

**UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS**  
**CURSO DE CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO**  
(Bacharelado)

**PROTÓTIPO DE UM ESCALONADOR DE ORDENS DE  
PRODUÇÃO UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS**

TRABALHO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO SUBMETIDO À UNIVERSIDADE  
REGIONAL DE BLUMENAU PARA A OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NA  
DISCIPLINA COM NOME EQUIVALENTE NO CURSO DE CIÊNCIAS DA  
COMPUTAÇÃO — BACHARELADO

**WILIAN KOHLER**

BLUMENAU, NOVEMBRO/2002

2002/2-59

# **PROTÓTIPO DE UM ESCALONADOR DE ORDENS DE PRODUÇÃO UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS**

**WILIAN KOHLER**

ESTE TRABALHO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO, FOI JULGADO ADEQUADO PARA OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NA DISCIPLINA DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE:

## **BACHAREL EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO**

---

Prof. Jomi Fred Hübner — Supervisor na FURB

---

Evaldo Moresco Jr. — Orientador na Empresa

---

Prof. José Roque Voltolini da Silva — Coordenador na FURB do Estágio Supervisionado

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Jomi Fred Hübner

---

Prof. Mauro Marcelo Mattos

---

Prof. Roberto Heinzle

A meus familiares e amigos, pelo intenso apoio que sempre me deram.

# AGRADECIMENTOS

A empresa Metalúrgica Siemens Ltda., pela oportunidade a mim concedida, para realização deste trabalho.

Ao meu orientador da empresa Evaldo Moresco Jr., acima de tudo um amigo e colega de trabalho, ao meu supervisor da FURB, Professor Jomi Fred Hübner pelas orientações, conselhos e aproximação de horizontes distantes. Todos, especiais à realização deste trabalho.

Agradeço, principalmente, aos meus pais, Bernardo e Saldira, assim como também a minha irmã Schelby e seu marido Leandro, que me ajudaram em muito durante o decorrer do curso. A vocês, pelos dias, meses e anos de espera, nesse momento tão especial, procuro entre as palavras, aquela que melhor exprime esta emoção, e só encontro uma: obrigado.

À minha namorada, que sempre esteve do meu lado nos momentos mais difíceis desta caminhada, quando os obstáculos devindos pareciam intransponíveis, que abriu mão de momentos de convívio, que sofreu a minha ausência quando o dever e o estudo me chamaram, que compreendeu a minha falta de tempo, minha tensão durante as provas, meu nervosismo. A você, amor de minha vida, o meu sorriso, o meu carinho e o meu obrigado.

Aos meus amigos, colegas de trabalho e todos os que contribuíram de alguma forma para que esse sonho se tornasse realidade.

Em especial à DEUS, que me deu o dom da vida, me presenteou com a liberdade, me abençoou com a inteligência, me deu a graça de lutar. Pelas conquistas de nossas realizações, cabe o louvor e a glória. A mim só cabe agradecer.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE QUADROS .....	X
LISTA DE TABELAS .....	X
RESUMO .....	XI
ABSTRACT .....	XII
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 JUSTIFICATIVA .....	3
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	3
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	4
2 SISTEMAS DE ERP .....	5
2.1 MÓDULOS DISPONÍVEIS NA MAIORIA DOS ERPS .....	5
2.2 SISTEMAS DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO (SAP) .....	8
2.2.1 O QUE SE ESPERA DE UM SAP .....	9
2.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP) .....	10
2.3.1 CONCEITOS DE PCP .....	11
2.3.2 TAREFAS DO PCP .....	12
2.3.3 FUNCIONAMENTO .....	13
2.3.4 FLUXO DO PCP COM OS SETORES QUE INTERAGE .....	16
2.4 TÉCNICAS DE GERENCIAMENTO APLICÁVEIS AO PCP .....	17
2.4.1 MRP II .....	18
2.4.1.1 HISTÓRICO .....	18
2.4.1.2 OBJETIVOS PRINCIPAIS .....	19
2.4.1.3 PRINCÍPIO BÁSICO .....	19

2.4.1.4 NOÇÕES BÁSICAS .....	20
2.4.1.5 VANTAGENS DO MRP II .....	25
2.4.1.6 LIMITAÇÕES DO MRP II .....	25
3 ESCALONADOR.....	27
3.1 INTRODUÇÃO.....	27
3.2 ESCALONAMENTO DE OPS .....	27
3.3 VISÃO LÓGICA DO USUÁRIO .....	28
4 ALGORITMOS GENÉTICOS .....	32
4.1 FUNCIONAMENTO DE UM AG.....	34
4.2 ESPECIFICAÇÃO DE UM AG.....	36
4.2.1 EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO DOS CROMOSSOMOS .....	36
4.3 OPERADORES GENÉTICOS.....	37
4.4 PARÂMETROS GENÉTICOS .....	40
5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO .....	41
5.1 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO.....	41
5.2 ESPECIFICAÇÃO .....	42
5.2.1 DIAGRAMA DE CONTEXTO.....	42
5.2.2 DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS .....	43
5.2.3 FLUXOGRAMA ESTRUTURADO .....	43
5.3 IMPLEMENTAÇÃO .....	47
5.3.1 TÉCNICAS E FERRAMENTAS UTILIZADAS.....	47
5.3.2 INTERFACE.....	54
5.4 OPERACIONALIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO.....	58
5.4.1 ESCALONAMENTO DE DUAS OPS.....	59
5.4.2 ESCALONAMENTO DE TRÊS OPS.....	60

5.4.3 ESCALONAMENTO DE QUATRO OPS.....	61
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	62
6 CONCLUSÕES .....	64
6.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS .....	65
6.2 EXTENSÕES .....	65
ANEXO 1: INTERFACES DO SAP DA EMPRESA .....	66
ANEXO 2: ORDENS DE PRODUCAO UTILIZADAS NESTE TRABALHO.....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80

# LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ESTRUTURA CONCEITUAL DOS SISTEMAS ERP, E SUA EVOLUÇÃO DESDE O MRP.....	08
FIGURA 2 – ELABORAÇÃO DO PLANO DE PRODUÇÃO OU PLANO-MESTRE.....	14
FIGURA 3 – EXECUÇÃO DO PLANO DE PRODUÇÃO.....	15
FIGURA 4 – INTER-RELAÇÕES DO PCP COM AS DEMAIS ÁREAS.....	16
FIGURA 5 – PROCESSO PRODUTIVO DO PRODUTO HIPOTÉTICO A.....	19
FIGURA 6 – ESTRUTURA DE PRODUTO RELAÇÃO PAI-FILHO.....	21
FIGURA 7 – <i>LEAD-TIME</i> DE UMA ESTRUTURA DE PRODUTOS.....	22
FIGURA 8 – CÁLCULO QUANDO ORDENS DE COMPRA E PRODUÇÃO LIBERADAS.....	23
FIGURA 9 – ESCALONAMENTO DA OP “A”.....	29
FIGURA 10 – ESCALONAMENTO DA OP “B”.....	29
FIGURA 11 – ESCALONAMENTO DA OP “C”.....	30
FIGURA 12 – ESCALONAMENTO DAS OPS “A”, “B”, “C” EFICIENTEMENTE.....	30
FIGURA 13 – FLUXOGRAMA DOS ALGORITMOS GENÉTICOS.....	33
FIGURA 14 – INDIVÍDUOS DE UMA POPULAÇÃO E A SUA CORRESPONDENTE ROLETA DE SELAÇÃO.....	36
FIGURA 15 – REPRESENTAÇÃO DO ESCALONAMENTO DAS OPS “A”, “B” E “C” ATRAVÉS DE AG.....	37
FIGURA 16 – EXEMPLO DE MUTAÇÃO.....	38
FIGURA 17 – EXEMPLO DE <i>CROSSOVER</i> DE UM PONTO.....	39
FIGURA 18 – <i>CROSSOVER</i> DE UM PONTO GERANDO O CROMOSSOMO DO EXEMPLO DA SEÇÃO 4.2.1.....	39
FIGURA 19 – DIAGRAMA DE CONTEXTO.....	42
FIGURA 20 – DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS.....	43



FIGURA 21 – SÍMBOLOS-PADRÃO DE FLUXOGRAMA.....	44
FIGURA 22 – FLUXOGRAMA DO ESCALONADOR – TELA 1.....	45
FIGURA 23 – FLUXOGRAMA DO ESCALONADOR – TELA 2.....	45
FIGURA 24 – FLUXOGRAMA DO ESCALONADOR – TELA 3.....	46
FIGURA 25 – ESTRUTURA DA TABELA ENTRADA.....	47
FIGURA 26 – FUNÇÃO GERAR FAMÍLIA DE CROMOSSOMOS (PARTE 1).....	49
FIGURA 27 – FUNÇÃO GERAR FAMÍLIA DE CROMOSSOMOS (PARTE 2).....	50
FIGURA 28 – FUNÇÃO GERAR FAMÍLIA DE CROMOSSOMOS (PARTE 3).....	51
FIGURA 29 – FUNÇÕES UTILIZADAS NA GERAÇÃO DA FAMÍLIA .....	52
FIGURA 30 – ESTRUTURA DA TABELA FAMILIA.....	53
FIGURA 31 – ESTRUTURA DA TABELA CRUZAMENTO.....	54
FIGURA 32 – TELA “ENTRADA”.....	55
FIGURA 33 – TELA “FAMÍLIA”.....	56
FIGURA 34 – TELA “CRUZAMENTO ( <i>CROSSOVER</i> )”.....	57
FIGURA 35 – TELA RESULTADO.....	58
FIGURA 36 – RESULTADO DO ESCALONAMENTO DAS OPS “A” E “B”.....	60
FIGURA 37 – RESULTADO DO ESCALONAMENTO DAS OPS “A”, “B” E “C”.....	61
FIGURA 38 – RESULTADO DO ESCALONAMENTO DAS OPS “A”, “B”, “C” E “D”.....	62
FIGURA 39 – FABRICAÇÃO DE TRÊS OPS SEM ESCALONAMENTO.....	63

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – EXEMPLO DE ALGORITMO GENÉTICO.....	35
QUADRO 2 – EXEMPLO DE UM CROMOSSOMO.....	37

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – <i>LEAD-TIMES</i> PARA DETERMINADA ESTRUTURA DE PRODUTOS.....	22
TABELA 2 – TEMPOS DE CADA OPERAÇÃO DE CADA OP.....	29
TABELA 3 – REPRESENTAÇÃO DO CROMOSSOMO.....	48
TABELA 4 – EXEMPLO DE POPULAÇÃO DE CROMOSSOMOS (TRÊS OPS).....	48
TABELA 5 – ENTRADAS PARA OS ESTUDOS DE CASOS.....	59

## **RESUMO**

Este relatório apresenta um estudo sobre técnica de produção e balanceamento da produção com os recursos disponíveis, visando com isso, maior flexibilidade, maior agilidade, redução de custos e, acima de tudo, competitividade. Para tanto foi desenvolvido um software que, utilizando técnicas de Inteligência Artificial, particularmente Algoritmos Genéticos, realiza o escalonamento de ordens de produção, sugerindo aos supervisores de cada setor (funilaria, pintura) uma melhor seqüência de fabricação destas ordens de produção.

