta, não só para o usuário, como também para o próprio especialista, no apoio à decisão, com relação à programação da produção de peças de argamassa armada.

1.7. Limitações da Pesquisa

Cupello e Mishelevich (1988) ressaltam a importância de se envolver as pessoas que trabalham numa empresa, no sentido de sensibilizá-las a aceitarem as inovações e, conseqüentemente, contribuir no desenvolvimento de trabalhos em inteligência artificial dentro da empresa. Esta tarefa é muito difícil e se constituiu na maior limitação deste trabalho. As dificuldades encontradas neste sentido atrasaram a elaboração do trabalho, limitando o tempo total da sua realização.

Os hardwares disponíveis para concretizar este trabalho constituem-se numa outra limitação, pois existem modelos mais modernos, que poderiam, se utilizados, garantir resultados eventualmente melhores.

Os softwares utilizados se adequaram perfeitamente à pesquisa e estão sendo usados no momento correto, ou seja, são executados em ambiente Windows, o que os integra ao cotidiano de qualquer empresa de porte pequeno ou grande que vier a utilizá-los. Tem-se ainda outra limitação, porque já existem recursos de softwares, no ambiente Windows, que poderiam, se disponíveis, serem utilizados e ampliariam a capacidade e a importância do sistema aqui desenvolvido.

1.8. Organização do Trabalho

A organização desta pesquisa segue uma metodologia, embasada nos trabalhos de Phillips e Pugh (1987) e Eco (1989). Esses

trabalhos consideram importante fazer inicialmente uma ampla revisão bibliográfica.

Nesta revisão o intuito foi identificar as lacunas existentes, que permitissem melhorar o processo produtivo a partir da modelagem do conhecimento dos peritos sobre a programação da produção de peças pré-moldadas de argamassa armada para construir um sistema especialista.

A revisão citada foi feita desde o início, onde o problema era tratado apenas do ponto de vista matemático. Posteriormente, o problema é mostrado sob o paradigma da inteligência artificial.

Na revisão é amplamente identificada a parte prática, no que se refere ao material produzido, a argamassa armada, seus aspectos construtivos e a sua industrialização.

O presente trabalho tem como objetivo principal apresentar uma nova proposta de pesquisa na área de programação da produção, e está organizado em oito capítulos.

Este primeiro capítulo apresentou a origem do trabalho e seus objetivos, sua adequação às linhas de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC, sua justificativa e, também, suas limitações.

O segundo capítulo tem por objetivo apresentar a formulação do problema de programação de produção com restrições de recursos aplicada à indústria, onde são dadas as características e abordagens para solucionar o problema.

No terceiro capítulo, é feita uma revisão sobre a aplicação da inteligência artificial para problemas de planejamento e programação da produção da manufatura, enfatizando os problemas relacionados com a indústria da construção civil.

O quarto capítulo apresenta a identificação do problema da produção de peças de argamassa armada, ou seja, a base conceitual

do sistema.

No quinto capítulo, são apresentadas as etapas do desenvolvimento do trabalho, definindo a metodologia utilizada. Constam, ainda, os critérios da escolha do software a ser utilizado na construção do sistema especialista, formas utilizadas para a aquisição do conhecimento, etc.

No sexto capítulo, é feita a descrição da aplicação. Mostra uma visão global do sistema, sua estrutura, as formas de representação do conhecimento, os detalhes do desenvolvimento do sistema e a sua validação.

Os resultados obtidos, na aplicação do sistema, são apresentados no capítulo sete.

O oitavo capítulo apresenta as contribuições gerais e específicas desta pesquisa, bem como as sugestões para pesquisas futuras.

Finalmente, são especificadas as referências bibliográficas citadas, por serem consideradas relevantes e pertinentes para a pesquisa realizada.

CAPÍTULO 2. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA E MÉTODOS CONVENCIONAIS PARA RESOLVER O PROBLEMA

2.1. Introdução

No capítulo 4 deste trabalho, o processo de manufatura da argamassa armada é tratado sob o ponto de vista prático. No entanto, este problema de programação da produção tem uma representação matemática com uma base teórica importante e que vem sendo pesquisada há mais de quatro décadas. Neste capítulo a formulação matemática é considerada, porque na solução de um problema prático é de grande valia o conhecimento deste aspecto do problema.

2.2. Programação da Produção com Restrições de Recursos.

Historicamente, o problema de programação da produção foi dividido em duas etapas separadas. A seleção da rota de processo que é tipicamente o produto de um processo planejado, enquanto que a determinação de tempos e recursos é tipicamente a proposta da produção.

Realmente, a distinção entre planejamento e programação da produção é algo difuso, assim como a seleção de uma rota não pode ser feita conclusivamente com a geração da programação acompanhando. A admissibilidade de uma rota de processo depende da possibilidade de cada operação selecionada, e uma operação dada é possível somente se seus requisitos de recursos são satisfeitos durante o tempo em que a operação está sendo desempenhada. Então, a determinação de uma rota de processo admissível implica em transferência prévia de recursos e tempos para cada operação na rota (Warwick e Walters, 1990).

Aqui considera-se ainda:

O planejamento bem sucedido em "job shop" requer o

reconhecimento e a satisfação de restrições que evitam o uso simultâneo de um recurso dividido por agentes múltiplos. (Bell, 1989).

Problemas na programação da produção são frequentemente originados por falhas nos equipamentos e outras interrupções e programações a médio e longo prazo requerem, "a priori", a ordenação efetiva dos planos das atividades a fim de tornar eficiente o uso dos recursos (Wu, Storer e Chang, 1993).

Do ponto de vista matemático, o problema de programação "job shop" tem sido descrito como NP-completo. Um exemplo deste tipo de problema, seria: Considerando-se o seqüenciamento de 10 ordens através de 5 operações e associando-se uma única máquina com cada operação e supondo nenhum intervalo de tempo na programação a ser gerada, existem $(10!)^5$ ou aproximadamente 10^{32} programas possíveis (Fox e Smith, 1984).

A situação dentro de uma manufatura real é muito mais complexa. O número de ordens, operações e recursos é substancialmente maior e a natureza dinâmica do processo torna complicada a seleção.

Um tipo de problema de seqüenciamento, bastante considerado nas pesquisas, é aquele onde os recursos são limitados. Quando projetos múltiplos estão envolvidos, os problemas de programação da produção tornam-se mais complexos e difíceis para resolver, por causa da explosão combinatória.

A programação da produção é parte integrante do contexto geral do gerenciamento da produção.

Técnicas tradicionais em engenharia de produção, tais como PERT/CPM (Program Evaluation Research Task/Critical Path Method) e uma gama de métodos similares são muito limitadas para os problemas regularmente encontrados na prática, exigindo mudanças que incorporem mais cálculos às técnicas. Exemplos disto são

apresentados em: Wiest (1969), Martino (1968) e Bell (1989).

Pesquisas recentes de inteligência artificial e de engenharia do conhecimento, associadas a técnicas tradicionais de otimização, têm desenvolvido sistemas especialistas que resolvem problemas complexos, fornecendo até soluções ótimas ou, pelo menos, muito boas.

O estado da arte das técnicas de programação da produção indicam a dependência da capacidade analítica do responsável pela definição da entrada do modelo e pela interpretação da saída do mesmo. No caso de falhas nestes estágios, os resultados não apresentam semelhança com a situação real. (Kim e Schnierjans, 1989).

A origem de dificuldades na programação da produção "job shop" está nos conflitos naturais de objetivos para o domínio viável do problema. Métodos tradicionais tentam reduzir a complexidade do problema pela consideração apenas de pequenos subconjuntos de objetivos. Contudo, está demonstrado que esta fórmula é insatisfatória, sendo necessário raciocinar dinamicamente sobre a solução global para produzir planos bons e bem balanceados no ambiente real (Berry, 1990).

A inclusão, neste trabalho, de detalhamentos sobre problemas NP-Completo é necessária, porque o caso estudado normalmente recai num NP-Completo. Contudo, apesar dos fortes indícios neste sentido, ainda não foi comprovado matematicamente que este caso se inclui nesta categoria e a solução heurística para este problema é bem mais indicada. É que, sendo de grande porte, pois contém 260 atributos, conseqüentemente se resolvido por métodos tradicionais, recairia numa explosão combinatória. Além disto, o problema requer na sua solução, muitos procedimentos que de forma alguma se enquadrariam num algoritmo, o que reforçou a tese da utilização do sistema com base de conhecimento para produzir os resultados esperados na etapa inicial, quando da construção do modelo.

Por outro lado, o confronto entre as definições apresentadas

neste capítulo sobre programação da produção "job shop" e o processo encontrado na prática, dentro da manufatura de componentes pré-moldados de argamassa armada, comprovam que o problema aqui pesquisado tem melhor enfoque de solução dentro da engenharia do conhecimento.

2.2.1. Características do Problema

Segundo Bruno, Elia e Laface (1986) a programação da produção deve satisfazer as seguintes restrições:

* Restrições de Produção: Cada lote não pode ser trabalhado antes da liberação do seu tempo e não deverá terminar depois da sua duração obrigatória. Os lotes são caracterizados pela seqüência de operações e cada operação pode ser executada num dado conjunto de máquinas equivalentes.

* Restrições de Recursos: Vários lotes podem usar a mesma instalação, não podendo ser produzidos ao mesmo tempo. Além disto, os períodos de manutenção, programados para as máquinas, devem ser dados dentro da estimativa.

* Restrições de Capacidade: O uso da máquina e a duração média das filas não deverão exceder os limites pré-definidos, senão um congestionamento inaceitável ocorrerá no sistema.

Existem outras categorias de restrições encontradas numa instalação. Conforme Fox e Smith (1984) uma delas é o objetivo organizacional. Parte do processo de planejamento organizacional é a geração de medidas do desempenho da organização. Estas medidas agem como restrições em uma ou mais variáveis da organização. Uma restrição de objetivo organizacional pode ser vista como um valor esperado de alguma variável organizacional. Por exemplo:

* Duração obrigatória: Um grande interesse de uma instalação é encontrar as durações obrigatórias, pois o atraso na entrega de um pedido afeta as relações com os clientes.

* Trabalho em execução: O nível de estoque do trabalho em execução é outro ponto de interesse, pois o estoque do trabalho em execução representa um investimento substancial em matéria prima e estes custos não são cobertos até a liberação da mercadoria. Portanto, é recomendável reduzir o tempo do trabalho em execução.

* Níveis de Recursos: Outro ponto de interesse é manter os níveis adequados de recursos necessários para sustentar as operações pois, além dos recursos restritos já citados, incluem-se recursos de pessoal, de matéria prima, de ferramentas, etc. Assim, cada recurso terá restrições associadas. Por exemplo, suprir o estoque com matéria prima necessária para sete dias, quando houver necessidade.

* Custos: Reduções de custo podem ser um outro objetivo importante pois, custos podem incluir custos de material, de salários, de investimentos e de oportunidades perdidas. Assim, reduzir custos pode ajudar a realizar outros objetivos, tais como estabilização da força de trabalho e melhoria da produtividade.

* Níveis de Produção: Planejamento avançado é objetivo para cada centro de custo na instalação, pois serve para duas funções: designar os recursos primários da instalação pela especificação de objetivos de produção em níveis mais altos e, também, especificar um orçamento preliminar pela estimativa de quanto a instalação produzirá.

* Estabilidade do processo: A estabilidade do processo é uma função do número de revisões para uma programação e do tamanho do desvio na preparação causada por estas revisões. É um recurso do tempo usado para comunicar mudanças na instalação e no tempo de preparação dos equipamentos, o que também aumenta a produtividade.

Podem-se visualizar todas as restrições de meta organizacional como sendo aproximações de um único objetivo: o lucro. A meta de uma organização é maximizar lucros. As decisões sobre programação da produção são feitas com base nos custos

presente e futuro.

A maximização dos lucros também pode ser traduzida em redução de custos ao consumidor, visando aumentar a competitividade da empresa, para reafirmar a sobrevivência e a expansão da mesma.

As restrições causais englobam as de precedência e as de recursos requeridos (Fox e Smith, 1984).

2.2.2. Abordagens Dadas ao Problema

Na programação da produção para a execução de um projeto, é importante identificar as atividades a serem executadas e as restrições de precedência entre estas atividades. Contudo, formular uma rede de atividades é somente uma das tarefas executadas pelos planejadores. Existem outras questões apontadas por Zozaya-Gorostiza, Hendrickson e Rehak (1989) que devem ser respondidas antes de um projeto ser executado:

- * Que tipos de recursos devem ser designados para cada atividade?
- * Quantos destes recursos deveriam ser usados para cada atividade?
- * Quando cada atividade deve começar?

Usualmente existem muitas respostas possíveis para estas questões e, durante o processo de programação, o planejador tem que selecionar um conjunto de respostas apropriadas.

Após este processo ser completado, o conjunto de decisões tomadas pelo planejador reflete-se no projeto de programação, que é usado para monitorar e controlar a execução do plano. Existem numerosos procedimentos (algoritmos) para ajudar na programação.

A computação da programação da produção estende-se aos modelos mais antigos tais como, CPM (Critical Path Method) e o PERT (Program Evaluation Research Task) até aos modelos mais

completos que incorporam aspectos adicionais do problema. Por exemplo: Wiest (1969); Martin (1972); Elmaghraby (1977); Pereira (1980); Bell (1989); e Hackman et al (1989).

Gerentes de projeto têm reconhecido a vantagem do uso de alguns desses modelos para assisti-los no processo de produção. Existem também vários pacotes comerciais para preparação e manutenção de programação da produção.

Os modelos para programação da produção podem ser divididos em duas categorias:

* Modelos determinísticos os quais supõem que a duração das atividades seja fixada, ou seja expressa como uma função de custo incidindo, na complementação das atividades.

* Modelos probabilísticos os quais supõem que as durações das atividades são variáveis estocásticas com distribuições de probabilidade particulares.

Esta distinção é importante por várias razões. A informação obtida através de modelos determinísticos é diferente da fornecida por modelos probabilísticos.

Modelos determinísticos são usualmente aplicados para programações que minimizem o tempo total.

Modelos probabilísticos são usados para estimar o tempo total de um projeto ou para simular a sua execução.

Existem os modelos que incorporam incertezas ao CPM. Contudo, na maioria, os modelos de programação determinísticos são descendentes do modelo CPM original, enquanto que os modelos probabilísticos são extensões do modelo PERT.

2.2.3. Classificação de Modelos Determinísticos

Os modelos de programação determinísticos são usados para fazer o seqüenciamento das atividades para alcançar as metas administrativas. Na maioria dos modelos determinísticos de programação da produção, o objetivo é minimizar o tempo de execução do projeto. Contudo, alguns modelos introduzem outros objetivos relativos à variabilidade dos recursos requeridos ou ao orçamento total alocado para o projeto. Os modelos diferem não somente na intenção das metas, mas também pelo tipo de restrições consideradas e pelas suposições incorporadas. Por exemplo, alguns modelos não consideram limites no número de recursos consumidos, enquanto que outros impõem restrições numa alocação de recursos. Similarmente, alguns modelos determinísticos supõem que as durações das atividades são fixadas enquanto que outros supõem que a duração de uma atividade diminui quando o custo dos recursos usados para executar a atividade é crescente.

Zozaya-Gorostiza, Hendrickson e Rehak (1989) classificam os modelos determinísticos de acordo com os seguintes aspectos da programação:

- (1) topologia da rede;
- (2) duração das atividades;
- (3) custos das atividades; e
- (4) perfil do consumo dos recursos.

Os modelos podem ser classificados nas categorias como apresenta a figura 2.1:

* Modelos com duração de atividade fixada: Estes modelos supõem que a duração da atividade seja conhecida. Os recursos são considerados ilimitados e a topologia da rede é conhecida.

* Modelos para troca tempo-custo: Nestes modelos as durações das atividades são expressas conforme uma função dos custos das atividades. Podem existir restrições no tempo de complementação

total do projeto ou no orçamento total. Contudo, estes modelos não impõem limites no perfil do consumo dos recursos, nem permitem mudanças na topologia da rede.

* Modelos considerando recursos: Estes modelos são usados para programação da produção quando picos de recursos requeridos devem ser reduzidos. Estes modelos não permitem mudanças na topologia da rede.

* Modelos incluindo planejamento e programação: Estes modelos combinam planejamento e programação numa estrutura unificada. A maior distinção para os outros modelos é que a topologia da rede pode ser mudada.

Os quatro tipos de modelos não são independentes. Os modelos com duração fixada podem ser considerados um caso especial dos modelos troca tempo-custo. Similarmente, estes modelos são especializações dos modelos de recursos restritos para o caso de perfis de recursos arbitrariamente grandes. Contudo, os quatro tipos são tratados separadamente porque a natureza dos programas matemáticos usados nos modelos é diferente. Modelos de duração fixada podem ser resolvidos com algoritmos simples, enquanto que modelos com recursos restritos envolvem algoritmos mais elaborados para resolver problemas de programação inteira.

MODELOS DE PROGRAMAÇÃO DETERMINÍSTICA

D I M E N S Õ E S D O P R O B L E M A		Duração fixada	Troca tempo-custo	Recursos	Planejamento/ Programação
	Topologia da rede	fixada	fixada	fixada	variável
	Durações das atividades	fixada	duração e custo relativo	pode variar	pode variar
	Custos das atividades	não consi- derado	duração e custo relativo	pode variar	pode variar
	Perfis de recursos	supõe-se ilimi- tado	supõe-se ilimi- tado	limite superior pode existir	limite superior pode existir

Figura 2.1 - Classificação dos Modelos Determinísticos

Os quatro tipos de modelos citados são abordados por muitos autores. Seguem-se considerações sobre os modelos:

(1) Modelos com duração das atividades fixadas: Embora o modelo CPM original permita durações das atividades variáveis, as aplicações comuns usam uma versão simplificada do modelo em que as durações das atividades são consideradas fixadas. Este modelo, chamado modelo CPM Básico (BCPM), é usado para achar o tempo de execução mais curto, as folgas ou flutuações associadas com as atividades do projeto e o conjunto de atividades críticas.

Vários algoritmos de Pesquisa Operacional podem ser usados para computar o caminho crítico da rede. Nas redes acíclicas, um algoritmo popular, desenvolvido por Dijkstra, citado por Zionts (1974), fornece a base para buscas usando o computador com encadeamento para diante e para trás. Contudo, existem outras técnicas de Pesquisa Operacional que podem ser usadas para

resolver este problema. O modelo pode ser resolvido através de programação linear ou por algoritmos de fluxos de rede.

(2) Modelo para troca tempo-custo: O objetivo do modelo CPM original foi descrito por Kelley (1961) como:

"O modelo matemático sobre o qual o Método do Caminho Crítico se embasa é um programa linear paramétrico que tem o objetivo de computar a utilidade de um projeto conforme uma função da sua duração. Para cada duração possível, uma programação é obtida de forma que tenha a máxima utilidade entre todas as programações possíveis. Para resolver o modelo usando formulação de programação linear, supõe-se que o tempo para executar uma atividade decresce linearmente, conforme o custo de execução da atividade cresce. O tempo normal é aquele requerido para executar a atividade se recursos adicionais são usados."

Quando a relação tempo-custo é linear, a formulação da programação linear pode ser usada para resolver a troca tempo-custo.

As relações tempo-custo não necessitam ser lineares.

(3) Modelos com considerações de recursos: Existem dois tipos de modelos para este problema:

* modelos de nivelamento de recursos, que uniformizam os perfis de consumo de recursos; e

* modelos de alocação de recursos, que programam atividades quando existem restrições na quantia de recursos disponíveis.

Estes dois tipos de modelos usualmente envolvem mais funções matemáticas complexas do que os modelos de programação mais simples que supõem durações de atividade fixadas ou que tenham troca tempo-custo conhecidos. Os métodos usados para resolver problemas de programação da produção com considerações de recursos

podem ser divididos em:

- * métodos de otimização que buscam a melhor programação possível;

- * métodos heurísticos que buscam uma solução boa.

Os métodos de otimização somente foram aplicados para projetos pequenos por causa da natureza combinatorial do problema. Os métodos heurísticos tiveram sucesso quando aplicados a problemas reais e estão incluídos em pacotes de programação sofisticados. Um exemplo é o PROJACS (Project Analysis and Control System) da IBM World Trade Corporation (1973).

(4) Modelos combinando planejamento e programação: Existem trabalhos que tentam introduzir decisões de planejamento em métodos de programação de projetos. Um exemplo é o modelo desenvolvido por Waele (1990).

Os algoritmos de programação dinâmica são utilizados neste caso. Contudo, o tempo gasto no computador é inviável para resolver problemas reais (Zozaya-Gorostiza, Hendrickson e Rehak, 1989).

Então, existem vários métodos para planejamento e programação combinados com estrutura de otimização. Contudo, estes métodos supõem que todas as atividades e as decisões possíveis sejam previamente identificadas e formuladas em modelo de rede. Somente um número limitado de decisões de planejamento pode ser incluído nos modelos exatos por causa da complexidade computacional. Conforme os resultados, os métodos de otimização servem somente para casos limitados no planejamento do processo.

2.2.4. Técnicas PERT/CPM

Ferramentas com base em rede aplicando algoritmos CPM e PERT podem ajudar na análise de um plano e não, especificamente, gerar este plano (Kartam e Levitt, 1990).

A definição de atividades e de seus predecessores deve ser fornecida para os sistemas pelos técnicos de planejamento, pois a geração dos planos é área de desafio da pesquisa de inteligência artificial desde os anos sessenta. Tate e Whiter (1985); Levitt et al (1988); Zozaya-Gorostiza et al (1989) e Kartam (1989), citados por Kartam e Levitt (1990), forneceram uma exaustiva revisão e análise das primeiras pesquisas com utilização de técnicas de redes e inteligência artificial.

Após décadas de aplicação do CPM como uma técnica de planejamento, existe uma dúvida crescente sobre algumas das vantagens inicialmente atribuídas a ela (Waugh e Froese, 1990). Esta técnica tem sido descartada pelas empresas grandes e pequenas, e seu uso é limitado à opção dos clientes (Allam, 1988).

Birrel (1980) considera as técnicas CPM e PERT e suas variações um fracasso, quando aplicadas à construção civil. Neste caso, Birrel (1980) se refere somente à indústria da construção convencional. O problema estudado nesta pesquisa é diferente: é um problema de fabricação de peças pré-moldadas numa manufatura, portanto recai numa programação de produção.

Neste caso, as técnicas CPM e PERT ou suas variações não são aplicadas, mas serviram como base para o entendimento do problema, pois são técnicas cuja aplicação tem um cunho bastante didático e facilitam o entendimento do problema de programação estudado, tornando mais fácil a sua formulação matemática e também abrem caminho para a criação das estruturas desenvolvidas para modelar o conhecimento, a fim de concretizar o desenvolvimento do sistema especialista adequado à resolução do problema em questão.

Muitos programas de planejamento em rede tradicional existem para uso no estágio conceitual do desenvolvimento do projeto (Ashley e Levitt, 1987). Estes programas são geralmente usados com pouco detalhamento no planejamento das operações e no controle, principalmente porque eles tipicamente só manipulam dados sobre planos do projeto, mas não têm entendimento do conhecimento

(Ashley e Levitt, 1987).

CPM (Critical Path Method) e NDT (Network Diagraming Techniques) são os métodos mais usados para planejamento e programação na arquitetura, engenharia e indústria da construção até hoje. Contudo, muitos pesquisadores e técnicos acham estas ferramentas inadequadas para a tarefa (Waugh e Froese, 1990).

Por sua vez, a programação da produção é particularmente importante e deve ser considerada em sistemas de manufatura automatizados. Neste caso, as ferramentas mais usadas são sistemas especialistas (Kusiak, 1987).

2.3. Métodos Convencionais de Programação da Produção

A programação da produção está sendo alvo de muito estudo nos nossos dias, tendo em vista que a gerência de produção tornou-se uma área chave da empresa, porque as decisões tomadas dentro desta área abrangem o chão de fábrica, como é chamada a parte da produção propriamente dita, dentro do processo geral de manufatura.

A manufatura abrange todas as funções da empresa, isto é, engenharia, produção, vendas, finanças, controle de qualidade, etc (Lubben, 1988).

Para este trabalho, a pesquisa atém-se à área de programação da produção, porque já é bastante complexo o problema alvo.

2.3.1. Técnica Branch-and-Bound

Os problemas práticos de programação de projetos necessitam que as variáveis de decisão sejam inteiras. Por exemplo, no caso dos recursos é freqüentemente necessário designar homens, máquinas e veículos para as atividades devendo as quantidades serem inteiras. Esta restrição é uma dificuldade para tratar

matematicamente (Zionts, 1974).

Muitos progressos foram feitos para desenvolver procedimentos objetivando solucionar este problema. Ou seja, os problemas de programação linear sujeitos a restrições adicionais, nos quais as variáveis de decisão devem ter valores inteiros.

A técnica branch-and-bound é aplicada com algum sucesso para vários problemas, incluindo programação inteira.

A idéia básica da técnica branch-and-bound é a seguinte: Suponha-se que a função objetivo é para ser minimizada e um limite superior no valor ótimo da função objetivo está disponível. O primeiro passo é particionar o conjunto de todas soluções possíveis em vários subconjuntos e, para cada um, o limite inferior é obtido para o valor da função objetivo das soluções dentro daquele subconjunto. Aqueles subconjuntos nos quais os limites inferiores excedem o limite superior corrente no valor da função objetivo são excluídos das próximas tentativas. Os conjuntos restantes, ou seja, aqueles com o menor limite inferior, são particionados outra vez em vários conjuntos. Novos limites inferiores são obtidos. Para todos os subconjuntos restantes, um outro é selecionado para partições adicionais e assim por diante. Este processo é repetido novamente até que uma solução possível seja encontrada, tal que o valor correspondente da função objetivo não seja maior do que o limite inferior para qualquer subconjunto (Hillier e Lieberman, 1974).

Muitos algoritmos com a técnica branch-and-bound estão sendo utilizados em programação da produção.

Logo após a criação das técnicas PERT/CPM, foram desenvolvidos vários algoritmos para resolver o problema de programação de projetos com restrições de recursos. As técnicas branch-and-bound foram utilizadas juntamente com PERT/CPM para resolver estes problemas, bem como outros problemas combinatoriais (Herroelen, 1972).

Agin (1966) apresenta um estudo sobre obtenção de soluções ótimas, utilizando técnica branch-and-bound em problemas combinatoriais.

Mason (1971) desenvolveu um algoritmo para minimizar o custo em problemas de seqüenciamento.

Hastings (1972) utiliza branch-and-bound para minimizar duração de projetos na presença de restrições de recursos.

Davies (1973) utiliza métodos tradicionais de Pesquisa Operacional e apresenta bons resultados para procedimentos de alocação de recursos em projetos de multi-atividades.

Willis (1976) desenvolveu um trabalho que consiste na resolução de um problema de programação da produção por um software embasado em branch-and-bound, usando rede de atividades para representação do problema.

Stange et al (1985) utilizam um algoritmo do tipo branch-and-bound num programa para seqüenciamento de lotes em processadores paralelos, tendo como objetivo minimizar os atrasos da produção dos lotes em relação aos respectivos prazos de entrega.

Carlier e Pinson (1989) propõem um método branch-and-bound para resolver o problema "job shop". O método é baseado nos problemas de programação de produção para uma máquina, sendo considerado o mais eficiente pelas várias proposições que limitam a árvore de busca com o uso de seleções imediatas. Este trabalho é importante porque resolve o famoso problema "10 x 10 job shop" proposto por Muth e Thompson (1963). Os três exemplos propostos nessa obra servem para teste de algoritmos de vários pesquisadores nos últimos 25 anos. O método de Carlier e Pinson (1989) concilia dois objetivos conflitantes: maximizar a complexidade dos algoritmos e minimizar o espaço de memória computacional.

Hackman e Leachman (1989) desenvolveram, na Universidade da Califórnia, uma estrutura geral para modelagem em programação da produção com o objetivo de servir de guia ao gerenciamento das formulações de modelos determinísticos de processos. A estrutura considera os métodos MRP (Manufacturing Resources Planning) e CPM (Critical Path Method), formulando um modelo de programação linear para planejamento multi-projetos.

Soluções branch-and-bound para programação da produção na manufatura continuam sendo apresentadas, por exemplo: Pratsini et al (1993).

Estes problemas combinatoriais, quando resolvidos pela técnica branch-and-bound, resultam em soluções ótimas. No entanto, só problemas pequenos podem ser resolvidos por este método, por causa da explosão combinatoria, que limita o uso do computador (Bronson, 1982). Por este motivo, a técnica não é aplicada frequentemente nas indústrias para problemas reais. Sua relevância está no campo teórico pois, quando aplicada, permite uma compreensão maior dos problemas de programação de atividades com restrições.

Os avanços computacionais feitos com respeito à resolução de problemas, tornaram possível uma maior competitividade entre os procedimentos de solução exata, a exemplo dos problemas solucionados por branch-and-bound (De et al, 1993). No entanto, os problemas já solucionados ainda são os que possuem poucos nós.

Qualquer esforço na aplicação que simplifique as restrições, reduz consideravelmente a lacuna entre a teoria e a prática na programação da produção, que tem se tornado maior durante as três últimas décadas (Ramazani e Younis, 1993).

2.3.2. Modelos Heurísticos

Muitos modelos heurísticos resolvem o problema de programação de atividades de um projeto, podendo ser utilizados também para a

produção manufatureira. A seguir, são citados estudos importantes sobre estes modelos:

Wiest (1967) desenvolveu um método heurístico, o SPAR-1, que obteve resultados muito bons na resolução de projetos com restrição de recursos. O modelo possibilita distribuir os recursos entre as atividades, criando várias soluções para o mesmo projeto e selecionando entre elas a programação para o menor custo. Este modelo foi aplicado a grandes projetos, inclusive na indústria aero-espacial, com sucesso.

Davis (1966) desenvolveu um algoritmo para solucionar o problema, apresentando entre as vantagens, a possibilidade de variar os recursos requeridos durante a execução das atividades. A seguir, Davis e Heidorn (1971) utilizam a representação vetorial para agrupar quantidades de recursos de tipos diferentes, aprimorando o algoritmo inicialmente desenvolvido por Davis (1966).

Davis e Petterson (1975) realizaram estudos comparativos com oito tipos de procedimentos heurísticos e concluem, através dos testes, que o procedimento heurístico mais eficiente é aquele que considera a folga das atividades como base para a atribuição de prioridades para programação. Neste caso, são consideradas mais eficientes as heurísticas que encontraram a solução ótima para o maior número de problemas testados.

Thesen (1976) também desenvolveu um modelo heurístico para programar atividades com restrições de recursos, onde o desempenho das prioridades na programação foi expandido. Ao invés de determinar somente a ordem em que as atividades são consideradas para a programação num dado instante, determina também a combinação de atividades a serem programadas neste instante. Apresenta um processo para avaliar a eficiência computacional e analítica e os custos da programação.

Cooper (1976) divide os procedimentos heurísticos, que fazem uso de regras de prioridade em classes: O método paralelo, que

forma um único programa, e o método de amostragem, que forma um conjunto de programas usando técnicas probabilísticas e seleciona o melhor programa desta amostra.

Cooper (1976) constata também, através de testes experimentais, que a escolha da regra de prioridade é muito importante no método paralelo, sendo que, para o método de amostragem, a escolha das prioridades não é significativa, embora afete a distribuição da amostra.

Ow e Morton (1989), dentro das importantes contribuições fornecidas pelo Centro de Pesquisa da Universidade de Carnegie-Mellon, examinaram o problema NP-completo para minimizar a programação da produção determinística em "job shop" e encontram soluções bem próximas da ótima. O método utiliza heurísticas, não considera restrições de recursos e melhora heurísticas conhecidas, mostrando-se eficiente e consistente com a utilização de uma árvore de busca relativamente pequena.

Currie e Tate (1990) desenvolveram o sistema especialista O-Plan, com base em heurísticas, que cria planos em rede, considerando principalmente recursos temporais. O sistema resolve o problema de programação da produção, restringindo o espaço de busca.

Os pesquisadores Safavi e Smith (1990) utilizam um sistema especialista para planejamento e programação, trata-se do NEGOPRO. A busca dos planos se dá através de heurísticas e a análise custo/benefício apresenta um bom resultado na utilização do sistema.

Um algoritmo heurístico é utilizado por Dell'Amico et al (1993) para resolver um problema de programação, cuja formulação recai num problema NP-Completo. O estudo é feito, utilizando redes com o objetivo de encontrar o caminho mais curto que permita minimizar o número de veículos. Nesse trabalho, faz-se uma importante retrospectiva dos principais métodos para encontrar este tipo de programação e aponta-se uma solução heurística

simples.

Lee, Cheng e Lin (1993) apresentam uma pesquisa com três soluções heurísticas e uma solução com algoritmo branch-and-bound para um problema de programação da produção com três máquinas em manufatura. Lee et al (1993) provam que o problema é um NP-Completo e apresentam as quatro soluções. No caso, a solução encontrada pelo método branch-and-bound é ótima até o limite de trinta nós: acima deste limite, os nós restantes não são analisados e o sistema computacional é terminado. É apresentada uma análise de erros nos casos de estudos com soluções heurísticas e a eficiência destas soluções é considerada boa.

Soluções heurísticas para programação das atividades na produção continuam sendo apresentadas, por exemplo: Wu et al (1993), Dileepan (1993) e Mittenthal et al (1993).

2.3.3. Experimentos Computacionais

A maior parte dos métodos para resolver problemas de programação da produção, nos últimos trinta anos, tem se utilizado do computador. Primeiramente, utilizavam-se de computadores mais lentos das primeiras gerações, hoje utilizam-se micro-computadores, que possuem maior capacidade de memória e armazenamento do que os computadores antigos, além de serem bem mais rápidos.

Todos os métodos apresentados neste capítulo usam computadores na sua resolução.

São utilizados, na busca das soluções, as mais variadas linguagens de programação computacional, tais como: Pascal, Fortran, Linguagem C, Lisp, Prolog, "shells"; pacotes comerciais e muitos outros recursos disponíveis.

2.4. Considerações Finais

Os princípios teóricos da programação da produção têm grande importância na utilização correta de informações práticas sobre o processo de produção de peças pré-moldadas de argamassa armada.

A formulação matemática do problema é uma base para entendê-lo e buscar formas para resolvê-lo utilizando métodos de PO (Pesquisa Operacional).

Um modelo que se enquadra na formulação PO, como o problema estudado nesta pesquisa pode ser resolvido de outras formas, que não as tradicionais, sendo, às vezes, mais adequadas que estas, dependendo das variáveis envolvidas em cada caso.

Em alguns casos um mecanismo de decomposição pode resolver um modelo de PO completamente ou reduzi-lo em outros problemas menores. Exemplos: Szwarc e Liu (1993) e Chen (1993).

Os métodos tradicionais de PO foram pesquisados e citados neste trabalho, objetivando identificar melhor o problema sob o ponto de vista teórico. Esta identificação facilita a resolução do problema, mesmo que se considere, na sua solução, qualquer outra metodologia que não seja de PO tradicional.

As formulações do problema em questão, resolvidas por branch-and-bound e por métodos heurísticos simples, tratados nos itens anteriores, foram muito utilizadas nas últimas décadas. No entanto, em paralelo àqueles trabalhos, já estavam sendo estudadas as técnicas de inteligência artificial para resolução de problemas de programação de atividades, tratados a seguir, que se constituem num meio mais adequado para resolver o problema estudado nesta pesquisa. Porque são técnicas para obter resultados para problemas não estruturados, os quais não podem ser tratados unicamente por algoritmos de modelos matemáticos.

Os métodos tradicionais como branch-and-bound e os heurísticos simples são de grande importância e valia na compreensão do

problema de programação de atividades na forma global, sendo freqüentemente incluídos como parte das pesquisas nesta área.

Técnicas tradicionais de Pesquisa Operacional não são suficientes para resolver o problema de programação da produção. As técnicas de inteligência artificial podem ser melhores para representação do conhecimento, enquanto que a manipulação de dados pode ser modelada usando métodos de programação matemática de PO (Lim et al, 1990).

Quando um problema real de programação de atividades é analisado, existe uma aproximação matemática para resolvê-lo. Contudo, um algoritmo baseado no paradigma de busca heurística com restrições simbólicas, que são usadas para reduzir o processo de busca, pode ser mais compatível para resolver o problema do que as representações numéricas freqüentemente complexas. O problema de programação de produção normalmente se enquadra neste grupo (Chandra e Marks, 1985).

Meng e Sullivan (1991) defendem que as técnicas de pesquisa operacional tradicionais, incluindo programação linear e outros procedimentos de otimização, oferecem ferramentas de análise importantes e valiosas. Mas, segundo Meng e Sullivan (1991), estas ferramentas usualmente supõem uma definição estática do problema e, para operações de larga escala, levam um longo tempo para encontrar uma solução ótima. Nas operações dos problemas reais, mudanças dinâmicas forçam o replanejamento e a reprogramação, e os operadores devem considerar muitas mudanças num tempo relativamente curto.

Então, técnicas baseadas em heurísticas, tais como sistemas especialistas são mais úteis em tais domínios, reorganizando operações no contexto de novas informações.

CAPITULO 3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL NA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO DA INDÚSTRIA MANUFATUREIRA

3.1. Introdução

Este capítulo apresenta uma revisão das ferramentas computacionais com base de conhecimento, que assistem os engenheiros na programação da produção em processos de manufatura. Além disso, apresenta uma revisão dos conceitos e características dos sistemas especialistas em geral. Tem como objetivo principal destacar os pontos relevantes para a presente pesquisa, no que se refere a sistemas com base de conhecimento.

3.2. Aspectos da Inteligência Artificial

Tendo em vista o crescimento da ciência da computação, a sua área de abrangência logo atingiu a programação da produção e numerosos trabalhos conduziram a uma melhoria no seqüenciamento da produção. No entanto, os problemas encontrados na prática nas indústrias dificilmente são resolvidos com sistemas computacionais convencionais, que utilizam processamento numérico. Neste caso, o problema pode ser resolvido, obtendo-se um bom resultado através de sistemas computacionais que utilizam processamento simbólico. Estes sistemas são agrupados na área da ciência da computação chamada inteligência artificial, que surgiu na década de cinquenta.

Os computadores são muito utilizados nas organizações e empresas, principalmente para armazenar e processar dados de registros numéricos. Atualmente, a inteligência artificial está modificando o uso dos computadores, transformando as suas funções de simples processadores de dados para processadores de conhecimento.

A inteligência artificial só emergiu nos fins dos anos setenta, juntamente com os avanços de hardware, os quais

resultaram na redução de preços dos computadores.

Então, aconteceu o que Waterman (1986) considera uma ruptura conceitual em um campo não convencional da ciência da computação conhecido como inteligência artificial.

Existem várias definições de inteligência artificial, tais como:

A inteligência artificial é o estudo de como fazer os computadores realizarem tarefas em que, no momento, as pessoas são melhores (Rich, 1983).

A inteligência artificial é a parte da ciência da computação vinculada ao projeto de programas de computação inteligentes, isto é, sistemas que exibem características que usualmente associamos com a inteligência na conduta humana (compreensão de linguagens, aprendizagem, raciocínio, solução de problemas, etc.) (Goldszein e Carnota, 1986).

A inteligência artificial possui diversas áreas, tais como: engenharia do conhecimento, reconhecimento de padrões, processamento de linguagem e robótica.

O planejamento e a programação da produção têm sido áreas de pesquisa da inteligência artificial nos últimos vinte anos. Os primeiros sistemas focalizavam planos a serem executados por robôs. Mais tarde, sistemas mais ambiciosos incorporaram desenvolvimentos de outras áreas de inteligência artificial. Em particular, conceitos através de sistemas especialistas influenciaram o desenvolvimento de muitos programas baseados em conceitos de inteligência artificial. Alguns sistemas especialistas tiveram sucesso aplicados à indústria de produtos manufaturados (Sriram, 1987).

3.2.1. Sistemas Especialistas

Existem várias definições de sistema especialista, tais como:

Um sistema especialista é um programa computacional inteligente que usa regras heurísticas desenvolvidas por especialistas para resolver problemas do mundo real (Adeli, 1988).

Um sistema especialista é um sistema de computador que modela o conhecimento humano sobre um domínio particular de conhecimento e é capaz de tomar decisões inteligentes dentro deste domínio. Isto é tipicamente feito pela aplicação de um conjunto de fatos numa forma que imita os processos de pensamento de um especialista humano para chegar a conclusões ou decisões (Ragsdale, 1993).

Os sistemas especialistas são o fruto de uma pesquisa de vinte anos para definir a natureza apropriada de tais programas.

Os sistemas especialistas englobam tarefas que necessitam raciocínio, comunicação e flexibilidade, de tal forma que os resultados apresentados através da sua execução possam se aproximar do raciocínio de um perito na resolução do problema enfocado (Fischler e Firschein, 1987).

Alguns autores fazem uma distinção entre os termos "sistema especialista" e "sistema com base de conhecimento". Harmon e King (1985), por exemplo, se referem a sistemas especialistas como sistemas grandes e a sistemas com base de conhecimento, como sistemas pequenos. Contudo, na prática, os dois termos têm sido usados para descrever uma grande quantidade de sistemas computacionais que têm a habilidade de manipular o conhecimento humano, imitando de certa forma o raciocínio dos peritos.

Primeiramente, os referidos sistemas tinham propósitos gerais. No entanto, quando os cientistas de inteligência artificial reduziram o foco sobre programas para assuntos de domínio específico, estes programas foram chamados sistemas especialistas.

O processo de construção de um sistema especialista é também

chamado de engenharia do conhecimento. Envolve uma forma de interação entre o construtor do sistema especialista, chamado engenheiro do conhecimento, e um ou mais especialistas em alguma área-problema. O engenheiro do conhecimento modela os conhecimentos, estratégias e métodos simples e práticos para resolver o problema dos especialistas, e constrói o sistema especialista. O resultado é um programa de computador que resolve problemas quase (em grande parte) da mesma forma que o especialista (Johnson, 1983).

Os computadores agora podem incorporar o conhecimento de peritos humanos para resolver problemas difíceis. Esta tarefa é viabilizada através dos sistemas especialistas. Uma quantia significativa de conhecimento pode ser armazenada diretamente neste tipo de sistema, permitindo que o poder oriundo de sua habilidade raciocine além do conhecimento armazenado. Esta habilidade é chamada inferência (KAPPA: User's Guide, 1991).

As maiores aplicações dos sistemas especialistas incluem:

* Diagnose e Classificação - Usando os sintomas observados de um mau funcionamento, o sistema raciocina sobre o problema e classifica-o. Exemplos: Davis et al (1977a, 1977b)

* Projeto e Configuração - Usando critério para uma solução aceitável, o sistema especialista projeta uma solução que se ajuste ao critério estabelecido. Exemplos: Mukolera (1990) e Hofstede (1990).

* Planejamento e Programação - Os sistemas especialistas organizam planos de seqüência de ações ou eventos de acordo com as restrições de mão de obra, matéria prima, ou ambas. Exemplos: Bauemewerd-Ahlmann e Kalinski (1990); Cook, Hinkle e Bickmore (1990); Drabble (1990) e Secker (1990).

* Simulação e Controle de Processo - O sistema especialista simula um sistema complexo indicando as mudanças do estado dinâmico que resultam nas mudanças de variáveis de controle. Exemplos: Mann e

Hammer (1990) e Alexander et al (1990).

Levitt (1990) ressalta que nos trinta anos de experiência com sistemas de inteligência artificial, um ponto está claramente ilustrado: a representação e a solução do problema estão intimamente ligados.

3.2.2. Arquitetura de um Sistema Especialista

Um sistema especialista divide-se em três partes, mais importantes, que são:

- base de conhecimento;
- memória de trabalho; e
- motor de inferência.

A base de conhecimento contém os fatos e as regras que usam estes fatos como a base para tomar decisões.

A memória de trabalho é o local onde o sistema armazena informações vinculadas com o problema que está sendo resolvido. Geralmente, se conserva apenas durante o período de uma consulta ao sistema.

O motor de inferência contém um interpretador que decide como aplicar as regras para inferir novos conhecimentos e programas que decidem a ordem na qual as regras deverão ser aplicadas. Esta organização está na figura 3.1.

Sistema Especialista

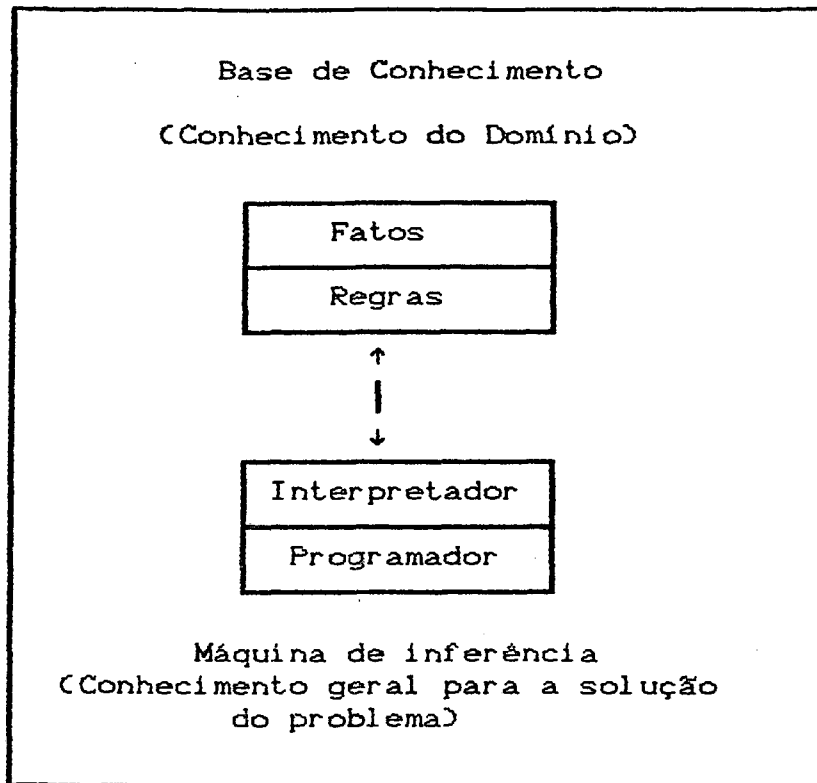


Figura 3.1 - Estrutura de um Sistema Especialista (Waterman, 1986)

3.2.3. Representação do Conhecimento

Os formalismos de representação do conhecimento utilizados são "frames" e regras de produção.

"Frames" são utilizados na representação de objetos e conceitos através do conjunto de seus atributos e operadores. A cada objeto associa-se um nome e uma série de atributos, com seus respectivos valores.

Os "frames" têm uma estrutura arborescente. Eles são associados a uma zona de memória compreendendo suas propriedades inerentes e uns ponteiros na direção dos objetos mais gerais (Vogel, 1988). A primeira definição de "frames" é atribuída a Minsky:

"Os "frames" podem ser definidos como uma rede de nós e relações. O nível mais alto de um "frame" está fixado, e representa coisas que são sempre verdadeiras sobre as situações supostas. Os níveis mais baixos têm muitos "slots" terminais que devem ser preenchidos pelos valores específicos ou dados. Cada terminal pede condições que suas transferências de domínio devem encontrar" (Minsky, 1975).

O interesse desta representação é uniformizar a descrição da informação ao interior de um sistema dado, e também de uniformizar o retorno de todos os protocolos de acesso à informação contida dentro dos "frames" (Vogel, 1988).

Regras de produção constituem-se em um conjunto de condições e outro de ações. Se todas as condições se verificam, então as ações são executadas.

As regras de produção especificam ações que devem ocorrer em certas situações (Dym e Levitt, 1991). Estas regras, como elementos computacionais, devem representar adequadamente o conhecimento envolvido dentro do raciocínio que está sendo simulado no sistema. A regra é executada somente quando algum dos dados do problema coincide com as condições para a aplicação da regra encontrada na sua antecessora, uma vez que as regras são encadeadas. Este encadeamento pode se dar para frente ou para trás (Dym e Levitt, 1991).

O domínio de representação do conhecimento deve conter todas as frações de informações requeridas para executar um processo determinado. Ele mantém regras básicas e empíricas (heurísticas) comandando as relações entre parâmetros de máquina, dimensões, padrões, constantes físicas, etc. (Mukolera, 1990).

As várias peças da informação serão gravadas como fatos e regras, conforme o caso, numa forma bem encadeada para os dados estruturais que são: implicações ou regras e asserção ou fatos (Mukolera, 1990).

A representação do conhecimento de projeto consiste de passos normalmente dados na execução do projeto (Mukolera, 1990).

São muito utilizadas técnicas de particionamento hierárquico, que são estruturas de dados fundamentais para descreverem produtos de engenharia que foram extensivamente usados em conjunção com ferramentas de softwares procedurais tais como: banco de dados e sistemas desenvolvidos usando técnicas de Pesquisa Operacional (PO). Tais hierarquias usualmente implicam em representações estruturadas em árvores de um produto, com cada nível de hierarquia correspondendo a um nível operacional dentro da organização (Kuczora, 1990).

Na ordem para produzir um modelo de produto generalizado, o esquema hierárquico deve ser desenvolvido, dentro de itens específicos de dados, onde é introduzido para a geração de uma estrutura classificada para um produto particular. (Kuczora, 1990).

3.2.4. Metas a Serem Alcançadas no Desenvolvimento de Sistemas Especialistas

Existem vários meios para o qual os conceitos de inteligência artificial e ferramentas poderiam ser aplicados para desenvolver um sistema computacional (Mukolera, 1990).

Yang e Jiang (1990) defendem quatro metas que devem ser atingidas no desenvolvimento de um sistema:

(1) O sistema deve fazer o planejamento da produção anualmente e mensalmente. A meta de fazer o planejamento é obter maiores lucros, tanto quanto possível diante das restrições.

(2) O sistema deve ter interações homem-máquina flexíveis e poderosas. De tal maneira, que o sistema facilmente manipule a representação, aquisição e explanação sobre o conhecimento.

(3) O protótipo aproximado é incremental e naturalmente interativo. Ele é ideal para sistemas especialistas quando detalhado de forma rígida. Não podendo ser desprezado "a priori", seu desenvolvimento serve provavelmente para envolvê-lo mais tarde com o sistema, fundindo-os no trabalho definitivo.

(4) O usuário se envolve desde o início na coleta e análise de dados, na estruturação de telas de entradas e saídas, na geração e na avaliação de alternativas. Por esta razão, o sistema implementado pode satisfazer suas necessidades e usá-las tão logo for completado.

A figura 3.2 descreve a estrutura de um sistema especialista proposta por Yang e Jiang (1990), onde o planejamento da produção pode ser feito utilizando um banco de dados e uma base de conhecimento contendo informações do sistema de administração da produção, a exemplo do sistema desenvolvido nesta pesquisa e apresentado nos capítulos 5 e 6, cuja estrutura global assemelha-se a esta, proposta por Yang e Jiang (1990).

A estrutura a seguir (fig. 3.2) representa um sistema especialista de planejamento, que combina os componentes essenciais do sistema de informação para planejamento da produção tradicional (por exemplo, interface homem-máquina, banco de dados e modelo básico) com base de conhecimento e máquina de inferência para ajudar o técnico responsável pelo planejamento a fazer este trabalho eficientemente. O sistema permite ao usuário e ao responsável pela tomada de decisões que se envolvam com o sistema completo, nos seus vários níveis, a partir da descrição inicial do problema, sua identificação, geração do modelo, otimização e estudo das alternativas, até chegar ao planejamento da produção final, onde a satisfação dos objetivos é alcançada.

No esquema da figura 3.2, o banco de dados e o sistema de administração do modelo básico formam a parte principal do modelo de geração do planejamento da produção, incluindo nomes dos produtos, número de identificação, capacidade de produção dos equipamentos, quotas de consumo, demanda de mercado, etc.

A base de conhecimento e o sistema de administração da base de conhecimento são usadas para aplicar o conhecimento de técnicos experientes no planejamento de produção mensal. A base de conhecimento contém vários conjuntos de regras. Os raciocínios do sistema de administração da base de conhecimento usam mecanismos de encadeamentos para diante e para trás.

A interação homem-máquina permite uma perfeita comunicação entre o usuário e o sistema. Finalmente, o sistema também fornece um relatório necessário para resolver questões importantes.

Esta estrutura é bastante genérica, conseguindo retratar um sistema de uma forma que abranja alguns tipos diferentes de indústrias no que se refere a programação da produção, inclusive o caso específico de programação para peças de argamassa armada.

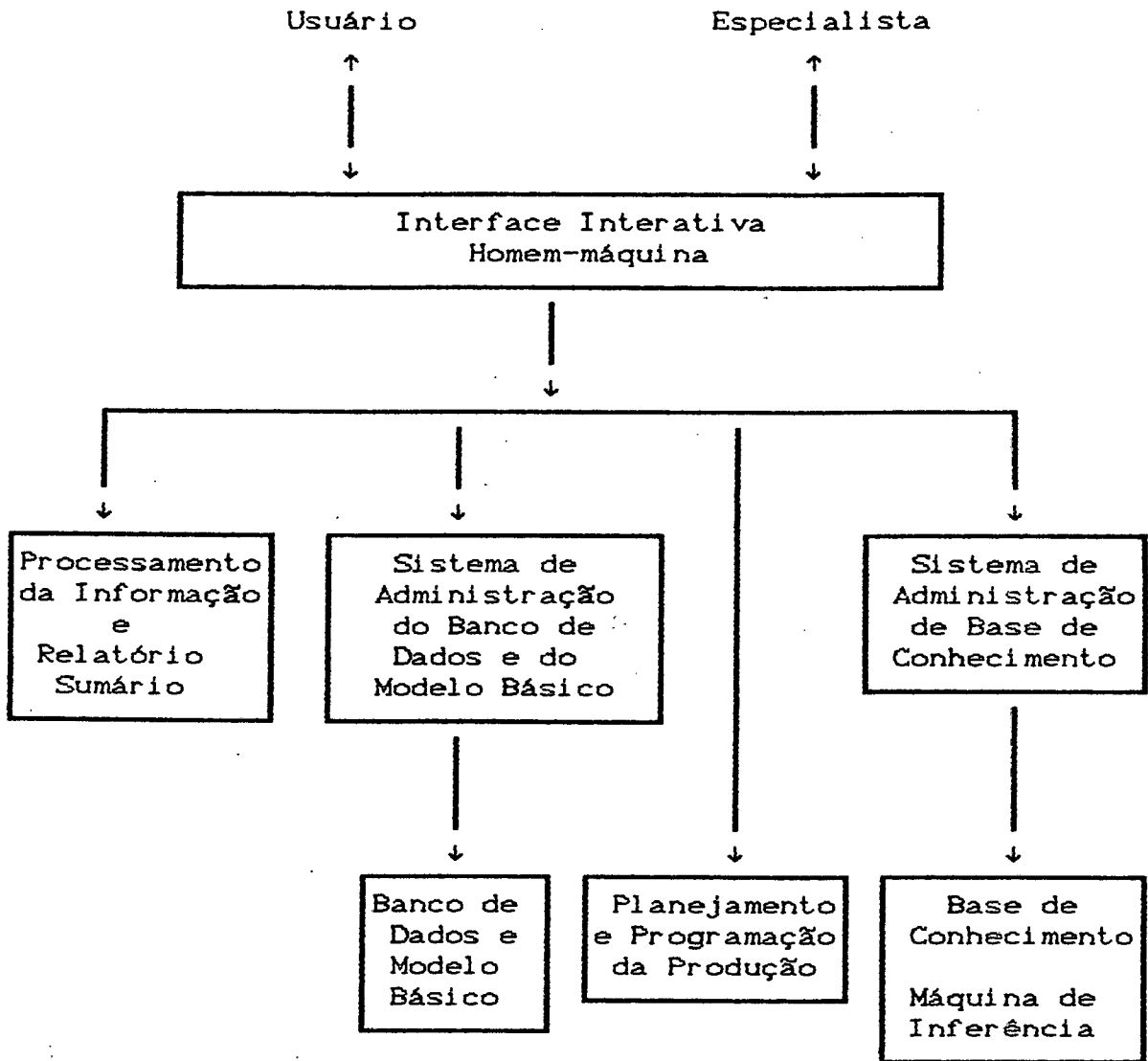


Figura 3.2 - Estrutura de um Sistema para Planejamento de Produção (Yang e Jiang, 1990)

3.2.5. Sistemas de Apoio à Decisão

Sistemas de apoio à decisão são muito utilizados na manufatura (Smith e Fletcher, 1990) e (Verbraeck, 1990).

A forma da análise de fluxo da produção inclui todos os processos planejados com um grau de igualdade do conhecimento e da perícia. Nem sempre é reconhecido que embutido no processo de especificação das rotinas de produção está uma gama de

informações que pode ser também conhecimento. Esta divisão é um passo importante na implementação do controle e de sistemas de suporte à decisão (Brandon, Schäfer e Huang, 1990).

3.2.6. Análise Cognitiva

Roth e Woods (1988) apresentam um trabalho importante em análise cognitiva para controlar o nível d'água na operação de partida de uma caldeira numa instalação da Westinghouse Research and Development Center, Pittsburgh, USA.

Woods e Roth (1988) têm uma participação importante nas pesquisas de engenharia do conhecimento. Porque a idéia inicialmente seria de levar a automação até o máximo possível, tirando-se o ser humano do processo para haver maior confiabilidade. Pois supunha-se que o homem não era confiável, tendo em vista os erros que comete. Woods e Roth (1988) na Westinghouse mudaram esta filosofia e o homem passou novamente a ser bem considerado dentro do processo produtivo automatizado. Acontecia que, à medida que aumentava a automação, o homem estava sendo tirado do sistema e, quando havia um imprevisto, o elemento humano subia de importância dentro do sistema. Neste caso, somente o desconhecido, ou seja o processo que não teria sido automatizado, era deixado para o homem resolver, precisamente os mais importantes (Woods e Roth, 1988).

O método cognitivo é importante para a inteligência artificial, porque oferece um modelo que é característico dos sistemas de computadores existentes. O progresso registrado pela ciência de computadores tem sido um fator-chave que encoraja pesquisadores a desenvolverem um modelo informático para fenômenos psicológicos (Simons, 1987).

3.2.7. Aspectos da Engenharia do Conhecimento

Segundo Vogel (1988) o conhecimento orientado para projeto

decompõe ao mesmo tempo alguns objetos e algumas funções associadas a estes objetos e submete os últimos aos primeiros. É uma decomposição funcional das entidades.

O conhecimento orientado para o projeto associa a informação tratada para as condições de enunciação desta mesma informação. Neste caso, o objetivo essencial é propor planos de coleta e de modelagem do conhecimento, e de trocar vias de comunicação entre conhecimento dependente do indivíduo e informação manipulada pela máquina (Vogel, 1988).

A metodologia do conhecimento orientado para o projeto propõe efetuar o processo de elicitação e de redução do conhecimento em torno de três modelos: prático, cognitivo e informático, e de três paradigmas: representação, ação e interpretação. Este modelo está representado na figura 3.3.

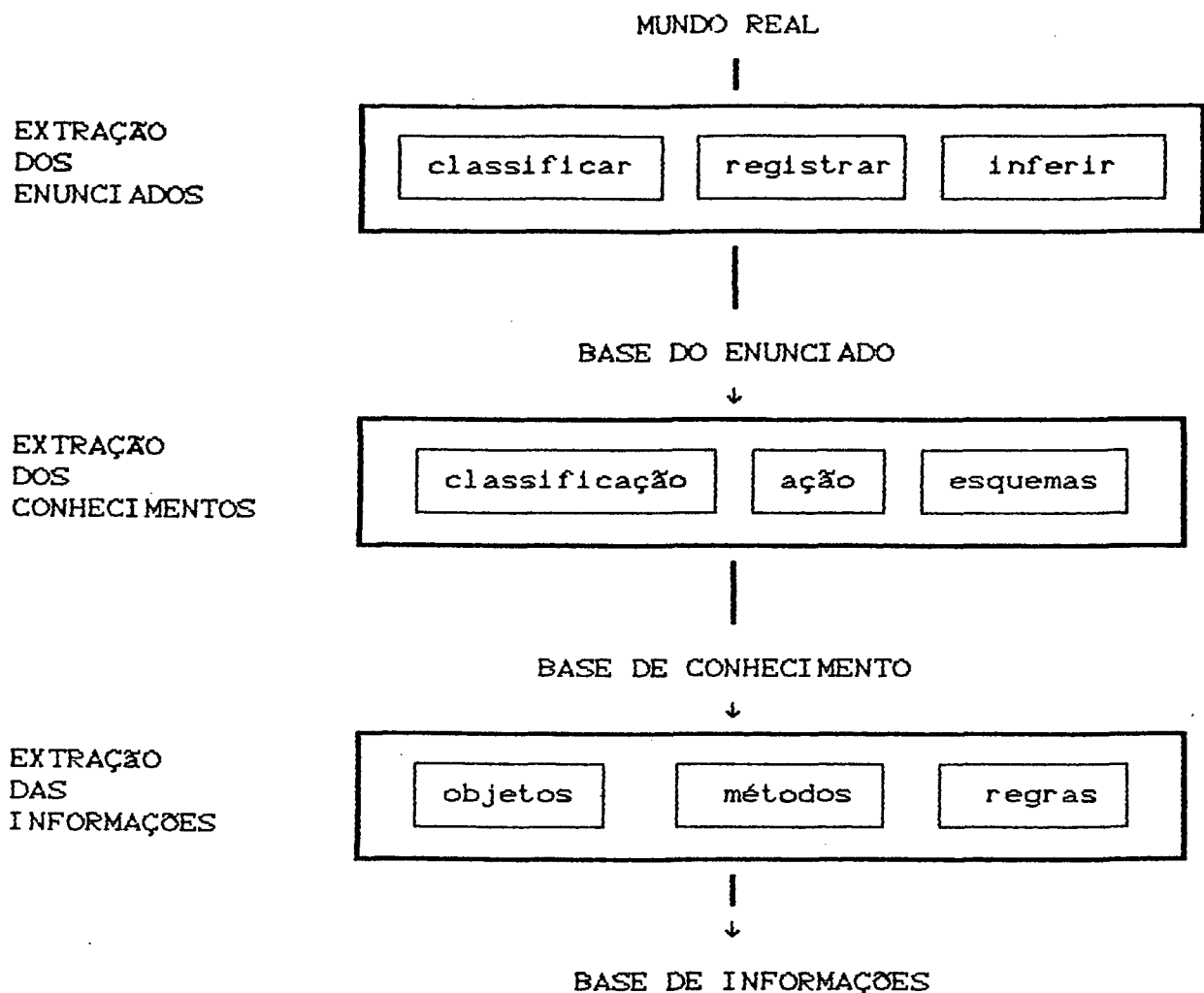


Figura 3.3 - Os Três Níveis da Metodologia do Conhecimento Orientado para o Projeto (Vogel, 1988)

3.3. Sistemas Especialistas para Programação da Produção na Manufatura

Existem vários sistemas especialistas importantes para a indústria manufatureira. Alguns deles são apresentados nos próximos itens.

3.3.1 IMACS

O IMACS assiste aos administradores num ambiente de

manufatura para sistemas computadorizados com administração, trabalho de arquivo, planejamento de capacidade, administração de estoque e outras tarefas relativas à administração do processo de manufatura. O IMACS, através de um pedido do cliente, gera um plano construído preliminarmente, a partir do qual o sistema pode prever os recursos requeridos para o pedido. Primeiro, um pedido é construído no sistema; então, o IMACS gera um plano de construção detalhado e usa-o para monitorar a implementação do sistema computacional.

O IMACS é um sistema baseado em regras, com encadeamento a diante como um conjunto de subsistemas com base de conhecimento. É implementado em OPSS. O IMACS foi desenvolvido pela Digital Equipment Corporation e pesquisou o estágio de um protótipo de campo (Waterman, 1986).

3.3.2. ISIS

Constrói programações para produção "job shop". O sistema seleciona uma seqüência de operações necessárias para completar um pedido, determina o início e os tempos e distribui recursos para cada operação. Pode também agir como um assistente inteligente, usando sua perícia para ajudar programadores da produção, mantendo consistência na programação e identificando decisões que resultam em restrições insatisfeitas.

O conhecimento do sistema inclui metas organizacionais como datas exatas e custos, restrições físicas, tais como, limitações de máquinas particulares, e restrições causais, tais como o pedido no qual as operações devem ser executadas.

O ISIS usa esquema de representação do conhecimento com base em "frames", juntamente com regras de produção, para resolver conflitos. O sistema é implementado em SRL. Foi desenvolvido pela Universidade de Carnegie-Mellon e testado no contexto de uma instalação contendo uma turbina da Westinghouse (Fox e Smith, 1984).

3.3.3. PTRANS

O PTRANS ajuda a controlar a manufatura e distribuição de sistemas de computador da Digital. Usa descrições de pedidos de clientes e informação para executar e testar o sistema de computador, inclusive na sua construção. O PTRANS monitora o progresso de implementações técnicas do plano, problemas de diagnose, sugere soluções, e prediz possíveis impedimentos, escassez ou sobras de materiais. O PTRANS trabalha com XSEL, um assistente de vendas, de forma que uma vez que o pedido seja feito, a data de entrega pode ser confirmada. O PTRANS é um sistema baseado em regras com encadeamento a diante, implementado em OPSS. Ele foi desenvolvido pela Digital Equipment Corporation e pela Universidade de Carnegie-Mellon (Waterman, 1986).

3.3.4. OPAL

É uma ferramenta de software geral para programação de curto período, para grupos experimentais, dedicada às produções de tamanhos pequenos e médios de manufatura. O sistema supõe que seja conhecido o tempo de processamento das tarefas. Cada atividade é caracterizada por um conjunto parcialmente ordenado de tarefas e designada para um intervalo de tempo limitado por um tempo de início mais cedo e uma data fixada. O OPAL implementa um método global, isto é, usa a proposição do problema completo para construir uma solução (Badie, Bel, Bensana e Verfaillie, 1990).

O OPAL é construído através de quatro módulos principais:

(1) Uma base de dados, construída através do uso de objetos orientados, contendo a descrição da fábrica (máquinas, tipos dos componentes com sua seqüência de processamento e calendários), do problema de programação (requisitos da produção, trabalho em processo, datas obrigatórias, disponibilidade das máquinas) e do estado geral do plano de programação.

(2) Um módulo de análise com base nas restrições calcula a consequência das restrições de tempo na sequência das operações, podendo gerar novas relações e propagar estas novas restrições.

(3) O módulo de suporte à decisão fornece informação à sequência de operações, com base na prática ou no conhecimento heurístico.

(4) Um supervisor controla um diálogo entre o módulo de análise e o módulo de suporte e constrói passo a passo uma programação da produção de acordo com as decisões tomadas por estes módulos.

3.3.5. OSCAR

O OSCAR implementa um método por adição, ou seja, as tarefas a serem executadas são organizadas uma após a outra num contexto crescente composto de tarefas já planeadas. A posição, isto é, os recursos e as janelas temporais distribuídas das tarefas, no corrente contexto, pode ser modificada por uma nova tarefa que entra nesse contexto.

O OSCAR é muito importante para sistemas de programação reativa, nos quais cada entidade pode reagir a modificações requeridas, a informações a partir da execução do plano ou a informações de outras entidades (Badie, Bel, Bensana e Verfaillie, 1990).

3.3.6. ReDS

O sistema de programação ReDS (Requirements Driven Scheduler) possui uma base de conhecimento destinada para ambientes de produção flexíveis e altamente dinâmicos. Foi desenvolvido para a Siemens Corporate Research and Support, Inc., Princeton, USA (Waele, 1990).

O sistema ReDS foi aplicado com sucesso em vários ambientes

de manufatura "job shop" na Siemens. Segundo Waele (1990) o ReDs foi aplicado ao problema do chão de fábrica (produção propriamente dita), que está entre os problemas mais complexos na pesquisa do planejamento, tendo em vista o grau impressionante de conflitos requeridos e restrições que influenciam o problema. A programação da produção também pode ser definida como a seleção e seqüenciamento de recursos versus tempo para executar um número de tarefas desejadas.

Neste ambiente de produção as pessoas normalmente desejam ferramentas com as seguintes características:

- (1) que reajam bem rápido para mudar requisitos e restrições;
- (2) que sejam capazes de julgar e mudar diferentes objetivos e restrições; e
- (3) que permitam a interação humana e a liberação do suporte de decisões para a administração do chão de fábrica e operadores de máquina.

O ReDS considera as três características citadas acima e se constitui num sistema que opera em tempo real e permite que restrições e preferências sejam adicionadas ou mudadas individualmente para qualquer nível. Ele é um sistema interativo que admite a interferência do usuário, com entradas para as fases críticas de decisões, durante o processo de planejamento, mas que também tem a habilidade para decidir por si, caso o usuário não interfira. O usuário interfere através de um dispositivo com objetivos orientados por gráficos. O modelo do chão de fábrica e todos os dados relevantes e parâmetros são armazenados num banco de dados relacional para a manufatura e são facilmente acessados pelo usuário.

O sistema tem uma arquitetura desenvolvida para torná-lo mais genérico. Em certos ambientes somente parte dos módulos, que constituem o sistema, são relevantes. Diferentes combinações dos módulos são possíveis, dependendo das necessidades do usuário e as

funcionalidades de outros sistemas que já estão disponíveis no ambiente de produção. Porque desta modularidade surge a possibilidade de integrar o ReDS com MRP e outros sistemas.

Os módulos são embasados em técnicas que proporcionam ao sistema reagir inteligente e eficientemente aos novos requisitos e às interrupções inesperadas.

Conforme Waele (1990) a integração e a interação do sistema ReDS entre diferentes técnicas resultam num sistema que resolve os problemas práticos da administração da fábrica sem faltar base teórica. O ReDS é um sistema de programação da produção genérico, que pode ser aplicado aos novos ambientes num curto período de tempo, adequando-se ao fato no qual o modelo da fábrica é armazenado independentemente numa base relacional.

É importante para esta pesquisa ressaltar que o protótipo do ReDS foi programado em PROLOG, sendo descartado porque a programação proporcionou um sistema muito grande e de baixa velocidade. Finalmente, o sistema foi implementado em C e Pascal e é executado numa estação de trabalho no ambiente UNIX.

3.3.7 RBD

O sistema especialista RBD (Rule Based Dispatch) é projetado para encontrar soluções por intermédio de critérios pré-estabelecidos, tais como: O passo final no processo que converte demanda em atividade de produção é a decisão concretizada. No ambiente "job shop" é mantido o fluxo de trabalho no chão de fábrica pela resposta dada à pergunta: "Qual a próxima atividade a ser processada?". Uma boa resposta deve ser dada a tempo, considerando o serviço ao cliente e os objetivos do custo da produção que foram adotados pela manufatura.

No RBD as respostas usam um seqüenciamento de regras que representam o conhecimento para desenhar as conclusões a partir dos dados obtidos no chão de fábrica em tempo real.

Segundo Clancy e Mohan (1990) o RBD mostrou que conceitos de sistema especialista podem ser aplicados com sucesso para problemas que convertem demandas em atividades de produção e que existe uma necessidade de maiores pesquisas nesta área.

As decisões de seqüenciamento nos casos de dúvida com relação à próxima atividade no processo de produção, tão comuns nos "job shops", onde uma das várias atividades que estão enfileiradas para uma operação de produção deve ser selecionada para o processamento. As filas podem ocorrer no processo de produção pela alta segurança da utilização do equipamento ou pela detecção de um processamento anômalo, tal como a falha de um equipamento. Neste caso, a ordem do processamento das atividades na fila pode trazer impacto nos custos da produção e nos serviços ao cliente. Conseqüentemente, a decisão de seqüenciamento refletirá estratégias da fábrica para balancear estas variáveis chaves.

O RBD é um sistema especialista que dá suporte às chamadas decisões de seqüenciamento (Clancy e Mohan, 1990). O sistema é um dos módulos de um projeto mais amplo desenvolvido pela Consilium Inc, Mountain View, CA, USA. O sistema RDB é integrado com os módulos de planejamento e busca os dados fornecidos pelos outros módulos do sistema global, permitindo tomada de decisões em tempo real utilizando as informações do RBD.

O sistema inclui representação do conhecimento com regras, usando as mesmas para desenhar inferências a partir dos fatos e explicando como estas inferências foram feitas ao usuário.

Usando o RBD, as manufaturas podem aumentar a atividade em processo de produção e aumentar a utilização dos equipamentos críticos, onde se estabelecem os chamados gargalos da produção. O sistema ainda faz um controle uniforme através do chão de fábrica. É utilizado atualmente por várias manufaturas numa variedade de indústrias para encontrar a programação da produção e reduzir custos de produção.

3.3.8. EXCAP

É um sistema que se utiliza de base de conhecimento, sendo próprio para gerar processos de planejamento, tendo partes escritas em AL/X e em Basic. O AL/X é uma "shell" de sistema especialista baseada no Prospector, foi usado para experimentos com a aplicabilidade de sistemas especialistas para planejamento de processos com todas as rotinas escritas em Pascal. A sintaxe inflexível da "shell" foi adequada para a representação de maior parte do conhecimento do planejamento do processo, pois York Portable Prolog foi selecionado, mas resultou numa execução muito lenta. O sistema é montado no Poplog (ambiente de inteligência artificial) em estações de trabalho Sun, a implementação foi em linguagem Prolog e Pop11 (Joseph e Davies, 1990).

O EXCAP usa um conjunto de decisões representadas por árvores conectadas juntas para formar uma rede. A rota seguida através desta rede durante o planejamento tem operações associadas com ela, e estas operações formam a seqüência da manufatura.

Segundo Joseph e Davies (1990) os principais benefícios desta técnica estão no fato de que as ramificações de edição da base de conhecimento ficam explicitamente definidas, e que o sistema usa uma quantia considerável de conhecimento heurístico para restringir o espaço de busca, tornando-o mais eficiente do que seria, se não fosse empregado este recurso.

O EXCAP foi desenvolvido por Darbyshire (1985) em UMIST. Existe no sistema a característica de envolver na edição o conhecimento, mais precisamente para tornar a natureza explícita das ligações entre regras, ele simplifica desenhando mapas da base de conhecimento no qual as regras são representadas por nós e suas interligações por linhas e setas. Esta técnica foi aplicada hierarquicamente, para criar uma facilidade para visualizar rapidamente qualquer conjunto de regras. Sem tal característica haveria dificuldade de manter, acessar ou adicionar novas regras.

O resultado obtido com o EXCAP sugere que é possível automatizar a produção de planos de processos satisfatórios, modelando o conhecimento necessário num sistema especialista para processo de planejamento.

3.4. Sistemas Especialistas para o Planejamento na Indústria da Construção Civil

As técnicas de planejamento baseadas em redes foram desenvolvidas por volta dos anos cinquenta, cresceram e mudaram com o progresso dos hardwares e softwares. Resultam hoje numa poderosa ferramenta para os projetos de planejamento de programação na indústria da construção civil (Levitt, Kartam e Kunz, 1988).

Sistemas especialistas importantes nesta área foram implementados nestes últimos quarenta anos. Alguns deles estão relacionados neste item com o objetivo de fortalecer esta pesquisa, no que diz respeito aos aspectos importantes de planejamento e programação de atividades na indústria da construção civil.

3.4.1. Callisto

O projeto Callisto surgiu numa tentativa de estender algumas das idéias provenientes do sistema ISIS para suportar os desafios da administração de projetos desenvolvidos em larga escala para a Digital Equipment Corporation (Levitt, 1990). O primeiro protótipo do Callisto foi implementado como um sistema baseado em regras para configuração de busca. Trabalhos subseqüentes resultaram em várias áreas: na administração de recursos de programação de produção, na administração de atividades em planejamento, bem como, na configuração da administração.

O Callisto usa redes CPM para representação de planos. Foi desenvolvido na Universidade de Carnegie-Mellon, USA (Sathi, 1986)

e (Roth, 1987) citados por (Formoso, 1991).

Segundo Roth (1987) o projeto Callisto divide-se em três áreas principais de pesquisa:

(1) Desenvolvimento de uma representação semântica de projetos: O principal objetivo foi o desenvolvimento de um esquema rico de representação do conhecimento, suficiente para dar suporte a uma variedade de programação, análise, e raciocínio, bem como, à criação de um registro histórico detalhado de um projeto;

(2) Geração automática de texto e explanação gráfica: o principal objetivo refere-se ao desenvolvimento de um método de explicação para dar suporte aos administradores na análise e busca por informações relevantes através de grande atualização de programação;

(3) Desenvolvimento de um método distribuído para administração de sistemas: o objetivo foi investigar meios para dar suporte ao processo de comunicação entre os vários níveis de administração envolvidos, fornecendo uma linguagem aos administradores para comunicar sobre os planos do projeto e restrições de conflitos, ou fornecendo métodos pelo qual algumas negociações entre administradores podem ser desempenhadas.

3.4.2. OARPLAN

O sistema OARPLAN (Object-Action-Resource Planning System) gera planos de projeto de construção (Darwiche, Levitt e Hayes-Roth, 1988). O sistema especialista é baseado na noção de que as atividades num plano de projeto podem ser vistas como interseções de suas constituintes: objetos, ações e recursos. O conhecimento do planejamento no OARPLAN é representado com restrições na base das constituintes e suas relações. As funções do planejador é como se fosse uma máquina de inferência que tenta satisfazer estas restrições. O objetivo do projeto OARPLAN foi desenvolver uma "shell" de planejamento para projetos de

construção, que fornecesse uma linguagem restrita e natural para expressar conhecimento sobre o planejamento de construção e também para gerar planos de construção, satisfazendo restrições expressas nesta linguagem.

A versão inicial do OARPLAN foi implementada em 1988 na Universidade de Stanford (Darwiche, Levitt e Hayes-Roth, 1988). O sistema foi implementado em LISP convencional, sendo executado numa estação de trabalho Texas Instruments Explorer.

Facilitando a utilização conjunta entre OARPLAN e CAD, em 1989 houve uma nova implementação, usando Framekit e Rulekit, "shells" que utilizam como representação do conhecimento "frames" e regras de produção implementadas em linguagem LISP comum, a execução neste caso foi num Macintosh II.

3.5. Discussão

Os estágios do desenvolvimento de um sistema estão classificados na literatura. Existem os sistemas comerciais, regularmente usados nas empresas nas mais diversas áreas, que tanto podem ser convencionais ou especialistas. Outros são apenas demonstrativos, normalmente usados em pesquisas nas universidades, alguns dos quais são apenas protótipos que reproduzem o problema através de partes, ou seja, os protótipos de testes, bastante comuns. Existem também os sistemas classificados como sistemas de trabalho.

Levitt (1990) considera que já houve um pequeno progresso em termos de praticidade nos sistemas para planejamento no final da década de oitenta. Faz ainda uma reflexão sobre as experiências nesta área, expondo que: Quando se diminuiu o escopo dos sistemas especialistas, com sua construção para diagnose médica ou prospecção de mineral, sistemas de planejamento com domínio específico, produzindo planos mais reais e programação "job shop", constatou-se maior poder para encontrar as respostas necessárias do que nos problemas gerais.

Levitt (1990) conclui que sistemas como ISIS, Callisto, OARPLAN têm gerado planos e programações para muitas classes de aplicações para a indústria de manufatura, envolvendo componentes padrão e em série. Refinamentos e extensões destes sistemas conduzirão, segundo sua estimativa, às ferramentas de softwares comerciais para resolver uma grande série de problemas de planejamento de tarefas na década em curso.

O IMACS, acima descrito, nessa versão é um protótipo de estudo. Quanto ao PTRANS e ao ISIS, estes são mais importantes, mais elaborados e têm aplicações práticas bem definidas, sendo que o último foi testado na Westinghouse e recebe muita ênfase na literatura pelos bons resultados obtidos.

Os projetos OPAL e OSCAR são sistemas mais sofisticados e recentes; no entanto estas versões descritas acima, ainda são experimentais.

A maioria destes sistemas continua sendo submetida a teste, principalmente nas universidades. Normalmente, os pesquisadores reproduzem as formulações dos sistemas apresentados na literatura e criam outras versões para um determinado sistema já conhecido. Em alguns casos, trazem contribuições importantes.

O sistema ReDS, segundo Waele (1990), teve sua aplicação prática bem sucedida e já se enquadra, na opinião de Levitt (1990) quanto a previsão de maior aprimoramento, neste tipo de sistema para a década em curso. O RBD pode ter a mesma classificação, quanto ao estágio de desenvolvimento do ReDS, são sistemas sofisticados de trabalho e também têm chances de sucesso comercial.

Existem também estudos que enfatizam as pesquisas que conduzem os engenheiros do conhecimento a encontrar arquiteturas mais sofisticadas de planejamento, envolvendo o desenvolvimento de esquemas mais elaborados de representação do conhecimento, mecanismos de inferência, gráficos interativos e a aplicação de

técnicas desenvolvidas numa proposta geral para sistemas de planejamento de inteligência artificial (Formoso, 1991). Dentro deste propósito, estão as pesquisas da Universidade de Carnegie-Mellon (Hendrickson et al, 1987) e Universidade de Stanford (Levitt et al, 1988). Esta área de pesquisa usualmente demanda o uso de ambientes de programação mais poderosos e hardwares mais caros.

Além dos sistemas descritos neste capítulo, tanto para a programação da produção da manufatura como para o planejamento na indústria da construção civil, foram desenvolvidos muitos outros sistemas, tais como:

SITEPLAN - usado nas estações de trabalho XEROX (1987);

IPMS85/2 - construído no Massachusetts Institute of Technology (1986); e

Primavera - construído na Universidade de Illinois (1986).

Estes projetos citados e outros, são analisados por Ashley e Levitt (1987) e são igualmente bem sucedidos em domínios restritos, considerando vários tipos de classificação, tanto quanto ao estágio de desenvolvimento como ao considerável nível de sofisticação.

A administração, a manutenção e o planejamento de construções estão recebendo maior atenção como possíveis aplicações para sistemas com base de conhecimento. Contudo, oportunidades para estas novas tecnologias de computação causarem impactos substanciais sobre a pesquisa e a prática, só terão sucesso mais tarde. As pesquisas mostram que há potencial para muitos impactos na década em curso (Ashley e Levitt, 1987).

A produtividade é muito importante na programação da produção na manufatura. Explicitando a formulação de regras com estimativas, os fatores que influenciam a produtividade do trabalho podem ser identificados e então realizam-se com exatidão

as modificações particulares para correção através de regras processadas (Hendrickson, Martinelli e Rehak, 1987).

O sistema Manson faz uso de uma estrutura para melhorar a produtividade através do planejamento ordenado de atividades, considerando uma hierarquia definida a partir de um sistema especialista que utiliza regras de produção para fazer as estimativas das variáveis utilizadas no processo de planejamento. Permite ainda uma análise explícita do método de estimativas utilizado (Hendrickson, Martinelli e Rehak, 1987).

O Manson é um sistema protótipo aplicado para um limitado nível de atividades possíveis na construção civil, fornecendo estimativas. Limitações são comuns aos sistemas especialistas para a área estudada, apesar dos muitos anos de pesquisa no assunto. Por isso estudos importantes, que apresentam a sua contribuição neste campo, são relevantes no sentido de conduzir os técnicos envolvidos a obterem maior proveito das técnicas de inteligência artificial para os problemas que, a exemplo do planejamento e da programação, são adequados à utilização de sistemas especialistas (Hendrickson et al, 1987).

Hendrickson et al (1987) descrevem o sistema especialista para planejamento da construção chamado Construction Planex. O sistema gera redes de atividades, estimativas de custo e programações, incluindo as definições de atividades, especificação de precedência, seleção de tecnologias apropriadas, estimativas de duração e de custos. É útil, como sistema de apoio na rotina do planejamento, e ainda analisa e avalia estratégias de planejamento.

Alguns processos de manufatura são flexíveis, exigindo sistemas de planejamento "on line" e tomadas de decisão em tempo real. Estes tipos de sistemas geralmente são desenvolvidos com técnicas de inteligência artificial (Lecocq et al, 1987).

Sistemas com gráficos sofisticados são muito utilizados: um exemplo significativo é apresentado por Falcão et al (1990).

Tate (1985) apresenta uma classificação de alguns dos mais importantes temas de pesquisa de planejamento na área da inteligência artificial e descreve também seu desenvolvimento histórico. Existe um grande interesse em sistemas de planejamento, tanto para pesquisa como a nível de aplicações. A pesquisa em planejamento envolve muitas das áreas principais relacionadas a inteligência artificial, tais como: busca e tomada de decisão; representação do conhecimento; e aprendizado (Tate, 1985).

No estudo dos sistemas apresentados neste capítulo, conclui-se que é necessário continuar as pesquisas na busca de novas formas de aplicação destas técnicas, a exemplo da manufatura de peças pré-moldadas de argamassa armada.

O planejamento diz respeito a técnicas desenvolvidas em subclasses da inteligência artificial e o planejamento embute seus próprios problemas, tais como: representação e raciocínio sobre tempo; casualidades e intenções; múltiplos agentes que podem cooperar ou interferir; e todas as restrições já apresentadas no capítulo 2 (Tate, 1985).

O planejamento também tem características comuns a outras aplicações de sistemas especialistas e áreas gerais de busca e representação do conhecimento, tais como: Necessidade de justificar soluções e elicitação do conhecimento (Tate, 1985).

3.6. Considerações Finais

Nesta fase de revisão bibliográfica sobre inteligência artificial, foram muito importantes as consultas aos Anais da Primeira Conferência Internacional sobre Sistemas Especialistas para Planejamento realizada em 1990 na Inglaterra.

Os trabalhos apresentados na conferência servem de base para esta pesquisa, porque são trabalhos recentes e importantes, realizados na mesma área deste estudo.