# **ABSTRACT**

This work reports a study about production and counterbalancing technique of the available resources, in order to get more flexibility, agility, costs reduction and, above all, competitiveness. Therefore it was developed a software that, using Artificial Intelligence techniques, Genetics Algorithms in particular, proposes a production orders schedule, suggesting to each sector supervisors (casting, painting) a better manufacturing sequence of these production orders.

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a concorrência entre empresas que produzem os mesmos gêneros de produtos tem aumentado significativamente. Um número elevado de empresas estão sofrendo as conseqüências desta temida concorrência (temida para quem vende, mas ótima para quem compra). Além da concorrência, as empresas estão lidando com a crescente e rigorosa demanda dos clientes, comprometendo os seus métodos tradicionais de fabricação. Alterações nos pedidos, mudanças nas condições de operações entre outros, fazem da administração da produção um verdadeiro quebra cabeças. Somente empresas que venderem produtos com alta qualidade, mas agregados a preços mais acessíveis sobreviverão a esta verdadeira guerra. Com intuito de superar estes obstáculos que comprometem os métodos tradicionais de fabricação, empresas com visão de futuro buscam soluções automatizadas que lhes permitam sincronizar e escalonar da melhor forma possível os processos produtivos.

Segundo Ramos (1998), existem várias razões pelas quais surgem esses interesses:

- a) o mercado está hoje altamente dinâmico e imprevisível. Os clientes desejam variações e características especiais para seus produtos, com exigência de alta qualidade e baixo custo, além de necessitar de atenção individual;
- b) as empresas reconhecem que através de seus programas de produção atuais não podem sincronizar a demanda com a disponibilidade dos recursos críticos da fábrica, tais como capacidade de produção, materiais e operários.

Dentre os principais fatores que compõem o controle e o gerenciamento da produção industrial encontra-se a programação da produção. Imagine, por exemplo, uma máquina numa fábrica, terminando de processar determinada ordem de produção. Estando vaga, é necessário decidir qual, daquelas OPs que aguardam na fila, deveria ser processada agora (talvez aquela com o menor tempo de processamento, para que o maior número de ordens fosse processado nos próximos períodos, ou, talvez se devesse priorizar aquelas ordens cuja data prometida de entrega ao cliente estivesse mais próxima, ou, priorizar as ordens que representem o maior potencial de faturamento num prazo mais curto, ou ainda, priorizar aquelas ordens de clientes que fossem estrategicamente mais importantes).

Então, a programação da produção pode ser descrita da seguinte forma: são dados um conjunto de tarefas e um conjunto de recursos. Cada tarefa consiste de uma cadeia de

operações em que cada uma deve ser processada durante um período de tempo ininterrupto, de um dado tamanho, em um dado recurso, podendo este processar no máximo uma operação por vez. Enfim, é fácil perceber que as possibilidades diversas de seqüenciar (ou priorizar) atividades em situações reais, onde estas possibilidades são combinadas e multiplicadas por dezenas de máquinas e milhares de ordens de produção que passam, não por uma máquina, mas por várias, com roteiros diversos e variados, representam um problema combinatório complexo, grande e de múltiplas variáveis. É, também, fácil perceber que a forma de priorizar as atividades pode ter impacto no desempenho de todo o sistema de produção, em relação a indicadores como cumprimento médio de prazos, tempos médios de atravessamento das ordens pelo sistema produtivo, taxas de geração de caixa, estoques médios em processo e outros.

Uma ferramenta de escalonamento deve preferencialmente trabalhar em conjunto com um sistema de planejamento do tipo MRP (abreviatura em inglês de Planejamento dos Recursos da Manufatura). Porém, é necessário que haja uma base de dados já gerada, sempre voltada a permitir a simulação do escalonamento e alcançar sucessiva e simultaneamente os recursos produtivos de acordo com sua disponibilidade e a demanda do mercado. Isso permite conseguir uma maior flexibilidade na empresa, respondendo eficazmente às mudanças não planejadas e fazendo da manufatura uma arma competitiva. Segundo Corrêa (2001), este fato proporcionou aos produtos japoneses a conquista de mercados, devido a sua superior qualidade e confiabilidade, assim como a sua melhor resposta às necessidades e oportunidades do mercado, obtida pela alta qualidade e baixos preços de seus produtos, resultado que se atinge com uma excelência em manufatura.

- O desenvolvimento de escalonadores devem levar em consideração algumas variáveis:
- a) data de entrega dos componentes fabricados ao almoxarifado de materiais acabados;
  - b) disponibilidade dos recursos na empresa;
  - c) prioridade de certos componentes (grau de dificuldade do produto na montagem, situação do cliente, componentes com maior número de operações);
  - d) realização de todas as operações, alocadas nos recursos, no menor tempo possível.

Verificando-se a atual importância na busca da excelência da manufatura, foi proposto o desenvolvimento de um software que escalone as ordens de produção (OPs). As ordens de

produção (OPs) a serem escalonadas, são geradas através do módulo de planejamento e controle da produção do sistema da empresa. O Sistema de Gestão Empresarial (SGE) é um software ERP desenvolvido em linguagem Dataflex acessando o banco de dados Dataflex, adquirido junto à empresa Softdata Soluções Ltda. de Joinville.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

Em geral, as empresas sabem que, para se manterem vivas no mercado, é preciso ter um ótimo desempenho nos processos de manufatura, assim como também a necessidade de integração de seus sistemas.

Sendo assim, problemas de decisão que normalmente surgem na vida empresarial, onde convive-se diariamente com uma série de recursos escassos, assim como também inúmeras variáveis envolvidas, é possível resolvê-los computacionalmente através da exploração de algoritmos genéticos (AGs). AG é uma ferramenta que está sendo muito utilizada nas formas de otimização heurística, obtendo com isso, a solução ótima de determinado problema com uma resolução rápida e uma resposta confiável, fato que proporcionará um diferencial tecnológico para essas empresas preocupadas em gerenciamento da manufatura. Os AGs são indicados para o problema da programação da produção por se tratar de um ambiente de programação que está sujeito as seguintes restrições: não é permitida preempção, evitar ao máximo a inserção de tempo ocioso e, todas as OPs (tarefas) assim como os recursos (máquinas) estão inicialmente disponíveis.

## **1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

O objetivo principal deste estágio supervisionado é o desenvolvimento de um software para escalonar as Ordens de Produção de uma empresa (Metalúrgica Siemens), procurando conseguir o máximo de aproveitamento dos recursos (homem/máquina) disponíveis nesta empresa.

Os objetivos específicos que o projeto se propôs a atingir são:

- a) facilitar o trabalho do setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP) no momento da programação da produção;
- b) diminuir o tempo de estoque das matérias primas dos componentes em processo;

- c) aumentar a produtividade e a eficiência na produção, conseguindo o máximo de aproveitamento dos recursos disponíveis na empresa;
- d) atender os prazos de entrega dos produtos finais aos clientes;
- e) orientar o setor de PCP em relação à ociosidade de máquinas ou falta delas;
- f) minimizar principalmente o custo do produto final.

### **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Considerando os objetivos descritos neste capítulo, o trabalho foi dividido em outros 5 capítulos, descritos a seguir.

O segundo capítulo apresenta os atuais e principais sistemas de produção, dando uma visão geral sobre o MRP II, o qual gera as informações necessárias à serem consideradas pelo escalonador, definindo-o e caracterizando-o.

O terceiro capítulo descreve os princípios, a visão lógica do usuário, suas regras e seqüências a respeito de um escalonador. Enfim, a forma de manipulação dos dados fornecidos por sistemas que servem de alavanca para o escalonador, gerando um seqüenciamento de OPs de forma aproximada da solução ótima.

O quarto capítulo, trata sobre Algoritmos Genéticos, conceituando e citando seus principais componentes.

O quinto capítulo demonstra a prototipação onde detalha o projeto lógico, através de um diagrama de contexto e um fluxograma estruturado explicando o desenvolvimento do protótipo, relacionando a função objetivo, variáveis e restrições.

O sexto capítulo completa o relatório, apresentando as conclusões e sugestões para serem implementadas no protótipo.



## 2 SISTEMAS DE ERP

Um sistema dito ERP (*Enterprise Resources Planning* – Planejamento de Recursos da Corporação) tem a pretensão de suportar todas as necessidades de informação para a tomada de decisão gerencial de um empreendimento. Este ERP tem sido cunhado como o estágio mais avançado dos sistemas tradicionalmente chamados de MRP II (*Manufacturing Resource Planning* – Planejamento de Recursos de Manufatura). É basicamente composto de módulos que atendem as necessidades de informação para apoio à tomada de decisão de outros setores que não apenas aqueles ligados à manufatura, tais como, distribuição física, custos, recebimento fiscal, faturamento, recursos humanos, finanças, contabilidade, entre outros, todos integrados entre si e com os módulos de manufatura, a partir de uma base de dados única e não redundante. O sistema ERP fará a integração de todas as áreas ou setores da empresa, para que dessa forma ela consiga chegar ao sincronismo entre esses setores.