O sistema ISIS abordado no item 3.3.2 resolve um problema semelhante ao deste trabalho. Não há vantagem em utilizá-lo aqui, porque necessita-se de um sistema específico e direcionado para encontrar uma melhor solução do problema de programação da produção dos componentes de argamassa armada. Além do que, o ISIS não está disponível para novas aplicações.

CAPITULO 4. PRODUÇÃO DE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS DE ARGAMASSA ARMADA.

4.1. Introdução

Este capítulo é reservado às técnicas de construção da argamassa armada e aos aspectos relacionados com a industrialização das peças pré-moldadas neste material.

Neste ponto é feita a delimitação do problema de produção de peças de argamassa armada pesquisado, cujo conhecimento é modelado para o sistema a partir do capítulo 5.

Os aspectos do problema e os gargalos ocorridos na produção, apresentados neste capítulo, se constituem na base conceitual do sistema desenvolvido. Neste sentido, são apresentados os detalhes construtivos, indispensáveis ao entendimento do problema da fabricação das peças de argamassa armada.

4.2. A Tecnologia da Argamassa Armada

4.2.1. Desenvolvimento Histórico

Argamassa armada é um processo que combina areia, cimento e tela de aço. O resultado são peças delgadas e leves, cuja tecnologia começou a ser desenvolvida no final do século XIX. A argamassa armada pode ser considerada um tipo particular de concreto armado composto especificamente por argamassa de cimento, agregado miúdo e armadura difusa constituída de telas de aço, com malha de pequena abertura, distribuída por toda seção transversal da peça. Sua fabricação iniciou com Joseph Lambot, em 1848 (Pedreira, 1988). Batizada de "fer-ciment", entrou definitivamente nos manuais da construção, por sua ascendência direta sobre a argamassa armada ou sobre toda família dos concretos estruturais, através das obras de Pier Luigi Nervi (Pedreira, 1988).

Em meio à conturbada situação reinante na Europa durante a

Segunda Guerra Mundial, Nervi, engenheiro italiano e notável projetista e construtor, realizou em 1943, experiências sobre o chamado "ferro-cimento", visando principalmente o seu emprego na construção naval (Hanai, 1992).

O "ferro-cimento", assim denominado por Nervi, tinha como base conceitual a constatação da maior alongabilidade do material como decorrência da maior subdivisão e distribuição da armadura metálica na argamassa de cimento e areia (Hanai, 1992).

Nas suas primeiras experiências, Nervi obteve lajes de pequena espessura (cerca de 10 mm) excepcionalmente flexíveis, elásticas e de grande capacidade resistente.

Em 1947, para a construção do edifício da Feira de Milão, previu-se a cobertura da galeria central de 16 m de largura com estrutura ondulada em "shed" de argamassa armada, que foi estudada experimentalmente pelo Prof. Guido Oberti, da Escola Politécnica de Milão (Hanai, 1992).

Nos países desenvolvidos, as amplas possibilidades de pré-moldagem das peças de argamassa armada constituíram fortes atrativos para sua produção em larga escala nas últimas décadas.

Na CEI (ex-URSS) houve significativos avanços no desenvolvimento de componentes de argamassa armada.

No Brasil, o grupo de pesquisas de tecnologias de argamassa armada da Universidade de São Carlos tem desenvolvido importantes trabalhos nesta área, tais como: reservatórios com paredes onduladas, abóbadas pré-moldadas; coberturas de grandes vãos com telhas de argamassa armada; túneis de metrô; etc.

Paralelamente a estas pesquisas, foram realizados os trabalhos do arquiteto João Filgueiras Lima, pioneiro no Brasil na fabricação industrial de componentes de argamassa armada. Iniciou seus trabalhos neste material em Brasília e, por volta de 1980, desenvolveu o sistema construtivo para urbanização do Vale de

Cumurujipe, em Salvador, Bahia. Posteriormente, construiu o protótipo da Escola Transitória em Albadânia, Goiás, obtendo excelentes resultados. Logo depois, no final de 1983, projetou, instalou e dirigiu a Fábrica de Escolas do Rio de Janeiro.

Através da Fábrica de Escolas, como ficou conhecido este importante trabalho de cunho social, desencadeou a montagem de várias fábricas de peças de argamassa armada em vários estados do País, visando inicialmente a construção de centros educacionais. Estas fábricas se constituem em importante infra-estrutura que poderá futuramente produzir também componentes para construir habitações populares.

4.2.2. Características do Material

A tecnologia da argamassa armada é a que trata das construções de concreto estrutural, constituídas de peças de pequena espessura, podendo, portanto, ser entendida como uma extensão da tecnologia do concreto armado e protendido (Hanai, 1992).

Nesse sentido, essa tecnologia reúne os conhecimentos específicos para a produção dessas construções, os quais estão intimamente relacionados com a tecnologia global, porém voltados às particularidades de projeto, execução e uso, decorrentes da diminuição ao extremo da espessura das peças.

Esses conhecimentos envolvem conceitos sobre mecanismos de resistência do material, as propriedades dos materiais constituintes, a durabilidade das construções e a fenomenologia de agregação, os requisitos e os critérios de avaliação do desempenho estrutural, o dimensionamento e o arranjo especial de armaduras.

Envolvem também técnicas peculiares de execução e controle de qualidade, manutenção e, sobretudo, condições especiais referentes ao campo de aplicação e particularidades sobre o modo de uso (Hanai, 1992).

A argamassa armada pode ser protendida, porque alguns elementos pré-fabricados de concreto protendido são produzidos no Brasil em espessuras que poderiam ser classificados como argamassa armada protendida (Vasconcelos, 1985).

Como definição mais sucinta, pode-se dizer que argamassa é um material que resulta de uma mistura homogênea de cimento portland, água e agregado miúdo, podendo, eventualmente, conter adições de produtos especiais, com a finalidade de melhorar ou mesmo conferir determinadas propriedades ao conjunto (Petrucci, 1971, 1980).

Pode-se dizer que argamassa é um concreto sem agregado graúdo, um tipo "micro-concreto". Cimento e água formam a pasta que, por meio de reações químicas, endurece e aglomera as partículas do agregado miúdo (Hanai, 1992).

As principais qualificações das argamassas são: resistência mecânica; compacidade; impermeabilidade; aderência; constância de volume; e durabilidade (Petrucci, 1980).

Para a obtenção de um produto de boa qualidade, é necessário que todos os grãos do material inerte sejam completamente envolvidos pela pasta como também a ela estejam perfeitamente aderidos; além disso, os vazios entre os grãos dos agregados devem ser inteiramente preenchidos pela pasta (Petrucci, 1980).

A resistência mecânica da argamassa depende da relação água/cimento e das proporções entre cimento e agregados e das propriedades dos agregados, tais como: granulometria, forma e textura.

Neville (1982) observa que a influência da relação água/cimento na resistência não se constitui, verdadeiramente, numa "lei", pois a regra da relação água/cimento não contém várias qualificações necessárias para a validade. Em particular, a resistência com qualquer relação água/cimento depende do grau de hidratação do cimento e das suas propriedades físicas e químicas,

da temperatura à qual se processa a hidratação, do teor de ar do concreto e também da variação da relação água/cimento efetiva e da formação de fissuras devidas à exsudação. Portanto é mais correto relacionar a resistência com a concentração de produtos sólidos da hidratação do cimento no espaço disponível para os mesmos.

Conforme Neville (1982), a variação do volume devida à retração não é igual ao volume de água livre, que ocorre inicialmente e acarreta pouca ou nenhuma retração. Com o prosseguimento da secagem, a água adsorvida é removida e a variação de volume da pasta de cimento não confinada neste estágio é, aproximadamente, igual à perda de uma camada de água, com a espessura de uma molécula, pela superfície de gel. A espessura de uma molécula de água é, aproximadamente, 1% do tamanho das partículas de gel.

Neste caso, na execução de argamassa armada, deve-se tomar cuidados para evitar a rápida evaporação da água e iniciar a cura o mais cedo possível.

A argamassa pode sofrer retração desde antes da pega do cimento, a chamada retração plástica, que corresponde à redução do volume do sistema cimento e água, podendo surgir fissuras superficiais (Hanai, 1992).

O concreto ou a argamassa, submetidos a ações prolongadas, sofrem deformações, ao longo do tempo, devidas à fluência.

Fluência e retração são fenômenos dependentes entre si e, sob condições normais de secagem, eles se somam. Admite-se como simplificação que a fluência seja igual à diferença entre a deformação total que ocorre num elemento se não estivesse carregado. Algumas tendências de comportamento das argamassas apresentadas no caso de retração são válidas também para o caso de fluência (Hanai, 1992).

A permeabilidade dos concretos e das argamassas é uma propriedade importante, pois reflete a capacidade de obstaculizar

a penetração de líquidos e gases nocivos no seu interior (Bucher, 1987).

A permeabilidade desses materiais depende da porosidade dos agregados e da pasta de cimento endurecida. De modo geral, a porosidade é extremamente baixa, dependendo da permeabilidade e portanto, das características da pasta endurecida de cimento (Bucher, 1987).

A resistência à abrasão da argamassa com elevado teor de pasta deverá ser relativamente menor; é possível que com agregados de dimensão um pouco maior, de boa resistência e bem aderidos, e com aplicação de tratamentos superficiais (polimento) que permitam que a superfície aparente fique com agregados expostos, a resistência a abrasão seja bastante melhorada (Hanai, 1992).

Segundo Helene, citado por Hanai (1992), a durabilidade das construções de argamassa armada é afetada pela corrosão das armaduras, causada por fenômenos eletroquímicos, que ocorrem basicamente com a presença de eletrólito, envolvendo diferenças de potencial elétrico, de oxigênio e, eventualmente, de elementos agressivos.

O cimento portland comum pode ser empregado na argamassa ou, eventualmente, cimentos especiais, como: o de alta resistência inicial; o pozolânico; o de alto-forno; e o branco.

Segundo Calleja, em citação de Bauer (1979), o aditivo é um produto que, adicionado ao conglomerado pasta, argamassa ou concreto, no momento de sua elaboração, e em condições adequadas, de forma conveniente e em doses exatas, tem como finalidade modificar, no sentido favorável e permanente, as propriedades do conglomerado, ou conferir a ele qualidades de melhor comportamento em todos ou em alguns aspectos.

Conforme Hanai (1992), os agregados utilizados na argamassa armada são areias retiradas de leitos fluviais e de outras jazidas naturais, ou artificiais, resultantes de processos especiais de

fabricação, como britamento de rochas estáveis, pelotização de argilas expandidas etc., cujos grãos passam pela peneira de abertura 4,8 mm e ficam retidos na peneira de abertura 0,075 mm.

Dependendo da espessura e da densidade de armadura das peças de argamassa armada a serem executadas, pode ser necessário limitar o diâmetro máximo característico em valores inferiores a 4,8 mm, devendo-se então efetuar o peneiramento de areia comercialmente disponível.

A areia a ser empregada deve satisfazer aos requisitos estabelecidos pelas normas técnicas, como a resistência aos esforços mecânicos, o conteúdo máximo de substâncias nocivas, tais como: torrões de argila; matérias carbonosas, material pulverulento e impurezas orgânicas.

As armaduras de argamassa armada mais utilizadas são as difusas, constituídas de telas de aço.

A armadura difusa tem como funções principais resistir aos esforços de tração, limitar a abertura de fissuras e favorecer o surgimento de uma configuração de fissuras pouco espaçadas.

Para garantir a posição da armadura, evitando-se que ela encoste na forma, são necessários espaçadores de cobrimento; nas fábricas de escolas, utilizam-se espaçadores de plástico.

Dentre os meios especiais de proteção das armaduras contra a corrosão, o mais freqüente é a galvanização.

4.2.3. Aspectos Construtivos

As peças pré-moldadas de argamassa armada se utilizam, freqüentemente, de formas metálicas. Embora, existam, outros materiais a serem utilizados, as formas metálicas são as mais freqüentes neste tipo de peças. As formas são do tipo envolventes, ou duplas, que envolvem grande parte da superfície a ser exposta

nas peças de argamassa armada.

O adensamento da argamassa deve ser feito preferencialmente com equipamentos de vibração, como réguas, placas, gabaritos e mesas vibratórias, conforme o caso.

A preparação das armaduras envolve o corte e o desempenamento de telas, barras e fios de aço; dobramento dos elementos de armadura em mesas e bancadas de dobramento; montagem de armadura, por amarração; colocação de espaçadores de plástico e de dispositivos de ligação (Hanai, 1992).

4.3. Identificação do Problema

Dentro da construção civil existe um problema concreto a ser analisado, que é a utilização da argamassa armada em escala industrial para construção de centros educacionais, além de conjuntos habitacionais, com rapidez e baixo custo. Por sua vez, a tecnologia de argamassa armada não está inteiramente dominada, existindo vários problemas tecnológicos na programação dos processos de fabricação das peças pré-moldadas, havendo também a necessidade desta tecnologia ser colocada à disposição das diversas empresas em todas as regiões do País. Neste sentido, esta pesquisa permitiu o desenvolvimento de um sistema especialista, que tem a possibilidade de adquirir os conhecimentos disponíveis para a programação industrial desta tecnologia, podendo contribuir na modernização do setor no País. Principalmente, supondo que o sistema apresentado seja futuramente implantado nas fábricas de peças de argamassa armada já existentes.

O sistema de industrialização em argamassa armada, adotado para execução dos centros educacionais, em face da escala e magnitude do empreendimento, foi estabelecido com base no aprimoramento de experiências anteriores suficientemente avaliadas, de modo a reduzir riscos de natureza técnica e atingir as duas metas principais estabelecidas: redução dos prazos e dos custos da construção (Lima, 1991).

Também em função da escala do programa houve modificações significativas nos processos de produção, aumentando-se o investimento nas fábricas e introduzindo-se nelas níveis de automação jamais utilizados nas anteriores (Lima, 1991).

O processo de produção das peças de argamassa armada é composto pelas seguintes etapas principais:

* armadura;

* moldagem; e

* cura;

4.3.1. Processo de Produção dos Componentes Pré-Moldados

Os componentes pré-moldados de argamassa armada utilizam armadura de tela. Este material é comercializado em rolos com 1,40m de largura, que devem ser cortados diferentemente para cada tipo de componente pré-moldado. Após o corte a tela deve ser dobrada. Para este trabalho é utilizado o gabarito para dobra, sendo que, para cada tipo de peça, as dobras têm metragens diferentes.

Os inserts são elementos utilizados no processo de produção das peças. São elementos metálicos por onde são transmitidos os esforços de uma peça para a outra. A fixação dos inserts na armadura é feita através da amarração com arame em 4 pontos, devendo ser observado o posicionamento correto dos inserts, porque a sua fixação adequada evita o seu deslocamento quando se dá a argamassagem da peça (Sulbrape, 1992).

4.3.2. Montagem das Peças de Argamassa Armada

Para garantir o perfeito enquadramento da armadura na forma

metálica, usa-se um gabarito de madeira compensada. Este é revestido com chapa galvanizada para evitar o desgaste da madeira.

A Norma Brasileira 1259, que regulamenta a execução de peças em argamassa armada, determina que o cobrimento da armadura deve ser de 8 mm. Para garantir este cobrimento são acoplados espaçadores de plástico na tela, colocados com o auxílio de um alicate; a quantidade mínima de espaçadores por m² é de 15 unidades.

As formas, antes de receber a armadura, devem ser limpas e receber desmoldante. O sentido de aplicação do desmoldante é o mesmo do enchimento de argamassa, para evitar a formação de canais de percolação da água de amassamento da argamassa, aumentando a pressão e impedindo a formação de bolhas de ar.

No processo de argamassagem, a forma antes de receber a argamassa deve ser fixada na mesa de vibração de modo que a frequência deve ser muito alta, contribuindo para evitar a formação de bolhas.

O transporte das peças da mesa vibratória para o tanque de 1ª cura é feito usando pallets. Da mesa vibratória para os pallets a peça é transportada com o pórtico móvel da linha de produção. No tanque de 1ª cura a peça fica imersa por 8 horas, dá-se então a desforma e a peça é acondicionada nos pallets de 2ª cura, onde permanece por 5 dias. As formas seguem então para o setor de limpeza. Depois da peça passar pelo controle de qualidade e receber a prescrição, ser ou não reparada, é encaminhada para o setor de impermeabilização. Após a impermeabilização, a peça é estocada. (Sulbrape, 1992).

4.3.3. Gargalos na Produção dos Componentes Pré-Moldados

Os especialistas, que forneceram o conhecimento, modelado para o sistema, são os engenheiros de produção e civil. Isto, porque o primeiro é responsável pela programação de produção e o

segundo tem os conhecimentos referentes ao projeto da obra e ao preparo da argamassa armada.

O projeto da obra, no caso em questão a construção de centros educacionais, determina o número e a prioridade das peças pré-moldadas de argamassa armada a serem fabricadas.

Considera-se, neste trabalho, o número de centros educacionais a serem construídos num determinado período. O preparo da argamassa armada determina, através de seus vários processos, as restrições de mão de obra, matéria prima, equipamentos, duração das atividades, transporte, etc., que são fatores determinantes para a programação otimizada da produção.

Além destes fatores, existem gargalos, tais como: otimização de: recorte das telas; dobras de amarração das telas e quantidade de espaçadores das telas.

O processo de produção das peças torna-se mais complexo, uma vez que as peças pré-moldadas têm diferenças nas dimensões, no volume de argamassa armada, na armadura, no número de homens/hora, na moldagem e na desforma.

Na figura 4.1 é apresentado o esquema geral deste processo de produção.

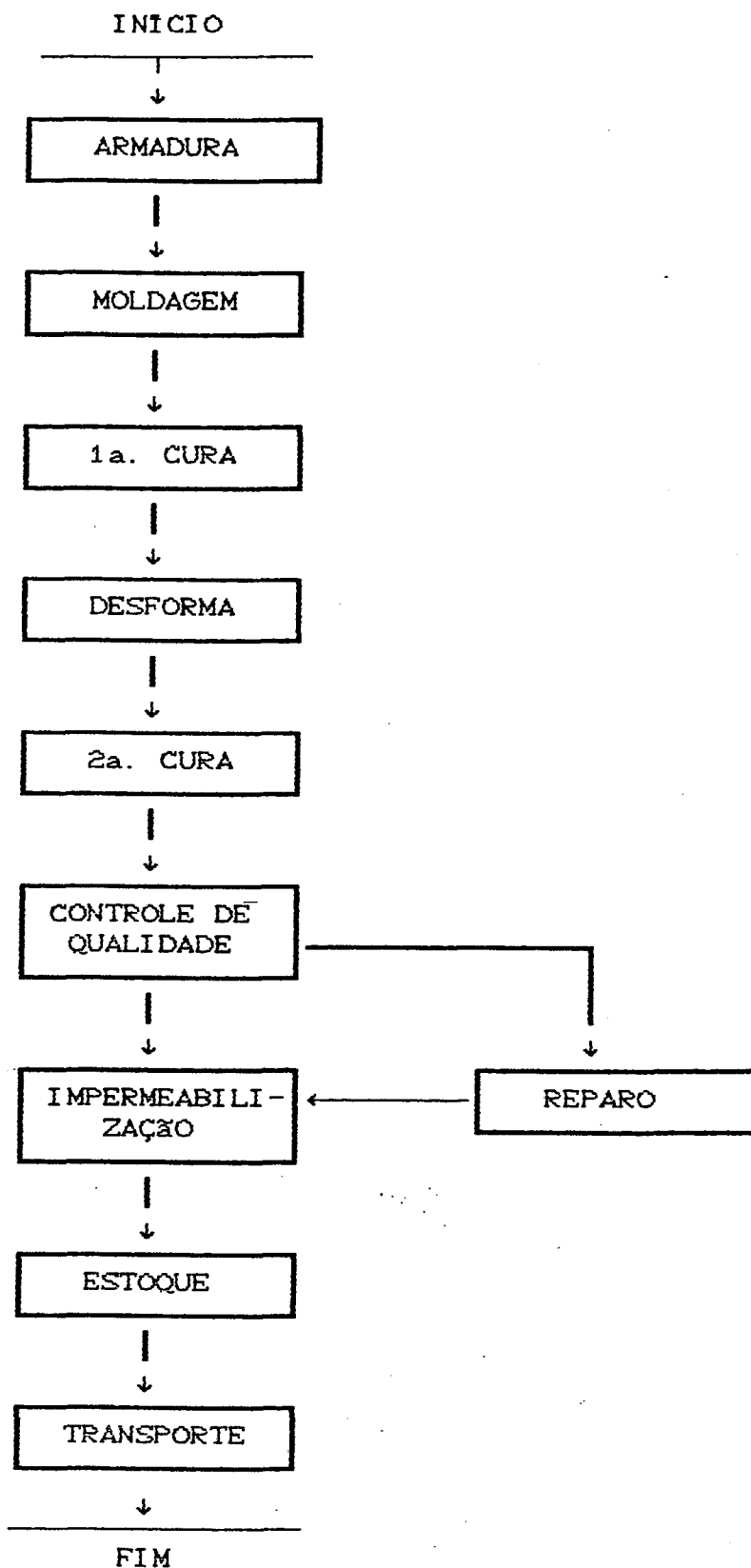


Figura 4.1 - Processo Geral de Produção de Argamassa Armada

Alguns problemas detectados referem-se à otimização do consumo de mão de obra e materiais, tais como: argamassa e armadura. Estas variáveis devem ser otimizadas e não são fixas para as peças. Visa-se também o aproveitamento máximo de cada máquina em função da demanda e do volume disponível nos tanques, do número de mesas de desforma e do número de operários. Em paralelo a estas restrições, existem problemas no tempo de limpeza das formas, relacionados com as formas disponíveis.

Além disto, existem problemas na moldagem no que se refere a conciliar e otimizar o número de peças necessárias com o número de operários de cada equipe e também o número de equipes.

No setor de armaduras existem gargalos, tais como:

- o tempo de moldagem deve ser conciliado com o tempo de produção da armadura para cada tipo de peça;
- o número de gabaritos (mesas de montagem) deve ser utilizado em função da moldagem;
- o número de gabaritos deve ser utilizado em função das viradeiras (máquinas de dobra); e
- o número de viradeiras deve ser utilizado em função do número de cortadoras (máquinas de corte).

Existem outros problemas, tais como: o tempo de produção para a fase de cortes das telas, colocação dos espaçadores e amarração, pois não são conhecidos os pontos de amarração ideais e cada peça tem posições diferentes de colocação das armaduras. Além disto, o número de espaçadores não é definido, não existindo sistemática para sua determinação. Todos estes fatores acima citados influem no tempo do ciclo de duração da peça na produção.

Considerando a redução dos prazos e dos custos da construção,

esperados pelas fábricas, como sendo um objetivo da programação da produção, este trabalho visa atuar na tentativa de otimização do seqüenciamento da produção, procurando agir sobre os gargalos identificados no processo.

Espera-se que este trabalho, quando utilizado na produção de uma fábrica, apresente resultados positivos na busca da otimização dos processos através do sistema especialista desenvolvido, que utiliza a modelagem do conhecimento dos especialistas humanos, permitindo, por meio de parâmetros, determinar qual o melhor plano a ser utilizado na programação da produção para cada um dos processos de peças pré-moldadas de argamassa armada. Ressaltando, que a solução encontrada não é necessariamente a ótima em termos matemáticos, pelos motivos explicados no capítulo 3.

Entre os gargalos descritos acima, alguns foram tratados no sistema, tais como: os referentes ao setor de armaduras; a utilização dos equipamentos do setor de armaduras, que influenciam nos setores de moldagem e controle de qualidade, estes últimos também tiveram seus gargalos considerados.

4.4. Abordagem Proposta

A produção de pré-moldados de argamassa armada pode ser tratada como uma indústria de manufatura, podendo utilizar sistemas computadorizados que proporcionam uma automação em várias etapas. A programação da produção desta indústria, por sua vez, também pode ser automatizada através de sistemas desenvolvidos especialmente para isto, a exemplo do apresentado neste trabalho. Em outras palavras, a programação da produção da indústria manufatureira tem, como foi apresentado no capítulo anterior, possibilidade de ser viabilizada através de sistemas especialistas, o que foi feito nesta pesquisa.

As técnicas de inteligência artificial foram, então, usadas para construção de um sistema especialista, que promove a programação da produção em uma fábrica de peças de argamassa

armada.

Fábricas deste tipo, atualmente, estão se ocupando apenas da construção de centros educacionais, mas podem ter uma produção aberta e fornecer peças para moradias e outros tipos de construção de baixo custo.

Portanto, é de se prever que, no futuro, as fábricas de pré-moldados de argamassa armada se ocuparão com produção de peças para outros tipos de construção, e a programação dessa nova produção também poderá utilizar sistemas especialistas.

4.4.1. Componentes Pré-Moldados Produzidos na Primeira Etapa

A argamassa armada é um componente construtivo já bastante utilizado em outros locais e culturas. No Brasil já existem prédios construídos com este tipo de componente. No entanto, a sua produção em escala exige alguma organização e racionalização do processo produtivo.

Nesta primeira etapa as fábricas de peças de argamassa armada estão se ocupando em produzir os componentes pré-moldados para a construção de centros educacionais, compostos de: creche; escolas de nível médio; posto de saúde; ginásio de esportes; biblioteca; e restaurante.

Para a construção destes centros é necessário produzir 28 tipos de peças, as quais foram classificadas em cinco grupos, conforme a função que desempenham nos edifícios e/ou a forma como são produzidas.

Cada grupo é composto das seguintes peças:

Grupo 1 - Forros:

Forro Beiral - FRB

Forro Shed - FRS

Forro Típico - FRT

Grupo 2 - Isolamento Térmico:

Isolamento Térmico Típico	- ITRT
Isolamento Térmico Capa	- ITRC
Isolamento Térmico Beiral	- ITRB
Isolamento Térmico Capa Beiral	- ITRCB

Grupo 3 - Sheds:

Shed Concha	- SDC
Shed Pestana	- SDPS
Shed Isolante Térmico	- SIT

Grupo 4 - Vigas:

Viga Total 10 Módulos com Balanço 2 Módulos Cobertura	- V10B2C
Viga Total 10 Módulos com Balanço 3 Módulos Cobertura	- V10B3C
Viga de Amarração	- VAR
Viga de Amarração 3 Módulos	- VAR3
Viga Seccionada 10 Módulos Cobertura	- VS10C
Viga Seccionada 10 Módulos Piso	- VS10P
Viga Seccionada 5 Módulos Piso	- VS5P
Viga Seccionada 5 Módulos Piso com Reforço	- VS5PR

São utilizadas, eventualmente, as seguintes vigas: VS5CC; VS5B2C; VS8C; e VS8CC.

Grupo 5 - Peças Especiais:

Calha de Drenagem Típica	- CDT
Calha de Drenagem Seccionada	- CDS
Fundação Típica	- FDT
Pilar Térreo Típico	- PLTT

A seguir serão apresentadas algumas informações adicionais e

pertinentes para o entendimento da função das peças na construção dos centros educacionais.

As peças do grupo 1 são os forros, que são constituídos de placa com aba de encaixe nas vigas e sua colocação confere efetivo travamento ao sistema estrutural.

Na faixa dos sheds, o forro típico (FRT) é substituído pelo forro shed (FRS) e, nas bordas, pelo forro beiral (FRB).

As peças de isolamento térmico têm a função de cobrir os prédios, sendo que uma delas, a ITRC realiza também a função de protetor das juntas de forro. Elas são apenas assentadas sobre o forro, não sendo empregada argamassa entre elas. O perfil e forma de assentamento dessas peças asseguram um colchão de ar ventilado em toda a superfície da cobertura.

Os sheds são peças que proporcionam a circulação de ar e a iluminação natural para os diferentes compartimentos do edifício.

As vigas são contínuas, apoiadas sobre dois pilares, com ou sem balanço em um dos extremos e outras são seccionadas, unidas no meio do vão, a outra viga, através de parafuso localizado na zona de tração.

As vigas trabalham simplesmente apoiadas nos pilares, com as quais se conectam através de tubo galvanizado que serve de ligação e escoam as águas pluviais. A seção especial de que são constituídas permite sua parte superior funcionar como calha coletora de água pluvial e a inferior servir para o encaixe de divisórias e esquadrias.

A viga de amarração tem a função de fazer a amarração longitudinal da edificação e, conforme o caso, serve como calha para a passagem de fiação elétrica, para a fixação da alvenaria e de esquadrias.

O grupo composto pelas peças chamadas especiais é assim

denominado porque as quatro peças que o compõem podem, eventualmente, serem substituídas por peças de concreto pré-moldado.

As calhas (CDT e CDS) têm seção padronizada, com abertura em uma das faces, para receber o tubo de drenagem.

A fundação típica (FDT) constitui-se numa sapata com um furo no centro que permite o encaixe da base do pilar e tem forma de uma estrela.

O pilar (PLTT) é uma peça que possui miolo oco para possibilitar a descida das águas pluviais. Suas faces têm ranhuras, para o encaixe de alvenaria, esquadrias e muros.

4.4.2. Fluxos das Etapas de Produção das Peças

No item 4.3.3 está apresentado o fluxo geral da produção das peças que compõem um centro educacional. As etapas principais do processo de produção das peças são armadura; moldagem; e cura. A partir do fluxo geral, cada etapa apresenta seu próprio fluxo de atividades, que são apresentados abaixo. A figura 4.2 mostra os passos que constituem a etapa da armadura.

As atividades constantes desta figura são parte integrante de um módulo do sistema especialista desenvolvido. A base conceitual do sistema está nos procedimentos e limitações surgidas na realização destas atividades. São modelados no sistema os conhecimentos que atualmente são empregados sem sistemática, para agilizar o processo de produção das armaduras. A otimização deste processo considera alguns dos gargalos citados no item 4.3.3. Aqueles gargalos que estão especificados no final daquele item.

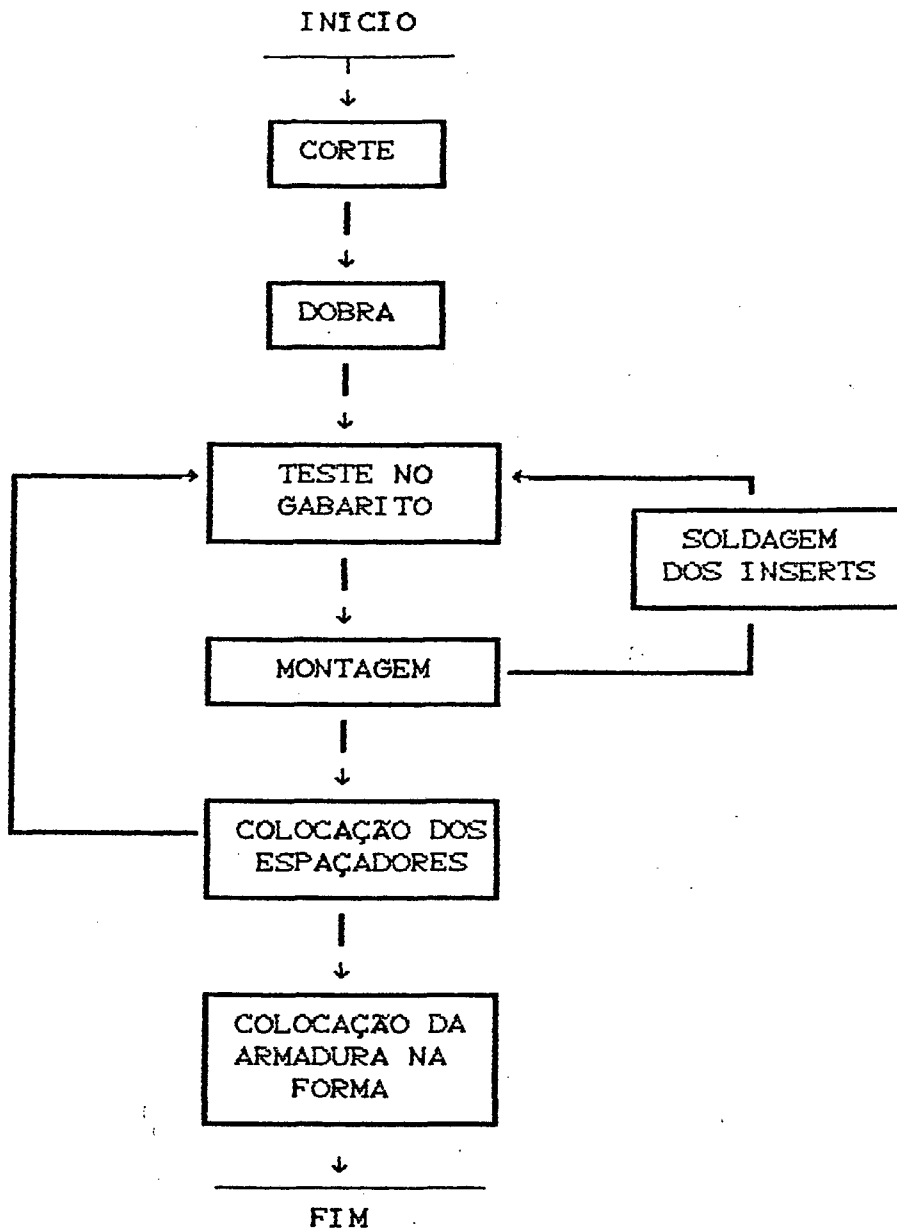


Figura 4.2 - Fluxo do Processo de Produção da Armadura

A etapa de moldagem vem a seguir e seus passos estão ilustrados na figura 4.3. As atividades de moldagem comportam um módulo do sistema especialista, onde são considerados os gargalos especificado no final do item 4.3.3.

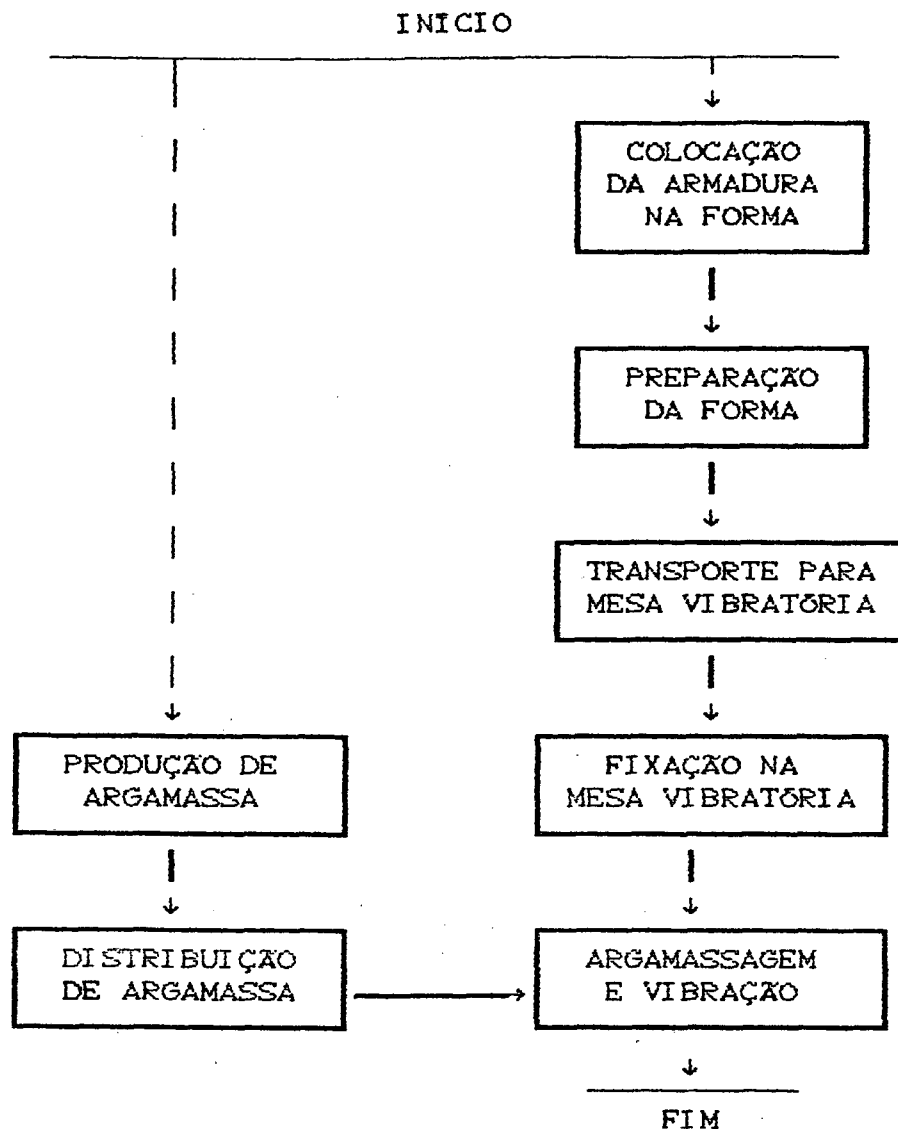


Figura 4.3 - Fluxo do Processo de Moldagem

A terceira etapa importante no processo de produção é a de cura e transporte das peças. Está ilustrada na figura 4.4.

As atividades, que compõem a cura e o transporte das peças são consideradas nos módulos de moldagem e de controle de qualidade do sistema desenvolvido, levando em consideração também os gargalos do processo produtivo citados no item 4.3.3.

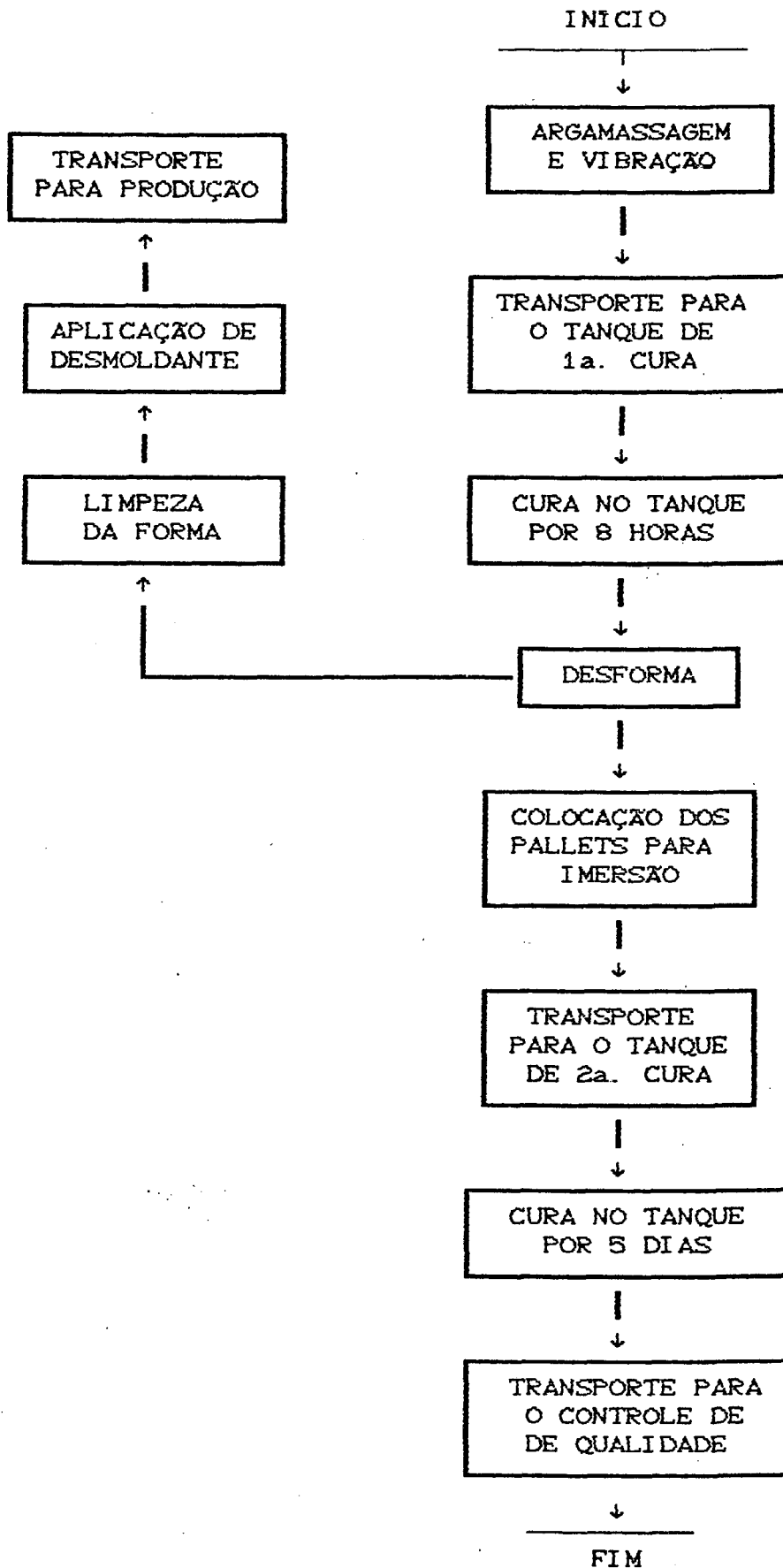


Figura 4.4 - Fluxo da Etapa de Cura e Transporte das Peças

As etapas finais do fluxo de produção das peças de argamassa armada estão apresentadas na figura 4.5, a seguir. Nesta etapa são consideradas as peças liberadas e todo o processo de controle de qualidade, ambos fazendo parte do Módulo de Controle de Qualidade do sistema desenvolvido, que está detalhado no Capítulo 6.

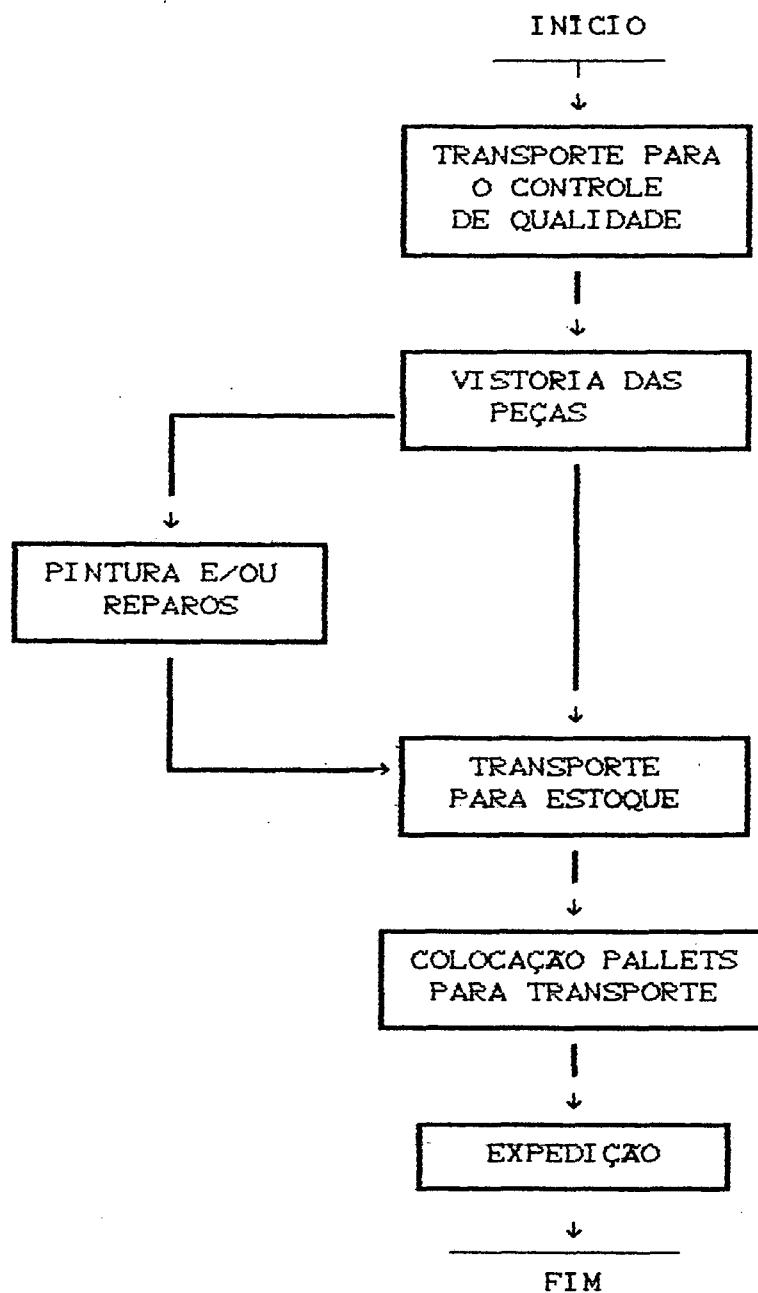


Figura 4.5 - Fluxo das Etapas Finais do Processo de Produção

5.1. Introdução

O desenvolvimento da aplicação está dividido em vários estágios, apresentados nos capítulos 5 e 6.

Este capítulo apresenta o papel que a aplicação do sistema especialista pode desempenhar no ambiente da programação da produção de peças de argamassa armada, ou seja, onde a estrutura básica do domínio do problema é delimitada. Tem-se, então, a elicitação do conhecimento.

A escolha das diretrizes e a metodologia utilizadas no sistema são apresentadas neste capítulo. Apresentam-se, ainda, os aspectos considerados na escolha da ferramenta de software, utilizada na construção do sistema especialista.

Este capítulo também apresenta as especificações detalhadas do sistema, desde a estágio conceitual até a construção do modelo.

Os sistemas desenvolvidos até hoje têm um caráter exploratório e são experimentais. Pois a psicologia cognitiva e a engenharia do conhecimento devem produzir ainda muitos avanços até a modelagem do conhecimento humano fornecer um sistema de computador completo.

Os estudos conduzem a métodos que fazem uma elicitação do conhecimento dos peritos obtendo um protótipo que deve sofrer reavaliações por parte do engenheiro do conhecimento e dos próprios peritos até se chegar a um sistema de trabalho.

A experiência com protótipo mostra vantagens, porque são necessários testes através da representação do conhecimento com "frames" e regras de produção, utilizadas com programação orientada ao objeto, que são implementados após a elicitação do

conhecimento para aferir este processo.

5.2. Metodologia

No trabalho desenvolvido são seguidas, como estrutura básica, as diretrizes apresentadas por Waterman (1986) para o desenvolvimento de sistemas especialistas. Estas dividem-se em 5 etapas:

- identificação do problema;
- definição dos conceitos;
- formalização de conceitos e relações;
- implementação do sistema; e
- teste do sistema.

Identificação do problema: Nesta etapa, delimita-se a abrangência do problema, determinando-se claramente os objetivos do sistema a ser desenvolvido.

Definição dos conceitos: Os conceitos e as relações a serem utilizados no sistema são definidos nesta etapa. Também é realizada aqui a definição das funções utilizadas para a aquisição do conhecimento para o sistema.

Formalização de conceitos e relações: Nesta etapa é feita a descrição formal dos conceitos fundamentais e das suas relações, através de "frames" e de regras de produção.

Implementação do sistema: É feita a implementação de todos os conceitos e relações definidos e são formalizadas as estruturas dos dados a serem utilizados e as estratégias de controle. Durante esta fase é também realizada a integração dos conhecimentos em uma estrutura única, uma vez que a coleta de informações, para a

constituição da base de conhecimento, se dá de uma forma fracionada até atingir o objetivo final.

Teste e validação do sistema: Nesta última etapa, são realizados os testes para verificar a eficiência do sistema, utilizando-se uma situação real. Foi escolhido, para teste, um projeto que possui as características já definidas nas outras etapas, de forma que o sistema possa ser aplicado. Neste caso, a principal meta a testar é quanto aos planos produzidos pelo sistema se assemelham com os realizados por um perito, ou seja a sua validade.

As diretrizes apresentadas por Waterman são muito utilizadas em consequência dos bons resultados obtidos. Contudo, algumas metodologias foram estudadas nesta pesquisa porque apresentam vantagens que são úteis neste caso, contribuindo para o enriquecimento do trabalho.

Watson, Shave e Moralee (1989) utilizam conceitos gráficos na representação do conhecimento. Estes autores propõem uma representação intermediária do domínio do conhecimento, a qual pode servir como um registro para o conhecimento obtido, independente de qualquer implementação.

Os conceitos gráficos foram utilizados no sistema, principalmente porque o software utilizado retém as informações das bases de dados e de conhecimento de uma forma gráfica, sendo o exemplo apresentado no capítulo 6. Estes gráficos contêm toda a estrutura do sistema de uma forma hierárquica que permite uma hereditariedade nas informações partindo do topo para o restante da estrutura.

Alexander (1986), citado por Watson (1989), ressalta que o domínio do conhecimento deve ser dividido entre conhecimento declarativo e procedural, dizendo respeito aos fatos e aos procedimentos para operá-los, respectivamente.

A fábrica é subdividida em 6 linhas de produção. Estas linhas

ocupam-se da fabricação de tipos diferentes de peças, a distribuição das peças é feita de acordo com a função na construção dos centros, e proporcionando um melhor aproveitamento do material empregado, tais como: tela de aço, areia, cimento, espaçadores de plástico, etc.

O sistema desenvolvido apresenta a mesma divisão das linhas de produção empregada na fábrica, porque mostra-se bastante eficiente e já é resultado de pesquisa anterior. A partir desta divisão tem-se o escopo inicial da arquitetura do sistema.

Cada linha de produção fabrica determinados tipos de peças, especificados nas telas de resultados para moldagem no Anexo A. Neste Anexo, nas telas de números 21, 27, 33, 39, 45 e 51, estão especificadas as peças fabricadas em cada linha de produção e que foram apresentadas em detalhes no capítulo 4.

5.3. Escolha do Software

Selecionar um sistema para programação de projetos consome muito tempo na escolha da arquitetura e contratação da administração. Embora existam várias origens diferentes de informações nos softwares de programação de projetos, eles não expõem a importância de características específicas para a prática da administração destes projetos (East, 1988).

Para maior segurança da qualidade do sistema produtivo, um alto nível de integração é necessário entre as capacidades das ferramentas empregadas e as funções básicas da produção, incluindo o planejamento dos processos e a programação da produção (Gray, Seidmann e Stecke, 1993).

Administrar estas ferramentas requer, segundo Gray et al (1993), as seguintes estratégias:

(1) Estratégia de planejamento para assegurar que as ferramentas apropriadas estejam disponíveis quando necessárias.

(2) Estratégia de programação da produção para permitir a disponibilidade das ferramentas e as eventuais mudanças no tempo.

(3) Estratégia de controle para permitir uma interferência no processo de produção quando existirem falhas.

As técnicas de Pesquisa Operacional baseadas em CPM (Critical Path Method) têm dado origem a sistemas especialistas para programação de vários tipos de projetos. Sendo assim, inicialmente foi feita uma revisão destas técnicas e, posteriormente, foi desenvolvido um sistema especialista para programar a produção de peças de catálogo de uma fábrica de peças pré-moldadas, para emprego na construção civil.

A revisão inicial serviu como base de partida para o desenvolvimento e, principalmente, para o entendimento do problema real que gerou a aplicação prática, se constituindo no domínio de conhecimento delimitado e estudado para a obtenção dos resultados apresentados no capítulo 6.

Existem duas formas de implantar o sistema especialista inicialmente proposto:

(1) utilizando um software comercial, ou seja, uma "shell", onde se constrói a base de conhecimento a partir de informações obtidas;

(2) através de uma linguagem de programação, desenvolve-se uma "shell", definindo a memória de trabalho, o motor de inferência e a base de conhecimento.

No início deste trabalho, as duas formas foram consideradas. No entanto, optou-se pela utilização de um software disponível no mercado porque estes, em muitos casos, já apresentam excelentes resultados na sua utilização prática. Assim, a utilização de uma "shell" comercial suprime deste trabalho a criação de uma outra.

O tratamento de incertezas, no caso da utilização de uma "shell", é feito utilizando recursos do próprio software, sendo este um dos fatores considerados na escolha da "shell", além da sua melhor adequação ao problema completo.

Neste caso, o tratamento de incertezas não foi considerado diretamente. Através do cálculo dos rendimentos tem-se um parâmetro que considera a situação real da prática na solução encontrada. Estes cálculos fazem parte dos procedimentos atualmente adotados pelos peritos na feitura dos planos de produção para peças de argamassa armada. Sendo assim, estes cálculos são aplicados na parte de funções do sistema especialista e não foi necessário utilizar uma "shell" que fornecesse a possibilidade de se aplicar tratamento de incertezas sobre as informações.

O fator de incertezas é importante no caso, não podendo ser abandonado, para contribuir na constituição mais próxima possível da situação real da indústria.

Por sua vez, enquanto, alguns sistemas especialistas utilizam linguagens próprias para inteligência artificial tais como LISP e PROLOG, muitos pesquisadores confiam nas ferramentas de sistemas especialistas comercialmente disponíveis, tais como as "shells" Leonardo e KAPPA.

Ortolano e Perman (1987) apresentam um trabalho no qual analisam três categorias de ferramentas: "shells", ambientes de programação e softwares com regras de indução. Concluem que as "shells" são freqüentemente de baixo preço e fáceis de usar. Mas os engenheiros do conhecimento estão geralmente impossibilitados de modificar a estrutura de controle da "shell". Acrescentam que na "shell" é freqüentemente ineficiente a representação do conhecimento. Segundo estes autores, o ambiente de programação remove estas restrições encontradas nas "shells".

Atualmente, já existem "shells" mais sofisticadas e com as

quais podem ser obtidos excelentes resultados. Nos últimos seis anos esta indústria cresceu rapidamente, adequando-se às necessidades do mercado e as "shells" hoje se constituem num excelente meio de obtenção de bons resultados para problemas de programação e planejamento de produção. Pesquisas mostram sucessos na utilização das "shells": Formoso (1991); Alexander (1990); e Universidade de Salford (1991).

Para este trabalho foram pesquisados ambientes de programação PROLOG e algumas "shells". Constatou-se exatamente o contrário do exposto por Ortolano e Perman (1987): o ambiente de programação mostrou-se ineficiente, a capacidade de memória exigida para executar um sistema especialista em Turbo PROLOG é muito grande e o processamento do sistema é muito lento.

O PROLOG trabalha com estrutura de dados e, existindo dois tipos de cláusulas, as regras e os fatos, a natureza do problema estudado influencia na forma destas estruturas de dados (Mukolera, 1990).

Chegou-se à conclusão de que o uso de uma "shell" seria mais eficiente depois de alguns testes e da construção de um protótipo de sistema em Turbo PROLOG, usando regras de produção, explorando-se as condições de recursividade oferecidas, tais como os encadeamentos para trás (Borland, 1988). Para tanto, utilizou-se o Tool Box PROLOG disponível e criou-se uma "shell" com recursos para leitura de regras, objetos e valores do sistema e permitindo consultas em vários níveis. O resultado é um sistema dispendioso que exige um hardware muito mais potente que os micro-computadores hoje disponíveis.

As "shells", por outro lado, quando submetidas a teste, executam sistemas com maior número de regras de produção e maior complexidade de encadeamento de modo muito mais rápido e ocupando menor capacidade de memória. Além de outras vantagens, tais como: economia de tempo no desenvolvimento do sistema, baixo preço e rapidez nas consultas ao sistema.

Se a "shell" escolhida para executar o trabalho for apropriada, não há necessidade do engenheiro do conhecimento mudar a sua estrutura de controle como afirmam Ortolano e Perman (1987). A escolha certa da "shell" deve ser feita através de pesquisa. Mas, na maioria dos casos se encontra uma "shell" acertadamente para resolver o problema que se tem em mãos. É claro que se o caso for contrário, o problema a ser resolvido muito complexo e sofisticado, não sendo encontrada uma "shell" adequada, o engenheiro do conhecimento deve recorrer a ambientes de programação tais como: LISP e PROLOG, etc., principalmente se ele tiver tempo disponível para finalizar o sistema e condições de softwares e hardwares poderosos.

O sistema foi desenvolvido por partes, sendo que cada uma executa o conjunto de procedimentos para a produção de cada peça de argamassa armada. Assim sendo, um protótipo de teste foi desenvolvido, incluindo inicialmente a programação da produção para o grupo de peças de uma única linha de produção, entre as seis existentes. Cupello e Mischelevich (1988) ressaltam a importância de construção de um protótipo de testes que deve conter as características do sistema final.

5.3.1. Comparação entre as Ferramentas Disponíveis

Os estudos nesta fase se concentram em quatro ferramentas importantes disponíveis para montar o sistema especialista. Foram analisados o ambiente de programação Turbo PROLOG, e três "shells": Exsys, Leonardo e KAPPA (sob Windows 3.1.).

A "shell" Exsys é de utilização bastante simples, sua representação do conhecimento é através de regras de produção e possui um meio para tratamento de incertezas (Base, 1983). É uma ferramenta que possibilita importantes aplicações, a exemplo do caso do sistema especialista de apoio à decisão, aplicado à avaliação de qualidade por atributos desenvolvido por Paladini (1992), onde os recursos da "shell" se adequaram perfeitamente ao problema, obtendo-se resultados exitosos.

A "shell" Leonardo apresenta uma forma bastante eficiente de lidar com incertezas, sendo considerada na escolha do software adequado para o sistema (Criative Logic, 1986). Também permitiu aplicações importantes e a sua representação de conhecimento é através de "frames" e regras.

As "shells" Exsys e Leonardo não permitem muitas das facilidades que são oferecidas pela "shell" KAPPA, no que diz respeito a programação orientada ao objeto. Neste sentido, o software KAPPA é mais completo.

Além disto, a "shell" KAPPA possui todos os recursos gráficos do ambiente Windows 3.1 (Craig et al, 1992).

O KAPPA é um software sofisticado e muito atual, porque em 1993 os aplicativos do Windows foram os mais utilizados, tornaram-se extremamente populares e criaram a possibilidade de serem operados pela maioria do pessoal das áreas de computação das empresas em todos os níveis, podendo ser para pequenas e até para grandes empresas.

A figura 5.1 é o resumo dos parâmetros usados para estabelecer a escolha da "shell" apropriada para o modelo, e deixa claro porque foi escolhida a "shell" KAPPA.

Critério Aplicado	Ambiente PROLOG	"shell" Exsys	"shell" Leonardo	"shell" KAPPA
Linguagens Procedurais Suportáveis	Rotinas Externas: C, Pascal, etc	Rotinas Externas: Pascal, etc	Rotinas Externas: C, Fortran, etc	Rotinas Externas: C, Util. Windows
Flexibilidade do Mecanismo de Inferência	Bom	Restrito	Bom	Muito Bom
Programação Orientada ao Objeto	Programação Possível	Restrito	Parte Integrante	Parte Integrante
Mecanismos p/ Manipulação de Incertezas	Condições p/ Criar os Fatores	Fatores de Incerteza Definidos	Fatores de Incerteza Definidos	Condições p/ Criar os Fatores
Velocidade de Execução	Fraco	Muito Bom	Bom	Bom
Hardware	PC Padrão	PC Padrão	PC Padrão	PC Padrão
Qualidade do Ambiente p/ Desenvolver	Complexo	Muito Bom	Bom	Muito Bom

Figura 5.1 - Critérios de Comparação Entre os Softwares Pesquisados

5.3.2. Característica e Forma de Trabalho da "Shell" escolhida

Um sistema com base de conhecimento contém representações da estrutura e dos processos do domínio. No KAPPA, a estrutura e os processos do domínio são representados pela criação de objetos que correspondem a coisas ou conceitos num domínio. Os processos no domínio são representados em três diferentes maneiras: métodos, funções e regras, descritos brevemente abaixo:

(1) Métodos: Forma de representar processos em KAPPA, consiste em acrescentar objetos de tal maneira que eles representem o comportamento das coisas que a eles correspondem. O procedimento de "slots" é especificado pela criação de métodos. Os métodos são escritos em KAL, linguagem de programação KAPPA, e especificam como um objeto pode proceder. Esta técnica de armazenar o comportamento de objetos como sendo um de seus atributos é parte de uma técnica de programação chamada programação orientada ao objeto.

(2) Funções: Forma de representar processos em KAPPA. A biblioteca do KAPPA fornece 240 funções, que permitem manipular a base de conhecimento, podendo ser construídas funções específicas pelo usuário.

(3) Regras: Forma de representar processos em KAPPA. As regras são usadas para representar os passos de um processo. Uma regra especifica as condições sob as quais uma ação particular ou inferência pode ocorrer. As regras podem especificar interações complexas entre os componentes de um sistema.

No KAPPA, a programação orientada ao objeto e o raciocínio baseado em regras são integrados.

O KAPPA permite a utilização de linguagem tanto numérica como simbólica, o que proporciona vantagens neste caso estudado, pois na programação da produção de peças de argamassa armada exige-se procedimentos numéricos, além dos simbólicos. É que os conhecimentos dos peritos abrangem cálculos em conjunto com outros conhecimentos práticos para executar a programação diária através do estabelecimento de prioridades das peças de argamassa armada nas linhas de produção. Estes conhecimentos foram anexados ao sistema desenvolvido nesta pesquisa.

5.4. Arquitetura do Sistema de Programação da Produção

Um sistema especialista para planejamento de produção industrial pode ser representado como o esquema que está

reproduzido na figura 5.2 (Ready, Simmonds e Tauton, 1990). Esta figura é bastante elucidativa, pois mostra que o engenheiro do conhecimento inicialmente monta o modelo de produção que deve entrar em operação e emitir os planos, que serão executados no chão de fábrica (produção) e produzirão saídas, ou seja, no caso, as peças feitas no processo. O usuário do sistema tem condições de interferir no processo através das ordens que servem de entrada, tanto para o modelo, como para a programação. As ordens interagem com as regras, sendo um elo entre os especialistas de produção, o engenheiro do conhecimento e o usuário final. A partir desta tríade, o conhecimento dos especialistas passa a interferir no chão de fábrica, usando como veículo, no caso, as ordens.

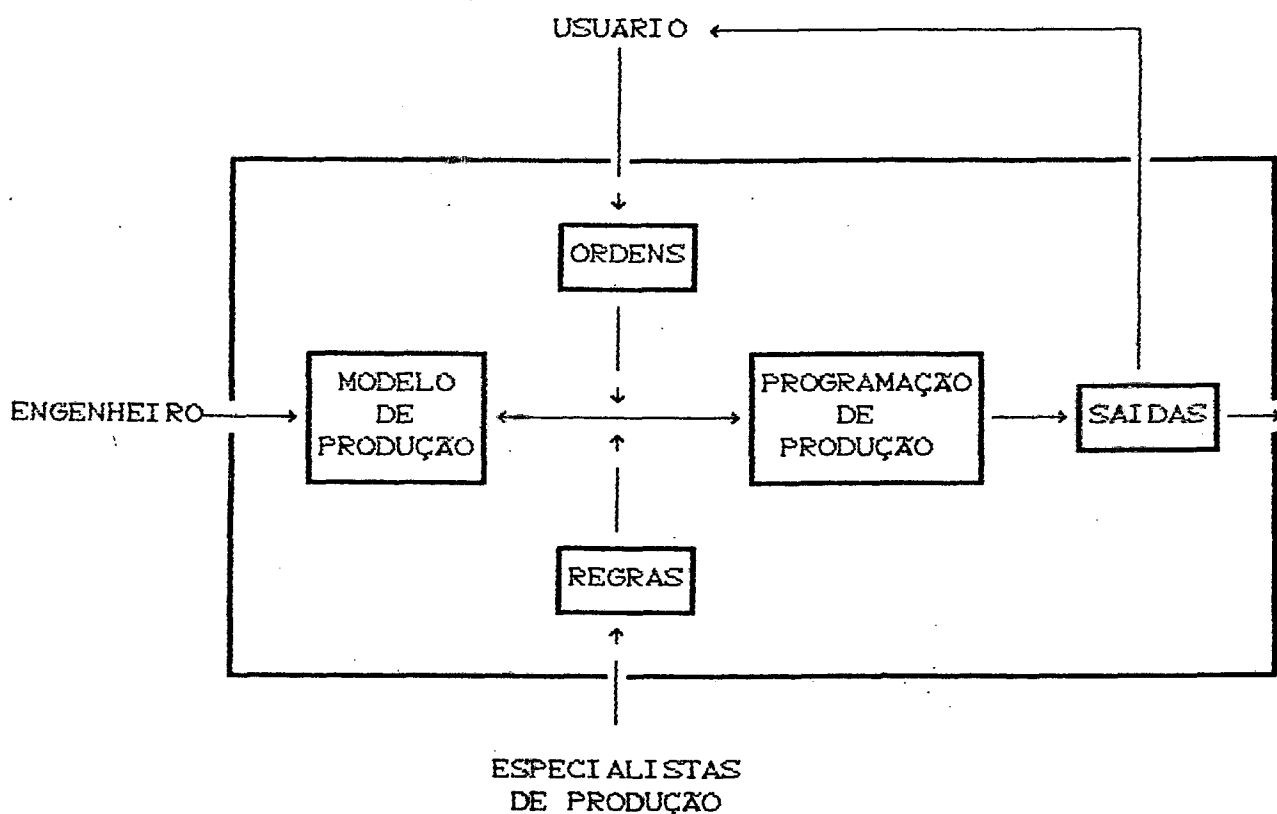


Figura 5.2 - Arquitetura de um Sistema para Programação da Produção (Ready et al, 1990).

5.5. Desenvolvimento do Modelo

O modelo teve seu desenvolvimento efetivado, considerando a escolha do software e do hardware e da metodologia que permitiu a aquisição e a elicitaco do conhecimento. Estes foram os pontos fundamentais do modelo que permitiram a construo do sistema.

5.5.1. Aquisio do Conhecimento

Com anos de experincia num domnio do problema, os peritos entendem em detalhes as interaoes e os componentes envolvidos. A idia da engenharia do conhecimento , de certa forma, poder capturar esta experincia num sistema de computador. Este processo  chamado de aquisio do conhecimento.

A aproximao baseada em regras para a aquisio do conhecimento focaliza uma tarefa particular, e tenta clarear as regras a partir do perito que conecta as descrioes dos problemas com as soluoes.

A aproximao baseada no modelo para a aquisio do conhecimento e o desenvolvimento do problema focaliza-se num domnio. A primeira tarefa  para identificar os componentes estruturais e funcionais do domnio. Estes componentes so representados no KAPPA, usando: objetos, funoes, regras, e mtodos. Uma forma de criar a representao  iniciar com a descrio dos vrios aspectos do domnio.

A aquisio do conhecimento, segundo Breuker e Wielinga (1989),  definida como a obteno e anlise dos dados, sendo uma tarefa bastante complexa, exigindo a aplicao de uma metodologia.

O processo de aquisio do conhecimento envolve, tanto a elicitaco de conhecimento, obtida diretamente com o especialista, como a anlise dos dados da programaco, elaborada para as diversas etapas do processo de manufatura (Breuker e Wielinga, 1989).

O conhecimento obtido, através das técnicas de elicitação no processo de aquisição, foi trabalhado com a finalidade de transferi-lo para a base de conhecimento. Na etapa inicial, todo o material sobre o conhecimento foi reunido e houve a aplicação de uma série de formalismos, tais como: tabelas, lista de estágios a serem percorridos, diagramas de precedência (a exemplo das redes PERT/CPM) e o esboço das redes de inferência através de grupos de regras. Desta forma, foi possível realizar uma análise do conhecimento obtido e estabelecer os critérios para a implementação da base de conhecimento.

Durante este processo ficou claro que os peritos não costumam fazer os planos tão detalhados quanto o exigido para uma boa produtividade do processo. Os planos são feitos com base nos relatórios diários expedidos pelo computador, nos quais consta uma visão global do processo já realizado, enumerando as peças produzidas no período. Não existe um plano expedido por computador para a produção futura: esta decisão de quanto produzir é feita manualmente para cada dia. É estabelecido o critério de que o tipo de peça, que está mais atrasada para cumprir a entrega de determinado número de centros educacionais, deve ser feita com a maior prioridade e em maior número com os recursos disponíveis.

Mody (1989) desenvolve modelos que se baseiam principalmente em aprender através dos resultados obtidos no chão de fábrica com um processo de criação de conhecimento, proporcionando recursos de engenharia com os custos mais baixos e a produção mais rápida. A sua importância neste contexto se dá pelo fato de que os modelos exemplificam como é feita a transferência de conhecimento entre engenheiros e trabalhadores da produção, que se constitui hoje num fator significativo para o sucesso das empresas japonesas (Pascale e Athos, 1981).

A aquisição do conhecimento no controle de processo foi pesquisada por Moray, Lootsteen e Pajak (1986), utilizando simulações no computador para controlar temperaturas, níveis e taxas de fluxos em quatro tanques com válvulas imersas e submersas e um aquecedor. Os operadores tiveram seus movimentos analisados e

o resultado é um sistema especialista baseado no comportamento dos operadores durante o processo. Experiência semelhante foi realizada por Mann e Hammer (1986). Em ambos os casos obteve-se uma metodologia para melhorar o treinamento e o desempenho do indivíduo no controle de processos através de análise e simulação.

Mitchell e Miller (1986) pesquisaram o uso de modelos de controle discreto para representar as atividades cognitivas e a tomada de decisões dos indivíduos. A maior contribuição é o acompanhamento das metas a fim de ordená-las para construir o sistema de suporte para operadores, tendo uma representação detalhada das metas, das funções e dos procedimentos. O modelo desenvolvido por Mitchell e Miller (1986) é dinâmico, modificando as informações para os operadores conforme a necessidade do estado corrente do sistema, permitindo assim muita flexibilidade.

A aquisição do conhecimento é um fator muito importante na elaboração deste trabalho. É necessário enfatizar que qualquer sistema especialista tem uma forma específica para concretizá-la, porque o domínio de cada problema sempre vai trazer uma situação nova. A literatura é muito importante também neste caso, pois a experiência adquirida nos diversos outros trabalhos cria sistematicas de como fazer uma aquisição de conhecimento. Mas, de fato, cada sistema é único quanto à forma de adquirir o conhecimento, o que torna importante e singular cada sistema especialista quanto à aquisição do conhecimento.

O sistema especialista aqui desenvolvido também trouxe a sua contribuição à metodologia da aquisição do conhecimento. A fórmula encontrada para obter os conhecimentos, necessários para a construção do sistema, inclui alguns procedimentos normalmente utilizados, como também outros inéditos neste ramo de atividades. Neste sentido, foram realizadas muitas entrevistas com os especialistas que forneceram o conhecimento modelado para a criação da base de conhecimento do sistema.

O método de aquisição de conhecimento incluiu a análise das atividades através de várias fitas de vídeo, documentando todo o

processo produtivo de uma fábrica. A partir deste recurso inicial, bem como da realização de uma extensa pesquisa bibliográfica sobre a produção das peças de argamassa armada em escala industrial, formou-se o esquema inicial de conhecimento, posteriormente enriquecido através de entrevistas com diversos técnicos envolvidos no processo produtivo. Desta forma, vários especialistas foram ouvidos, e os seus relatos documentados. Estas informações foram complementadas com o exame de relatórios diários de controle das peças produzidas.

Os planos de programação da produção já utilizados pelas fábricas de peças de argamassa armada foram submetidos a uma análise detalhada e serviram de subsídio para complementar as informações relatadas pelos especialistas. Estes planos são elaborados por sistemas numéricos convencionais de computação.

A aquisição do conhecimento dos especialistas na produção de componentes de argamassa armada foi complementada também a partir de protocolos verbais previamente elaborados e embasados nos dados anteriormente coletados. A representação do conhecimento e detalhes sobre o desenvolvimento do sistema especialista para solucionar o problema em questão são tratados no capítulo 6, onde estão apresentados mais detalhes sobre a descrição da aplicação e sobre a representação do conhecimento da "shell" KAPPA.

Os objetos são blocos de construção básicos da base de conhecimento KAPPA. Eles são os meios para representação de entidades no KAPPA, tanto itens tangíveis como conceitos abstratos. Os objetos podem ser relativos reciprocamente para poder capturar as relações entre as coisas ou conceitos que eles representam.

O universo pode ser visto como uma coleção de objetos que têm certas características, partes, habilidades, e/ou relações entre si. Cada objeto representa um "objeto", que é importante em seu domínio. Este objeto pode ser algo físico, por exemplo, uma peça. Ele pode ser um grupo ou classe, tais como: Forro Beiral, Forro Típico, etc. Ele pode também ser um conceito, tal como: falha de

um equipamento, uma atividade, etc.

Instância é um objeto mais específico, ele é um evento ou item particular. Para moldar um objeto, tal que ele represente todas as propriedades importantes do objeto real, dá-se a ele um número de "slots". Cada "slot" descreve uma característica do objeto. Para especificar a característica, designa-se um valor para o "slot". Por exemplo, código de uma peça, etc.

Instâncias representam membros individuais de classes. Os objetos podem ter seus próprios "slots", herdá-los dos antecessores, compartilhá-los e comunicar-se com outros objetos usando métodos.

5.5.2. Técnicas de Elicitação

As técnicas de elicitação do conhecimento foram utilizadas da seguinte forma:

(1) revisão nas técnicas disponíveis para elicitação do conhecimento dos peritos;

(2) aplicação em conjunto de algumas destas técnicas à medida que foram requisitadas durante o desenvolvimento do sistema.

A elicitação do conhecimento é necessária para aproximar o raciocínio do perito e a máquina de inferência do sistema. Este trabalho consome um tempo considerável do desenvolvimento e é um dos pontos mais difíceis na construção da base de conhecimento.

Existem muitos obstáculos, neste processo de elicitação, tais como:

(1) é difícil despertar o interesse de um especialista em um determinado domínio de conhecimento para fornecer informações para a construção do sistema, que deverá de certa forma competir com o próprio especialista dentro da empresa;

(2) existe a dificuldade do perito em expressar verbalmente seus conhecimentos a fim de serem transferidos para uma base de conhecimento e muitas vezes o perito não se dá conta da importância de expor determinado detalhe relevante ao processo, mas que para ele está implícito na sua tarefa mais comum;

(3) existe o problema gerado pela dificuldade do engenheiro do conhecimento em compreender este domínio pesquisado, de tal forma a extrair do perito exatamente os pontos relevantes e que tornem possível transferir a responsabilidade de um perito para um sistema.

A aquisição do conhecimento é feita através de várias técnicas usadas a fim de obter a elicitação do conhecimento daquele domínio. Estas técnicas estão apresentadas na literatura e algumas, descritas abaixo, foram utilizadas nesta pesquisa, durante a confecção do protótipo e do próprio sistema de trabalho:

(1) estudos através da observação: são técnicas que não interferem no trabalho do especialista. Foram utilizadas nesta pesquisa através da observação detalhada, principalmente de várias fitas de vídeo que mostram atividades, cuja programação da produção o sistema deve executar, e da observação "in loco" das atividades. Este tipo de elicitação serve para aclarar idéias pré-concebidas, sendo útil para achar o verdadeiro papel do perito e também para absorver contribuições do usuário;

(2) classificação conceitual: é uma técnica que se constitui em obter um conjunto significativo de conceitos que torne bem definido o domínio. Os conceitos são documentados e os peritos são argüidos sobre este material, tornando possível estabelecer uma estrutura global do domínio de conhecimento e organizar as informações de forma hierárquica, quanto a sua importância;

(3) entrevistas: é a técnica mais usada no caso. Acarreta algum problema, porque ocupa muito o tempo dos peritos, embora seja muito eficiente. Esta técnica foi bastante utilizada nesta

pesquisa, tanto na fase de protótipo, quanto na fase de sistema de trabalho, tornando mais claro o ambiente do domínio, e a sua estrutura pôde ser entendida pelo engenheiro do conhecimento de forma mais global. É a maneira mais simples de se entender a base da estrutura;

(4) protocolos verbais: nesta técnica, o perito deve dar o seu comentário verbal sobre o que pensa a respeito da solução de um determinado problema. Neste caso, pode ser sanado o problema das entrevistas, no qual o perito pode omitir detalhes importantes para o sistema e que o próprio perito não valoriza e não verbaliza numa entrevista;

(5) decomposição do problema: neste caso o domínio do problema é fracionado em grupos menores com seus próprios objetivos que, uma vez atingidos, resolvem o problema completo. Esta técnica foi utilizada nesta pesquisa, quando o problema foi parcelado em linhas de produção e foi resolvido no protótipo para apenas uma linha e para cada etapa do processo produtivo, que seviram como metas a serem atingidas dentro de um conjunto, que forma o processo completo de produção.

5.5.3. O Desenvolvimento do Protótipo

As facilidades de representação natural do KAPPA e sua ferramenta de interação sofisticada tornam possível criar uma aplicação num protótipo muito rapidamente. Este processo, denominado protótipo rápido, fornece uma avaliação "a priori" da qualidade da solução.

Após a avaliação do problema básico através do protótipo rápido, o modelo completo foi elaborado e estendido. Este processo de elaboração foi simplificado pela estrutura do objeto, que as facilidades do KAPPA oferecem.

Os processos de produção da fábrica, que forneceu as informações para a base de conhecimento, são divididos em seis

linhas de produção. Neste caso, o protótipo de teste contém uma base de conhecimento capaz de fornecer os planos para uma linha de produção.

O protótipo é composto de três módulos com abrangência de consulta bem menor que os quatro módulos que compõem o sistema completo.

Todas as informações que fazem parte da base de conhecimento do protótipo de teste foram incorporadas à base do sistema completo, também chamado de sistema de trabalho.

O fato de ser desenvolvido inicialmente este sistema que fornece uma programação limitada, apenas para a linha de produção número 1, propiciou oportunidade para refinar o modelo numa base de conhecimento menor, sendo o número de funções e regras bem menor, fator que permitiu fazer as correções na base mais rapidamente e impediu que os problemas iniciais se expandissem para uma fase onde o sistema contivesse muitas informações, tornando o trabalho de depuração mais complexo.

Os planos obtidos com o protótipo foram comparados aos resultados da produção da fábrica, através de relatórios obtidos num determinado período para aquela linha de produção utilizada no teste. O resultado inicial do protótipo mostrou que o sistema era capaz de produzir planos que consideravam as restrições reais e otimizavam o uso dos recursos e também reduzia o período de tempo para a produção do mesmo número de peças, podendo ser considerado muito bom para o caso estudado, além de promover uma alocação de recursos equilibrada.

O protótipo de teste mostrou-se, neste caso, eficiente no sentido de sistematizar os procedimentos empregados pelos técnicos, que não estavam documentados ou modelados numa base de conhecimento, podendo ser acessados pelos técnicos para auxiliá-los na tomada de decisões.

Outro fator importante de se sistematizar, manter e

atualizar os conhecimentos numa base está no fato de que os técnicos que produzem estes planos podem ser substituídos, sendo muito dispendioso o treinamento de um substituto, sem a devida documentação dos procedimentos utilizados na prática, porque estes procedimentos são intrínsecos ao conhecimento próprio, ao treinamento e à experiência do profissional.

5.6. Especificações do Sistema

5.6.1. Informações de Entrada e de Saída do Sistema

A base de conhecimento foi alimentada com 260 "slots", formando os "frames" dos objetos. Os valores destes "slots" são as entradas do sistema. Estes valores representam todas as variáveis do sistema, como tipo de procedimentos, recursos, etc. Alguns exemplos de telas de entradas do sistema estão apresentados no Anexo A.

Os valores dos "slots" são lidos através de telas pré-definidas do KAPPA e de telas criadas para leitura dos dados do usuário. Sendo que aquelas informações lidas diretamente nas telas do KAPPA não deverão ser mudadas pelo usuário, seus valores são mudados pelas funções e regras construídas no sistema. O capítulo 8 apresenta exemplos de telas pré-definidas de entradas de dados da "shell" KAPPA.

A figura 5.3 mostra o esquema de interação entre o sistema desenvolvido e os seus usuários, que podem ser os próprios especialistas, técnicos em treinamento ou pessoal responsável pela tomada de decisão a nível tático.

As funções do sistema organizam os arquivos e criam as estruturas, contendo os valores dos atributos, que formam os "frames" dos objetos. Onde cada peça a ser produzida e as atividades para a sua produção estão representadas como objetos, gravados e mantidos numa base do próprio sistema, sendo esta orientada ao objeto.

A interação com o usuário é, principalmente, através de telas, ou seja, "sessions". Algumas destas telas apresentam informações armazenadas em listas pelo próprio sistema, tais como: tabelas e gráficos com os planos de produção.

As limitações de recursos podem sempre ser informadas ao sistema através destas telas pelos usuários. No caso das metas, é diferente a sua informação ao sistema, elas fazem parte da própria cadeia de inferência aplicada às regras. Ou seja, um conjunto de regras é executado, tendo como objetivo atingir determinada meta.

O quadro de Execução de Planos, que aparece no esquema, representa o nível mais importante do processo. Através dele é calculado todo o plano de programação, respeitando as metas, previamente informadas, e os limites de recursos informados pelo usuário. Calcula, ainda, o rendimento da produção efetiva e as diferenças entre o programado e o obtido.

A base de conhecimento engloba as regras e seus heurísticos. Os "frames" inerentes a cada objeto englobam os seus atributos e valores. O Gerador de Relatórios acionado pelo usuário dá início à execução do sistema, desencadeando as outras etapas que resultam na Programação da Produção fornecida ao usuário.

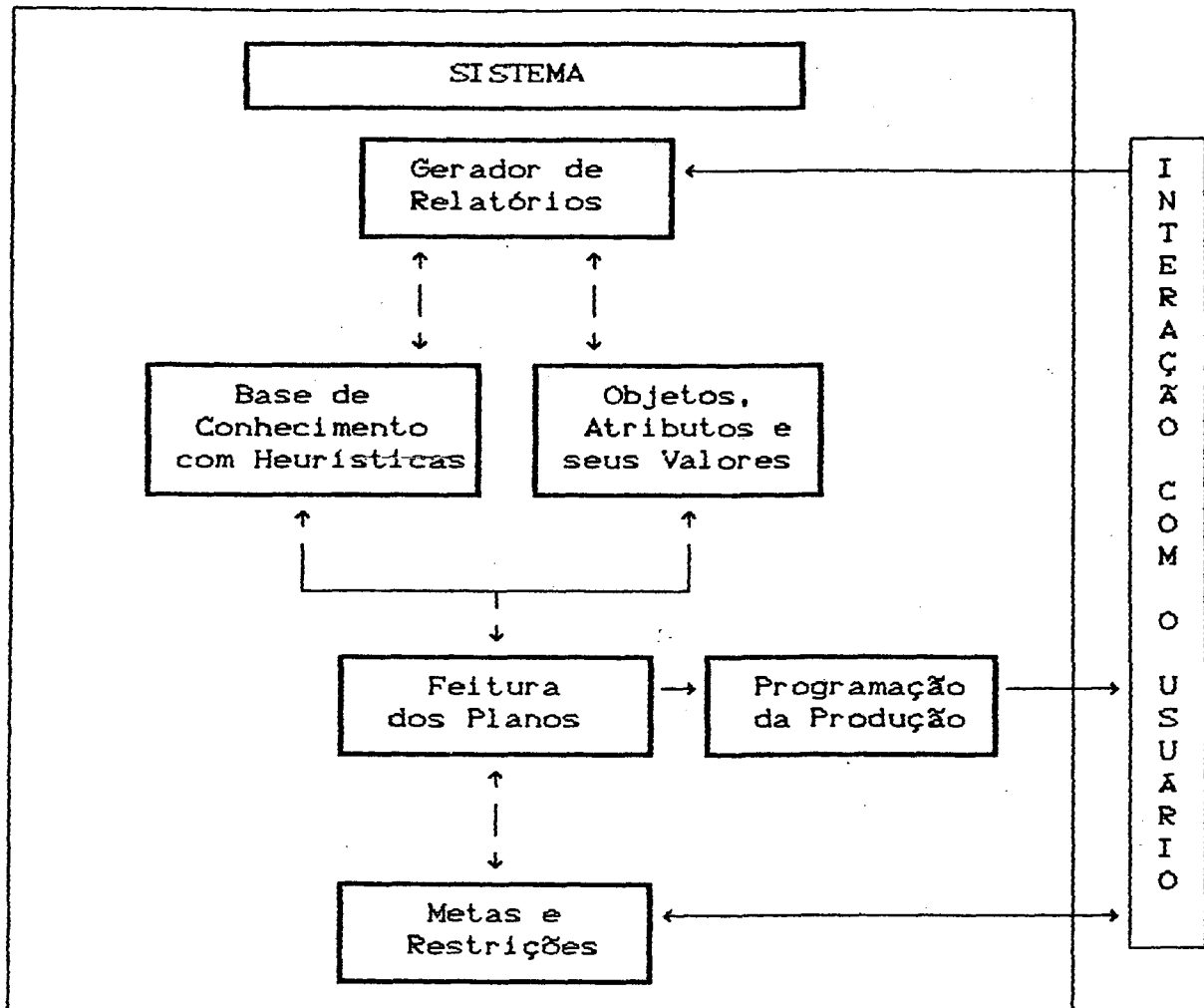


Figura 5.3 - Informações de Entrada e de Saída do Sistema

5.6.2. A Utilização do Conhecimento

A base conceitual, ou seja, os conceitos que dão suporte ao sistema estão descritos no capítulo 4, onde se encontram os detalhes dos procedimentos da produção dos componentes pré-moldados de argamassa armada.

De acordo com os procedimentos descritos, obtém-se a base conceitual do sistema. Ou seja, a programação das diversas fases da produção se dá embasada em vários fatores, tais como; tipo de

peça, aspectos construtivos, equipamentos empregados na fabricação e transportes da peça, número de peças necessárias ao projeto, etc.

Um número recente de artigos de pesquisa focaliza raciocínios de sistema especialista ou processos de inferências para a solução de problemas de programação matemática. Contudo, às vezes os fatos disponíveis são insuficientes para se chegar a uma conclusão usando as regras num sistema especialista. Em tais casos, as técnicas de inferências prévias falham na busca das conclusões (Ragsdale, 1993).

Nesta pesquisa, parte do raciocínio exigiu um tratamento matemático utilizando funções e não regras, fato este perfeitamente suportado pela ferramenta computacional utilizada, que permite, simultaneamente, tratamento numérico e simbólico aos processos de inferência encontrados.