### 2.1 MÓDULOS DISPONÍVEIS NA MAIORIA DOS ERPS

Segundo Corrêa (2001), hoje, embora com diferenças de nomenclatura, os ERPs mais avançados possuem módulos integrados que abrangem o seguinte escopo:

a) Módulos relacionados a Operações e *Supply Chain Management*:

- Previsões/Análises de Vendas (*Forecasting/Sales Analysis*): auxilia a função de previsão de vendas da empresa;
- Listas de Materiais (Bom – *Bills Of Material*): módulo responsável pelo apoio à manutenção das estruturas de produtos da organização;
- Programa Mestre de Produção/Capacidade Aproximada (MPS – *Master Production Scheduling/RCCP – Rough-Cut Capacity Planning*): a principal função do módulo MPS é coordenar ou, em outras palavras, balancear suprimento e demanda dos produtos acabados, período a período. Já o módulo de RCCP é responsável por, antecipar necessidades de capacidade de recursos que requeiram prazo de alguns poucos meses para sua mobilização;
- Planejamento de Materiais (MRP – *Material Requirements Planning*): o cálculo de necessidades de materiais baseia-se na idéia de que, se são conhecidos todos os componentes de determinado produto e os tempos de obtenção de cada um deles, podemos, com base na visão de futuro das necessidades de disponibilidade

do produto em questão, calcular os momentos e as quantidades que devem ser obtidas, de cada um dos componentes para que não haja falta nem sobra de nenhum deles, no suprimento das necessidades dadas pela produção do referido produto;

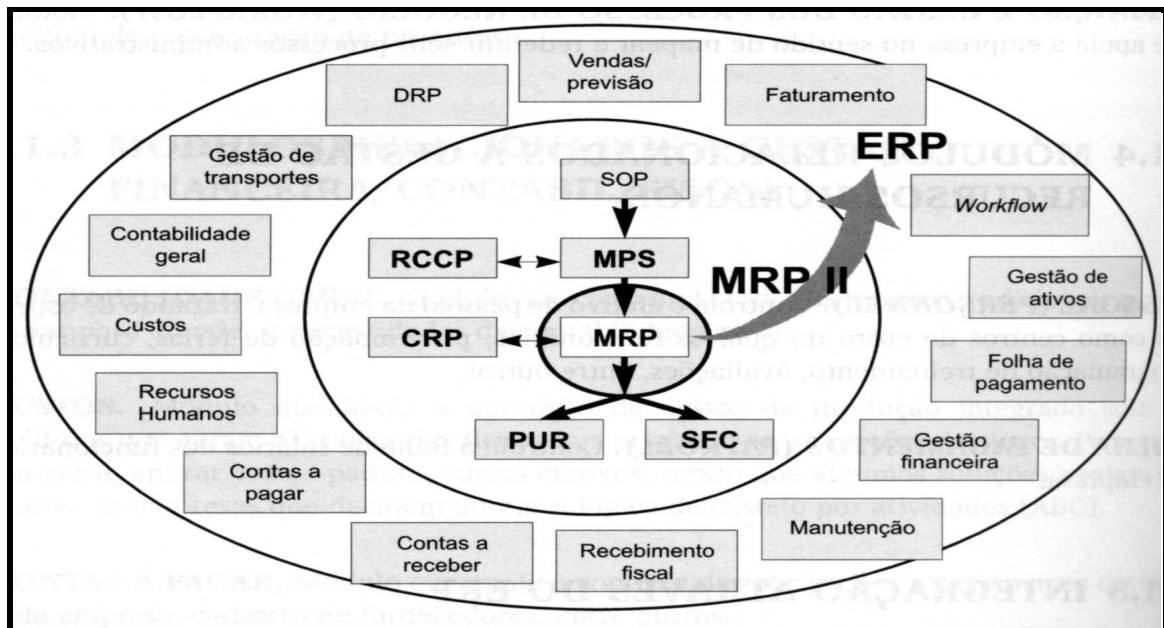
- Planejamento Detalhado de Capacidade (CRP – *Capacity Requirements Planning*): o planejamento de capacidade de curto prazo, CRP, visa antecipar necessidades de capacidade de recursos que requeiram prazo de algumas poucas semanas para sua mobilização/obtenção e gerar um plano detalhado de produção e compras que seja viável;
- Compras (*Purchasing*): o módulo de compras visa apoiar o processo decisório da função de suprimentos dentro da empresa;
- Controle de Fabricação (SFC – *Shop Floor Control*): este módulo é responsável por controlar a produção; permite comparações com o que estava planejado com o que foi produzido para, em caso de não coincidência, permitir o disparo de ações corretivas, também é responsável por liberar as ordens de produção;
- Controle de Estoques (*Inventory*): o módulo de controle de estoques apóia as posições de níveis de estoque, transações de recebimento, transferências, baixas, alocações de materiais, gestão de materiais e rotinas de inventario rotativo;
- Engenharia (*Engineering*): módulo que apóia a função de engenharia no que se refere as suas interfaces com o processo de planejamento;
- Distribuição Física (DRP – *Distribution Requirements Planning*): módulo responsável por reduzir *lead time* de entrega;
- Gerenciamento de Transportes (TM – *Transport Management*): módulo que apóia a tomada de decisão em relação ao transporte de materiais;
- Apoio à Programação com Capacidade Finita de Produção Discreta: módulo que busca garantir que o programa de produção resultante seja viável, ou seja, caiba dentro da capacidade disponível;
- Configuração de Produtos: módulo que traduz a descrição genérica existente em estruturas de produtos modularizadas disponíveis em uma estrutura específica correspondente ao pedido propriamente dito;

b) Módulos Relacionados à Gestão Financeira/Contábil/Fiscal:

- Contabilidade Geral: módulo que completa todas as funções tradicionais necessárias para atender a necessidade da contabilidade geral;
  - Custos: módulo que apóia a apuração de custos de produção integrado com os módulos que geram as transações físicas que originam as transações de custos;
  - Contas a Pagar: módulo que apóia o controle das obrigações e pagamentos devidos pela empresa, cadastro de fornecedores, entre outros;
  - Contas a Receber: controle de contas a receber, cadastro de clientes, controle de situação creditícia de clientes, prazos, entre outros;
  - Faturamento: módulo que apóia a emissão e controle de faturas e duplicatas emitidas e apóia também as receitas fiscais referentes à venda de produtos;
  - Recebimento Fiscal: módulo que apóia as transações fiscais referentes ao recebimento de matérias;
  - Contabilidade Fiscal: módulo que apóia as transações da empresa em seus aspectos de necessidade de cumprimento de requisitos legais (manutenção de livros fiscais);
  - Gestão de Caixa: módulo financeiro de apoio à gestão (planejamento e controle) dos encaixes e desencaixes da empresa;
  - Gestão de Ativos: módulos que apóia o controle dos ativos (aquisição, manutenção, baixas) da empresa;
  - Gestão de Pedidos: módulo de apoio à administração dos pedidos de clientes, aprovação de crédito, controle de datas, entre outros;
  - Definição e Gestão dos Processos de Negócio (*Workflow*): módulo que apóia a empresa no sentido de mapear e redefinir seus processos administrativos;
- c) Módulos Relacionados à Gestão de Recursos Humanos:
- Pessoal (*Personnel*): controla o efetivo de pessoal da empresa;
  - Folha de Pagamentos (*Payroll*): controla a folha de salários dos funcionários da empresa.

A configuração dos módulos mencionados dá-se conforme o diagrama da fig. 1:

**FIGURA 1 – ESTRUTURA CONCEITUAL DOS SISTEMAS ERP, E SUA EVOLUÇÃO DESDE O MRP.**



Fonte: Corrêa (2001)

## 2.2 SISTEMAS DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO (SAP)

Nós chamamos genericamente Sistemas de Administração da Produção os sistemas de informação para apoio à tomada de decisões, táticas e operacionais, referentes às seguintes logísticas básicas:

- a) o que produzir e comprar;
- b) quanto produzir e comprar;
- c) quando produzir e comprar;
- d) com que recursos produzir, para que sejam atingidos os objetivos estratégicos da organização.

Os SAP provêm informações que suportam o gerenciamento eficaz do fluxo de materiais, da utilização de mão-de-obra e dos equipamentos, a coordenação das atividades internas com as atividades dos fornecedores e distribuidores e a comunicação com os clientes no que se refere às suas necessidades operacionais. O ponto chave nesta definição é a necessidade gerencial de usar as informações para tomar decisões inteligentes. Os SAP não tomam decisões ou gerenciam sistemas, os administradores é que executam estas atividades.

Os SAP têm a função de apoiar estes administradores para que possam executar sua função de forma adequada

Segundo Corrêa (2001), existem diversas alternativas de técnicas e lógicas que podem ser utilizadas (por vezes, completamente) com este objetivo. As três principais, que tem sido mais extensivamente usadas ao longo dos últimos 15 anos, são: os sistemas MRP II/ERP (seção 2.4.1), que se baseiam fundamentalmente na lógica do cálculo de necessidades de recursos a partir das necessidades futuras de produtos. Os sistemas *Just in Time*, de inspiração japonesa, e os sistemas de programação da produção com capacidade finita, que se utilizam fundamentalmente das técnicas de simulação em computador.