Pratsini, Camm e Raturi (1993) ressaltam o quanto é importante investigar como o aprendizado, ou a inferência através da modelagem do conhecimento, afeta a programação na busca da solução ótima.

5.7. Considerações Finais

Os procedimentos, adotados nos estágios especificados neste capítulo, formam a estrutura do sistema estabelecida para o modelo.

Destas etapas, a mais complexa foi a parte de elicitação do conhecimento por intermédio de entrevistas. Este problema foi sanado com a ajuda das outras técnicas de elicitação, acima detalhadas.

CAPITULO 6. DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO

6.1. Introdução

Neste capítulo são apresentados a descrição da aplicação do sistema, os resultados obtidos na implementação e detalhes do desenvolvimento da parte computacional no que diz respeito à aplicação.

6.2. Visão Global do Sistema

O resultado do trabalho é um sistema grande, que deve satisfazer as necessidades do usuário no que se refere à programação da produção na fabricação das peças pré-moldadas de argamassa armada.

Na pesquisa foram consideradas as fases críticas da fabricação, no sentido de tornar mais produtivas estas etapas e eliminar eventuais perdas de tempo que resultariam, no caso, em aumento de custos.

O sistema desenvolvido considera como variável importante a duração do processo para a fabricação de determinado número de peças e o período necessário para finalizar esta tarefa. O custo foi considerado indiretamente, utilizando-se índices de rendimento e procedimentos que determinam uma programação da produção com maior produtividade dentro de um período de tempo mais curto.

Dois tipos de programação podem ser obtidos. Primeiro, o sistema tem condições de fornecer planos diários, mais próximos da realidade para a produção, considerando as peças já produzidas diariamente para um número determinado de construções, que devem ser executadas, para um tempo definido e com os limites de recursos diários conhecidos.

Em segundo lugar, o sistema tem condições de fornecer uma

previsão de planos para um período de tempo maior e previamente determinado, embasado em parâmetros estabelecidos.

Existem, neste caso, duas formas principais de utilizar a ferramenta.

O primeiro caso pode ser considerado como sendo uma ordem emitida pelo sistema, que tem maior flexibilidade, pois o usuário intervém no sistema, sendo que este deve ler a informação com as programações já cumpridas pelo chão de fábrica.

O segundo caso dá ao usuário um planejamento com uma lista de peças a serem produzidas, para cada linha de produção, num determinado horizonte de tempo, que conduz a uma seleção da melhor seqüência e a respectiva programação da produção. Este processo de trabalho é uma forma de produção mais próxima da automação, uma vez que não há interferências do usuário na programação, ela é feita através de informações iniciais fornecidas ao sistema e que não são modificadas externamente para todo o período programado, que neste caso é de 28 dias.

Este período de programação para quatro semanas foi escolhido, considerando que o usuário deverá necessariamente interferir no processo a partir deste tempo. É que, passados 28 dias de produção, alguns ajustes deverão surgir, obrigando a alguma mudança. No caso de haver diferenças entre o programado e o obtido em 28 dias, o sistema lê a programação efetiva e tem condições de efetuar novos planos já incorporando as diferenças encontradas, sem prejuízos para os processos.

No caso em que as correções são feitas após quatro semanas de programação, pode haver diferenças muito grandes entre plano e execução por causa de fatores externos que não estão previstos no sistema, o que acarreta uma difícil tarefa de correção. Uma vez que o horizonte de tempo do planejamento tem que considerar o número total de peças a ser feito para cada construção completa de um centro educacional. Porque o horizonte de planejamento mínimo corresponde sempre à execução de um único centro, no caso

estudado.

6.2.1. Tipos de Operação do Sistema

O sistema é composto de quatro fases principais de operação:

(1) configuração - é a fase de construção do modelo de produção, onde são montados os objetos, os "frames", as funções, os métodos e são desenvolvidas as regras de produção;

(2) inicialização - nesta fase os atributos dos objetos e das listas, que armazenam as programações por período, recebem seus valores iniciais, preparando-os para a formação dos planos do sistema;

(3) programação da produção - onde o plano de produção é feito para período de tempo determinado, neste caso até 28 dias; e

(4) manutenção da produção - nesta fase se dá o reconhecimento da produção real e a sua comparação com a programação obtida pelo sistema, sendo apresentado através de um gráfico comparativo para cada peça produzida.

As quatro fases da operação estão apresentadas na figura 6.1.

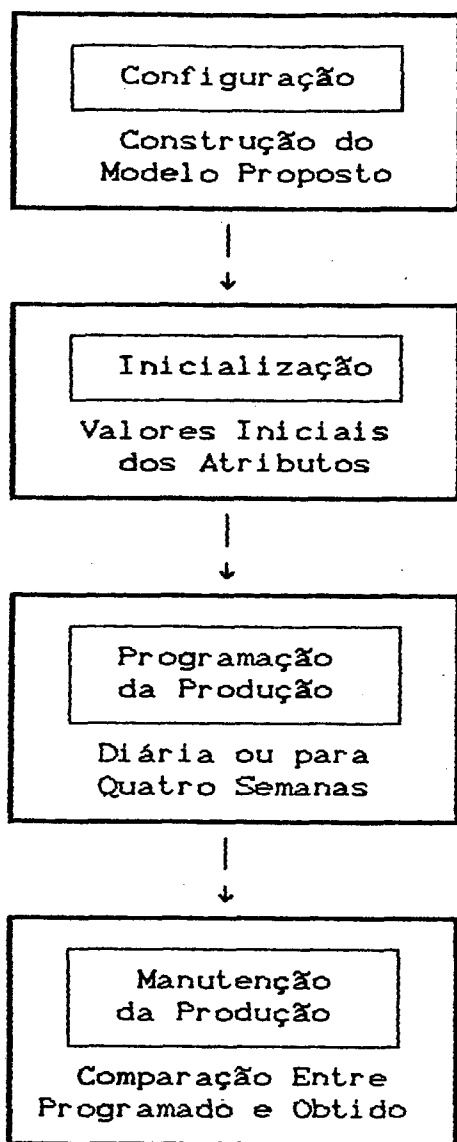


Figura 6.1 - Fases de Operação do Sistema

6.2.2. Divisão em Módulos

Todas as atividades, necessárias à fabricação das peças pré-moldadas de argamassa armada, são designadas como objetos do sistema e cada qual contém seu conjunto de "slots", que apresentam valores definidos. Cada um destes valores é determinado numa fase ou módulo, o que pode ocorrer na etapa de leitura dos dados ou no processamento do sistema. Estes "frames" também são construídos para cada peça pré-moldada de argamassa armada, e estas também se

constituem em objetos do sistema. Os recursos para a execução dos processos são designados como "slots" das atividades e das peças, respectivamente. Os objetos representando atividades e peças têm os valores de seus "frames" dinamicamente modificados durante as fases de execução do sistema. Estas fases se constituem em módulos, para maior clareza na apresentação dos resultados e maior facilidade na interação com o usuário, através das telas do sistema.

O sistema é constituído de quatro módulos, que são os seguintes:

(1) Módulo de Inicialização - Onde se dá a execução dos procedimentos que inicializam as informações contidas no sistema, podendo ser considerada a sua atualização. Neste ponto é informado o número de peças a fabricar dentro do rendimento ideal para este processo. Este módulo recebe informações que permitem ao sistema calcular o rendimento para os demais módulos. Aqui são inicializadas as listas utilizadas para armazenar as informações necessárias para programação da produção num determinado período pré-estabelecido, conforme as necessidades da produção.

(2) Módulo de Armadura - Abrange toda a programação da produção das armaduras, cujo início se dá com a atividade de corte das telas. Neste módulo, a partir dos procedimentos tomados pelos técnicos nas fábricas de peças de argamassa armada e modelados para o sistema, é possível obter-se a programação da produção diária, a programação para o período de 28 dias e, finalmente, vários gráficos onde aparecem o controle comparativo entre o programado e o obtido para as armaduras das peças.

(3) Módulo de Moldagem - Após a programação da atividade de corte, são considerados todos os procedimentos que permitem a produção da argamassa, que deverá ser unida à armadura, para a obtenção de cada peça pré-moldada. Este módulo considera todos os procedimentos intermediários até a obtenção das peças que devem estar prontas para serem transportadas para o tanque de 1ª cura. Neste módulo também são considerados todos os procedimentos que

abrangem processos de 1ª. cura e de 2ª. cura, a consideração dos tempos de duração destas atividades, os transportes das peças até passarem pelo tanque de 2ª. cura e seguirem para o controle de qualidade. Neste caso, é possível obter-se também a programação diária para peças de argamassa, a programação destas peças para um período de 28 dias e vários gráficos apresentando o controle comparativo entre o programado e o obtido para peças pré-moldadas.

(4) Módulo de Controle de Qualidade - Neste último módulo são reunidos os procedimentos tomados desde a fase de cura, abrangendo todas as atividades até chegar ao controle de qualidade, e a posterior liberação das peças para estoque e para a expedição. Engloba os procedimentos finais e também apresenta a programação diária das peças que devem chegar ao setor de controle de qualidade. Apresenta uma programação para um período de 28 dias, considerando a produção de armadura e argamassa dos dois módulos descritos anteriormente e recebe ainda a informação das peças liberadas pelo controle de qualidade, fornecendo vários gráficos comparativos entre as peças que chegam ao controle de qualidade e a sua posterior liberação.

Estes quatro módulos reúnem os objetos, funções, regras e metas, que permitem uma programação diária e por período de 28 dias para cada uma das principais etapas da produção. As regras e as funções tornam possível englobar os procedimentos e determinar uma programação da produção dentro do nível de produtividade tido pelo fabricante, como sua meta a atingir, considerando o peso da matéria prima por horas/homem de trabalho, dentro de valores de rendimento ideais para o processo de produção. A figura 6.2 apresenta um resumo dos procedimentos gerais do sistema.

O sistema completo pode ser considerado grande pelos critérios apresentado por Harmon e King (1985), ocupando aproximadamente 1.5 Megabytes de memória.

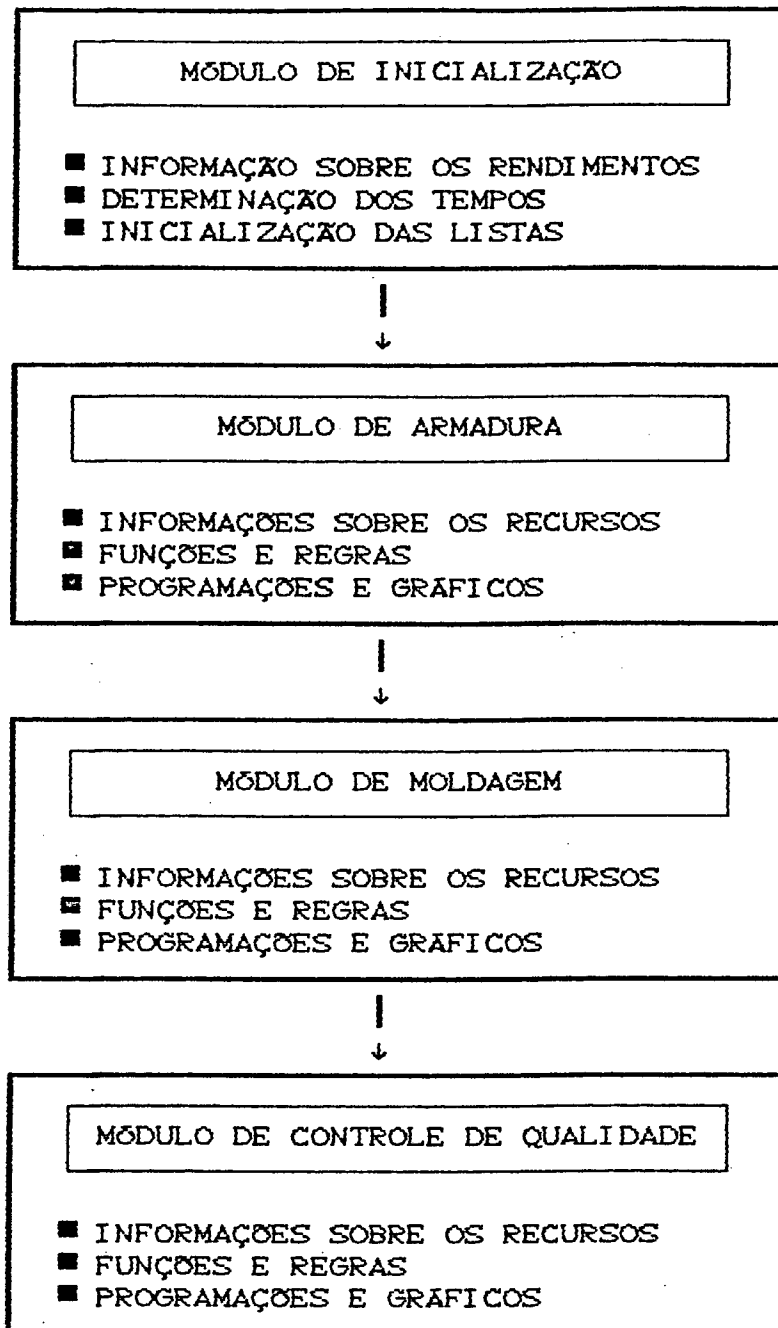


Figura 6.2 - Resumo dos Procedimentos Gerais do Sistema

6.3. O Ambiente Windows

O Microsoft Windows 3.1 é um sistema que funciona juntamente com o MS-DOS para criar um ambiente operacional gráfico.

Os programas aplicativos em Windows são exibidos dentro de quadros ou janelas ("windows"). Os programas disponíveis neste ambiente são minimizados, ou seja, apresentam-se em forma de ícones. Com o auxílio de um "mouse", os ícones podem ser maximizados, ou pode-se executar um programa ou um sistema representado pelo ícone, pressionando o botão do "mouse" direcionado para este ícone. Informações detalhadas sobre o funcionamento do Windows 3.1 podem ser encontradas em Craig e Andrews (1992).

O Microsoft Windows 3.1 foi utilizado neste trabalho para viabilizar o sistema desenvolvido na "shell" KAPPA. Todos os recursos, tanto do Windows, como os do aplicativo, mostraram-se úteis neste caso, porque estas ferramentas são adequadas ao problema estudado, que exige tratamento simbólico, numérico e gráfico.

As telas de desenvolvimento do sistema para programação de produção se tornam mais simples de montar dentro do ambiente Windows, pela agilidade que os recursos proporcionam no desenvolvimento do sistema. Estas facilidades se fazem presentes pelo perfeito entrosamento dos dados fornecidos pelo problema estudado e as características da "shell" KAPPA, permitidos em virtude da abrangência do campo de trabalho desta última.

A figura 6.3 mostra uma tela contendo o ambiente Windows 3.1, onde pode ser vista uma janela de desenvolvimento da "shell" KAPPA. Esta figura é um exemplo representativo do ambiente Windows 3.1. Aparecem quatro janelas, sendo que a janela de editor de "slots" está ativa, ou seja, pode receber modificações, e as demais podem se tornar ativas pressionando-se o "mouse" sobre qualquer uma delas. Somente uma janela fica ativa de cada vez. Na figura aparecem a janela principal do KAPPA e a janela de edição da instância Global. Todas as janelas apresentam menu de opções. A apresentação desta figura tem como único objetivo exemplificar como funciona o ambiente de trabalho Windows.

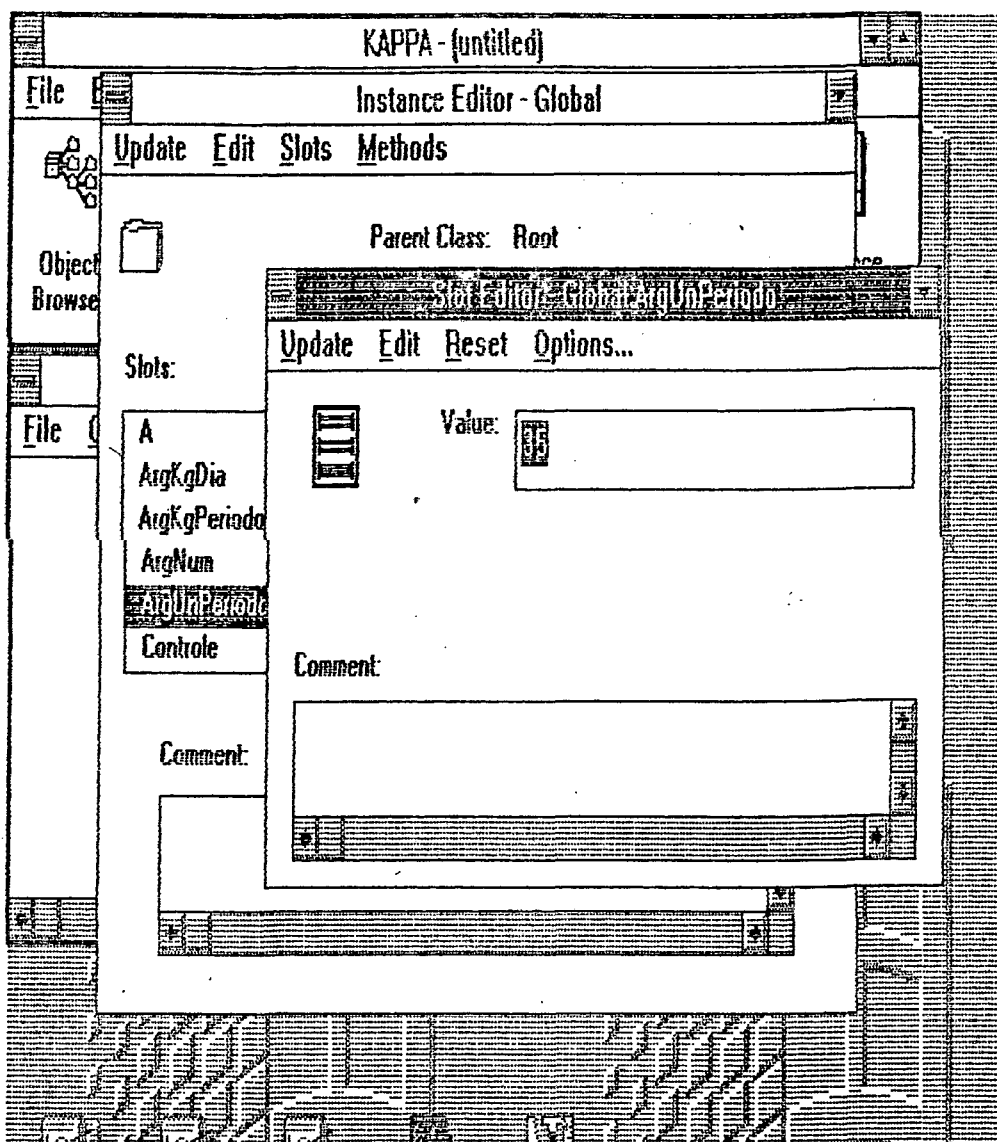


Figura 6.3 - Tela Representativa do Ambiente Windows 3.1

6.4. Estrutura do Sistema

O sistema desenvolvido determina uma relação entre as peças básicas fornecidas pelo ambiente de trabalho KAPPA, ou seja, a partir de seus objetos é possível uma interação entre funções e regras, permitindo chegar-se aos resultados que proporcionam a interface com o usuário do sistema.

Os objetos do sistema contém seus "frames", onde estão os atributos ou os "slots" e seus respectivos valores. A partir deste ponto, ao serem executadas as funções e as regras, através da interface com o usuário, surgem as telas de resultados, onde constam as programações já especificadas no item 6.2 e amplamente detalhadas no Anexo A, através da apresentação de seções do sistema.

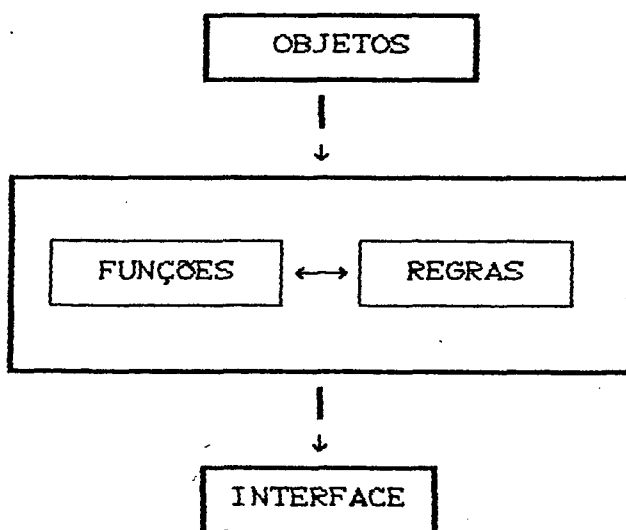


Figura 6.4 - Relações Entre as Peças Básicas do Sistema Desenvolvido em KAPPA

Os procedimentos para a obtenção do plano de produção são encadeados de tal forma que o tempo de moldagem das peças e o tempo de produção da armadura para as mesmas são conciliados, reduzindo a defasagem entre os dois processos. A quantidade de peças moldadas é determinada pelo número de gabaritos (mesa de montagem) e estes são usados em função do número de viradeiras (máquinas de dobra). O número de cortadeiras (máquinas de corte) utilizadas é função do número de viradeiras.

São considerados ainda, nos procedimentos, o tempo de produção para a fase de corte das telas e quais são os tipos de

peças a serem produzidas para se obter maior economia no processo de corte das telas. Para tanto, foi feito um estudo com base em cada tipo de peça produzida por linha, através dos relatórios com as informações de todas as peças feitas num determinado período de tempo numa fábrica. Os valores históricos da produção e as informações fornecidas pelos técnicos sobre os procedimentos adotados e que não são sistematizados estão reunidos através das funções e regras da "shell" KAPPA, que fazem parte da base de conhecimento do sistema.

6.4.1. O Uso de Regras de Produção

No capítulo 3 estão apresentadas as definições básicas de regras de produção e as condições necessárias para a sua execução de uma forma genérica.

Especificamente, no sistema especialista desenvolvido nesta pesquisa, as regras de produção também foram aplicadas como uma forma de representação do conhecimento.

O conhecimento inferido através da execução das regras faz parte de cada um dos quatro módulos, que constituem o sistema. Em cada módulo tem-se um grupo de regras que complementam as funções na execução do sistema e, juntamente com a parte da representação de conhecimento em "frames", formam a base de conhecimento do sistema.

As regras do sistema foram construídas de tal forma que traduzam as estratégias e preferências, para executar determinado procedimento, dos técnicos envolvidos na produção.

A feitura e edição das regras é simples para os técnicos que conheçam o ambiente Windows, no caso de se necessitar alguma mudança. Em virtude da larga utilização do Windows em todos os níveis, suas aplicações tornam-se extremamente conhecidas e logo assimiladas em qualquer empresa. Todas as regras são organizadas em conjunto, que fazem parte de um módulo.

A figura 6.5 apresenta um exemplo de regra do sistema.

```
.....  
**** RULE: PrL2  
.....  
MakeRule( PrL2, [],  
  Atividades:Iniciar #= sim,  
  {  
    ITRC:Prioridade = ITRC:EArmProdEstoqueUnidade /  
    ITRC:NumeroCentro;  
    ITRCB:Prioridade = ITRCB:EArmProdEstoqueUnidade /  
    ITRCB:NumeroCentro;  
    ITRT:Prioridade = ITRT:EArmProdEstoqueUnidade /  
    ITRT:NumeroCentro;  
    ITRB:Prioridade = ITRB:EArmProdEstoqueUnidade /  
    ITRB:NumeroCentro;  
    VAR:Prioridade = VAR:EArmProdEstoqueUnidade /  
    VAR:NumeroCentro;  
    SetValue( Pecas:Prior, ITRC:Prioridade, ITRCB:Prioridade, ITRT:Prioridade,  
      ITRB:Prioridade, VAR:Prioridade );  
    SelectSubClass( Pecas, x,  
      x:Prioridade #=  
      Min( Pecas:Prior ) );  
  } );
```

Figura 6.5. Regra do Sistema que Determina Prioridades para a Linha

Trata-se da regra que dá início à produção de armaduras para a linha 2. É uma regra do tipo: Se, Então, onde é determinado: se o objeto 'Atividades' tem seu "slot" de nome 'Iniciar' com valor igual a 'sim', então: procede-se o cálculo de prioridades para os objetos 'Pecas'. Neste caso, é criada uma lista de peças que poderão iniciar a atividade de corte de armaduras.

A regra, apresentada a título de ilustração, faz parte do grupo que forma o Módulo de Armadura, o segundo do sistema.

6.4.2. A Organização dos "Frames"

Os "frames" também foram definidos no capítulo 3, onde constam detalhes de sua constituição.

O sistema desenvolvido tem uma parte importante de sua base de conhecimento representada por "frames", que fazem parte dos objetos e cujos "slots" detêm os valores utilizados no processamento do sistema.

A figura 6.6 apresenta o editor do objeto 'FRS' e o conjunto de atributos que formam o "frame" deste objeto.

As iniciais FRS representam a peça Forro Shed. Na figura pode ser visto o 'Parent Class:Forro', onde Forro é o objeto que se encontra em ordem superior na hierarquia, onde as peças Forro Beiral, Forro Shed e Forro Típico estão ligadas e em ordem hierárquica inferior. A figura 6.6 apresenta, no quadro à esquerda, o início da lista de "slots" e os seus valores, que formam o "frame" de 'FRS'. Para se ter acesso aos demais "slots" existe a barra que se movimenta com a pressão do "mouse".

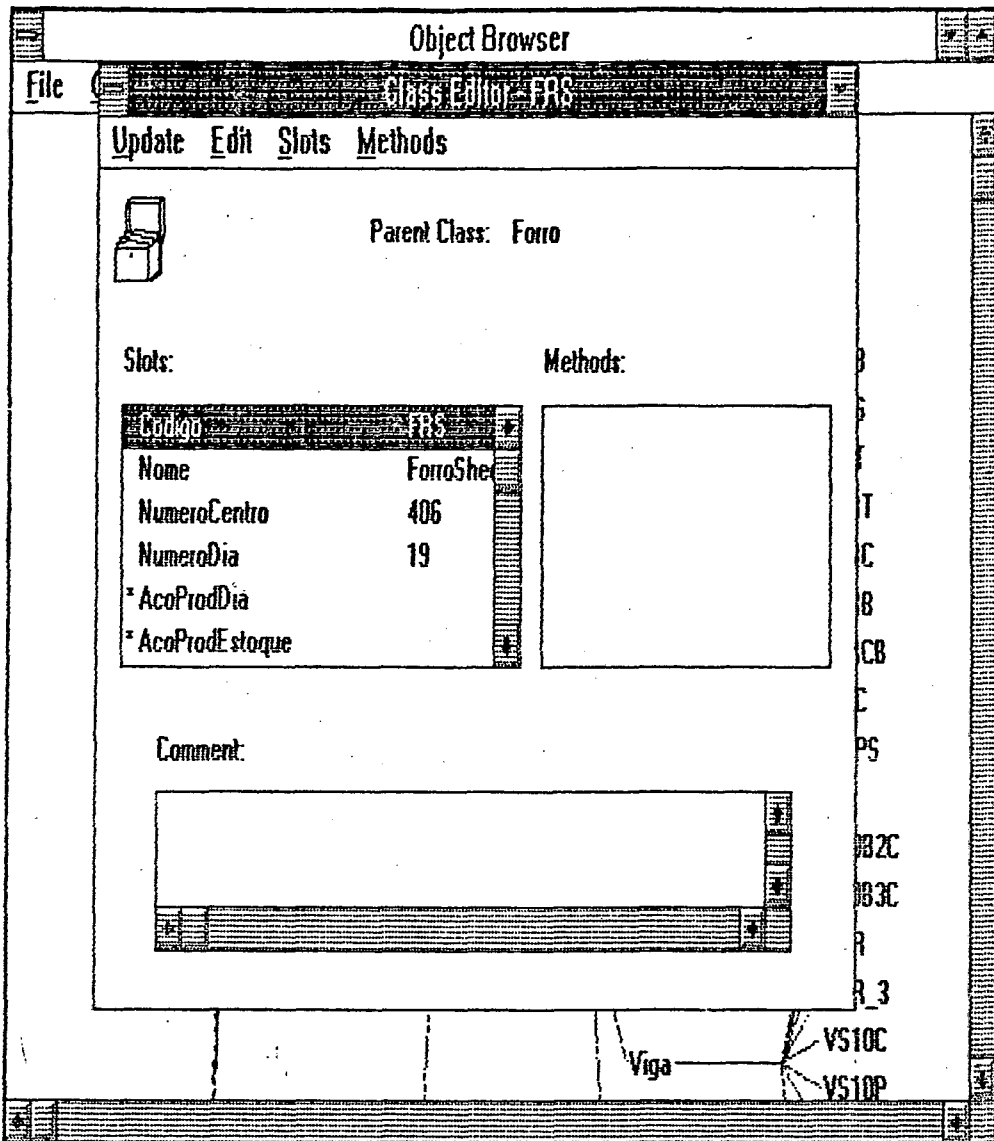


Figura 6.6 - Editor do Objeto 'FRS' e Seu "Frame"

6.4.3. A Importância das Funções no Desenvolvimento do Sistema

As funções da "shell" KAPPA foram referidas no capítulo 5, onde estão citadas algumas utilidades deste importante recurso que o software oferece.

Nesta pesquisa, as funções formam uma parte significativa do sistema, pela sua utilidade no tratamento de dados numéricos. Tratando-se do objeto de pesquisa como sendo a programação da produção de peças pré-moldadas de argamassa armada, a quantidade de valores numéricos é muito grande, mesmo em se tratando de um sistema especialista.

As funções oferecem todo o tratamento numérico das linguagens procedurais, permitindo comandos de Linguagem C e a sua utilização na programação interagindo com KAPPA.

Através de funções pode ser disparado um conjunto de regras para atingir determinada meta e podem-se também executar comandos que utilizam quaisquer das 240 funções, pré-definidas em KAPPA.

Através das funções podem-se promover diálogos de interação com o usuário.

Nesta pesquisa, as funções foram utilizadas para a leitura dos valores de entrada dos atributos, a apresentação das telas com as conclusões dos módulos, onde são apresentadas as programações da produção. As funções são também usadas para a leitura das informações necessárias para o posterior traçado dos gráficos. Estes gráficos também são montados através das funções.

A figura 6.7 apresenta um exemplo de função, que faz parte do sistema desenvolvido. Esta função é muito simples e a sua execução tem como objetivo identificar a linha de produção indicada no quadro de opção da tela principal do sistema, como pode ser visto no Anexo A - Tela 1. A partir da identificação da linha de produção, a função dá início a uma das sete outras funções, cujo nome são InícioC, InícioL1, etc. Cada uma destas funções chama outras e encadeia uma série de regras com o objetivo de, finalmente, apresentar as programações da produção para a linha escolhida.

```

/*****
**** FUNCTION: Armadura
*****/
MakeFunction( Armadura, [],
{
If ( Global:Linhas != Completa )
Then InicioC( )
Else If ( Global:Linhas != Linha1 )
Then InicioL1( )
Else If ( Global:Linhas != Linha2 )
Then InicioL2( )
Else If ( Global:Linhas != Linha3 )
Then InicioL3( )
Else If ( Global:Linhas !=
Linha4 )
Then InicioL4( )
Else If ( Global:Linhas
!= Linha5 )
Then InicioL5( )
Else If ( Global:Linhas
!=
Linha6 )
Then InicioL6( );
});

```

Figura 6.7 - Função que Faz Parte do Sistema Desenvolvido

Os métodos, igualmente como as funções, são utilizados no tratamento de valores numéricos, sendo mais restritos.

6.4.4. O Uso de Listas

Para armazenar as programações diárias optou-se por listas, conforme os recursos oferecidos pelo software KAPPA.

As listas podem ser consideradas como estruturas de informação que se modificam dinamicamente. Num dado momento, uma lista contém um conjunto ordenado de itens.

Uma estrutura de listas é um arranjo de átomos. Átomos que podem ser quaisquer combinações de símbolos, tendo como única propriedade importante a indivisibilidade (Lucena, 1970).

As listas se constituem numa parte significativa do sistema desenvolvido.

Toda a programação para o horizonte de 28 dias é armazenada em listas. Este tipo de procedimento teve como objetivo facilitar o manuseio de valores no sistema. Pois, a programação da produção é determinada unicamente pelo próprio sistema, sem a necessidade de leitura de arquivos externos, usando um recurso da própria "shell" KAPPA.

As listas também têm outra finalidade muito importante, ou seja, armazenar os nomes das regras, que devem ser disparadas para cada caso específico, podendo ser para um módulo do sistema, e ainda subdividem-se em grupos de regras para cada linha específica.

A figura 6.8 apresenta um exemplo de "slot" do tipo lista, onde muitos valores podem ser armazenados. Nesta figura aparecem dentro da janela ativa, as primeiras regras que são encadeadas para frente e proporcionam as consultas referentes ao Módulo de Moldagem na forma completa, isto é, para todas as peças pré-moldadas fabricadas.

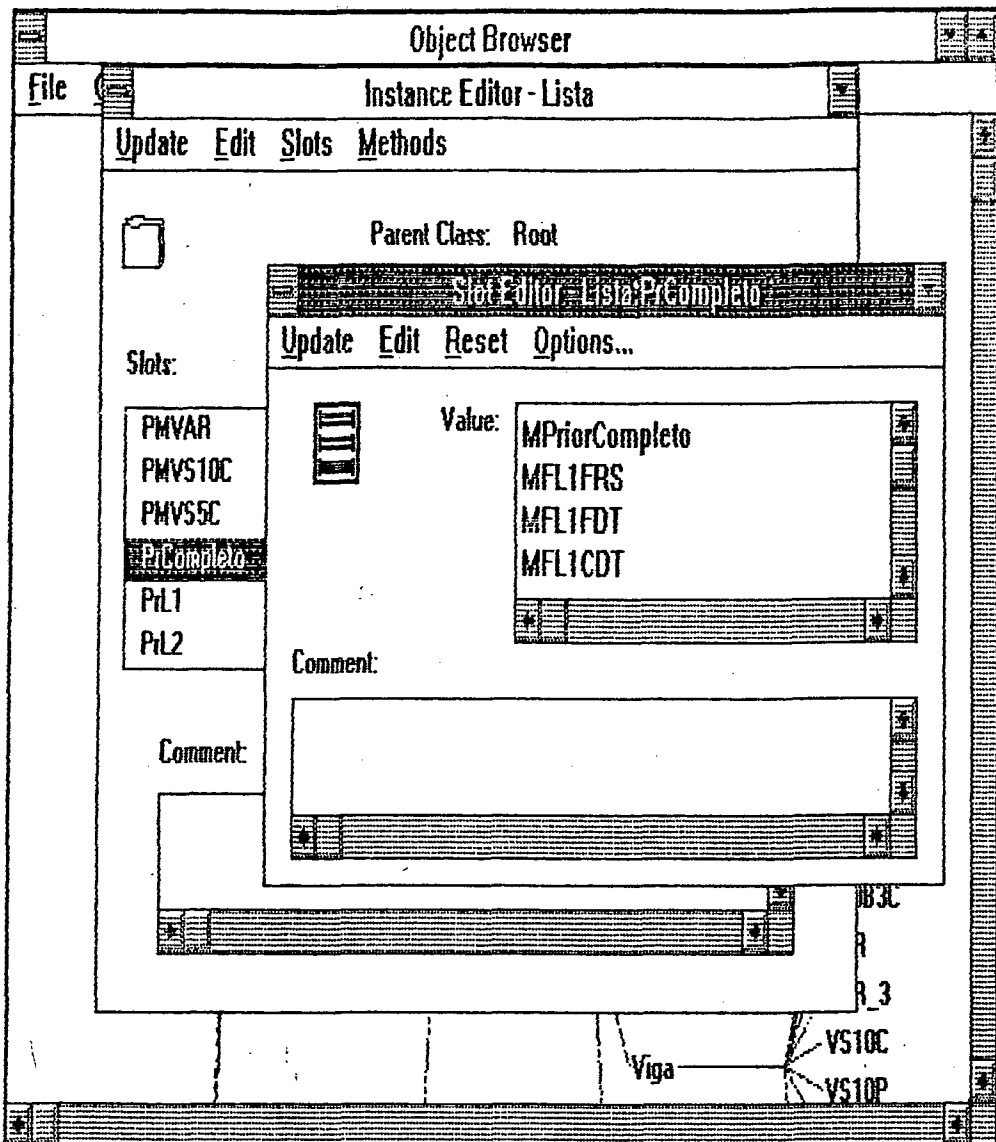


Figura 6.8 - Editor de "Slot" do Tipo Lista

6.5. Procedimentos Gerais Utilizados no Desenvolvimento do Sistema

A base conceitual do sistema, tratada nos capítulos 4 e 5, volta a ser citada neste item, porque após a apresentação da forma como a ferramenta de software trata os procedimentos oriundos do conhecimento humano, que não podem ser unicamente estruturados em algoritmos, torna-se importante uma nova referência à base

conceitual. Pois, a partir desta é feita a organização do conhecimento, sintetizada no item seguinte.

6.5.1. Organização do Conhecimento

A base de conhecimento contém as estruturas apresentadas neste capítulo. Trata-se de uma estrutura hierárquica onde as "frames" dos objetos antecessores são herdadas por seus sucessores. Contudo, o valor de cada "slot" pode variar em toda a cadeia de objetos.

Um exemplo bem elucidativo desta hierarquia é mostrado na figura 6.9. Onde vê-se a parte da estrutura de conhecimento referente às peças produzidas pela fábrica. Os grupos são divididos conforme os tipos e as peças são representadas por seus respectivos códigos de acordo com o catálogo de fábrica. Esta estrutura faz parte de uma das telas de desenvolvimento do sistema. Além, deste grupo de objetos, que se referem às peças, existe também o grupo de objeto que forma a estrutura das atividades desenvolvidas nos processos de fabricação das peças. Os recursos são representados por "slots" do grupo de objetos das atividades das peças.

Faz parte do sistema, também, um grupo de objetos que gerencia todas as telas de aplicação criadas para este caso específico. Neste grupo estão armazenadas todas as informações quanto à localização e ao tamanho dos quadros e dos gráficos que se destinam à apresentação das informações de consulta ao sistema.

Os dois outros grupos de objetos se chamam Lista e Global e contém informações referentes às programações por período de até 28 dias e também os valores necessários ao traçado dos gráficos que fornecem a comparação entre o programado e o obtido.

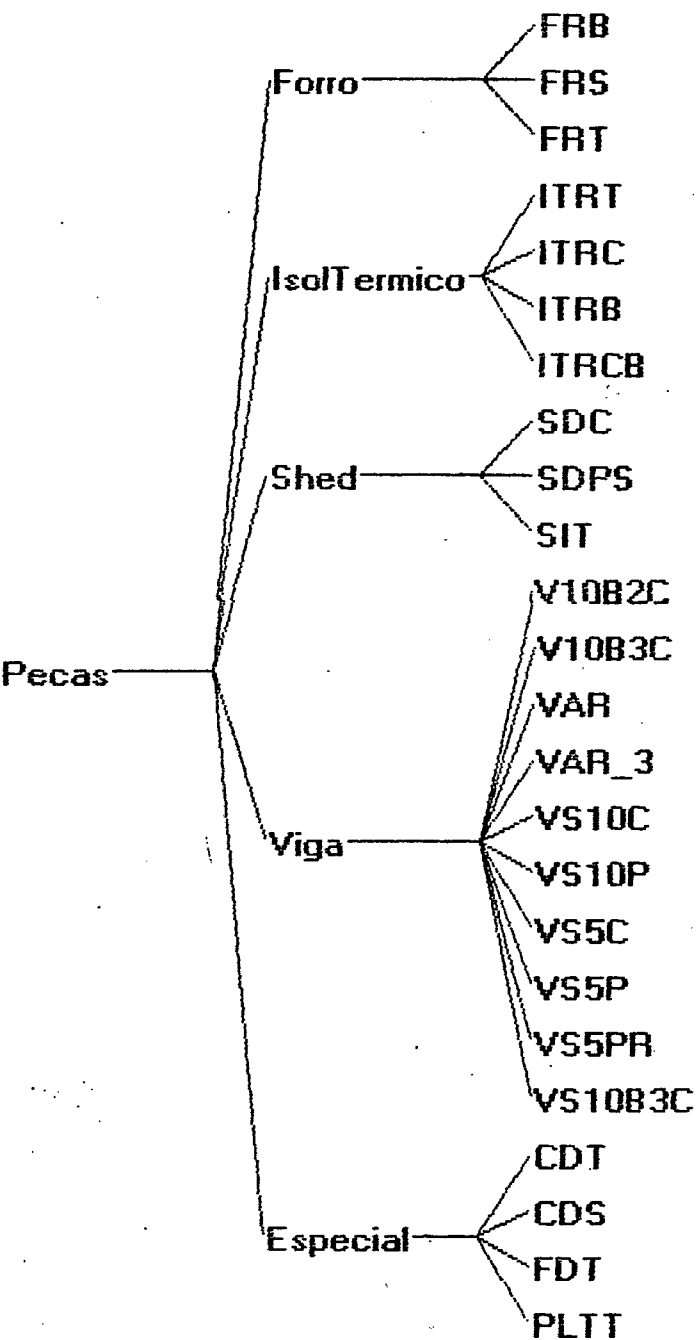


Figura 6.9 - Estrutura Hierárquica que Representa as Peças Fabricadas

6.6. Mecanismos de Inferência

A cadeia de inferência estabelecida pelos grupos de regras que constituem os módulos do sistema é feita, unindo-se o conhecimento representado por "frames" e pelas regras de produção. Os grupos de regras são subdivididos em três, referentes, respectivamente, aos módulos: Armadura, Moldagem e Controle de Qualidade.

Cada uma destas três cadeias cria estruturas que são inicializadas através das consultas ao sistema, acessam a base de conhecimento e, para cada caso específico, cria uma programação da produção, considerando nestas pesquisas as restrições, tais como: recursos, metas, objetivos da produção, tempo, etc.

Em todos os módulos utilizam-se encadeamentos adiante para a obtenção das conclusões.

6.7. Interação entre o Sistema e o Usuário

O sistema contém um chamado quadro de opções amigável, de acordo com o ambiente de operação do sistema. O usuário pode dar entrada a funções para um módulo apropriado, utilizando-se das telas de interação para aquele módulo específico, a fim de obter as informações necessárias ao planejamento de cada etapa.

O sistema contém uma base de dados, como parte da base de conhecimento, ou seja, nas estruturas onde se armazenam os conhecimentos, existem também dados principalmente numéricos, que constituem uma forma de base de dados também englobada pelo sistema. Ambas interagem com os módulos e também com o usuário.

A figura 6.10 apresenta o fluxo da interação entre o usuário e o sistema, além da forma como este busca as informações do usuário, processa e devolve em forma de planos, que são utilizados

também na tomada de decisão.

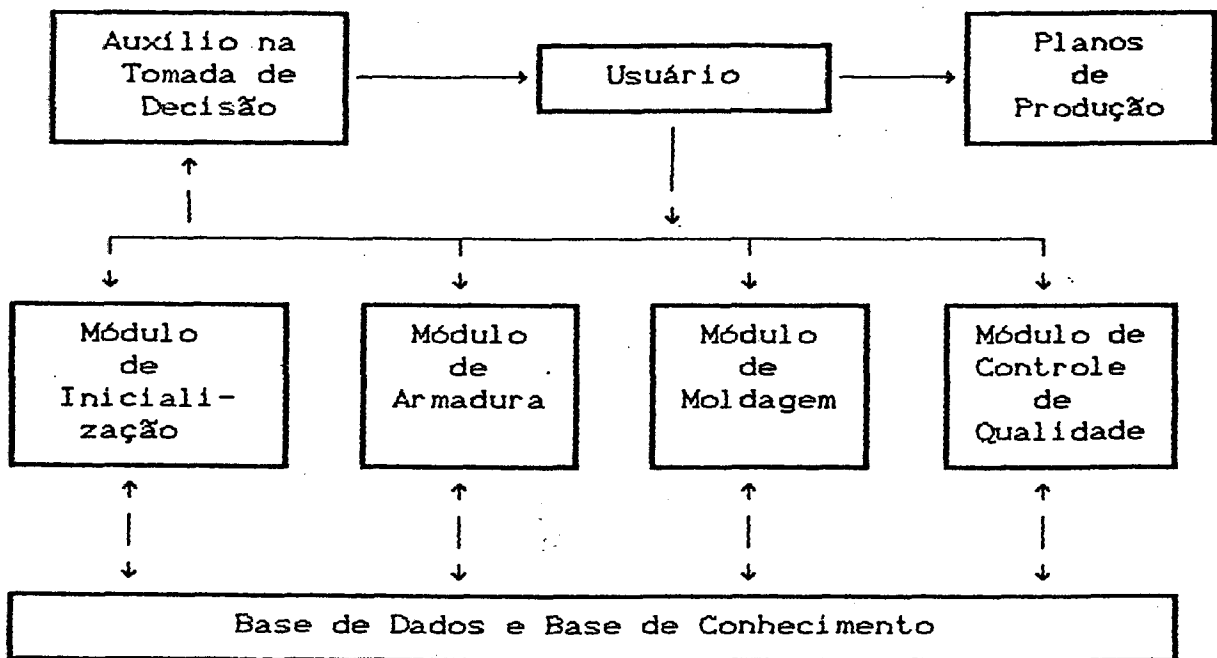


Figura 6.10 - Interação entre o Sistema e o Usuário

6.7.1. Telas de Consulta

A interação do sistema com o usuário é feita através das telas de consulta criadas com este objetivo. Estas telas são denominadas "sessions" e foram criadas três "sessions" diferentes. No Anexo A, onde as etapas de consulta são apresentadas, estas telas aparecem com maior clareza.

Na criação destas telas foram considerados em primeiro lugar o maior entrosamento entre o usuário e as telas de consulta do sistema e o maior aproveitamento dos recursos da ferramenta computacional utilizada.

Para uma boa interação entre o sistema e seu usuário, foi necessário não somente reconhecer o tipo de usuário final, que é tanto o técnico responsável pelo plano de produção como o responsável pelas decisões que norteiam o planejamento, mas também construir os quadros de interação estruturados de tal forma que o

sistema apresente as informações claramente e numa ordem seqüencial, fornecendo um padrão nos quadros de opção de consulta e nas telas de resposta, onde são apresentados os planos. Nestes estão discriminadas as tarefas a serem iniciadas para cada etapa.

6.8. Implantação do Sistema

A implantação do sistema nas fábricas pode ser facilitada porque as fábricas, existentes no País, têm o mesmo tipo de linhas de produção, os equipamentos semelhantes e seguem uma padronização, porque foram montadas pela mesma empresa e tiveram a supervisão fornecida pela mesma equipe técnica. Portanto, para todas as fábricas as peças seguem codificações iguais e a mesma seqüência de montagem. A finalidade inicial de todas estas fábricas é a produção de peças para centros educacionais, que são padronizados, necessitando do mesmo tipo de peças e o número de peças pré-moldadas para a construção de cada centro é aproximadamente o mesmo. As modificações de uma fábrica para a outra, ou diferenças entre os projetos a serem construídos atualmente são pequenas.

Este aspecto indica uma abrangência de validade para as programações obtidas pelo sistema especialista, aumentando a área de ação do mesmo.

Ainda que os projetos de centros educacionais não sejam a prioridade das fábricas em futuro próximo, as peças pré-moldadas produzidas e a forma de construí-las é muito semelhante às das peças utilizadas em outros tipos de construção pré-moldadas.

Fazendo algumas modificações de projeto, as peças a serem produzidas serão semelhantes e se utilizarão dos mesmos equipamentos ora em funcionamento, bem como o seqüenciamento das linhas de montagem será o mesmo.

Sob o ponto de vista prático, o sistema atual se enquadra, então, a qualquer das fábricas montadas com o intuito de produzir

peças para centros educacionais. Neste sentido, as programações obtidas e apresentadas neste trabalho para uma empresa em particular podem ser facilmente extendidas para as outras fábricas.

6.9. Validação do Sistema

A validação do modelo teve como objetivo testar o grau de quanto os resultados, obtidos através de consultas ao sistema especialista, parecem-se com os resultados obtidos pelos peritos humanos cuja experiência foi modelada para uso da base de conhecimento.

O sistema especialista desenvolvido foi submetido a uma série de testes e mostrou-se adequado nas várias situações estudadas. Especificamente, o sistema foi testado em casos que apresentavam características particulares, em função do seu próprio resultado. Ou seja, casos em que o resultado, a ser obtido pelo sistema, era conhecido previamente, sendo apresentado nos relatórios de controle da fábrica. Nos casos em que o sistema era aplicado para situações conhecidas, com dados reais, extraídos de processos produtivos estudados, o resultado obtido coincidiu com o esperado.

Partindo dos resultados obtidos na aplicação do sistema especialista, pode-se ter uma série de procedimentos complementares, permitindo uma aproximação da otimização no seqüenciamento. Estas ações são determinadas por resultados atingidos nos diversos processamentos do sistema, e se constituem em dados importantes para destacar potencialidades do processo da produção ou corrigir as falhas eventuais, interagindo com o chão de fábrica.

Um procedimento poderia ser a verificação da conveniência de proceder-se à execução do sistema para o módulo de programação da produção para a atividade de corte das telas, com a opção para todas as peças ou apenas para uma linha de produção, num determinado dia ou período.

O sistema tem sua importância no sentido de auxiliar na tomada de decisão. Os testes comparativos feitos entre os relatórios de fábrica com a produção já obtida e os planos criados pelo sistema, mostraram vantagens para o último, principalmente no que diz respeito a programação para um horizonte de quatro semanas, propiciando uma melhor distribuição dos recursos no período e um melhor aproveitamento destes recursos no que diz respeito aos gargalos de produção identificados no decorrer deste trabalho.

O sistema permite também uma ampliação para outras linhas de produção e outros grupos de peças diferentes e com certa flexibilidade, sem muitas modificações na base de conhecimento original.

Os resultados obtidos, estão apresentados no Anexo A e analisados no capítulo 7.

6.10. Considerações Finais

O sistema foi implementado num micro-computador PC/AT 386-SX. O seu tempo de processamento e de consulta pode ser considerado bom. Nos casos mais rápidos, responde as consultas em poucos segundos. Contudo, na situação mais complexa de encadeamento, que é a execução do Módulo de Moldagem, a resposta é mais lenta, podendo chegar a aproximadamente 15 minutos.

As Telas de algumas seções de consulta também estão apresentadas no Anexo A.

CAPITULO 7. RESULTADOS OBTIDOS

7.1. Introdução

Neste ponto, é importante apresentar uma comparação entre o resultado obtido, na aplicação do sistema ao problema estudado, e o resultado encontrado correntemente no dia a dia de uma empresa que fabrica as peças pré-moldadas de argamassa armada em série.

Esta comparação é possível examinando-se os relatórios de controle da produção da empresa e comparando-os aos resultados do sistema. Porque a programação da produção na fábrica, atualmente não documentada, é feita para o período corrente e não se estende para períodos maiores, como no caso do sistema desenvolvido neste trabalho, que considera a programação da produção até para um período de 28 dias

O sistema utiliza 471 funções e 170 regras para obter a programação da produção.

7.2. Avaliação dos Resultados Obtidos

Os recursos fornecidos, para o exemplo da aplicação e para a consulta ao sistema apresentados neste capítulo e no Anexo A, estão de acordo com as informações da fábrica, obtidas para o período estudado, com a finalidade de formar um quadro comparativo.

Os valores dos limites de recursos servem de restrições para a programação obtida, através de telas de consulta, no Anexo A. Estes limites são trabalhados pelo sistema, que utiliza os recursos para programar as 40 atividades a serem executadas durante o processo de fabricação das peças. Os recursos são distribuídos, para as atividades através de funções inerentes a estas, com o objetivo de executar cada peça do processo.

O quadro apresentado na figura 7.1 faz uma comparação, entre um resultado obtido pela programação, para fabricação de armaduras, feita pelos especialistas e um resultado obtido pelo sistema aqui desenvolvido, para um período de duas semanas. Foi utilizado este intervalo de tempo para compatibilizar os dados de ambos.

No quadro da figura 7.1, a coluna denominada "Número de HH/Kg", se refere à produtividade de Horas/Homens de trabalho por Kg de armaduras fabricado.

ARMADURA

Dia	Produção em Kg		Número de HH/Kg		
	Esp. (2)	Sis. (3)	Esp. (4)	Sis. (5)	Dif. % (6)
(1)					
Seg	3148,00	3996,34	0,35	0,29	17
Ter	2686,00	3303,17	0,58	0,36	37
Qua	2957,14	3884,93	0,56	0,30	46
Qui	3311,11	3725,87	0,45	0,31	31
Sex	3217,24	3808,23	0,58	0,31	46
Sab	1773,58	1217,83	0,53	0,34	35
Dom	445,45	785,94	0,55	0,35	36
Seg	3287,50	5343,98	0,64	0,33	48
Ter	4098,18	5334,88	0,55	0,33	40
Qua	3554,83	5362,53	0,62	0,33	46
Qui	4122,03	5402,19	0,59	0,33	44
Sex	4601,38	5471,20	0,72	0,32	55
Sab	2330,90	3712,20	0,55	0,31	43
Dom	510,00	2050,34	0,47	0,30	36
Mín.	445,45	785,94	0,35	0,29	17
Máx.	4601,38	5471,20	0,72	0,36	55
Média	2860,23	3814,25	0,55	0,32	40

Figura 7.1 - Comparação Entre a Programação da Produção de Armaduras Obtida pelo Especialista e a Programação Oferecida pelo Sistema

No quadro, apresentado na figura 7.2, há uma comparação entre o resultado obtido pela programação para fabricação de argamassa feita pelos especialistas e o resultado obtido pelo sistema especialista, para um período de duas semanas. A coluna "Número de HH/Ton.", se refere à produtividade de Horas/Homens de trabalho por Toneladas de argamassa fabricadas.

Os dois quadros apresentam um resultado em termos percentuais bem mais favoráveis ao sistema nos índices de rendimentos obtidos para a fabricação, tanto de armaduras, como de argamassa.

MOLDAGEM

Dia	Produção em Kg .		Número do HH/Ton.		
	Esp. (2)	Sis. (3)	Esp. (4)	Sis. (5)	Dif. % (6)
(1) Seg	21488,87	17219,08	10,75	9,75	9
Ter	45652,17	46025,67	13,80	10,34	25
Qua	45276,41	49231,19	14,24	9,60	32
Qui	47018,97	45352,22	14,76	10,49	28
Sex	42280,52	45297,85	19,82	10,50	47
Sab	18490,87	14839,02	12,06	10,37	14
Dom	2244,61	11163,30	21,83	10,03	54
Seg	48203,33	63175,63	11,41	9,30	18
Ter	46620,69	63717,02	14,50	9,22	36
Qua	49859,55	63699,35	14,24	9,23	35
Qui	48280,09	63878,23	16,28	9,20	43
Sex	47690,08	63831,07	20,78	9,21	55
Sab	16910,23	39091,31	19,16	9,66	49
Dom	2447,73	31397,10	39,22	10,70	72
Mín.	2244,61	11163,30	10,75	9,2	9
Máx.	49859,55	63878,23	39,22	10,70	72
Média	34461,72	44137,00	17,34	9,62	37

Figura 7.2 - Comparação Entre a Programação da Produção de Argamassa para Moldagem Obtida pelo Especialista e a Programação Oferecida pelo Sistema

Na programação do sistema, para o período estudado, já são

considerados alguns imprevistos, que acarretam atrasos e a não montagem de algumas peças, exatamente como ocorre na programação feita pelo especialista. É adotado este procedimento com a finalidade de se obter uma programação o mais próxima possível do real. Para tanto, quando é feita a programação para o dia em curso, o sistema trabalha com telas que fazem a leitura do número de peças montadas no dia anterior.

No caso do exemplo, a informação sobre as peças já montadas, é uma estimativa e tem base nos relatórios de controle da fábrica.

A programação obtida pelo sistema proporciona um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, através de uma alocação mais equilibrada dos mesmos, conforme gráficos apresentados nas figuras 7.3, 7.4, 7.5 (A e B). Porque as fábricas de peças pré-moldadas de argamassa armada, atualmente não seguem uma programação previamente estabelecida. Os planos são feitos para o próprio período, com base nos estoques e no número de peças necessários para cumprir o pedido.

A figura 7.3 apresenta um gráfico do nível de utilização de recursos de Horas/Homens trabalhadas diariamente na fabricação de armaduras, conforme os planos dos especialistas da fábrica para um período analisado. A descontinuidade do uso dos recursos aparece neste gráfico. Com a finalidade de fazer uma comparação, a figura 7.4 apresenta um gráfico da utilização do nível dos recursos de Horas/Homens resultante da programação do sistema para a fabricação diária de armaduras. Estes recursos são usados para obter a programação para duas semanas, cujo resultado está avaliado na figura 7.1.

ARMADURAS

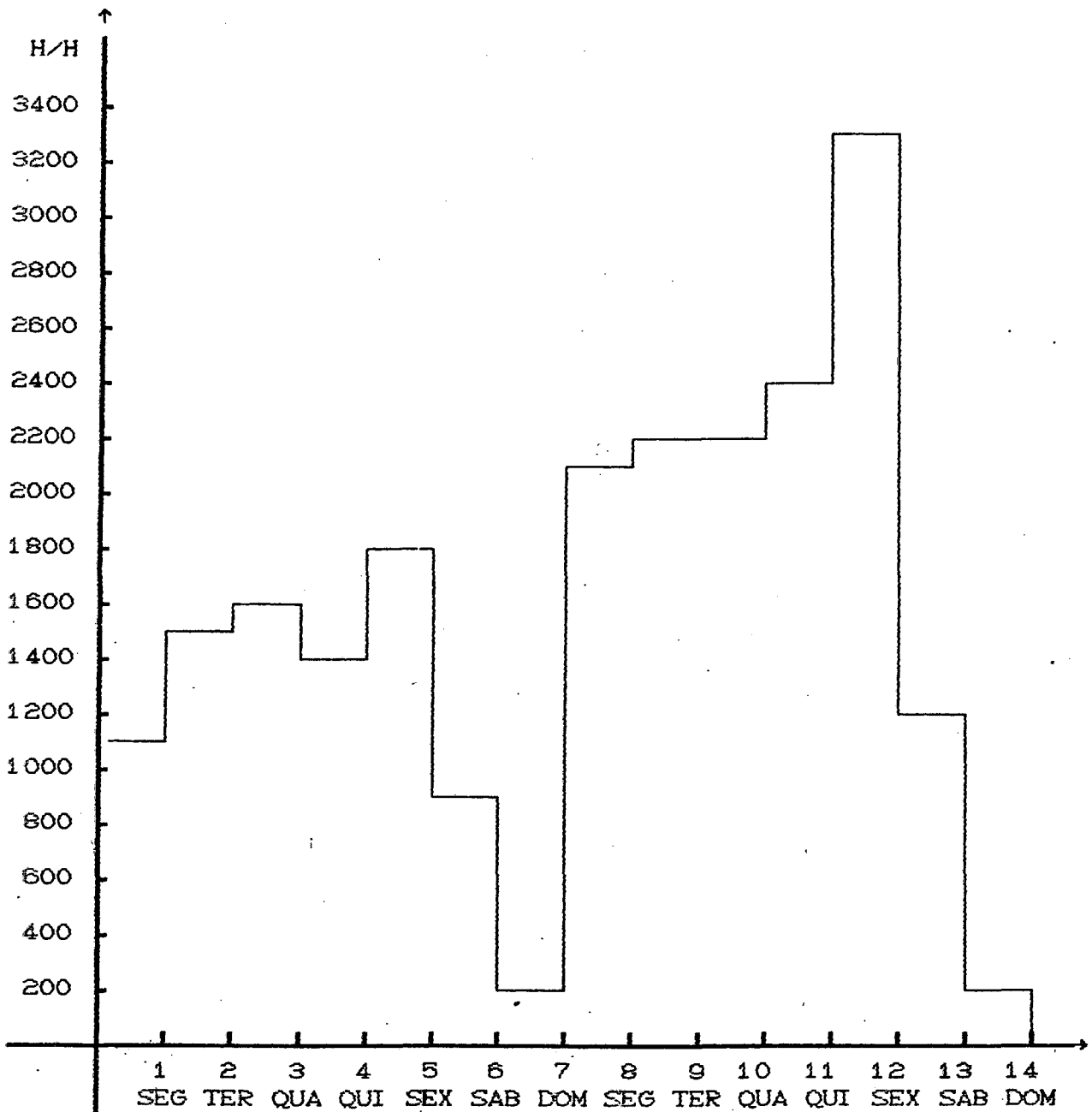


Figura 7.3 - Gráfico do Nível de Utilização dos Recursos de Horas/Homens Trabalhadas, para a Programação Elaborada pela Fábrica para Confeccção de Armaduras

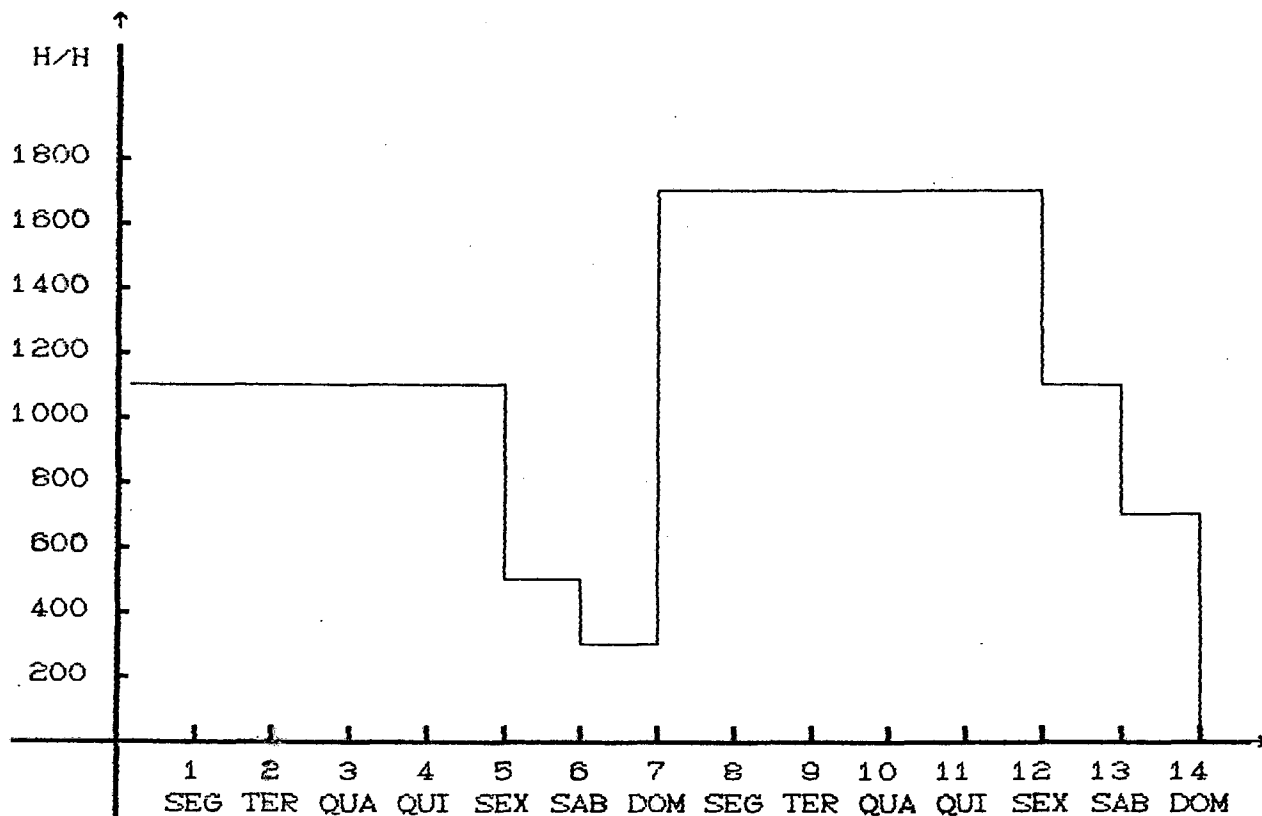
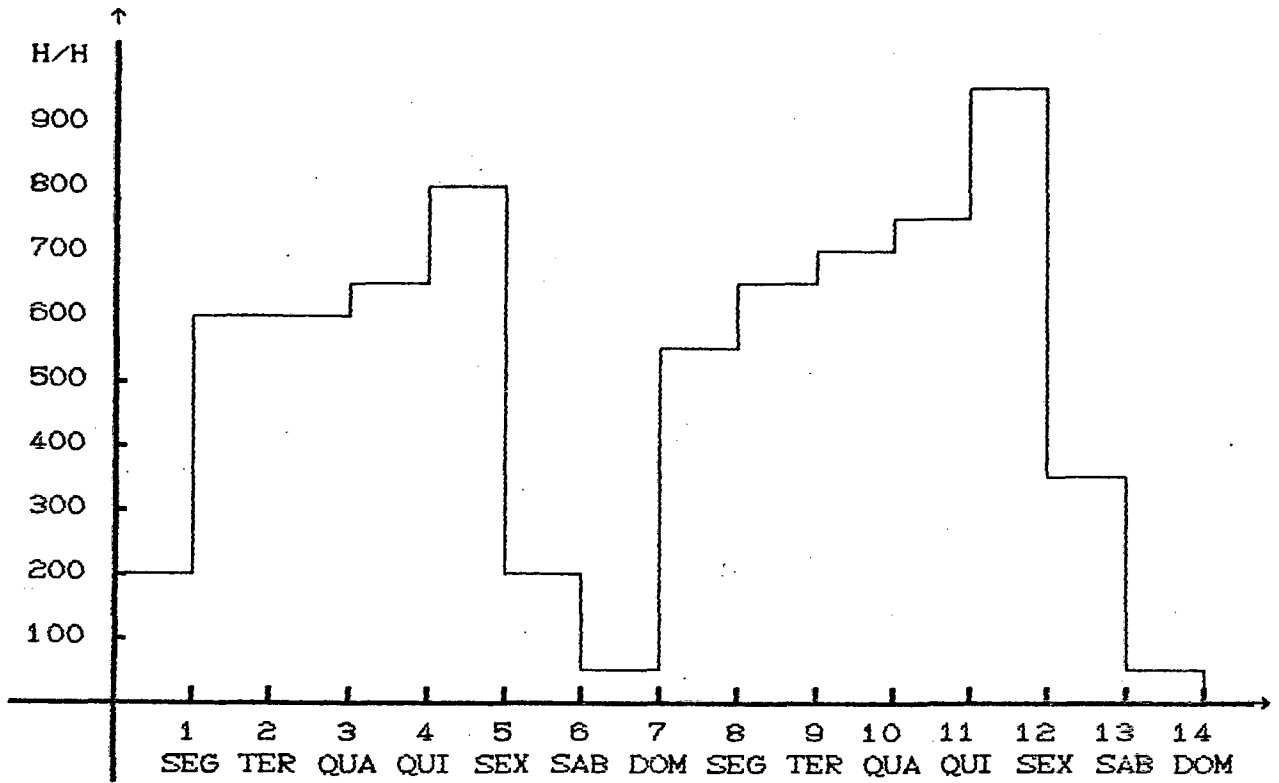


Figura 7.4 - Gráfico do Nível de Utilização dos Recursos de Horas/Homens Trabalhadas para a Programação, da Confecção de Armaduras, Obtida pelo Sistema Especialista

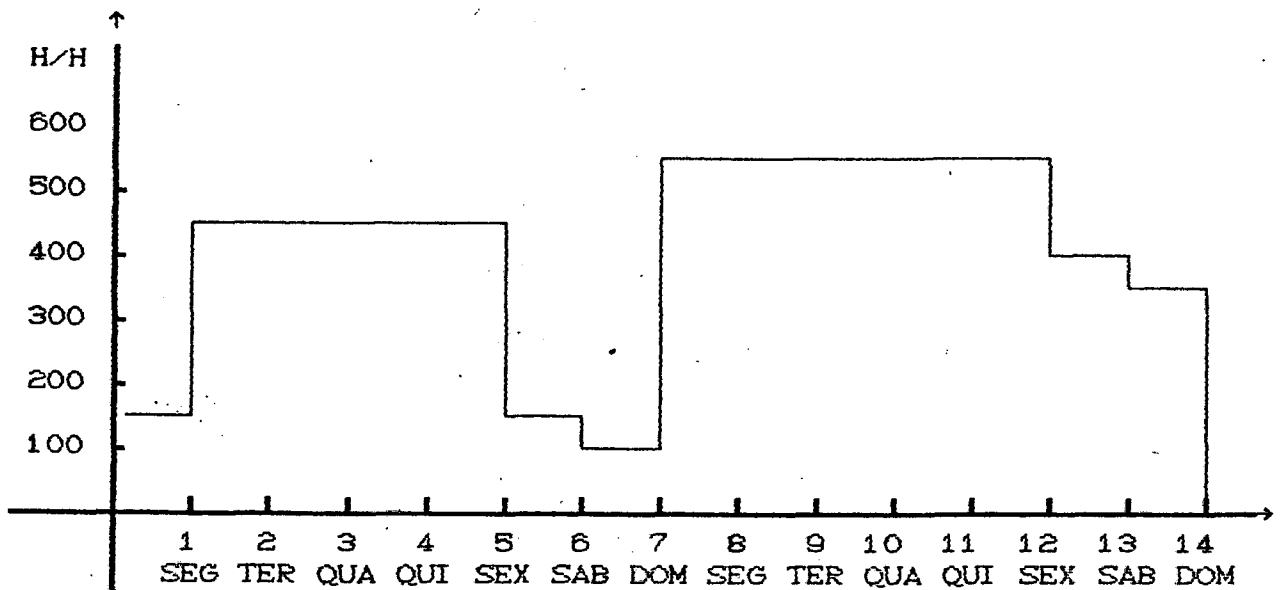
A figura 7.5 (A) apresenta outro gráfico do nível de utilização dos recursos de Horas/Homens trabalhadas diariamente na fabricação da argamassa para as peças, de acordo com o plano dos especialistas da fábrica. A alocação dos recursos é descontínua durante o período. Com a finalidade de fazer a comparação, a figura 7.5 (B) mostra um gráfico, com uma distribuição bem equilibrada de recursos Horas/Homens de trabalho programadas pelo sistema especialista para a fabricação diária de argamassa.

Nos dois casos apresentados, o sistema obteve uma programação com a alocação de recursos melhor distribuída.

MOLDAGEM



(A)



(B)

Figura 7.5 - Gráficos Comparativos do Nível de Utilização de Recursos Horas/Homens para a Fabricação de Argamassa, Obtidos pelo Especialista e pelo Sistema.

Os resultados obtidos pelo sistema, considerando as restrições de recursos de mão de obra; de equipamentos e; de matéria prima, além de sistematizar os procedimentos, já aplicados pelos peritos, conduziram a uma programação da produção mais racional. Pois leva em conta fatores importantes, que no processo atual são deixados de lado, ou não são analisados no mesmo nível de importância e de forma conjunta.

7.3. Vantagens Aferidas na Aplicação do Sistema

A aplicação do sistema, apresentado neste trabalho, possibilitou encontrar uma programação da produção mais econômica, para a fabricação das peças para um projeto das construções de centros educacionais, permitindo executá-la de forma a obter o mesmo número de peças em um período de tempo menor, e com uma distribuição de recursos bastante uniforme durante a fabricação das peças necessárias para a construção de um ou vários centros educacionais.

O acúmulo de utilização dos recursos e a sua desconsideração durante a produção das peças de argamassa armada, nos processos atuais das fábricas, causam freqüentes atrasos na execução dos pedidos, ocasionando prejuízos e muitos outros problemas. No entanto, este fato se repete em muitas indústrias de pré-moldados, que não se valem de um processo de sistematização da produção. Os resultados obtidos pelo sistema, desenvolvido neste trabalho, são úteis também para eliminar este tipo de atraso.

Os resultados, para a programação da produção das armaduras e da moldagem das peças, obtidos pelo sistema e apresentados em parte no Anexo A, foram bons e reafirmaram a eficiência da sistematização de procedimentos para modelagem e posterior inclusão em uma base de conhecimento para programação da produção de peças pré-moldadas para uso na construção civil.

Este sistema também racionaliza o trabalho dos técnicos

responsáveis de efetuarem diariamente os planos de produção.

A base de conhecimento do sistema poderá sofrer alguma modificação no sentido de especificar alguns procedimentos novos, o que resultará na obtenção de uma programação um pouco diferente da atual. Contudo, novos conhecimentos, que sejam adicionados, servirão sempre para aprimorar a programação da produção.

Uma das desvantagens da aplicação do sistema está no fato de que o mesmo ainda não está implantado numa fábrica. Sendo assim, talvez falte considerar alguns fatores importantes, que possam ser incorporados ao sistema. Exemplo disto poderia ser a ausência do "feed back" no sistema.

7.4. Considerações Finais

Os resultados obtidos para a avaliação neste capítulo estão apresentados nos Anexos A e B.

Estes resultados são bons, e poderão ser melhorados a partir da implantação do sistema a uma ou mais fábricas de componentes pré-moldados de argamassa armada. Só então haverá uma resposta mais objetiva a esta questão. Até este ponto, tem-se uma aplicação prática representativa, permitindo conferir a este trabalho de pesquisa um valor significativo no que diz respeito a sua contribuição sob o ponto de vista científico. Considera-se aqui, principalmente, o trabalho teórico que permitiu chegar aos resultados apresentados.

CAPITULO 8. CONCLUSÕES

8.1. Contribuições Gerais

O trabalho desenvolvido visa a trazer uma contribuição no intuito de automatizar um ramo da engenharia que no País não tem sido muito pesquisado. No entanto, este ramo da engenharia é bastante adequado para receber este tratamento, uma vez que, é possível automatizar a manufatura de componentes pré-moldados para a construção civil.

Uma contribuição significativa deste trabalho está no fato da sua importância sob o ponto de vista prático. É que, pode ser aplicado numa indústria, não se restringindo apenas à teoria. Existe muito interesse das fábricas de peças de argamassa armada em aumentar a sua produtividade e em ter mecanismos que auxiliem na tomada de decisões. Este trabalho é um instrumento que dá apoio neste sentido.

8.1.1. Nova Visão na Programação da Produção de Peças de Argamassa Armada

Esta pesquisa demonstra que é possível sistematizar e desta forma obter melhorias na programação da produção através do uso racional dos recursos, aumentando a produtividade do processo de fabricação de peças de argamassa armada, diminuindo, também, o tempo deste processo e gerando, conseqüentemente, mais lucro.

Contudo, o alcance desta pesquisa não se restringe ao problema específico de peças de argamassa armada. É possível conseguir melhorias nos processos de fabricação com a criação de bases de conhecimento, contendo informações, que auxiliam na tomada da decisão em empresas de peças pré-moldadas de concreto armado, e não somente neste caso de argamassa armada.

Uma contribuição importante deste trabalho, está no fato de

que a produção das peças em série para a engenharia civil, podem, como foi apresentado, se constituir numa aplicação prática de técnicas sofisticadas, que no País dificilmente são utilizadas na construção civil, tais como: pesquisa operacional e inteligência artificial.

A aplicação destas técnicas pode ser considerada dentro de uma nova visão na programação da produção das peças empregadas na indústria da construção civil, podendo, ser utilizadas para a área de habitação, resultando em muitas contribuições sociais.

8.2. Contribuições Específicas do Sistema Desenvolvido

A implementação do sistema na "shell" KAPPA sob Windows 3.1 foi feita com êxito. As principais vantagens de se usar esta "shell" para a implementação podem ser especificadas como: disponibilidade de um nível maior de facilidades na interação homem-máquina; maior clareza da base de conhecimento; facilidades de formalismos para organizar a base de conhecimento de forma modular; recursos gráficos; possibilidade de utilização de todos os utilitários do Windows 3.1 interagindo diretamente com o sistema; grande facilidade para depuração das regras e funções integrantes do sistema.

O desenvolvimento do protótipo de teste, cuja base de conhecimento foi englobada pela base do sistema, se constituiu num meio intermediário importante para se chegar ao sistema de trabalho.

As técnicas de elicitação, usadas na aquisição do conhecimento, ajudaram a superar a maior dificuldade da pesquisa, ou seja, a participação dos peritos no processo, devido à falta de tempo destes para as entrevistas e para a narrativa da solução dos problemas, a fim de promover os protocolos verbais.

8.2.1. Contribuições Metodológicas

A metodologia empregada nesta pesquisa é própria para o tipo de problema estudado. Tanto a concepção inicial do sistema, como a forma de coleta de informações se embasa nos casos citados na literatura. Houve a utilização de questionários, protocolos verbais e coleta de informações através de gravações de vídeos.

O desenvolvimento do sistema computacional foge à forma tradicional, sendo que este foi subdividido em módulos e estes em etapas que foram rigorosamente programadas seguindo a idéia básica de todo o processo produtivo de uma fábrica de peças pré-moldadas de argamassa armada. Isto foi, "a priori", analisado ao longo de alguns meses de trabalho, onde foram determinadas todas as prioridades, atividades, recursos e restrições da produção.

A automação deste tipo de processo produtivo dificilmente é encontrada na literatura, que apresenta somente alguns sistemas importantes para a indústria cerâmica.

No caso estudado, não foi encontrado nenhum trabalho na literatura ou "in loco", que utilizasse técnicas de inteligência artificial para resolver o problema específico, tratado nesta pesquisa.

8.3. Sugestões para Pesquisas Futuras

8.3.1. Utilização da Filosofia Just-In-Time na Manufatura

Na proposta do sistema integrado, Stange (1989) sugere seu desenvolvimento, com base na filosofia JIT (Just-In-Time).

A filosofia Just-In-Time é originária do Japão e a sua implantação numa indústria proporciona à manufatura em lotes; um mínimo estoque em processo e a redução dos gargalos da produção; das interrupções; dos tempos de preparação; das avarias e das esperas, segundo Wilson (1989) e Mackness (1989).

O JIT é importante nas linhas de produção para diferentes produtos. Neste caso a fabricação apenas dos produtos nas quantidades necessárias para o tempo adequado traz uma economia importante de custos. Um novo e importante algoritmo heurístico nesta área com uma base teórica sólida foi desenvolvido por Miltenburg (1989), Trata-se de um trabalho importante que serviria de apoio para a continuação da pesquisa aqui apresentada.

Alguns especialistas em controle de manufatura afirmam ser necessário um sistema MRP II antes de iniciar o JIT. Outra escola de pensamento afirma que, se for criado um sistema simples de manufatura usando o JIT, será necessário um sistema simples de computação para controlá-lo, conforme Bastos (1989) e Goldratt (1984, 1989).

A filosofia JIT não foi utilizada, entre outros motivos, porque Lubben (1988) afirma que não tem sido bem sucedida a aplicação do JIT separadamente para cada parte da indústria. O sucesso desta aplicação se dá nos casos onde todas as etapas da manufatura incluindo administração, finanças, produção, etc.. são integradas dentro dos princípios do JIT.

Outro motivo, para não considerar o JIT está na própria forma como estavam sendo produzidas as peças pré-moldadas de argamassa armada.

O volume de peças a serem produzidas quando a pesquisa teve seu escopo montado era muito grande porque o número de centros educacionais sendo construídos pelas fábricas, dentro de um pequeno espaço de tempo, foi muito grande. Neste caso, os estoques de peças naquele momento eram igualmente grandes.

Amoldar este tipo de manufatura ao JIT fica como sugestão para outros trabalhos de pesquisa.

8.3.2. Utilização de Redes de Petri no Controle do Processo Produtivo

Durante a realização desta pesquisa foi estudada a possibilidade de usar a teoria das redes de Petri no controle da programação da produção.

Peterson (1981), Reisig (1985) e Murata (1989) apresentam detalhes, propriedades, análises e aplicações desta importante técnica, que é uma ferramenta gráfica e matemática para descrever e estudar sistemas de processamento de informações.

Algumas conclusões foram tiradas do estudo feito "a priori". A mais importante é que técnicas tornando possível a simulação e o controle de um sistema, através de redes de Petri, são eficientes e poderão ser aplicadas a problemas de programação de produção em pesquisas futuras.

Um outro aspecto importante, que não foi tratado nesta pesquisa mas pode ser considerado em futuras pesquisas de programação da produção, é a flexibilidade na manufatura com redes de Petri extendidas (Valavanis, 1990).

8.3.3. Utilização dos Recursos da Linguagem C

É possível fazer a integração da linguagem C com a "shell" KAPPA. Neste caso haverá a facilidade de utilizar os recursos da linguagem C, flexibilizando o sistema, que integre as duas ferramentas.

Sugere-se a construção de sistemas especialistas para programação da produção utilizando as duas ferramentas. Além de usufruir das vantagens da linguagem C descritas em Schildt (1990), tais como portabilidade e velocidade. A linguagem C oferece atualmente um compilador a nível do programa fonte e inclui suporte para gráficos.

Segundo Wiener e Pinson (1991) a linguagem C proporciona

todas as condições relacionadas ao novo paradigma da programação orientada para o objeto.

Seria importante um sistema especialista nos moldes apresentados neste trabalho que anexasse as vantagens da "shell" KAPPA e da linguagem C.

8.3.4. Modelagem do Conhecimento sobre Argamassa Armada

Sugere-se que o conhecimento técnico sobre a confecção do material em si, a argamassa armada, seja alvo de um estudo para ver da possibilidade de modelar o conhecimento sobre a preparação do material que vai ser utilizado para a feitura das peças pré-moldadas.

Dados referentes ao conhecimento dos peritos, tais como traço, dosagem de material, testes de resistência, etc. podem ser modelados com o objetivo de montar uma base de conhecimento, podendo posteriormente fazer parte de um sistema especialista.

GLOSSÁRIO

ASCII - American National Code for Information Exchange.

backward reasoning - procedimentos de procura no qual começa-se pelo estado desejado do problema, prosseguindo na direção do estado atual.

banco de conhecimento - conjunto de informações sobre fatos e regras de inferência utilizados pelos sistemas especialistas.

classe - descrição resumida de um ou mais objetos similares (Stefik e Bobrow, 1986) citado por (Formoso, 1991).

conhecimento - em inteligência artificial pode-se entender crenças, regras heurísticas e em um sentido mais amplo, pode-se entender como sendo apropriação do objeto pelo pensamento, como quer que se conceba uma apropriação como definição, percepção, apreensão completa, análise, representação, etc. (Schneider et al, 1985).

espaços de estado - grafo implícito que representa todos os estados possíveis de um sistema e que possam ser procurados para encontrar uma solução de um certo problema (Schneider et al, 1985).

explosão combinatória - quantidade excessiva de estados gerados ao fazer uma procura dentro do espaço de estados.

forward reasoning - procedimento de procura que começa no estado atual e prossegue em direção ao estado desejado.

frame - um tipo de representação do conhecimento que associa uma ou mais características com um objeto, utilizando "slots" e seus valores particulares.

heurística - método para resolução de problemas por raciocínio

indutivo, avaliando experiências passadas.

job shop - é definido como um problema de programação onde a seleção de uma sequência de operações resulta na conclusão de uma ordem, de tempos determinados de início e fim, bem como dos recursos necessários para cada operação.

linguagem natural - linguagens usadas pelos seres humanos para se comunicar entre si.

lógica de predicado - formalismo baseado em lógica usado em vários sistemas especialistas para representar conhecimento e fazer inferências lógicas.

mecanismo de inferências - interpretador de regras usado para aplicar informações armazenadas num banco de conhecimento para resolver problemas.

objetos - entidades que combinam os atributos de procedimentos e dados. Eles armazenam dados em variáveis, e respondem mensagens para executar os procedimentos (Stefik e Bobrow, 1986) citado por (Formoso, 1991).

programação com objeto orientado - técnicas de programação que têm objetos como elementos primitivos. Todas as ações na programação orientada são provenientes de mensagens entre os objetos (Formoso, 1991).

regra de produção - forma de representação do conhecimento. Ver sistemas de produção.

representação do conhecimento - a combinação de uma estrutura de dados e um procedimento de interpretação que é usada dentro do sistema para melhorar o seu comportamento inteligente (Schneider et al, 1985).

representação do conhecimento híbrida - estrutura de representação do conhecimento que integra mais do que um tipo de formalismo,

tais como: regras de produção e "frames".

session - tela do sistema, programada e apresentada ao usuário, com a finalidade de interação entre o sistema e o usuário final.

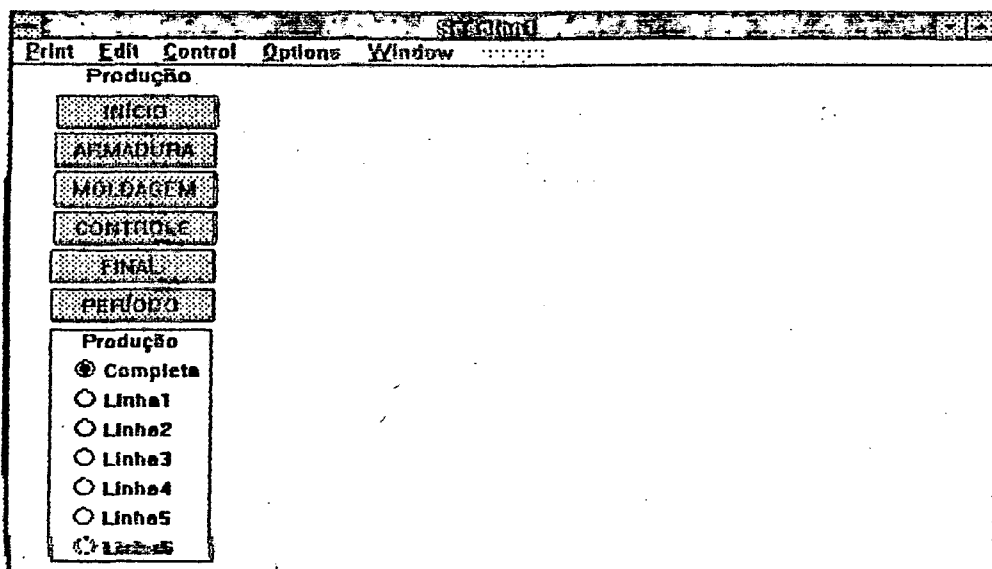
shed - os sheds são peças que proporcionam a circulação de ar e a iluminação natural para os diferentes compartimentos do edifício.

sistemas de produção - sistemas de solução de problemas baseados em pares do tipo condição-ação chamadas regras de produção (Schneider et al, 1985).

slot - atributo de um objeto num "frame". Pode corresponder a características intrínsecas, como nome ou representar atributos com valores.