### **2.2.1 O QUE SE ESPERA DE UM SAP**

Independente da lógica que utilize, os sistemas de administração da produção, para cumprirem seu papel de suporte ao alcance dos objetivos estratégicos da organização, segundo Corrêa (2001), devem ser capazes de apoiar o tomador de decisões logísticas a:

- a) planejar as necessidades futuras de capacidade (qualitativamente e quantitativamente) do processo produtivo;
- b) planejar os materiais comprados, de modo que estes não cheguem nem antes nem depois, nem em quantidades maiores ou menores do que aquelas necessárias ao atendimento da demanda;
- c) Planejar os níveis apropriados de estoque de matérias primas, semi-acabados e produtos finais nos pontos certos, de forma a garantir que as incertezas do processo afetem o menos possível o nível de serviços aos clientes e o funcionamento suave da fábrica;
- d) programar atividades de produção para garantir que os recursos produtivos envolvidos estejam sendo utilizados, em cada momento, nas atividades certas e prioritárias, evitando, assim, dispersão desnecessária de esforços;
- e) ser capaz de saber e de informar da situação corrente dos recursos (pessoas, equipamentos, instalações, materiais) e das ordens (de compra e produção);
- f) ser capaz de prometer os menores prazos possíveis aos clientes e depois, fazer cumpri-los;

- g) ser capaz de reagir eficazmente, reprogramando atividades bem rápido, quando a demanda prevista pode não ter se confirmado, o suprimento planejado pode não ter chegado ou a ordem planejada pode não ter sido completada pela quebra de um equipamento, por exemplo.

Os sistemas de administração da produção devem ser capazes, por meio da informação, de integrar a função de operações dos sistemas produtivos com outras funções dentro da organização, de forma que proporcione a necessária integração de seu processo logístico, que é onde reside hoje, para grande número de empresas, o maior potencial de obtenção de melhoramentos competitivos.

Os SAP suportam as atividades ou tarefas destinadas à área de Planejamento e Controle da Produção (PCP), conforme será exposto a seguir.

## **2.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)**

Atualmente, onde a tecnologia está disseminada, qualquer inovação desencadeia outras inovações que são amplamente testadas até que possam ser aplicadas com confiabilidade pelos administradores das empresas modernas. Administrar, nos dias de hoje, é algo onde os riscos são muito menores que antigamente, porém a responsabilidade se redobra exatamente pela existência de todo o aparato tecnológico que cerca uma decisão administrativa.

No planejamento e controle da produção, foi desenvolvida uma série de técnicas de Administração nas últimas décadas e da sua correta aplicação em conjunto com a indispensável capacidade empresarial do administrador moderno depende o sucesso do mundo contemporâneo no que se refere ao atendimento das necessidades materiais da humanidade.

O setor de Planejamento e Controle de Produção de uma empresa, é um setor-meio que serve como transformador de informações entre vários setores de uma empresa e tem um papel de conciliador entre aqueles departamentos que eventualmente tenham alguns atritos.

Para atingir seus objetivos e aplicar adequadamente seus recursos, as empresas não produzem ao acaso, nem funcionam improvisadamente. Elas precisam planejar antecipadamente e precisam controlar adequadamente sua produção. Para isto existe o PCP.

### 2.3.1 CONCEITOS DE PCP

O PCP é um setor responsável pela coordenação dos vários departamentos da fábrica, com vistas ao bom atendimento das solicitações de vendas que lhe são encaminhadas, cabendo-lhe providenciar que as mesmas sejam atendidas no prazo e quantidade exigidos. Supondo a existência de facilidades industriais adequadas em relação aos programas de venda e conhecida a maneira de produzir o produto acabado, o PCP encarrega-se de emitir as várias ordens, programar e movimentar as ordens de fabricação e acompanhar a produção de um modo geral. As providências por ele solicitadas destinam-se a produção e também a compras, ambos funcionando portanto segundo instruções do PCP. Esse relacionamento, entretanto, não significa uma relação de dependência, isto é, não é necessário que aqueles departamentos lhe sejam subordinados para que sigam suas instruções. Essa alternativa eliminaria, sem dúvidas, o provável atrito que caracteriza as relações do PCP com Produção e Compras, porém, agigantaria desnecessariamente esse departamento, transformando-o numa verdadeira subgerência, o que, pelo menos no caso da pequena e média empresa, não parece recomendável.

Na visão de Russomano (2000), PCP é uma função de apoio de coordenação das várias atividades de acordo com os planos de produção, de modo que os programas preestabelecidos possam ser atendidos com economia e eficiência. Também como uma função de apoio de coordenação. Portanto sua atividade não é uma atividade fim e sim uma atividade meio. É um meio, um apoio para produção e compras cumprirem suas finalidades de acordo com vendas.

Já Rezende (1992) define PCP como uma função administrativa que consiste basicamente num conjunto de funções interligadas. Estas funções objetivam orientar todo o processo produtivo e coordená-lo com os setores administrativos da empresa.

Controle da produção é a função da administração que planeja, dirige e controla o suprimento de material e as atividades de processamento de uma indústria, de modo que os produtos especificados sejam produzidos por métodos preestabelecidos para conseguir um programa de vendas aprovado; essas atividades são desempenhadas de tal maneira que recursos humanos, facilidades e capital, disponíveis são usados com a máxima vantagem. Ele envolve geralmente a organização e o planejamento dos processos de fabricação. Especificamente, se constitui no planejamento do seqüenciamento de operações, da

programação da movimentação e da coordenação da inspeção, e no controle de materiais, métodos, ferramental e tempos operacionais. O objetivo final é a organização do suprimento e movimentação dos recursos humanos, utilização de máquinas e atividades relacionadas, de modo a atingir os resultados de produção desejados, em termos de quantidade, qualidade, prazo e lugar, Russomano (2000).

As principais finalidades do PCP são:

- a) atender o prazo de entrega;
- b) aumentar a eficiência (capacidade de produzir);
- c) aumentar a eficácia (qualidade do que foi produzido).

### **2.3.2 TAREFAS DO PCP**

Conforme Volkmann (1998), as funções do PCP são duas:

- a) planejar a produção – o PCP estabelece antecipadamente o que a empresa deverá produzir, e conseqüentemente o que deverá dispor de matérias-primas e materiais, de pessoas, de máquinas e equipamentos, bem como de estoques de produtos acabados para suprir as vendas;
- b) controle da produção – o PCP monitora e controla o desempenho da produção em relação ao que foi planejado, corrigindo eventuais desvios ou erros que possam surgir. O controle de produção deve responder às seguintes questões:
  - os insumos de produção estão sendo entregues dentro dos prazos certos?;
  - a mão-de-obra está sendo realmente empregada?;
  - os equipamentos de produção são adequados e estão sendo utilizados eficientemente?;
  - os estoques de produtos acabados (ou semi-acabados) estão em níveis planejados?;
  - o ritmo de produção está sendo desenvolvido de acordo com o planejamento?.

O PCP atua antes, durante e depois do processo produtivo. Antes, planejando o processo produtivo, programando materiais, máquinas, pessoas e estoques. Durante e depois, controlando o funcionamento do processo produtivo para mantê-lo de acordo com o que foi planejado.



Na visão de Slack (1999), o planejamento e controle requerem a conciliação do fornecimento e da demanda em termos de volume, em termos de tempo e em termos de qualidade, com isto são desempenhadas três atividades distintas, embora integradas:

- a) carregamento: define qual a quantidade de trabalho que deve ser alocada a cada parte da produção;
- b) seqüenciamento: decide a ordem em que o trabalho será executado na operação;
- c) Programação: determina quando as atividades serão iniciadas e terminadas.

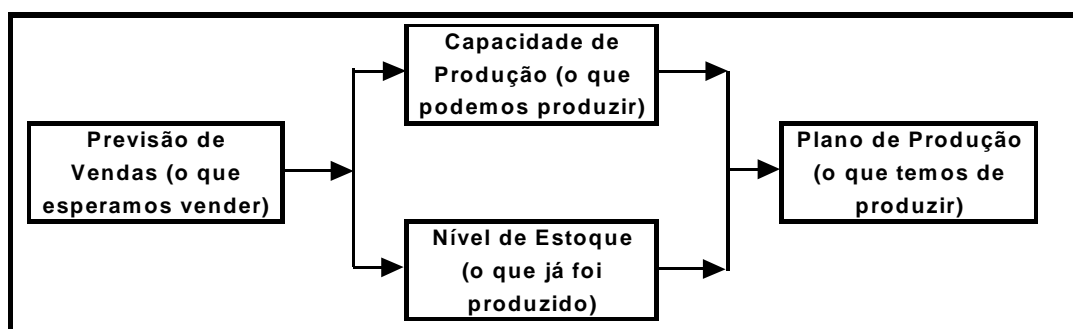
### **2.3.3 FUNCIONAMENTO**

Para funcionar satisfatoriamente, o PCP exige um enorme volume de informações. Na realidade, o PCP recolhe dados e produz informações incessantemente, sendo um centro de informações para a produção. O PCP apresenta quatro fases principais, que são as seguintes:

- a) projeto de produção: nesta fase, procura-se definir como o sistema de produção funciona e quais as dimensões para se estabelecer os parâmetros do PCP. O projeto de produção constitui um esquema básico que se fundamenta nos seguintes aspectos do sistema de produção da empresa:
  - quantidade e características das máquinas e equipamentos em cada setor, para se conhecer a capacidade de produção das máquinas de cada setor da empresa;
  - quantidade de pessoal disponível, ou seja, o efetivo de empregados e cargos ocupados em cada setor, para se conhecer a capacidade de trabalho de cada setor;
  - volume de estoques e tipos de matérias-primas, bem como procedimentos de requisição de materiais ao almoxarifado, para se conhecer a disponibilidade de insumos de produção;
  - métodos e procedimentos de trabalho, bem como cálculos dos tempos de execução das tarefas dos boletins de operação, para se conhecer como o trabalho deve ser realizado e qual a sua duração;
- b) coleta de informações: tem por finalidade dar subsídios para a formulação do plano de produção e engloba os seguintes fatores:
  - capacidade de cada máquina, de cada grupo de máquinas, e fatores de eficiência e de demora para cada máquina. Esta informação proporciona a capacidade de produção de cada máquina e de cada setor produtivo da empresa;