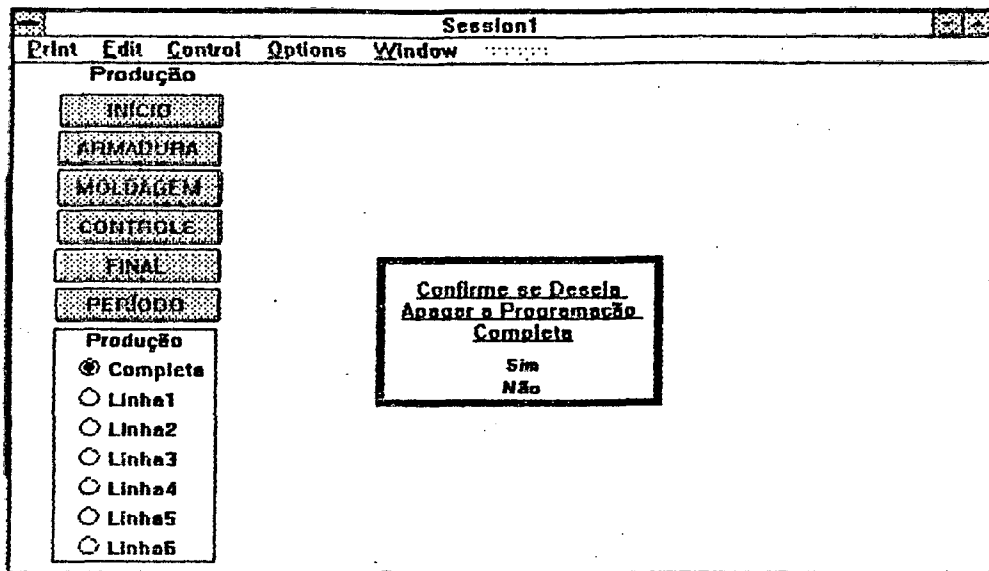
ANEXO A: SEÇÕES DE CONSULTA AO SISTEMA

Este anexo apresenta algumas seções de consulta aos quatro módulos do sistema, que são: Módulo de Inicialização, Módulo de Armadura, Módulo de Moldagem e Módulo de Controle de Qualidade. As seções são apresentadas através da seqüência das telas do sistema. Para exemplificar este processo são apresentadas consultas para um dia a cada um dos módulos, incluindo as partes de programação diária, programação por período e gráficos.



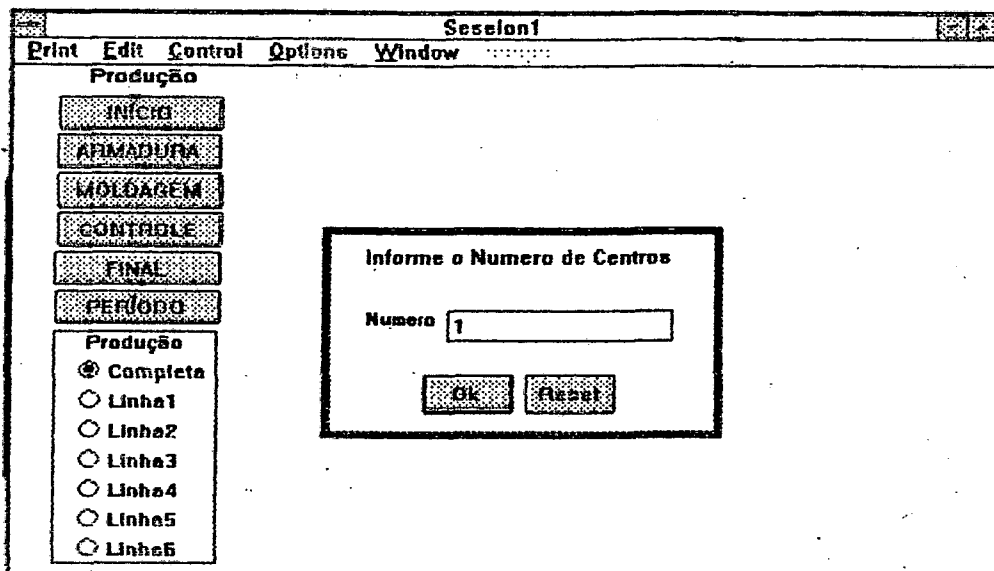
Tela 1

Nota: Esta é a tela inicial de escolhas de opção para as consultas aos módulos do sistema. A tela apresenta no lado esquerdo 6 botões, que executam as funções correspondentes aos vários módulos. A utilidade de cada um destes botões é explicada no decorrer desta consulta. Na parte inferior da tela se encontra o quadro de opções de linhas de produção que compõem os processos. Além das seis linhas de produção, que podem ser escolhidas para a consulta, existe a opção 'Completa', onde a programação apresentada será para todas as peças pré-moldadas de argamassa armada.



Tela 2

Nota: O botão 'INICIO' é pressionado, neste ponto aparece o quadro, onde a opção 'Sim' é escolhida.



Tela 3

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLO

FINAL

PERÍODO

Produção

Comple

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Informe o Rendimento HH/Kg de Armadura

Rendimento 0.10 .. 1

Tela 4

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLO

FINAL

PERÍODO

Produção

Comple

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Informe o Rendimento HH/Ton de Moldagem

Rendimento 6 .. 30

Tela 5

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Informe o Rendimento HH/Ton de Controla do Qualidade

Rendimento 16 10 .. 140

OK Reset

Produção

Comple

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Tela 6

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Informe o Índice de Aproveitamento das Formas

Índice 2 0 .. 10

OK Reset

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

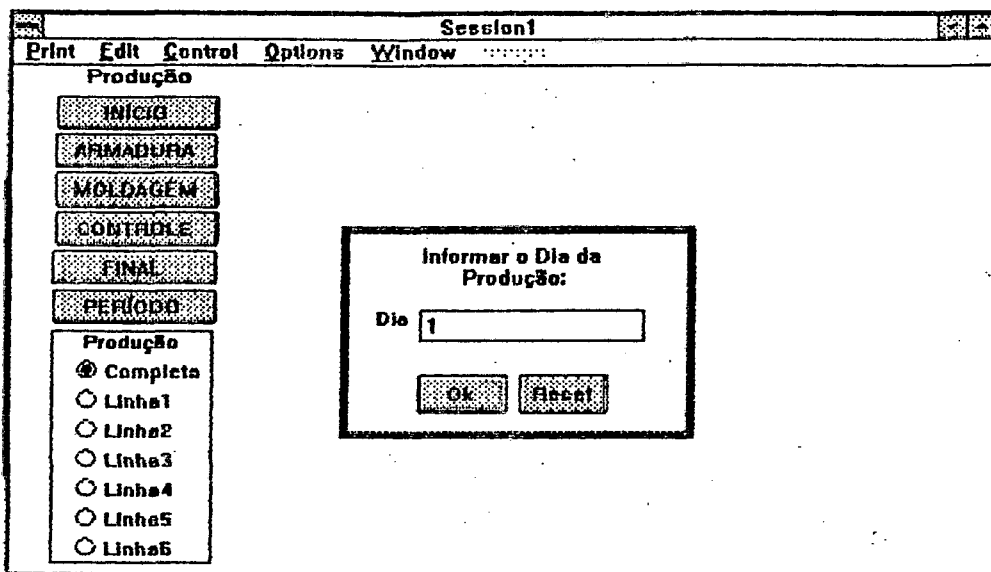
Linha4

Linha5

Linha6

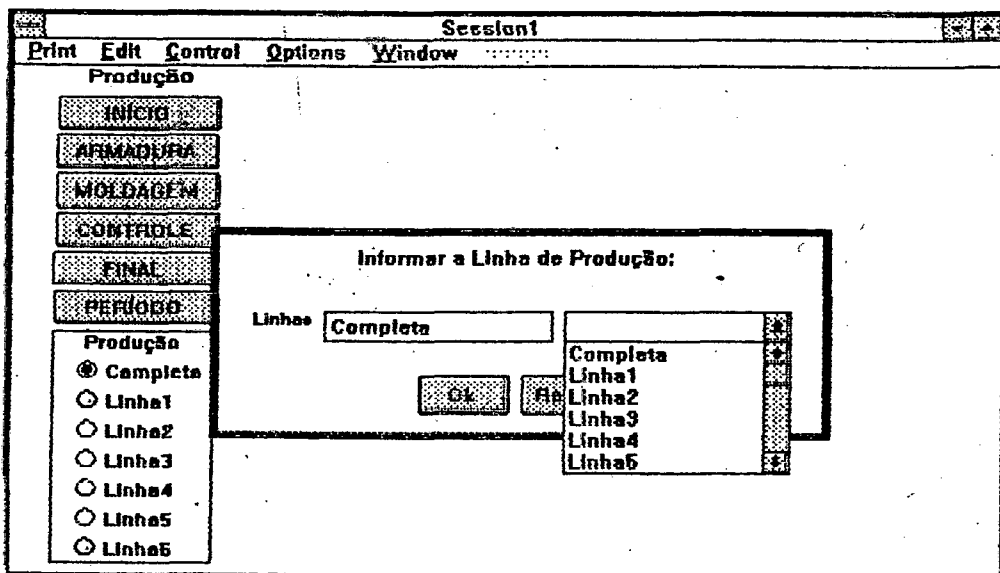
Tela 7

Nota: Término do Módulo de Inicialização



Tela 8

Nota: Início da Programação Diária do Módulo de Armadura.
 Pressionar o Botão 'ARMADURA'.



Tela 9

Nota: Confirmar 'Completa'.

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Desaja Informar
Equipes

Sim

Nao

Tela 10

Nota: Escolher 'Sim'.

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

No. de Equipes para as 6 Linhas

EquipesLinha1 2

EquipesLinha2 2

EquipesLinha3 2

EquipesLinha4 2

EquipesLinha5 2

EquipesLinha6 2

Ok

Fechar

Tela 11

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

No. de Homens/Equipe para as 6 Linhas

HomensLinha1

HomensLinha2

HomensLinha3

HomensLinha4

HomensLinha5

HomensLinha6

Tela 12

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Informar a Quantidade de Kg de Aço

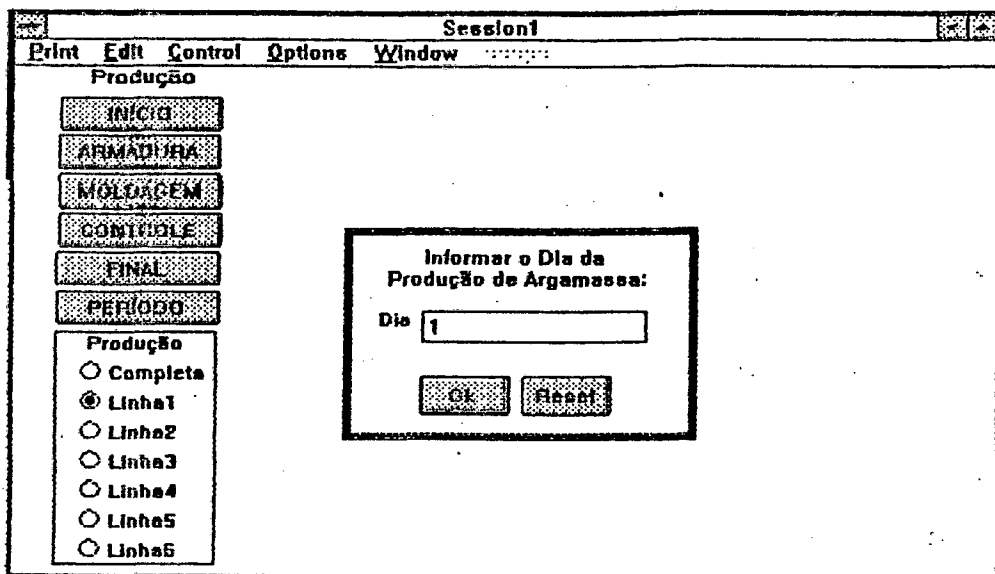
Quantidade

Tela 13

Produção					
Armadura para o Dia 1			Completa		
PEÇA	Unid Dia	Unid Total	Kg Dia	Kg Total	
FRS	27	27	315.9	315.9	
FDT	15	15	76.2	76.2	
CDT	15	15	79.2	79.2	
CD5	4	4	10.44	10.44	
ITRC	100	100	398	398	
ITRCB	12	12	83.28	83.28	
ITRT	119	119	564.06	564.06	
ITRB	2	2	13.2	13.2	
VAR	25	25	110.5	110.5	
SDC	27	27	121.5	121.5	
SDPS	27	27	118.8	118.8	
SIT	27	27	145.8	145.8	
FRB	14	14	113.4	113.4	
FRT	118	119	693.81	693.81	
PLTT	15	15	380.25	380.25	
V510C	5	5	267	267	
V55C	3	3	81	81	
V1082C	7	7	456	456	
V1083C	1	1	69	69	
		TOTAIS	TOTAIS		
Unid Dia:		564	Un. Período:		564
Kg Dia:		3996.74	Kg Período:		3996.74

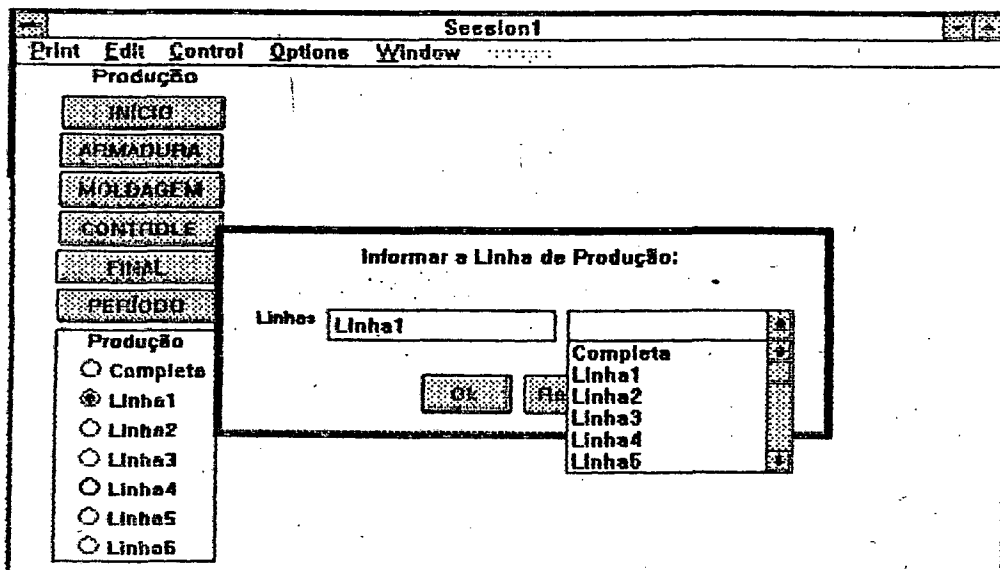
Tela 14

Nota: Término da Programação Diária do Módulo de Armadura.



Tela 15

Nota: Início da Programação Diária do Módulo de Moldagem.



Tela 16

Nota: Pressionar o Botão 'MOLDAGEM'.

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

APIMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

No. de Equipes e No. de Homens/Equipe Linha1

Equipes

Homens

OK Reset

Tela 17

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

APIMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Confirme os Valores de Disponibilidade em Kg para

Produção

Distribuição

MesaVibratória

OK Reset

Tela 18

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Confirme os Valores de Disponibilidade de Volume

TranspMesaVibratória

TQCura1

TQCura2

Tela 19

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Confirme os Numeros das Formas

FAS

FDT

CDT

CD5

Tela 20

Session1				
Print Edit Control Options Window				
Produção		Moldagem para o Dia 1		Linha1
INICIO	PEÇA	Unid Dia	Unid Total	Kg Dia
ARMADURA	FRS	14	14	1685.2
MOLDAGEM	FDT	2	2	165.84
CONTÁBIL	CDT	2	2	165.44
FINAL	CDS	0	0	0
PERÍODO				
Produção				
<input type="radio"/> Completa				
<input checked="" type="radio"/> Linha1				
<input type="radio"/> Linha2				
<input type="radio"/> Linha3				
<input type="radio"/> Linha4				
<input type="radio"/> Linha5				
<input type="radio"/> Linha6				
	TOTAIS			TOTAIS
	Unid Dia: 18			Un. Período: 18
	Kg Dia: 1937.48			Kg Período: 1937.48

Tela 21

Nota: Programação Diária do Módulo de Moldagem para 1a. Linha, onde UnidDia, UnidPeríodo, KgDia e KgPeríodo representam unidades feitas por dia, por período, Kg feitos por dia e por período.

Session1	
Print Edit Control Options Window	
Produção	
INICIO	<p>Informar a Linha de Produção:</p> <p>Linhas <input type="text" value="Linha2"/> <input type="text"/></p> <p><input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancelar"/></p>
ARMADURA	
MOLDAGEM	
CONTÁBIL	
FINAL	
PERÍODO	
Produção	
<input type="radio"/> Completa	
<input type="radio"/> Linha1	
<input checked="" type="radio"/> Linha2	
<input type="radio"/> Linha3	
<input type="radio"/> Linha4	
<input type="radio"/> Linha5	
<input type="radio"/> Linha6	

Tela 22

Nota: Pressionar o Botão 'MOLDAGEM'.

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

AFIMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

No. de Equipes e No. do Homens/Equipe Linha2

Equipes

Homens

OK Cancel

Tela 23

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

AFIMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Confirme os Valores de Disponibilidade em Kg para

Produção

Distribuição

MesaVibrotória

OK Cancel

Tela 24

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha5

Confirme os Valores de Disponibilidade do Volume

TranspMeadVibratória

TQCura1

TQCura2

Tela 25

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha5

Confirme os Numeros das Formas

ITRC

ITRCB

ITRT

ITRB

VAR

Tela 26

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção		Moldagem para o Dia 1		Linha2	
PEÇA	Unid Dia	Unid Total	Kg Dia	Kg Total	
ITRC	19	19	1292.38	1292.38	
ITRCB	0	0	0	0	
ITRT	39	39	1687.14	1687.14	
ITRB	0	0	0	0	
VAR	0	0	0	0	
TOTAIS			TOTAIS		
Unid Dia: 76			Un. Período: 76		
Kg Dia: 4917			Kg Período: 4917		

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Tela 27

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Informar a Linha de Produção:

Linha:

Tela 28

Nota: Pressionar o Botão 'MOLDAGEM'.

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

WELDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

No. de Equipes e No. de Homens/Equipe Linha3

Equipes

Homens

OK Cancel

Tela 29

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

WELDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Confirme os Valores de Disponibilidade em Kg para

Produção

Distribuição

MesaVibratória

OK Cancel

Tela 30

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Confirme os Valores de Disponibilidade de Volume

TranspMesaVibratória

TQCura1

TQCura2

Ok Reset

Tela 31

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Confirme os Numeros das Formas

SDC

SDPS

SIT

Ok Reset

Tela 32

Print Edit Control Options Window

Produção		Moldagem para o Dia 1		Linha3	
PEÇA	Unid Dia	Unid Total	Kg Dia	Kg Total	
SDC	9	9	1003.6	1003.6	
SDPS	9	9	923.4	923.4	
SIT	8	8	1012.8	1012.8	
		TOTAIS		TOTAIS	
Unid Dia: 102		Un. Período: 102		Kg Período: 7856.7	
Kg Dia: 7856.7				Kg Período: 7856.7	

Produção

INÍCIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Tela 33

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção	
INÍCIO	
ARMADURA	
MOLDAGEM	
CONTROLE	
FINAL	
PERÍODO	
Produção	
<input type="radio"/> Completa	
<input type="radio"/> Linha1	
<input type="radio"/> Linha2	
<input type="radio"/> Linha3	
<input checked="" type="radio"/> Linha4	
<input type="radio"/> Linha5	
<input type="radio"/> Linha6	

Informar a Linha de Produção:

Linha:

Tela 34

Nota: Pressionar o Botão 'MOLDAGEM'.

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

No. de Equipes e No. de Homens/Equipe Linha4

Equipes

Homens

OK Cancel

Tela 35

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Confirme os Valores de Disponibilidade em Kg para

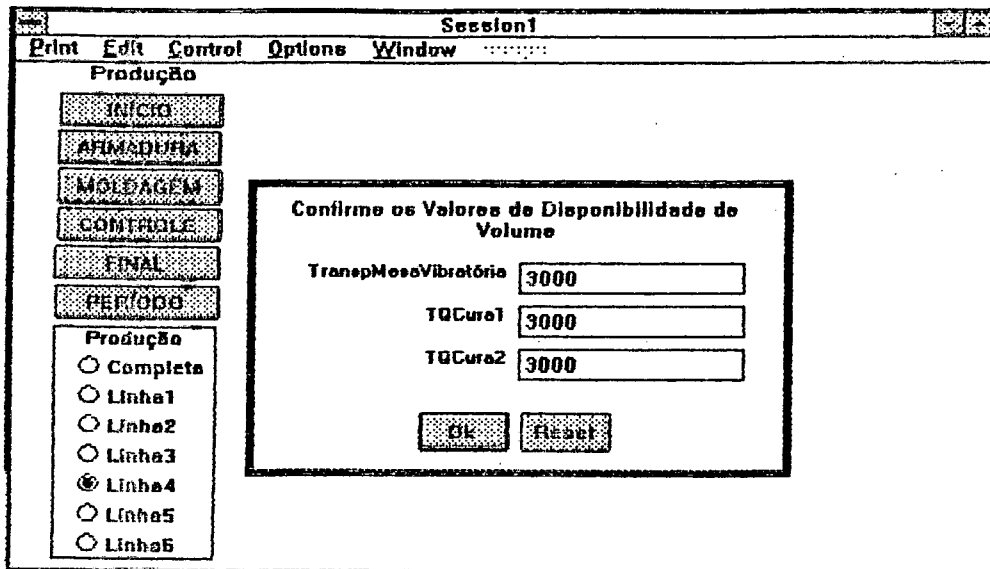
Produção

Distribuição

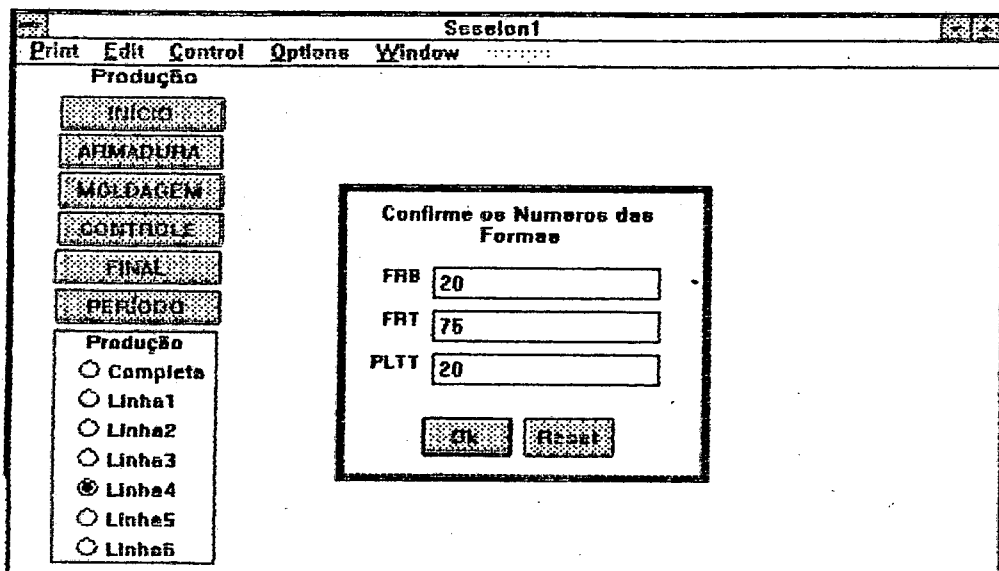
MesaVibratória

OK Cancel

Tela 36



Tela 37



Tela 38

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

		Moldagem para o Dia 1		Linha4	
PEÇA	Unid Dia	Unid Total	Kg Dia	Kg Total	
FR8	0	0	0	0	
FRT	38	38	2926.38	2926.38	
PLTT	0	0	0	0	
		TOTAIS		TOTAIS	
Unid Dia: 140				Un. Período: 140	
Kg Dia: 10783.08				Kg Período: 10783.08	

Tela 39

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Informar a Linha de Produção:

Linha

OK Cancel

Tela 40

Nota: Pressionar o Botão 'MOLDAGEM'.

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

No. de Equipes e No. de Homens/Equipe Linha5

Equipes:

Homens:

OK Reset

Tela 41

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Confirme os Valores de Disponibilidade em Kg para

Produção:

Distribuição:

MosaVibretório:

OK Reset

Tela 42

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Confirme os Valores de Disponibilidade de Volume

TranspMesaVibratória

TQCura1

TQCura2

Tela 43

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Confirme os Numeros das Formas

VS10C

VS5C

Tela 44

Produção					
		Moldagem para o Dia 1		Linha5	
INICIO	PEÇA	Unid Dia	Unid Total	Kg Dia	Kg Total
ARMADURA	V510C	4	4	2040	2040
MOLDAGEM	V56C	2	2	556	556
CONTROLE					
FINAL					
PERÍODO					
Produção					
<input type="radio"/> Completa					
<input type="radio"/> Linha1					
<input type="radio"/> Linha2					
<input type="radio"/> Linha3					
<input type="radio"/> Linha4					
<input checked="" type="radio"/> Linha5					
<input type="radio"/> Linha6					
			TOTAIS	TOTAIS	
Unid Dia: 145		Kg Dia: 13379.08		Un. Período: 145	
				Kg Período: 13379.08	

Tela 45

Session1	
Produção	
INICIO	<p>Informar a Linha de Produção:</p> <p>Linha: <input type="text" value="Linha6"/> <input type="button" value="▼"/></p> <p><input type="button" value="Ok"/> <input type="button" value="Cancel"/></p>
ARMADURA	
MOLDAGEM	
CONTROLE	
FINAL	
PERÍODO	
Produção	
<input type="radio"/> Completa	
<input type="radio"/> Linha1	
<input type="radio"/> Linha2	
<input type="radio"/> Linha3	
<input type="radio"/> Linha4	
<input checked="" type="radio"/> Linha5	
<input type="radio"/> Linha6	

Tela 46

Nota: Pressionar o Botão 'MOLDAGEM'.

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

No. de Equipes e No. do Homens/Equipe Linha6

Equipes

Homens

Tela 47

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

Confirme os Valores de Disponibilidade em Kg para

Produção

Distribuição

MesaVibratória

Tela 48

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

Início

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Confirme os Valores de Disponibilidade de Volume

TranspMecaVibratória

TQCura1

TQCura2

Ok Cancel

Tela 49

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

Início

ARMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Confirme os Numeros das Formas

V10B2C

V10B3C

Ok Cancel

Tela 50

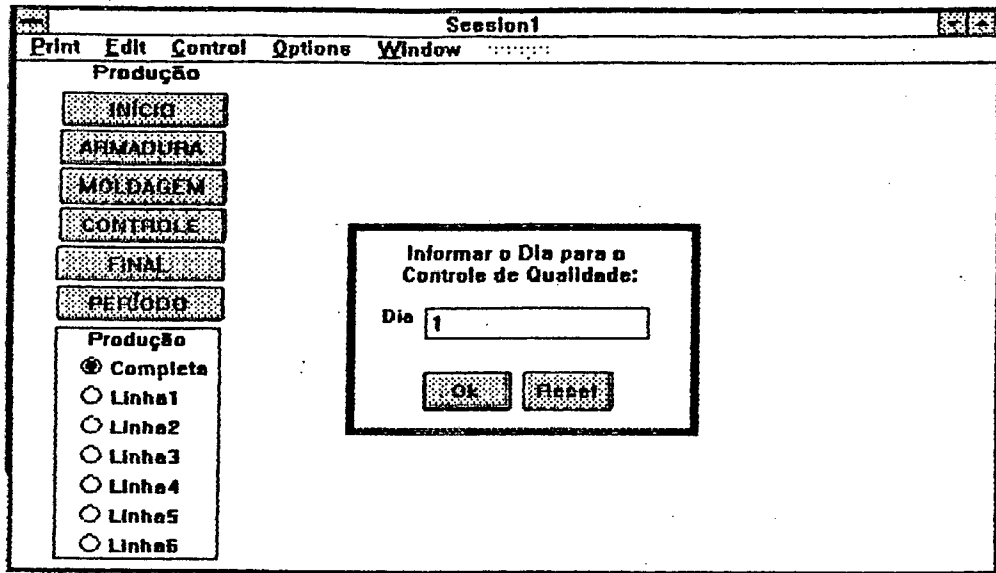
Print Edit Control Options Window					
Produção		Moldagem para o Dia 1			Linha6
<input checked="" type="checkbox"/> INICIO	PEÇA	Unid Dia	Unid Total	Kg Dia	Kg Total
<input type="checkbox"/> ARMADURA	V1082C	6	6	3840	3840
<input type="checkbox"/> MOLDAGEM	V1083C	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> CONTROLE					
<input type="checkbox"/> FINAL					
<input type="checkbox"/> PERÍODO					
Produção					
<input type="checkbox"/> Completa					
<input type="checkbox"/> Linha1					
<input type="checkbox"/> Linha2					
<input type="checkbox"/> Linha3					
<input type="checkbox"/> Linha4					
<input type="checkbox"/> Linha5					
<input checked="" type="checkbox"/> Linha6					
		TOTAIS		TOTAIS	
		Unid Dia: 152		Un. Período: 152	
		Kg Dia: 17219.08		Kg Período: 17219.08	

Tela 51

Print Edit Control Options Window					
Produção		Argamassa para o Dia 1			Completa
<input checked="" type="checkbox"/> INICIO	PEÇA	Unid Dia	Unid Total	Kg Dia	Kg Total
<input type="checkbox"/> ARMADURA	FRS	14	14	1588.2	1588.2
<input type="checkbox"/> MOLDAGEM	FDT	2	2	165.84	165.84
<input type="checkbox"/> CONTROLE	CDT	2	2	185.44	185.44
<input type="checkbox"/> FINAL	CD5	0	0	0	0
<input type="checkbox"/> PERÍODO	ITRC	19	19	1292.38	1292.38
Produção					
<input checked="" type="checkbox"/> Completa					
<input type="checkbox"/> Linha1					
<input type="checkbox"/> Linha2					
<input type="checkbox"/> Linha3					
<input type="checkbox"/> Linha4					
<input type="checkbox"/> Linha5					
<input type="checkbox"/> Linha6					
		TOTAIS		TOTAIS	
		Unid Dia: 152		Un. Período: 152	
		Kg Dia: 17219.08		Kg Período: 17219.08	

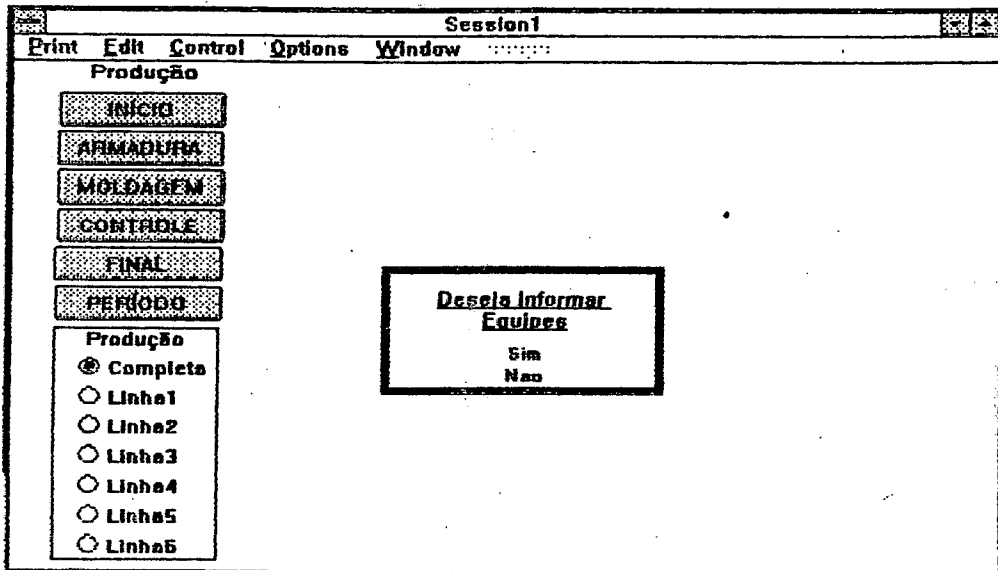
Tela 52

Nota: Programação Completa para o Dia 1.



Tela 53

Nota: Início do Modulo de Controle de Qualidade. Pressionar o Botão 'CONTROLE'.



Tela 54

Nota: Escolher o Opção 'Sim'.

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

AFIMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

No. do Equipes para as 6 Linhas

EquipesLinha1

EquipesLinha2

EquipesLinha3

EquipesLinha4

EquipesLinha5

EquipesLinha6

OK Reset

Tela 55

Session1

Print Edit Control Options Window

Produção

INICIO

AFIMADURA

MOLDAGEM

CONTROLE

FINAL

PERÍODO

Produção

Completa

Linha1

Linha2

Linha3

Linha4

Linha5

Linha6

No. de Homens/Equipe para as 6 Linhas

HomensLinha1

HomensLinha2

HomensLinha3

HomensLinha4

HomensLinha5

HomensLinha6

OK Reset

Tela 56

Sistema					
Produção		Controle de Qualidade - Dia 1		Completa	
PEÇA	Unid Dia	Unid Total	Kg Dia	Kg Total	
FRS	13	13	1625	1625	
FDT	0	0	0	0	
COT	0	0	0	0	
CD5	0	0	0	0	
ITRC	10	10	1298	1298	
ITRCB	0	0	0	0	
ITRT	38	38	1824	1824	
ITRB	0	0	0	0	
VAR	0	0	0	0	
SDC	8	8	828	828	
SDPS	8	8	856	856	
SIT	7	7	824	824	
FRB	0	0	0	0	
FRT	37	37	3034	3034	
PLTT	0	0	0	0	
V510C	2	2	1128	1128	
V85C	0	0	0	0	
V10B2C	4	4	2820	2820	
V10B3C	0	0	0	0	
		TOTAIS	TOTAIS		
Unid Dia:		135	Un. Período:	135	
Kg Dia:		14435	Kg Período:	14435	

Tela 57

Nota: Programação para o Módulo de Controle de Qualidade.

Produção de Armaduras para o Período 1								
PEÇA	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid
	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia
FRS	27	20	28	25	27	24	0	0
FDT	16	12	10	12	14	13	0	0
CDT	15	10	5	12	12	12	0	0
CD5	4	3	0	3	4	3	0	70
ITRC	100	80	90	100	80	0	0	0
ITRCB	12	8	8	12	12	0	0	7
ITRT	119	108	120	115	108	0	0	80
ITRB	2	0	0	1	2	0	0	0
VAR	25	22	24	22	23	0	0	18
SDC	27	23	25	23	23	0	0	0
SDPS	27	25	25	24	25	0	0	0
SIT	27	20	25	25	27	0	0	0
FRB	14	13	15	13	13	12	0	0
FRT	119	110	122	120	115	90	0	0
PLTT	15	12	18	12	14	10	0	0
V510C	5	4	6	4	4	0	0	0
V55C	3	3	7	3	2	0	0	0
V10B2C	7	6	6	7	8	0	0	0
V10B3C	1	0	0	1	2	0	0	0
TOTAL	584	478	538	534	511	164		175

Tela 58

Nota: Pressionar o Botão 'ARMADURA' e Escolher a Programação em Unidades.

Produção de Armaduras para o Período 1								
PEÇA	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia
FRS	315.9	234	327.8	292.5	315.8	280.8	0	0
FDT	76.2	60.86	60.8	60.86	71.12	66.04	0	0
CDT	79.2	52.8	28.4	83.38	63.36	63.36	0	0
CD5	10.44	7.83	13.05	7.83	10.44	7.83	0	0
ITRC	398	318.4	358.2	398	318.4	0	0	278.6
ITRCB	83.28	83.82	85.82	83.28	83.28	0	0	48.68
ITRT	584.08	511.92	568.8	545.1	611.92	0	0	379.2
ITRB	13.2	0	0	6.6	13.2	0	0	0
VAR	110.5	97.24	106.08	97.24	101.66	0	0	79.58
SDC	121.5	103.5	112.5	103.5	103.5	0	0	0
SDPS	118.8	110	110	105.6	110	0	0	0
SIT	146.8	108	135	136	145.8	0	0	0
FRB	113.4	105.3	121.5	105.3	105.3	97.2	0	0
FRT	593.81	548.9	608.78	688.8	573.85	449.1	0	0
PLTT	380.25	304.2	458.3	304.2	354.9	253.5	0	0
V510C	267	213.6	320.4	213.6	213.6	0	0	0
V55C	81	81	189	81	54	0	0	0
V10B2C	465	380	325	465	520	0	0	0
V10B3C	69	0	0	69	139	0	0	0
TOTAL	3596.34	3303.17	3684.93	3725.87	3808.23	1217.83		785.94

Tela 59

Nota: Pressionar o Botão 'ARMADURA' e Escolher a Programação em Kg.

Produção de Armaduras para o Período 2								
PEÇA	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid
	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia
ARMADURA	FRS	38	38	30	37	39	42	0
MOLDAGEM	FDT	18	18	22	20	18	16	0
	CDT	19	18	20	22	19	15	0
CONTROLE	CD5	6	6	8	7	5	4	0
	ITRC	125	127	128	130	122	0	120
	ITRCB	10	14	13	16	18	0	20
FINAL	ITRT	149	148	148	150	146	0	148
	ITRB	3	4	3	2	4	0	2
GRAFICO	VAR	32	30	31	39	36	0	30
	SDC	38	36	38	38	40	8	41
	SDPS	38	38	38	36	40	0	42
	SIT	38	38	39	39	43	0	42
	FRB	19	21	22	15	17	19	0
	FRT	148	150	146	144	144	152	0
	PLTT	19	20	21	22	21	22	0
	V510C	6	7	6	6	6	7	0
	V55C	9	2	9	4	4	3	0
	V10B2C	8	8	10	11	10	12	0
	V10B3C	5	5	4	3	4	5	0
	TOTAL	725	725	730	734	734	297	443

Tela 60

Nota: Pressionar o Botão 'ARMADURA' e Escolher a Programação em Unidades.

Produção de Armaduras para o Período 2								
PEÇA	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia
ARMADURA	FRS	421.2	421.2	351	432.9	456.3	491.4	0
MOLDAGEM	FDT	91.44	96.62	111.76	101.6	91.44	81.28	0
	CDT	100.32	95.04	105.6	116.16	100.32	79.2	0
CONTROLE	CD5	13.06	16.66	20.88	18.27	13.06	10.44	0
	ITRC	497.5	505.48	509.44	517.4	495.56	0	477.8
	ITRCB	104.1	87.16	90.22	111.04	124.92	0	138.8
FINAL	ITRT	706.28	692.04	701.52	711	697.3	0	692.04
	ITRB	19.8	26.4	19.8	13.2	28.4	0	13.2
GRAFICO	VAR	141.44	132.8	137.02	145.88	154.7	0	132.8
	SDC	171	162	171	171	180	0	184.6
	SDPS	167.2	167.2	167.2	158.4	176	0	184.8
	SIT	205.2	205.2	210.6	210.6	232.2	0	226.8
	FRB	153.9	170.1	178.2	121.5	137.7	153.9	0
	FRT	738.82	748.6	728.54	718.66	718.58	758.48	0
	PLTT	481.85	507	532.35	557.7	632.35	557.7	0
	V510C	320.4	373.8	320.4	267	320.4	373.8	0
	V55C	81	54	81	108	108	81	0
	V10B2C	686	620	660	716	650	780	0
	V10B3C	345	345	278	207	276	345	0
	TOTAL	5343.98	5334.88	5362.53	5402.19	5471.2	3712.2	2050.34

Tela 61

Nota: Pressionar o Botão 'ARMADURA' e Escolher a Programação em Kg.

Produção de Argemassa para o Período 1								
PEÇA	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid
	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia
FRS	14	25	27	28	26	23	23	0
FDT	2	10	14	10	14	14	14	0
CDT	2	12	14	13	11	11	11	0
CD5	0	2	4	5	3	1	1	0
ITRC	19	90	98	92	97	0	0	90
ITRCB	0	10	10	10	11	0	0	7
ITRT	29	110	102	105	108	0	0	62
ITRB	0	2	0	1	1	0	0	0
VAR	0	25	23	24	20	0	0	22
SDC	9	26	26	26	23	0	0	0
SDPS	9	26	27	25	24	0	0	0
SIT	8	27	26	20	20	0	0	0
FRB	0	14	13	15	14	12	12	0
FRT	38	110	120	120	115	98	98	0
PLTT	0	15	13	17	16	11	11	0
V510C	4	4	6	4	4	0	0	0
V55C	2	4	3	5	3	0	0	0
V1082C	6	6	8	6	5	0	0	0
V1083C	0	1	1	0	2	0	0	0
TOTAL	152	519	535	524	616	170	201	

Tela 62

Nota: Pressionar o Botão 'MOLDAGEM' e Escolher a Programação em Unidades.

Produção de Argemassa para o Período 1								
PEÇA	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia
FRS	1586.2	2832.5	3055.1	3172.4	2945.8	2605.9	2605.9	0
FDT	166.84	829.2	1160.88	828.2	1160.88	1160.88	1160.88	0
CDT	185.44	1112.64	1298.08	1205.36	1019.82	1019.82	1019.82	0
CD5	0	92.78	185.56	231.85	139.17	46.39	46.39	0
ITRC	1292.98	8121.8	8685.98	6257.84	6587.94	0	0	6121.8
ITRCB	0	670.6	670.6	670.6	737.88	0	0	468.42
ITRT	1687.14	4758.6	4412.52	4542.3	4672.08	0	0	3547.32
ITRB	0	160.8	0	80.4	80.4	0	0	0
VAR	0	1164.5	1071.94	1117.92	931.6	0	0	1024.78
SDC	1003.5	2899	2899	2787.5	2564.5	0	0	0
SDPS	923.4	2667.8	2770.2	2565	2452.4	0	0	0
SIT	1012.0	3418.2	3291.6	2532	2532	0	0	0
FRB	0	1230.8	1142.7	1318.5	1230.6	1054.8	1054.8	0
FRT	2926.38	8471.1	9241.2	9241.2	8858.15	7546.98	7546.98	0
PLTT	0	1914.75	1659.45	2170.05	1914.75	1404.15	1404.15	0
V510C	2040	2040	3060	2040	2040	0	0	0
V55C	558	1112	834	1390	834	0	0	0
V1082C	3840	3840	6120	3200	3200	0	0	8
V1083C	0	889	889	0	1378	0	0	0
TOTAL	17219.08	46025.87	49231.19	45952.22	45287.86	14839.02	11183.3	

Tela 63

Nota: Pressionar o Botão 'MOLDAGEM' e Escolher a Programação em Kg.