- seqüência do processo de produção, ou seja, a movimentação das matérias-primas ao longo do processo produtivo e seus gargalos ou de demora. Esta informação permite uma visão de todo o fluxo de produção, ou seja, de toda a cadência e seqüência do processo produtivo da empresa;
  - métodos de trabalhos de cada operário e tempo-padrão para cada tarefa executada. Esta informação permite saber quantos operários são necessários em cada máquina, e em cada setor produtivo da empresa;
  - horário de trabalho e esquema de incentivos de produção. Esta informação permite conhecer qual a carga normal de trabalho a ser atribuída a cada setor produtivo da empresa e qual a carga adicional que se poderia obter com a adoção de incentivos de produção (prêmios de produção);
  - volume de estoque para cada item de matéria-prima e controles de estoque. Esta informação permite saber qual o volume de estoque de matéria-prima necessário para abastecer o processo produtivo durante determinado período de tempo;
- c) planejamento da produção: o planejamento da produção (PP) visa estabelecer a prioridade do que a empresa deverá produzir em um determinado período de tempo, tendo em vista, de um lado a sua capacidade de produção e, de outro, a previsão de vendas que deve ser atendida. O PP é realizado em três etapas:
- elaboração do plano de produção ou plano-mestre, representa aquilo que a empresa pretende produzir dentro de um determinado exercício ou período de tempo, conforme fig. 2;

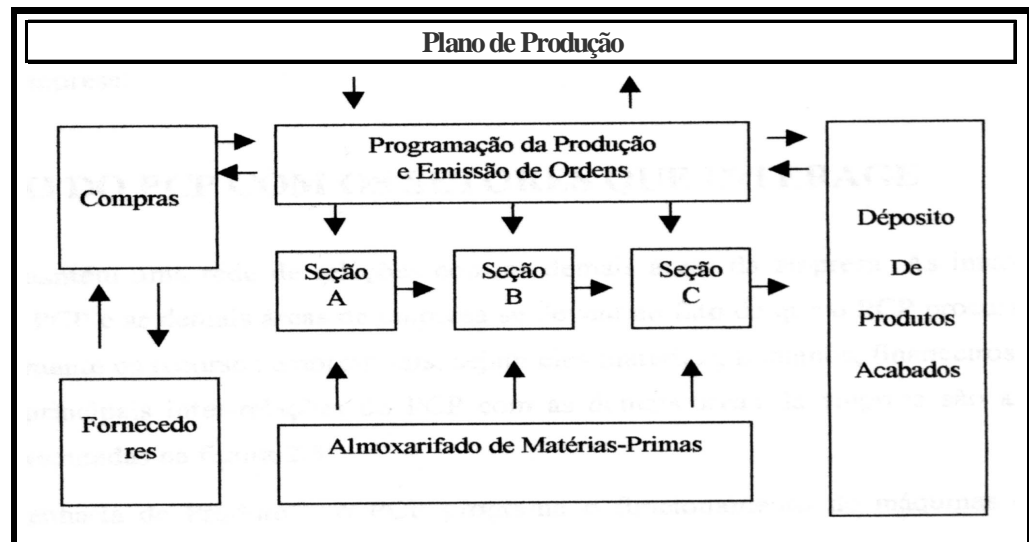
**FIGURA 2 – ELABORAÇÃO DO PLANO DE PRODUÇÃO OU PLANO-MESTRE**



Fonte: Volkmann (1999)

- implementação do plano de produção através da programação da produção. A partir da elaboração do plano de produção, o PCP passa a cuidar da programação da produção, que é o detalhamento do plano de produção para que ele possa ser executado de maneira integrada e coordenado pelos diversos setores produtivos e assessoria;
- execução do plano de produção é feita através das ordens (produção, compra, almoxarifado, etc) que representam as decisões que cada setor deverá executar para que todo o processo produtivo se desenvolva da melhor maneira possível, conforme fig. 3;

**FIGURA 3 – EXECUÇÃO DO PLANO DE PRODUÇÃO**



Fonte: Volkmann (1999)

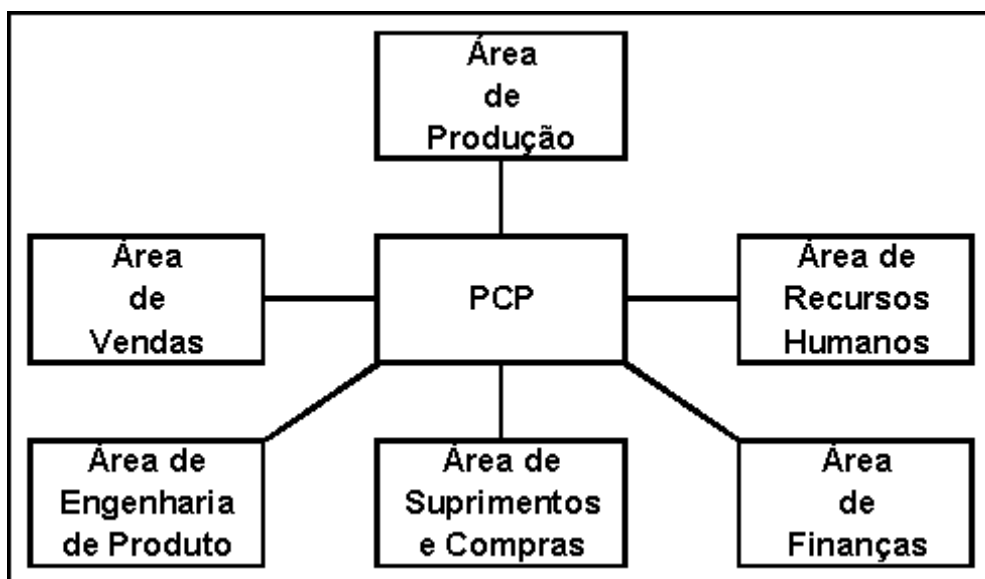
- d) controle da produção: a finalidade do controle da produção (CP) é acompanhar, avaliar e regular as atividades produtivas, para mantê-las dentro do que foi planejado e assegurar que atinjam os objetivos pretendidos. O CP visa duas finalidades principais:
- correção das falhas ou erros existentes, o CP serve para detectar falhas ou erros, seja no planejamento ou na execução para apoiar as medidas corretivas para saná-las;
  - prevenção de novas falhas ou erros, ao corrigir as falhas ou erros existentes, o CP aponta os meios para evitá-los no futuro.

### 2.3.4 FLUXO DO PCP COM OS SETORES QUE INTERAGE

O PCP mantém uma rede de relações com as demais áreas da empresa. As inter-relações entre o PCP e as demais áreas da empresa se devem ao fato de que o PCP procura utilizar racionalmente os recursos empresariais, sejam eles materiais, humanos, financeiros, etc. Assim, as principais inter-relações do PCP com as demais áreas da empresa são as seguintes (representadas na fig. 4):

- a) Engenharia de Produto – o PCP programa o funcionamento de máquinas e equipamentos e se baseia em boletins de operações fornecidos pela Engenharia;
- b) Produção – o PCP planeja e controla a atividade da área de produção;
- c) Vendas – o PCP se baseia na previsão de vendas fornecida pela área de Vendas para elaborar o plano de produção da empresa e planejar a quantidade de produtos acabados necessária para suprir as entregas aos clientes;
- d) Suprimentos e Compras – o PCP programa materiais e matérias-primas que devem ser obtidos no mercado fornecedor através do setor de Compras e estocados pelo setor de Suprimentos;
- e) Recursos Humanos – o PCP programa a atividade da mão-de-obra, estabelecendo a quantidade de pessoas que devem trabalhar no processo de produção;
- f) Financeira – o PCP se baseia nos cálculos financeiros fornecidos pela área financeira para estabelecer os níveis ótimos de estoques de matérias-primas e produtos acabados, além dos lotes econômicos de produção.

**FIGURA 4 – INTER-RELAÇÕES DO PCP COM AS DEMAIS ÁREAS**



Fonte: Volkmann (1999)

## 2.4 TÉCNICAS DE GERENCIAMENTO APLICÁVEIS AO PCP

Segundo Corrêa (2001), nos últimos anos, poucas áreas da Administração de Empresas mudaram tanto como a Administração da Produção. As razões por trás deste renovado interesse podem ser classificadas em três categorias principais. A primeira é a crescente pressão por competitividade que o mercado mundial tem exigido das empresas, com a queda de importantes barreiras alfandegárias protecionistas e o surgimento de novos concorrentes bastante capacitados. A segunda razão é o potencial competitivo que representa o recente desenvolvimento de novas tecnologias de processo e de gestão de manufatura. A terceira razão está relacionada ao recente desenvolvimento de um melhor entendimento de papel estratégico que a produção pode e deve ter no alcance dos objetivos globais da organização, Corrêa (2001). Desta forma, a empresa busca unificar sob uma mesma orientação, a sustentação necessária ao gerenciamento global, bem como, a estrutura de apoio das técnicas auxiliares para a organização industrial.

Estas técnicas orientam e apóiam a organização industrial em seu gerenciamento global na execução e solução de problemas de planejamento, estratégias, projetos de produtos, mercados, fluxo integrado do processo industrial, sistemas logísticos, sistemas de informação e dados, pessoas, qualidade, produtividade, lucratividade, etc., com a finalidade de alcançar vantagens competitivas em seu ambiente organizacional.

Existem várias técnicas de gerenciamento aplicáveis ao PCP, tais como MRP II, OPT, *JUST IN TIME (JIT)*, *JUST IN CASE (JIC)*, *KANBAM*, etc. Todas estas técnicas se propõem a auxiliar as empresas no seu gerenciamento global (ex: tomada de decisão que deve basear-se em fatos concretos), e cada uma delas utilizando abordagens diferentes entre si, tendo cada uma pontos fortes e fracos.

Para elaboração deste trabalho foi utilizada a técnica MRP II, porque, propõem-se a auxiliar as empresas desde o seu planejamento até a execução das tarefas, por ser uma técnica já consagrada mundialmente e ser de domínio público, e principalmente por ser a técnica utilizada na empresa deste estágio supervisionado.

## 2.4.1 MRP II

Abaixo serão apresentados alguns conceitos sobre a técnica MRP II, desde a sua criação, até suas vantagens e limitações.

### 2.4.1.1 HISTÓRICO

A lógica do cálculo de necessidades é conhecida há muito tempo. Entretanto, sua utilização em processos de manufatura complexos foi impossível ou inviável até meados dos anos 60. Isto se explica pelo fato de não haver no mercado como processar e armazenar os dados para tratar o volume de dados que o cálculo de necessidades requer em uma situação real. Com o desenvolvimento e barateamento dos computadores, ficou sendo viável para utilização em situações práticas. Surgiram, então, nos Estados Unidos os primeiros sistemas de computador para gestão de materiais que utilizavam conceitos de cálculo de necessidade, MRP.

Ao antigo MRP (*Material Requirements Planning* – Planejamento das Necessidades de Material) foram sendo agregados novos módulos, os módulos de MPS (*Master Production Schedule* - Programação Mestre de Produção), RCCP (*Rough Cut Capacity Planning* - Cálculo Grosseiro de Necessidade de Capacidade), CRP (*Capacity Requirements Planning* - Cálculo Detalhado de Necessidade de Capacidade), SFC (*Shop Floor Control* - Controle de Fábrica), PUR (Controle de Compras) e, mais recentemente, S&OP (*Sales & Operations Planning* - Planejamento de Vendas e Operações). O sistema, então, deixou de atender apenas às necessidades de informação referentes ao cálculo de necessidade de materiais para atender às necessidades de informação para tomada de decisão gerencial sobre outros recursos de manufatura. MRP passou a merecer, então, a denominação MRP II, passando a significar sistema de planejamento de recursos de manufatura.

Conforme Corrêa (2001), o MRP II (*Manufacturing Resource Planning*) vem transformando o panorama da indústria, introduzindo melhorias na maneira de gerenciar a manufatura das companhias da América do Norte, Europa Ocidental, Japão e América Latina.

### 2.4.1.2 OBJETIVOS PRINCIPAIS

O MRP II tem como objetivos principais:

- a) melhorar o nível de serviço ao Cliente, Qualidade e Prazos;
- b) redução dos níveis de estoques de componentes e matéria prima;
- c) redução dos custos:
  - horas extras;
  - produções de pequenos lotes;
  - emergências;
- d) facilidade de ajustes em caso de mudanças;
- e) eliminação do manuseio extra de materiais;
- f) melhoria da produtividade:
  - redução de faltas e conseqüentes práticas de produção a elas associadas.

### 2.4.1.3 PRINCÍPIO BÁSICO

O princípio básico do MRP II é o princípio do cálculo de necessidades, uma técnica de gestão que permite o cálculo, viabilizado pelo uso do computador, das quantidades e dos momentos em que são necessários os recursos de manufatura (materiais, pessoas, equipamentos, etc.), para que se cumpram os programas de entrega de produtos, com um mínimo de formação de estoques.

Segundo Corrêa (2001), o cálculo de necessidades dos componentes é feito a partir das necessidades dos produtos finais. Suponha-se que determinado processo produtivo (que manufacture o produto hipotético A) consista em três etapas: compra de materiais, que leva dois dias, fabricação dos componentes, que leva dois dias e montagem do produto final A, que leva um dia, conforme demonstrado na fig. 5.

**FIGURA 5 – PROCESSO PRODUTIVO DO PRODUTO HIPOTÉTICO A**



Fonte: Corrêa (2001)

Por exemplo, um pedido de duas unidades do produto final A, para o final da sexta-feira (ou para sábado), o sistema de cálculo de necessidades deve calcular as necessidades de todos os recursos que concorrem para a produção do produto A, nos momentos em que são necessários: se a montagem do produto A leva um dia, é necessário que na sexta-feira pela manhã uma quantidade suficiente de componentes para produzir as duas unidades do produto A esteja disponível para montagem. Também é necessário que haja montadores (suficientes para montar duas unidades de A) disponíveis na sexta-feira para executar a montagem (montagem leva um dia).

Seguindo no mesmo raciocínio, para que os componentes estejam prontos na sexta-feira pela manhã, é necessário que eles comecem a ser fabricados na quarta-feira pela manhã (a fabricação leva dois dias). Para isto, é necessário que um número suficiente (para produzir duas unidades do produto A) de operários de fabricação e suas ferramentas estejam disponíveis durante a quarta e quinta-feira e é preciso também que os materiais necessários para a produção de dois produtos A estejam comprados e disponíveis na quarta-feira pela manhã, para início da fabricação. Para isto, é necessário que as compras se dêem durante a segunda e terça-feira (as compras levam dois dias).

Segundo Corrêa (2001), este é um exemplo ilustrativo, simplificado, do funcionamento geral da lógica do cálculo de necessidades. Sumarizando, seus principais aspectos são:

- a) parte-se das necessidades de entrega dos produtos finais (quantidades e datas);
- b) calcula-se para trás, no tempo, as datas em que as etapas do processo de produção devem começar e acabar;
- c) determinam-se os recursos, e respectivas quantidades, necessárias para que se execute cada etapa.

#### **2.4.1.4 NOÇÕES BÁSICAS**

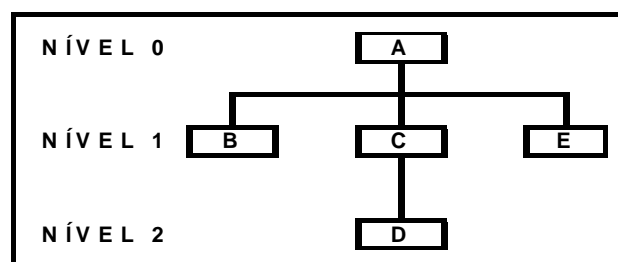
As noções básicas do MRP II se baseiam em inúmeros conceitos que serão apresentados abaixo.

- a) **CARGA FINITA:** consiste em não carregar o centro de trabalho além de sua capacidade de execução, Volkmann (1998);



- b) **CARGA INFINITA:** mostra o trabalho em um centro de trabalho, ao longo do tempo, sem levar em consideração a capacidade disponível para executar a tarefa, Volkmann (1998);
- c) **CENTROS DE TRABALHO:** qualquer grupo de máquinas ou pessoas que executem tarefas similares, operações ou seqüência de operações, Volkmann (1998);
- d) **DEMANDA INDEPENDENTE:** os itens de demanda independente são aqueles cuja demanda não depende da demanda de nenhum outro item. Típico exemplo de um item de demanda independente é o produto final, Corrêa (2001);
- e) **DEMANDA DEPENDENTE:** os itens de demanda dependente são aqueles cuja demanda depende de algum outro item. A demanda de um componente de um produto final, por exemplo, é dependente da demanda do produto final. A demanda de itens com demanda dependente não necessita ser previsto, pois pode ser calculada com base na demanda do item do qual depende, Corrêa (2001);
- f) **ESTOQUE:** é a quantidade de estoque que se possui de um determinado material, pode ser comprado ou fabricado, Volkmann (1998);
- g) **ESTOQUE DE SEGURANÇA:** o MRP II permite que se estabeleça níveis de estoques de segurança para itens planejados, Volkmann (1998);
- h) **ESTRUTURA DE PRODUTO:** é uma estrutura que descreve as relações pai-filho, itens componentes de um mesmo produto final, representado pela fig. 6;

**FIGURA 6 – ESTRUTURA DE PRODUTO RELAÇÃO PAI-FILHO**



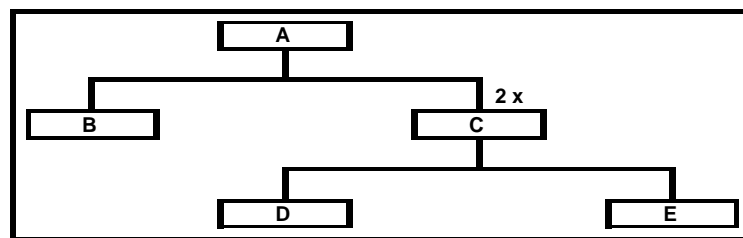
Fonte: Corrêa (2001)

- i) **HORIZONTE DE PLANEJAMENTO:** consiste em um número definido de períodos, que são períodos para os quais se planejam as ordens, estes períodos podem ser dias, semanas, meses e anos, Volkmann (1998);
- j) **ITEM FANTASMA:** item que possui uma estrutura de produto, porém não é produzido, nem estocado ou comprado. No cálculo de necessidades este item

fantasma é explodido pelo MRP, porém não há geração de ordens, Volkmann (1998);

- k) ITEM-PAI/ITEM-FILHO: item-pai é um item de estoque que tem componentes. Cada um destes itens componentes é um item-filho. Se o item-filho tem itens componentes, então, ele é um item-pai destes, que por sua vez, são itens-filho, Volkmann (1998);
- l) *LEAD-TIME*: é o tempo necessário para o ressuprimento de um item. Se um item é comprado, o *lead-time* refere-se ao tempo decorrido desde a colocação da solicitação de compra até o recebimento do material comprado. Se, se trata de item produzido ou fabricado, o *lead-time* refere-se ao tempo decorrido desde a liberação de uma ordem de produção até que o item fabricado esteja pronto e disponível para uso, Corrêa (2001). Analisando a seguinte estrutura de produtos conforme a fig. 7;

**FIGURA 7 – LEAD-TIME DE UMA ESTRUTURA DE PRODUTOS**



Fonte: Corrêa (2001)

Suponha-se que para a estrutura acima, valham os seguintes *lead-times* conforme a tabela 1:

**TABELA 1 – LEAD-TIMES PARA DETERMINADA ESTRUTURA DE PRODUTOS**

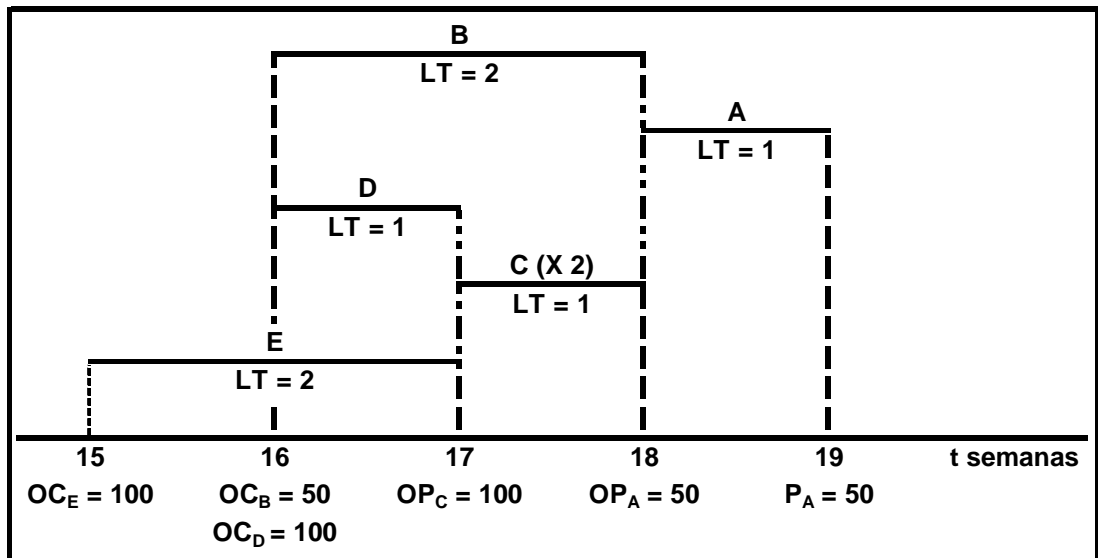
A	1 semana
B	2 semana
C	1 semana
D	1 semana
E	2 semana

Fonte: Corrêa (2001)

Suponha-se que um pedido de 50 unidades do produto A, a ser entregue na semana 19, esteja sendo planejado.

Na fig. 8 encontra-se um exemplo de como ficaria o cálculo dos momentos em que as ordens de compra e produção deveriam ser liberadas, fazendo uso de um esquema que represente estas ocorrências no tempo.

**FIGURA 8 – CÁLCULO QUANDO ORDENS DE COMPRA E PRODUÇÃO LIBERADAS**



Fonte: Corrêa (2001)

Partindo, então, das necessidades de entrega de produtos acabados, representadas pelo pedido PA, são calculadas as necessidades brutas dos itens, nos respectivos instantes, e identificadas às quantidades e instantes em que é necessária a liberação das OC (ordens de compra) e OP (ordens de produção) para diversos itens (A, B, C, D, e E), Corrêa (2001);

- m) **LOTE**: é uma quantidade previamente estabelecida e codificada de matéria-prima, produto intermediário e produto acabado, Volkmann (1998);
- n) **TAMANHO DE LOTE**: é o tamanho do lote de produção ou de compra de determinado item, Volkmann (1998);
- o) **LOW LEVEL CODE**: é um procedimento adotado pelo sistema para determinar qual a seqüência em que o processamento do cálculo de necessidades de materiais é executado. Alguns itens podem ser componentes em mais de um produto. Se um processamento fosse feito percorrendo as estruturas de produtos de forma hierárquica, o sistema iria replanear o mesmo componente várias vezes. No intuito de evitar isso, este componente possui como número do nível o mais baixo que ele aparece em qualquer estrutura de produto, Volkmann (1998);
- p) **CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL**: é como o material é classificado. Pode ser comprado ou fabricado e, segundo Volkmann (1998), se divide em:
  - matéria-prima: destinados à produção de produtos finais ou produtos acabados;

- produto intermediário: são componentes do produto final;
  - produto final ou acabado: são os produtos prontos para serem comercializados;
- q) **NECESSIDADES BRUTAS:** são as quantidades necessárias dos itens-filho (componentes) para atender a determinada quantidade de um item-pai que necessita ser produzido, desconsiderando as quantidades em estoque dos itens-filhos, Corrêa (2001);
- r) **NECESSIDADES LÍQUIDAS:** são as necessidades de itens-filhos (componentes) para suprir a produção de determinada quantidade de um item-pai, descontadas as posições dos estoques já existentes de itens-filhos (e que, portanto, não necessitam ser produzidos ou comprados), Corrêa (2001);
- s) **POLÍTICAS DE ORDEM:** são regras usadas pelo sistema MRP, durante seu processamento, para determinar como a empresa deseja executar a sua produção:
- discreta – a ordem é gerada a partir de uma necessidade;
  - fixa por quantidade – as ordens são determinadas em lotes;
  - fixa por período: as ordens são geradas por um intervalo de data (semanas, etc.);
- t) **STATUS DE ORDEM:** são regras usadas pelo sistema MRP, durante seu processamento e para o usuário fazer a sua administração da produção, que são as seguintes:
- ordens planejadas: são sugestões de quantidades a serem produzidas ou compradas;
  - ordens liberadas: são OP ou OC que foram analisadas (firmadas) pelo programador;
  - ordens abertas – são OP que já deram início da sua fabricação, ou as ordens de compra que já estão com o fornecedor;
  - ordens com entrega parcial – são OP que já estão parcialmente prontas ou OC que o fornecedor já entregou parte do material;
  - ordens encerradas – são OP já concluídas, ou OC com entrega total de materiais;
- u) **UNIDADES DE MEDIDA:** é como a empresa faz a estocagem de seus materiais, sejam matérias-primas, produtos intermediários, produtos acabados (por exemplo peça, centena, litro, etc);
- v) **FATOR DE CONVERSÃO:** o fator de conversão é usado para converter quantidades de estoque que estão em unidades diferentes. Como por exemplo da

unidade de compra para a unidade de estocagem, determinado material pode ser adquirido em Kg e estocado em peça.

#### **2.4.1.5 VANTAGENS DO MRP II**

Uma das principais vantagens do MRP II é sua natureza dinâmica. É um sistema que reage bastante bem às mudanças. Esta é uma condição que se torna mais importante a cada dia, num ambiente competitivo que é cada vez mais turbulento. A mudança de um item de programa mestre pode parecer muito simples, mas, na verdade, pode afetar centenas de componentes. Reconhecer este tipo de influência sem um sistema do tipo MRP II seria bastante difícil. Esta característica faz com que o MRP II seja mais útil para situações em que as estruturas de produtos sejam complexas, com vários níveis e vários componentes por nível e em que as demandas sejam instáveis, Corrêa (2001).

Segundo Corrêa (2001), o MRP II é um sistema de informações integrado, que põe em disponibilidade para um grande número de usuários grande quantidade de informações. Esta troca de informações, se bem aproveitada, pode trazer inúmeros benefícios para a empresa que o adote.

#### **2.4.1.6 LIMITAÇÕES DO MRP II**

O MRP II baseia-se num pacote de computador complexo (com alguns módulos), muitas vezes caro, que, em geral, não é fácil de alterar no sentido de adaptá-lo às necessidades da empresa usuária. Estas alterações, ainda que possíveis, demandam bastante esforço e despesas por parte do usuário. Muitas vezes as empresas que optam por adotar MRP II se vêem obrigadas a se adaptar à ferramenta, o que nem sempre é recomendável. Alguns críticos mais céticos argumentam que, para se implantar MRP II com sucesso, é necessário um esforço de pré-organização da empresa de tal dimensão que, ao final do esforço, a empresa estaria organizada a ponto de prescindir do próprio sistema, Corrêa (2001).

Um ambiente que utilize MRP II é um ambiente altamente “computadorizado”. Isto significa que, embora uma quantidade muito grande de dados esteja disponível, estes dados também devem ser informados ao sistema de forma sistemática (MRP II não tolera controles “paralelos”) e exata, já que o sistema depende visceralmente deles para seus procedimentos. Isto demanda que os envolvidos com o uso do sistema sejam bastante disciplinados em seus

procedimentos de entrada de dados. Isto nem sempre é fácil de obter e representa alterações na forma de trabalho das pessoas, que tendem a ser mais informais, Corrêa (2001).

O MRP II automatiza muito e melhora pouco, como dizem alguns de seus críticos mais ácidos. O MRP II, por ser passivo e centralizado, também não parece favorecer ao engajamento dos operários na melhoria do sistema produtivo, já que o MRP II assume as responsabilidades por grande parte das decisões deixando os operários na função de “cumpridores” do plano, Corrêa (2001).

## 3 ESCALONADOR

### 3.1 INTRODUÇÃO

A otimização dos processos operacionais tem se revelado um fator crítico de sucesso para as organizações. Ele viabiliza a obtenção de ganhos de produtividade e atendimento a seus clientes, assim como a contínua redução dos custos operacionais.

A alocação ótima dos recursos produtivos, considerando-se as restrições monetárias, físicas e operacionais impostas pelas estruturas e processos produtivos e por um mercado globalizado e cada vez mais competitivo, representa uma constante preocupação para as organizações, quaisquer que sejam as suas áreas de atuação. Em diversas atividades de negócio, tais como a programação da alocação de pessoas, programação de OP, seqüência de atividades de manutenção, planejamento de missões de satélites ou configuração de centrais de telecomunicação, defronta-se sempre com o problema clássico de otimização: **como utilizar recursos críticos da melhor forma possível?**

Fazer as escolhas certas, redirecionar recursos para adaptar-se a problemas de suprimento, assim como rearranjar as seqüências de atividades pode proporcionar aumentos de produtividade, diminuição de custos, redução de perdas, otimização do ciclo operacional e agilização das entregas. Cada decisão tomada pode fazer a diferença entre o lucro e o prejuízo dentro desse universo de domínios, tais como: programação, configuração, planejamento, roteamento, alocação de recursos com capacidade finita ou qualquer problema que necessite fazer uma pesquisa para encontrar a solução ótima dentre uma grande variedade de possibilidades, Ramos (1998).