Produção								
Produção de Argemassa para o Período 2								
PEÇA	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid	Unid
	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia
FRS	35	38	30	35	38	42	0	0
FDT	18	17	20	20	18	16	0	0
CDT	17	15	18	20	18	14	0	0
CD5	4	7	7	6	8	4	0	0
ITRC	120	125	123	130	124	0	118	0
ITRCB	12	13	12	18	15	0	19	0
ITRT	142	143	140	148	146	0	148	0
ITRB	2	3	4	2	5	0	2	0
VAR	30	27	30	32	34	0	28	0
SDC	36	36	37	37	40	0	40	0
SDPS	37	34	37	36	40	0	43	0
SIT	36	36	37	39	42	0	43	0
FRB	18	20	20	18	18	10	0	0
FRT	148	148	143	140	135	150	0	0
PLTT	17	19	19	23	20	21	0	0
V510C	6	7	6	4	5	6	0	0
V55C	3	2	3	4	3	3	0	0
V1082C	8	7	9	8	7	12	0	0
V1083C	4	5	4	3	3	6	0	0
TOTAL	693	698	698	718	717	292	439	0

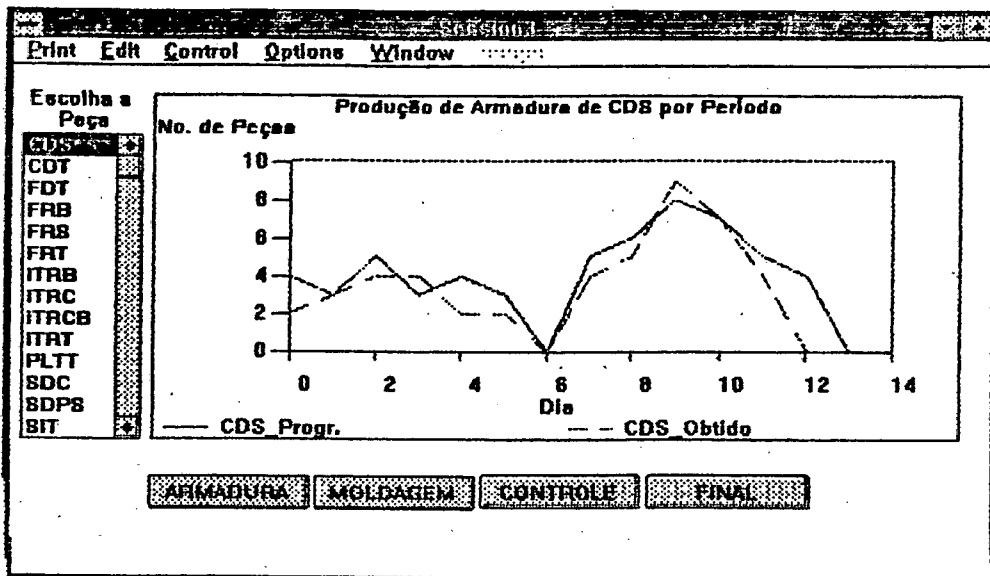
Tela 64

Nota: Pressionar o Botão 'MOLDAGEM' e Escolher a Programação em Unidades.

Produção								
Produção de Argemassa para o Período 2								
PEÇA	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia	Dia
FRS	3985.5	4078.8	3999	3985.5	4305.4	4758.8	0	0
FDT	1492.66	1408.64	1668.4	1668.4	1452.58	1326.72	0	0
CDT	1578.24	1390.0	1868.98	1854.4	1668.86	1298.08	0	0
CD5	186.86	324.73	324.73	278.34	278.34	186.86	0	0
ITRC	8182.4	8502.5	8368.48	8842.8	8434.48	0	8026.36	0
ITRCB	804.72	871.78	804.72	1005.9	1005.9	0	1274.14	0
ITRT	8142.92	8188.18	8058.4	8402.48	6316.86	0	6315.98	0
ITRB	160.8	241.2	321.6	160.8	402	0	160.8	0
VAR	1397.4	1257.88	1397.4	1490.58	1583.72	0	1304.24	0
SDC	4014	3902.0	4126.6	4126.6	4460	0	4460	0
SDPS	3796.2	3488.4	3796.2	3693.6	4104	0	4411.8	0
SIT	4557.6	4431	4684.2	4937.4	5317.2	0	5443.8	0
FRB	1582.2	1758	1758	1406.4	1582.2	1582.2	0	0
FRT	11397.48	11397.48	11012.43	10781.4	10398.95	11551.5	0	0
PLTT	2170.05	2425.35	2425.35	2935.95	2663	2680.65	0	0
V510C	3060	3670	2660	2040	2550	3060	0	0
V55C	834	558	834	1112	834	834	0	0
V1082C	6120	4480	6760	6120	4480	7680	0	0
V1083C	2758	3445	2758	2067	2067	4134	0	0
TOTAL	63175.63	63717.02	63699.35	63878.23	63831.07	39091.31	31397.1	0

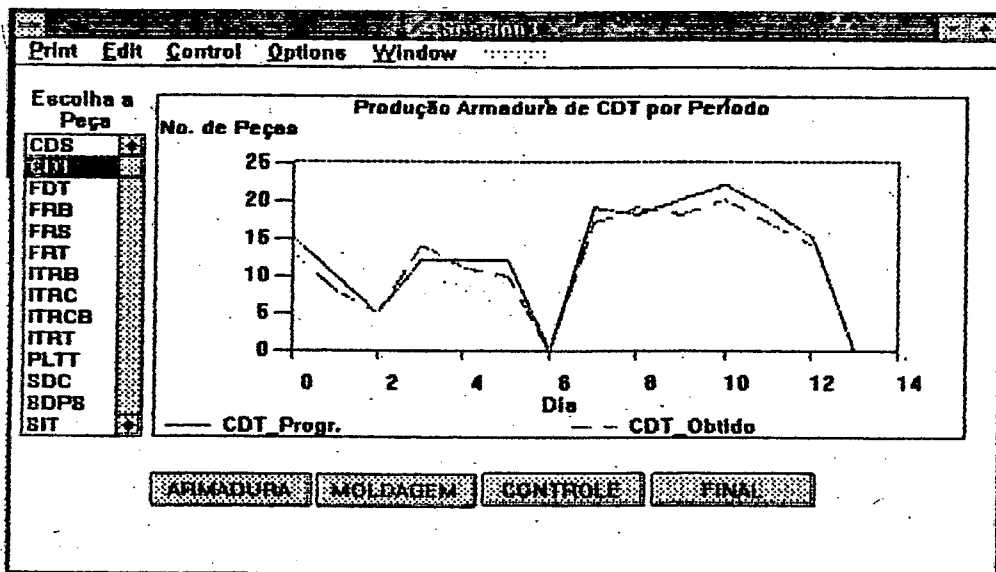
Tela 65

Nota: Pressionar o Botão 'MOLDAGEM' e Escolher a Programação em Kg.



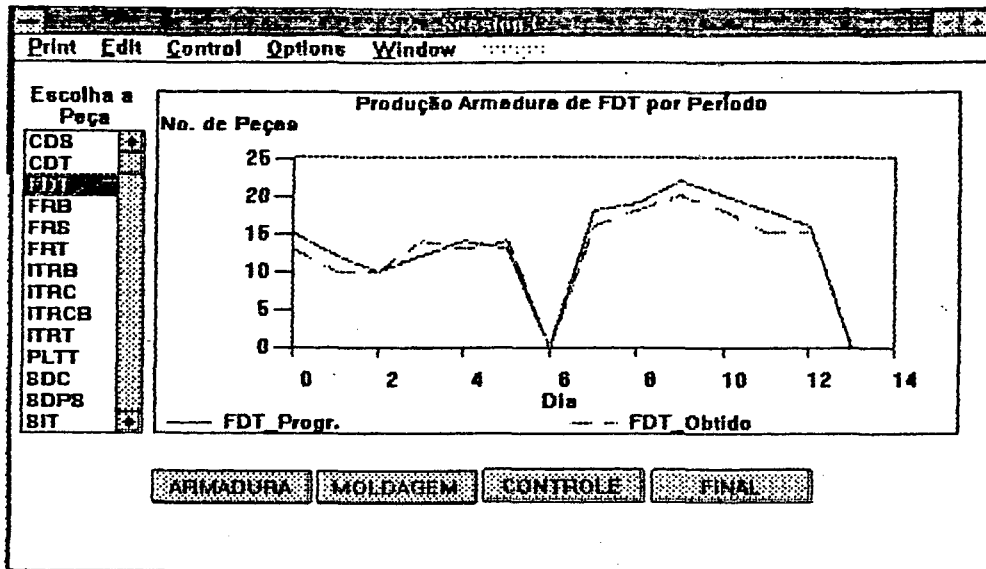
Tela 66

Nota: Escolher a Peça e Pressionar o Botão 'ARMADURA'.



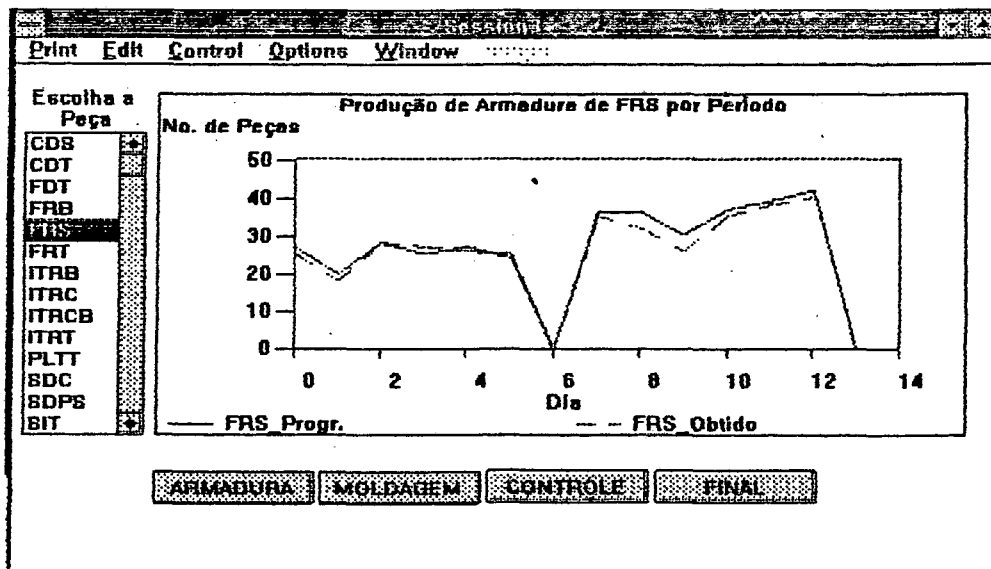
Tela 67

Nota: Escolher a Peça e Pressionar o Botão 'ARMADURA'.



Tela 68

Nota: Escolher a Peça e Pressionar o Botão 'ARMADURA'.



Tela 69

Nota: Escolher a Peça e Pressionar o Botão 'ARMADURA'.

ANEXO B - PROGRAMACAO DE PECAS OBTIDAS PELA FABRICA NO PERIODO DE TESTE (MOLDAGEM)

PECAS	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
FRB	0	12	13	12	10	8	0	15	20	20	13	15	15	0
FRS	27	25	26	26	20	20	0	35	30	28	34	38	42	0
FRT	36	107	118	118	110	80	0	145	145	145	130	130	145	0
ITRB	3	1	0	0	2	0	0	1	2	3	0	0	0	0
ITRC	102	90	98	96	86	0	80	118	124	120	120	122	0	80
ITRCB	14	9	10	10	11	0	5	10	11	11	11	11	0	12
ITRT	120	100	102	100	100	0	70	140	140	140	140	140	140	80
SDC	8	25	26	24	21	0	0	35	38	38	38	38	0	15
SDPS	8	23	27	21	22	0	0	38	38	30	35	34	0	12
SIT	7	28	26	17	18	0	0	32	38	35	30	40	0	14
VAR	27	24	23	20	18	0	18	30	31	32	31	32	0	12
V10B2C	6	6	8	5	5	0	0	8	7	8	8	7	12	0
V10B3C	0	1	1	0	2	0	0	4	5	4	3	3	6	0
VS10C	1	4	6	4	4	0	0	5	6	5	4	4	5	0
VS5C	2	4	7	5	3	0	0	3	2	3	4	3	3	0
FDI	15	9	14	11	14	10	0	18	15	15	15	14	13	0
CDT	14	10	14	9	10	10	0	15	15	15	15	18	15	0
CDS	6	1	2	4	2	0	0	2	5	5	6	6	4	0
PLTI	1	14	14	14	14	8	0	16	17	17	20	17	20	0

ANEXO C - EXEMPLOS DE FUNÇÕES E REGRAS DO SISTEMA

```

/*****
**** FUNCTION: CQLineCDS
*****/
MakeFunction( CQLineCDS, []
{
LinePlot1:Title = "Controle de CDS Por Período";
LinePlot1:YOwnerSlot1 = CQCDS;
LinePlot1:Legend1 = CDS_Progr.;
LinePlot1:YOwner1 = Lista;
LinePlot1:YOwner2 = Lista;
LinePlot1:YOwnerSlot2 = CCQCDS;
LinePlot1:Legend2 = CDS_Obtido;
ShowImage( LinePlot1 );
} );

/*****
**** FUNCTION: CQPeriodo
*****/
MakeFunction( CQPeriodo, []
{
PostInputForm( "Informar o Período da Produção:", Global:Periodo,
Periodo );
{
If ( Global:Periodo # 1 )
Then CQPeriodo( )
Else If ( Global:Periodo # 2 )
Then CQPeriodo_3( )
Else If ( Global:Periodo # 3 )
Then CQPeriodo_6( )
Else If ( Global:Periodo # 4 )
Then CQPeriodo_9( );
};
} );

/*****
**** FUNCTION: ArgDiaL5_1
*****/
MakeFunction( ArgDiaL5_1, [x].
{
DisplayText( Transcript0, FormatValue( " Kg \n" ) );
DisplayText( Transcript0, FormatValue( " Dia\n" ) );
DisplayText( Transcript0,
FormatValue( "\n %s\n",
GetNthElem( Lista:PMVS10C, x ) *
FRS:ArgPeso ) );
DisplayText( Transcript0,
FormatValue( "\n %s\n",
GetNthElem( Lista:PMVS5C, x ) *

```

```

        FDT:ArgPeao );
    ArgDial5_2( x );
};

/*****
**** FUNCTION: ArgL1_11
*****/
MakeFunction( ArgL1_11, [],
{
    If ( Global:MDia # 2 )
    Then {
        SetValue( Lista:CPMFRS, FRS:PMoldProdDiaUnidade );
        SetValue( Lista:CPMFDT, FDT:PMoldProdDiaUnidade );
        SetValue( Lista:CPMCDS, CDS:PMoldProdDiaUnidade );
        SetValue( Lista:CPMCDT, CDT:PMoldProdDiaUnidade );
    }
    Else {
        ArgL1_12( );
    };
});

/*****
**** RULE: CQFinal
*****/
MakeRule( CQFinal, [],
FRS:PMUnidade # 0 And FDT:PMUnidade # 0 And
CDT:PMUnidade # 0 And CDS:PMUnidade # 0 And
ITRC:PMUnidade # 0 And ITRCB:PMUnidade # 0 And
ITRT:PMUnidade # 0 And ITRB:PMUnidade # 0 And
VAR:PMUnidade # 0 And SDC:PMUnidade # 0 And
SDPS:PMUnidade # 0 And SIT:PMUnidade # 0 And
FRB:PMUnidade # 0 And FRT:PMUnidade # 0 And
PLTT:PMUnidade # 0 And VS10C:PMUnidade # 0 And
VS5C:PMUnidade # 0 And V10B2C:PMUnidade # 0 And
V10B3C:PMUnidade # 0,
Atividades:Iniciar = nao );

/*****
**** RULE: CQPrior
*****/
MakeRule( CQPrior, [],
Atividades:Iniciar # sim,
{
    SetValue( Pecas:Prior, FRS:PMUnidade, FDT:PMUnidade, CDT:PMUnidade,
    CDS:PMUnidade, ITRC:PMUnidade, ITRCB:PMUnidade, ITRT:PMUnidade,
    ITRB:PMUnidade, VAR:PMUnidade, SDC:PMUnidade, SDPS:PMUnidade,
    SIT:PMUnidade, FRB:PMUnidade, FRT:PMUnidade, PLTT:PMUnidade,
    VS10C:PMUnidade, VS5C:PMUnidade, V10B2C:PMUnidade,
    V10B3C:PMUnidade );
}

```



```
SelectSubClasa( Pecaas, x,  
x:PMUnidade #=  
Max( Pecaas:Prior ) );  
} );
```

```
/*.....  
**** RULE: Limil2  
*****/
```

```
MakeRule( Limil2, [],  
ITRC:EArmProdEstoqueUnidade #= ITRC:NumeroCentro And  
ITRCB:EArmProdEstoqueUnidade #=  
ITRCB:NumeroCentro And ITRT:EArmProdEstoqueUnidade  
#= ITRT:NumeroCentro And ITRB:EArmProdEstoqueUnidade  
#= ITRB:NumeroCentro And VAR:EArmProdEstoqueUnidade  
#= VAR:NumeroCentro,  
Atividades:Iniciar = nao );
```

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ADELI, H. Expert Systems in Construction and Structural Engineering. Artificial Intelligence and Expert Systems. Chapman and Hall, 1988. p. 1-12.
- ALEXANDER, J. H. et al. Knowledge Level Engineering: Ontological Analysis. AAAI - 86, V. 2, 1986. p. 963-968.
- ALEXANDER, P.; TSATSOUTIS, C.; HOLTZMAN, J. e MINDEN, G. Case Based Planning for Simulation. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 217-220.
- ALLAM, S. I. G. Multi-Project Scheduling: A New Categorization for Heuristic Scheduling Rules in Construction Scheduling Problems. Construction Management and Economics, v. 6, n. 2, 1988. p. 93-98.
- ALLEN, James F. Maintaining Knowledge about Temporal Intervals. Communications of the ACM, v. 26, n. 11, novembro de 1983. p. 832-843.
- AGIN, Norman. Optimum Seeking with Branch and Bound. Management Science, v. 13, n. 4, dezembro 1966. p.176-184.
- ASHLEY, David B. e LEVITT, Raymond E. Expert Systems in Construction: Work in Progress. Journal of Computing in Civil Engineering-ASCE, v. 1, n. 4, outubro de 1987. p. 303-311.
- BABCOCK, S. G. Architectural Precast Concrete. Madrid, Hermann Blume Ediciones, 1973.
- BADIE, C.; BEL, G.; BENSANA, E. e VERFAILLIE, G. Operations Research and Artificial Intelligence Cooperation to Solve Scheduling Problems: The OPAL and OSCAR Systems. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 1-5.

BASE TECNOLOGIA LTDA, EXSYS - Software para Desenvolvimento de Sistemas Especialistas. 1983.

BASTOS, Ricardo Melo. MRP II: Um Sistema de Informação. Anais do IX ENEGEP. v.1, Porto Alegre, julho de 1989. p. 155-170.

BAUEMEWERD-AHLMANN, A. e KALINSKI, J. Structuring Techniques for Knowledge-Based Planning Systems in Environmental Impact Assessment. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 257-261.

BAUER, L. A. F. Materiais de Construção. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. 1979.

BELL, Colin E. Maintaining Project Network in Automated Artificial Intelligence Planning. Management Science, v. 35, n. 10, outubro de 1989. p. 1192-1214.

BERRY, P. M. Resolving Conflicting Objectives in Factory Scheduling. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 18-22.

BEST, J. T. e INKPEN, C. J. Resource and Activity Simulation in a Knowledge-Based Planning System. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 119-123.

BIRREL, George S. Construction Planning-Beyond the Critical Path. Journal of the Construction Division, Proceedings of the ASCE, v. 106, setembro de 1980. p. 389-407.

BORLAND INTERNATIONAL, INC. TURBO PROLOG: Reference Manual e User's Guide - Version 2.0. Scotts Valley. Borland International. 1988.

BRANDON, J. A., SCHAFER, H. e HUANG, G. Q. An Approach to Production Flow Analysis Using Concepts from Information Theory. First International Conference on Expert Planning

Systems. Brighton, junho de 1990. p. 124-129.

BREUKER, Joost e WIELINGA, Bob. Models of Expertise in Knowledge Acquisition, North-Holland, 1989. p. 265-295.

BRONSON, Richard. Schaum's Outline of Theory and Problems of Operations Research, New York, McGraw-Hill, Inc., 1982.

BRUNO, Giorgio, ELIA, Antonio e LAFACE, Pietro. A Rule-Based System to Schedule Production. Computer, v. 19, n. 7 1986. p. 32-39.

BUCHER, H. R. E. Argamassas. São Paulo. Associação Brasileira de Cimento Portland. 1987.

CARLIER, J. e PINSON, E. An Algorithm for Solving the Job-Shop Problem. Management Science, v. 35, n. 2, fevereiro de 1989. p. 164-176.

CHANDRA, Navin e MARKS, David H. Intelligent use of Constraints for Activity Scheduling. Massachusetts Institute of Technology, 1985. p. 369-382.

CHEN, Y. L. An Algorithm for Finding the k Quickest Paths in a Network. Computers Ops. Res., v. 20, n. 1, janeiro de 1993. p. 59-65.

CLANCY, D. P. e MOHAN, S. RBD - Rule Based Job Dispatching Software for Implementing Production Plans. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 100-103.

COOK, L. K.; HINKLE, D. A. e BICKMORE, T. W. Planning for The Manufacturing Domain: Long-Term and Reactive Scheduling. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 6-10.

COOPER, Dale F. Heuristic for Scheduling Resource - Constrained

- Project : An Experimental Investigation. Management Science, v. 22, n. 11, julho 1976, p. 1186-1194.
- CRAIG, S. e ANDREWS, N. Windows 3.1. São Paulo, McGraw-Hill Ltda. 1992.
- CRATIVE LOGIC. Leonardo: The Manual. London, Criative Logic Ltd. 1986.
- CUPELLO, James M. e MISHELEVICH, David J. Managing Prototype Knowledge/Expert System Projects. Communications of the ACM, v. 31, n. 5, 1988. p. 534-541.
- CURRIE, K. e TATE, A. Using Domain Knowledge to Restrict Search in An AI Planner. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 186-190.
- DARBYSHIRE, I. L. Development of EXCAP, an Intelligent Knowledge - Base Process Planning System for Turned Components. UMIST. Ph.D Thesis, 1985.
- DARWICHE, Adnan; LEVITT, Raymond E. e HAYES-ROTH, Barbara. GARPLAN: Generating Project Plans by Reasoning about Objects, Actions and Resources. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing. v. 2, n. 3, 1988. p. 169-181.
- DAVIES, E. M. An Experimental Investigation of Resource Allocation in Multiactivity Project. Operation Research Quarterly, v. 24, 1973, p. 587-595.
- DAVIS, Edward W. Resource Allocation in Project Network - Models - A Survey. The Journal of Industrial Engineering, Abril de 1966, p. 177-188.
- DAVIS, Edward W. e PETERSON, James H. A Comparison of Heuristic and Optimum Solution in Resource - Constrained Project Scheduling. Management Science, v. 21, n. 8, abril de 1975, p.

- DAVIS, Edward W. e HEIDORN, George E. An Algorithm for Optimal Project Scheduling under Multiple Resource Constraints. Management Science, v. 17, n. 12, agosto de 1971, p. 803-816.
- DAVIS, Randal; BUCHANAN, Bruce e SHORTLIFFE, Edward. Production Rules as a Representation for a Knowledge-Based Consultation Program. Artificial Intelligence, v. 8, n. 1, 1977. p.15-45.
- DAVIS, Randall e BUCHANAN, Bruce G. Meta-Level Knowledge: Overview and Applications. Proc. IJCAI-77, agosto de 1977. p. 920-927.
- DE, Prabuddha; GHOSH, Jay B. e WELLS, Charles E. On the General Solution for a Class of Early/Tardy Problems. Computers Ops. Res., v. 20, n. 2, fevereiro de 1993. p. 141-149.
- DELL'AMICO Mauro; FISCHETTI, Matteo e TOTH, Paolo. Heuristic Algorithms for Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem. Management Science. v.39, n. 1, janeiro de 1993. p. 115-125.
- DILEEPAN, Parthasarathi. Common Due Date Scheduling Problem with Separate Earliness and Tardiness Penalties. Computers Ops. Res., v. 20, n. 2, fevereiro de 1993. p. 179-184.
- DRABBLE, B. Planning and Reasoning with Processes. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 191-195.
- DYM, Clive L. e LEVITT, Raymond E. Knowledge-Based Systems in Engineering. New York, McGraw-Hill, Inc. 1991.
- EAST, William E. Knowledge-Based Approach to Project Scheduling System Selection. Journal of Computing in Civil Engineering-ASCE, v.2, n. 4, outubro de 1988. p. 307-329.
- ELMAGHRABY, Salah Eldin. Activity Network : Project Planning and Control. New York, John Wiley e Sons, 1977.

- ECO, Umberto. Metodologia - Como se Faz uma Tese. São Paulo, Editora Perspectiva S.A. 1989.
- FALCÃO, P.; PEREIRA, M.; RIBEIRO, R. e RARAHONA, P. Another Timetabling Approach. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 212-216.
- FISCHLER, Martin A. e FIRSCHEIN, Oscar. Intelligence-The Eye, The Brain, and The Computer. Massachusetts, Addison - Wesley, 1987.
- FORMOSO, Carlos Torres. A Knowledge Based Framework for Planning House Building Projects. Salford, University of Salford. Ph.D. Thesis, 1991.
- FOX, Mark S. e SMITH, Stephen F. ISIS - A Knowledge-Based System for Factory Scheduling. Expert Systems, v.1, n.1, julho de 1984. p. 25-49.
- GOLDRATT, Eliyahu M. Devising a Coherent Production/Finance/Marketing Strategy Using the OPT Rules. IMAM, 1989. p. 377-382.
- GOLDRATT, Eliyahu M. e COX, Jeff. A Meta. IMAM, 1984. 221 p.
- GOLDSZEIN, M. e CARNOTA, R. Inteligência Artificial Aplicada - Lógica y Representación del Conocimiento. Campinas, Editora da UNICAMP, 1986.
- GRAY, Ann E.; SEIDMANN, Abraham e STECKE, Kathryn E. A Synthesis of Decision Models for Tool Management in Automated Manufacturing. Management Science, v. 39, n. 5, maio de 1993. p. 549-567.
- HACKMAN, Steven T. e LEACHMAN, Robert C. A General Framework for Modelling Production. Management Science, v. 35, n. 4, abril de 1989. p. 478-495.
- HANAI, João Bento. Construções de Argamassa Armada - Fundamentos Tecnológicos para Projeto e Execução. São Paulo, Editora Pini,

1992.

- HARMON, P. e KING, D. Expert System - Artificial Intelligence in Business. New York, John Willey, 1985.
- HASTINGS, N. A. J. On Resource Allocation in Project Network. Operational Research Quaterly, v. 23, 1972, p. 217-266.
- HENDRICKSON, Chris et al. Expert System for Construction Planning, Journal of Construction Engineering and Management, v. 1, n. 4, 1987. p. 253-269.
- HENDRICKSON, Chris, MARTINELLI, David e REHAK, Daniel. Hierarchical Rule-Based Activity Duration. Journal of Construction Engineering and Management, v. 113, n. 2, junho de 1987. p. 288-301.
- HENDRICKSON, Chris; ZOZAYA-GOROSTIZA, Carlos; REHAK, Daniel; BARACCO-MILLER, Eduardo e LIM, Peter. Expert System for Construction Planning. Journal of Computing in Civil Engineering- ASCE, v. 1, n. 4, outubro de 1987. p. 253-269.
- HERROELEN, Willy S. Resource - Constrained Project Scheduling - The State of the Art. Operational Research Quaterly, v. 23, 1972. p. 261-272.
- HILLIER, Frederick S. e LIEBERMAN, Gerald J. Operations Research. San Francisco, Holden-Day, 1974.
- HOFSTEDE, G. J. Interactive Planning System Design, A Model and An Application. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 175-180.
- IBM WORLD TRADE CORPORATION - IBM System/370 - Project Analysis and Control System (PROJACS). New York, 1973.
- INTELLICORP, INC. Update Manual for KAPPA-PC, KAPPA Reference Manual e KAPPA User's Guide version 1.2. USA, junho de 1991.

- JOHNSON, P. E. What Kind of Expert Should a System Be ? The Journal of Medicine and Philosophy, v. 8, 1983. p. 77-97.
- JOSEPH, A. T. e DAVIES, B. J. EXCAP - An Expert Process Planning System for Turned Components. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 130-135.
- KARTAM, N. A. e LEVITT, R. E. A Constraint-Based Approach To Construction Planning of Multi-Storey Buildings. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 245-250.
- KELLEY, J. E. Jr. Critical Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis, Operations Research, v. 9. n. 3, 1961. p. 296-320.
- KIM, Sang e SCHNIEDERJANS, Marc J. Heuristic Framework for the Resource Constrained Multi-Project Scheduling Problem. Computers Opns. Res., v. 16, n. 6, 1989. p. 541-556.
- KUCZORA, P. W. Representing Parts Hierarchies for Expert Systems in Engineering Project Management. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 196-200.
- KUSIAK, Andrew. Designing Expert Systems for Scheduling of Automated Manufacturing. Industrial Engineering, v.19, n.7, 1987. p. 42-46.
- LECOCQ, Pierre; GUIOT, Thierry; DUMONT, Marc e VANDEREYKEN, Philippe. A Knowledge-Based System for On-Line Planning and Real-Time Control of Flexible Manufacturing Systems. 6th International Conference on Flexible Manufacturing Systems. Turin, Italy, novembro de 1987. p. 1-13.
- LEE, Chung-Yee; CHENG T. C. E. e LIN, B. M. T. Minimizing the Makespan in the 3-Machine Assembly-type Flowshop Scheduling

Problem. Management Science. v. 39, n. 5, maio de 1993. p. 616-625.

LEVITT, Raymond E.; KARTAM, Nabil A. e KUNZ, John C. Artificial Intelligence Techniques for Generating Construction Project Plans. Journal of Construction Engineering and Management. v. 114, n. 3, setembro de 1988. p. 329-343.

LEVITT, R. E. Knowledge-Based Planning Systems: An Engineering Perspective. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 181-185.

LIM, B. S.; NIEW, B. C. e HO, N. C. Knowledge Based Master Production Scheduler. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 88-93.

LIMA, João Filgueiras. CIACs em Escala Industrial. Arquitetura e Urbanismo, n. 37, agosto/setembro de 1991. p. 50-55.

LUBBEN, Richard T. Just-in-Time Manufacturing. New York, McGraw-Hill, Inc., 1988.

LUCENA, Carlos José Pereira. Introdução Às Estruturas de Informação. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1970.

MACKNESS, J. e ASHCROFT, S. Thinking Practically about JIT. University of Lancaster, Gilow House, LA1 4YX, UK, 1989. p. 61-66.

MANN, Teresa L. e HAMMER, John M. Analysis of User Procedural Compliance in Controlling a Simulated Process. IEEE-Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, v. 16, n. 4, julho de 1986. p. 505-510.

MARTIN, William R. Aplicación de las Técnicas PERT/CPM a la Planificación y Control de la Construcción. Barcelona, Ed. Blume, 1972.

- MARTINO, R. L. Resources Management. Wayne, MDI Publications, 1968.
- MASON, A. Thomas e MOODIE, Colin L. A Branch and Bound Algorithm for Minimizing Cost in Project Scheduling. Management Science, v. 18 n. 4, dezembro de 1971. p 158-162
- MAZZA, Márcio. Creches - Monólogo Paralelo. Arquitetura e Urbanismo, n. 20, outubro/novembro de 1988.
- MENG, Chao-Chiang e SULLIVAN, Michael. LOGOS - A Constraint-Directed Reasoning Shell for Operations Management. IEEE EXPERT, fevereiro de 1991. p. 20-28.
- MILTENBURG, John. Level Schedules for Mixed-Model Assembly Lines in Just-in-Time Production Systems. Management Science, v. 35, n. 2, fevereiro de 1989. p. 192-207.
- MINSKY, M. A Framework for Representing Knowledge. Psychology of Computer Vision. 1975. p. 212-223.
- MITCHELL, C. M. e MILLER, R. A. A Discrete Control Model of Operator Function: A Methodology for Information Display Design. IEEE - Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, v. 16, n. 3, maio de 1986. p. 343-357.
- MITTENTHAL, John; RAGHAVACHARI, Madabhushi e RANA, Arif I. A Hybrid Simulated Annealing Approach for Single Machine Scheduling Problems with Non-Regular Penalty Functions. Computers Ops. Res., v. 20, n. 2, fevereiro de 1993. p. 103-111.
- MODY, Ashoka. Firm Strategies for Costly Engineering Learning. Management Science, v. 35, n. 4, abril de 1989. p. 496-512.
- MORAY, Neville, LOOTSTEEN, Pam e PAJAK, Jan. Acquisition of Process Control Skills. IEEE- Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v. 16, n. 4, 1986. p. 497-504.
- MUKOLERA, J. R. A Planning Approach in Building a Computer Aided

- Design System. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 52-57.
- MURATA, Tadao. Petri Nets: Properties; Analysis and Applications. Proceedings of the IEEE. v. 77 n. 4, abril de 1989. p. 541-580.
- MUTH, J. F. e THOMPSON, G. L. Industrial Sheduling. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1963.
- NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. São Paulo, Editora Pini. 1982.
- ORTOLANO, Leonard e PERMAN, Catherine. Software for Expert Systems Development. Journal of Computing in Civil Engineering-ASCE, v. 1, n. 4, outubro de 1987. p. 225-240.
- OW, Peng Si e MORTON, Thomas E. The Single Machine Early/Tardy Problem. Management Science, v. 35, n. 2, fevereiro de 1989. p. 177-191.
- PALADINI, Edson Pacheco. Avaliação da Qualidade por Atributos. Tese de Doutorado - PPGEF. Florianópolis, UFSC. 1992.
- PASCALE, Richard Tanner e ATHOS, Anthony G. The Art of Japanese Management, New York, Simon & Schuster, 1981.
- PEDREIRA, Livia. Fábrica de Cidades, Estética da Repetição. Arquitetura e Urbanismo, n. 20, outubro/novembro de 1988. p. 30-38.
- PEREIRA, Maria da Graça. Modelo para Programar Projetos com Restrições de Recursos. Dissertação de Mestrado - PPGEF. Florianópolis, UFSC. 1980.
- PETERSON, James L. Petri Net Theory and the Modeling of Systems. Englewood Cliffs, Prentice Hall Inc. 1981.
- PETRUCCI, Eládio G. Concreto de Cimento Portland. Porto Alegre,

Editora Globo S.A., 1971.

PETRUCCI, Eládio G. Materiais de Construção . Porto Alegre, Editora Globo S.A., 1980.

PHILLIPS, Estelle M. e PUGH, D. S. How to Get a PhD . Philadelphia, Open University Press. 1987.

PORTO, Sidonio. Pré-Fabricados - Personalidade para o Projeto. Arquitetura e Urbanismo , n. 22, fevereiro/março de 1989. p. 112-117.

PRATSINI, Eleni; CAMM, Jeffrey e RATURI, Amitabh S. Effect of Process Learning on Manufacturing Schedules. Computers Ops. Res. , v. 20, n. 1, janeiro de 1993. p 15-24.

RAGSDALE, Cliff T. Deriving Conclusions in Expert Systems when Knowledge is Incomplete. Computers Ops. Res. , v. 20, n. 1, janeiro de 1993. p 49-58.

RAMAZANI, Reza e YOUNIS, Nazar. Repetitive Pure Flowshop Problem: A Permutation Approach. Computers Ind. Engng. , v. 24, n. 1, janeiro de 1993. p. 125-129.

READY, C. M.; SIMMONDS, W. S. e TAUNTON, J. C. A Knowledge Based Planning and Scheduling Toolkit for the Process Industry. First International Conference on Expert Planning Systems . Brighton, junho de 1990. p. 110-113.

REISIG, Wolfgang. Petri Nets - An Introduction . New York, Springer-Verlag. 1985.

REVEL, Maurice. La Prefabricación en la Construcción . Bilbao, Ediciones Urmo, 1973.

RICH, Elaine. Artificial Intelligence . New York, Macgraw-Hill, 1983.

- ROTH, S. CALLISTO: An Intelligent System for Supporting Project Management. In: O'CONNOR, M. J. & DE LA GARZA, J. M. (Eds) Proceedings: Workshop on Expert Systems for Construction Scheduling. Champaign, Illinois, US Army Corps do Enginners, 1987. p. 51-57.
- ROTH, M. E. e WOODS, D. D. Aiding Human Performance : Cognitive Analysis. Le Travail Humain, v. 51, n. 1. 1988. p. 39-64.
- SAFAVI, A. e SMITH, S. F. An Evaluation Function To Compare Alternative Commitments During Manufacturing Planning and Scheduling. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 22-27.
- SATHI, A. et al. Callisto: An Intelligent Project Management System. AI Magazine, v. -7, n. 4, 1986. p. 34-52.
- SCHILDT, Herbert. Turbo C / C Avançado - Guia do Usuário. São Paulo, Editora McGraw-Hill Ltda. 1990.
- SCHNEIDER, H. M.; MARQUES, M. L. e COHN, P. G. A Inteligência Artificial e Suas Aplicações na Automação. SEI/Centro Tecnológico para Informática - Instituto de Automação. Campinas, julho de 1985.
- SECKER, J. A. Contingency Handling in Project Planning. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 201-206.
- SIMONS, G. L. Introdução à Inteligência Artificial. Clássica Editora. 1987.
- SMITH, P. e FLETCHER, E. J. The Use of Decision Support Systems in Manufacturing Management. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 33-35.
- STANGE, Plínio et al. Introcucción a la Automatización en Procesos de Producción. VI Congreso Chileno de Ingeniería Eléctrica.

Pontificia Universidad Católica de Chile, novembro de 1985.

- STANGE, Plínio. Automação na Indústria da Construção Civil. Anais do IX ENEGEP. v.2, Porto Alegre, julho de 1989. p. 187-192.
- STEFIK, M. e BOBROW, D. G. Object-Oriented Programming: Themes and Variations. AI Magazine. v. 6, n. 4, 1986. p. 40-62.
- SRIRAM, D. e ADEY, R. A. Knowledge Based Expert systems in Engineering: Planning and Design, Computational Mechanics Publications, 1987.
- SULBRAPE CONSTRUÇÕES LTDA. Fabricação de Argamassa Armada - Uma Visão Global. Cachoeirinha, RS. 1992.
- SZWARC, Wlodzimierz e LIU, John J. Weighted Tardiness Single Machine Scheduling with Proportional Weights. Management Science. v. 39, n. 5, maio de 1993. p. 626-632.
- TATE, Austin. A Review of Knowledge-Based Planning Techniques. Cambridge University Press, v.1, n. 2, junho de 1985. p. 1-17.
- TATE, A. e WHITER, A. M. Planning with Multiple Resource Constraints and an Application to a Naval Planning Problem. Dept. AI, University of Edinburgh, Scotland. 1985.
- THESEN, Arne. Heuristic Scheduling of Activities under Resource and Precedence Restrictions. Management Science, vol. 23, n. 4, dezembro de 1976. p. 1104-1112.
- UNIVERSITY OF SALFORD. The EDESIRL Project. Dept. Surveying/IT Institute. 1991.
- VALAVANIS, Kimon P. On the Hierarchical Modeling Analysis and Simulation of Flexible Manufacturing Systems with Extended Petri Nets. IEEE -Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. vol. 20, n. 1, janeiro/fevereiro de 1990. p. 94-110.

- VASCONCELOS, A. C. O Concreto no Brasil: Recordes, Realizações, História. São Paulo, Copiare. 1985.
- VERBRAECK, A. A Decision Support System for Timetable Construction: Automated Lesson Planning Using a Special Scheduling Algorithm. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 207-211.
- VOGEL, C. Génie Cognitif. Paris, Masson. 1988.
- WAELE, W. De. ReDS: A Planning and Scheduling Environment for Manufacturing. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton. junho de 1990. p. 11-15.
- WARWICK, A. M. e WALTERS, H. M. J. A Rule Based Planning and Scheduling System for Manufacturing Industries. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 104-109.
- WATERMAN, Donald A. A Guide to Expert Systems. Reading, Addison-Weskey, 1986.
- WATSON, Ian D.; SHAVE, Mike J. R. e MORALEE, Stuart. A Knowledge Analysis Methodology Using an Intermediate Knowledge Representation Based on Conceptual Graphs. Proceedings of the 9th Int. Workshop on Expert Systems and their Applications. Avignon, 1989. v. 1, p. 183-198.
- WAUGH, L. M. e FROESE, T. M. Constraint Knowledge for Construction Scheduling. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 114-118.
- WIENER, Richard S. e PINSON, Lewis J. Programação Orientada para Objeto e C++. São Paulo, Editora McGraw-Hill Ltda. 1991.
- WIEST, Jerome D. A Heuristic Model for Scheduling Large Project with Limited Resources. Management Science, vol. 13, n.6

fevereiro de 1967. p. 458-489.

WIEST, Jerome D. e LEVY, Ferdinand K. A Management Guide to PERT/CPM. New Jersey, Prentice - Hall, 1969.

WILLIS, R. J. e HASTINGS, N. A. J. Project Scheduling with Resource Constraints Using Branch and Bound Methods. Operational Research Quaterly, vol. 27 n.2, 1976. p. 341-349.

WILSON, I. B. Synchronized Manufacturing: The Route to Zero Inventory and Maximum Profitability. IMAM, 1989. p. 360-369.

WOODS, D. D. e ROTH, E. M. Cognitive Systems Engineering. North-Holland, 1988. p. 3-43.

WU, S. David; STORER, Robert H. e CHANG, Pei-Chann. One-Machine Rescheduling Heuristics with Efficiency and Stability as Criteria. Computers Ops. Res., v. 20, n.1, janeiro de 1993. p. 1-14.

YANG, De-Li e JIANG, Hong-Bo. A production Planning Expert System in Manufacturing. First International Conference on Expert Planning Systems. Brighton, junho de 1990. p. 28-32.

ZIANTS, Stanley. Linear and Integer Programming. New Jersey, Prentice-Hall. 1974.

ZOZAYA-GOROSTIZA, Carlos, HENDRICKSON, Chris e REHAK, Daniel R. Knowledge-Based Process Planning for Construction and Manufacturing. Boston, Academic Press, 1989.