### 3.2 ESCALONAMENTO DE OPS

Na sua forma geral, pode se estabelecer que o problema da programação da produção envolve um conjunto de OPs a ser processada, onde cada OP compreende um conjunto de operações a ser executada. As operações requerem máquinas, recursos humanos e materiais e devem ser executadas de acordo com alguma seqüência tecnológica viável. Os programas são severamente influenciados por uma série de fatores tais como prioridade da OP, prazos de entrega, restrições de custos, níveis de produção, restrições quanto aos tamanhos dos lotes,

disponibilidade e capacidade de máquinas, precedências de operações, requerimentos de recursos e disponibilidade de recursos. O programa gerado seleciona uma seqüência adequada de operações – o roteamento do processo de produção – a qual resultará na conclusão de todas as OPs do conjunto, no menor tempo possível, Mazzucco (1999).

Para Ramos (1998), escalonar OPs significa planejar e controlar a produção sob a ótica do ótimo aproveitamento dos recursos. Significa agilidade, habilidade de produzir produtos acompanhando as variações da demanda que o mercado requerer, e que é preciso responder a novas solicitações de clientes muito rapidamente. Encurtar o ciclo de fabricação passa a ser um ingrediente chave para a agilidade, e o escalonamento se encaixa de forma exata pois está baseado na otimização do uso de recursos para a obtenção de flexibilidade lucrativa. Segundo Ramos (1998), a redução do ciclo de fabricação converte-se em elemento chave para alcançar a flexibilidade da empresa, é aqui que a manufatura sincronizada oferece seus benefícios pois tem o objetivo de ativar otimamente os recursos com o objetivo de brindar flexibilidade e maiores resultados econômicos à companhia. Em outras palavras, o escalonador garante que as pessoas certas tenham as informações necessárias para alocar máquinas, ferramentas e materiais para as tarefas de maior prioridade todo tempo. O conceito de otimização da programação está embutido no escalonador para fornecer informações não apenas para os operadores do piso, mas também aos planejadores, líderes de equipe e à área comercial. O escalonador orienta o piso industrial com a melhor seqüência de tarefas priorizada com a demanda do momento.

### **3.3 VISÃO LÓGICA DO USUÁRIO**

A intenção desta seção é dar uma idéia do que exatamente um escalonador deve se propor a fazer. Este trabalho pode se tornar em algo extremamente complexo a ser executado por um analista de PCP, por exemplo, a fim de verificar qual é a seqüência de OPs preferenciais que gerem um plano ótimo.

Tomando como exemplo uma simples situação (em um ambiente levando em consideração um escalonamento com capacidade finita, ou seja, um número de recursos finitos), com dois recursos e três tarefas (que podem ser consideradas como OPs) cada qual com duas operações. Essas operações sempre são enumeradas seqüencialmente de tal forma que isto define a sua própria ordem de execução (considerando neste exemplo que cada



operação seguinte poderá iniciar apenas quando a anterior estiver pronta). É habitual usar números de sucessão, implicando dessa forma um seqüenciamento obrigatório. As três OP a serem executadas são respectivamente A, B e C.

Os tempos de cada operação de cada OP são demonstrados na tabela 2:

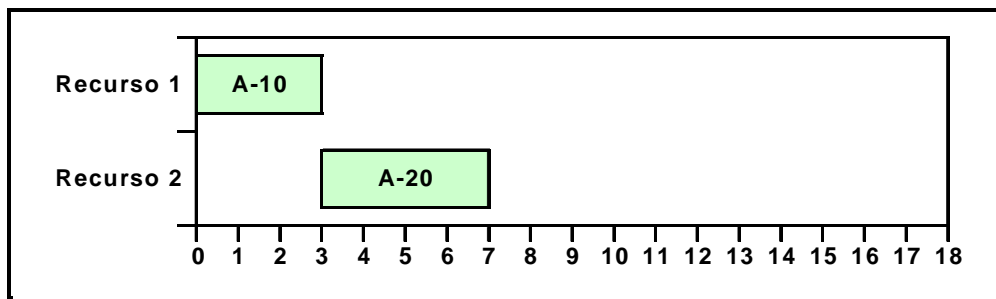
**TABELA 2 – TEMPOS DE CADA OPERAÇÃO DE CADA OP**

OP	Seqüência	Recurso	Tempo de Produção
A	10	1	3
A	20	2	4
B	10	2	5
B	20	1	2
C	10	1	3
C	20	2	4

Existem inúmeras maneiras de tal problema ser resolvido por um analista de produção. Uma maneira pouco eficiente seria escalonar cada tarefa uma seguida da outra totalmente independente. Dessa forma, a seqüência ficaria assim:

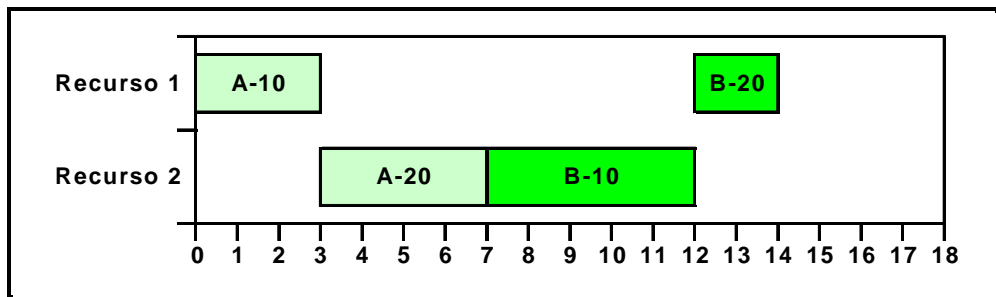
- a) escalonar a primeira OP, que no caso é a “A”, conforme fig. 9;

**FIGURA 9 – ESCALONAMENTO DA OP “A”**



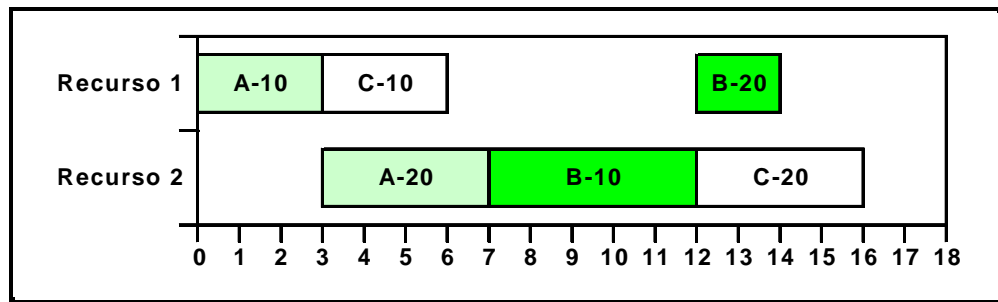
- b) escalonar a segunda OP, que no caso é a “B”, conforme fig. 10;

**FIGURA 10 – ESCALONAMENTO DA OP “B”**



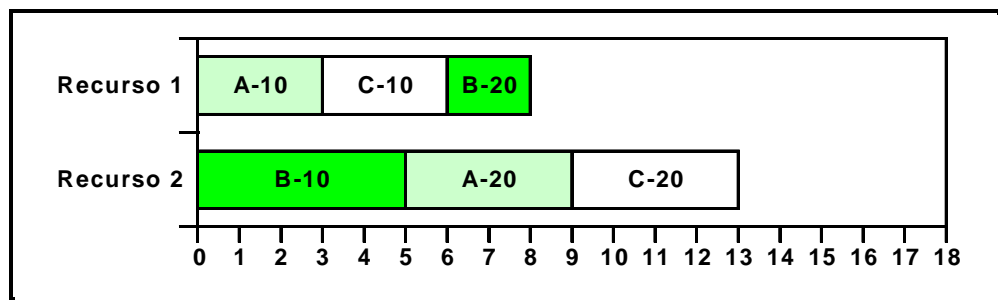
c) escalonar a última OP, que no caso é a “C”, conforme fig. 11.

**FIGURA 11 – ESCALONAMENTO DA OP “C”**



Após uma análise, o analista de PCP poderia perceber que existe uma forma melhor de escalonamento para o problema citado acima. Trata-se de manipular as tarefas não de forma independente, dando a possibilidade delas serem remanejadas. Sendo assim, a fig. 12 mostra como ficaria este seqüenciamento:

**FIGURA 12 – ESCALONAMENTO DAS OPS “A”, “B”, “C” EFICIENTEMENTE**



É importante a consciência de que para cada problema existem várias possíveis formas de resolução. Em problemas práticos que envolvam muitos recursos diferentes e muitas OPs diferentes, o número de possíveis soluções é enorme. O que uma organização precisa neste caso, é de uma ferramenta ou um método efetivo para gerar uma boa solução, ou melhor, uma ótima solução, levando em consideração os objetivos de produção.

O objetivo, o qual vem a ser o próprio desafio, é sempre determinar ao invés de um **bom escalonamento**, um **ótimo escalonamento**. O alcance desse objetivo pode se tornar um enorme problema por duas principais razões. Primeiro, o problema de grandes planejamentos, isto é, muitos recursos e muitas OP envolvidas, o que é normalmente computacionalmente desafiador na busca da solução ótima, fato que não é possível alcançar em um tempo razoável,

ou seja, pequeno. Segundo, há normalmente vários objetivos simultâneos (mínimo atraso, mínimo tempo de ciclo, máxima utilização de recurso, etc.), e estes estão freqüentemente em conflito. Sendo assim, na prática, o esforço consiste em achar a melhor solução possível que equilibra estes objetivos e pode ser obtida com computação mínima.

## 4 ALGORITMOS GENÉTICOS

Esta seção apresenta uma revisão bibliográfica sobre os algoritmos genéticos, abordando fatos históricos e importantes que levaram os mesmos a serem aplicados na solução de problemas, sem a pretensão de ser exaustivo e esgotar o assunto.

Conforme Azambuja (2001), os algoritmos genéticos foram publicados inicialmente em 1975, pelo professor Jonh Holland, da Universidade de Michigam. Os algoritmos genéticos procuram solucionar problemas complexos de otimização e aprendizado computacional, sem exigir muito conhecimento prévio destes. Trata-se de um método de resolução de propósitos gerais, cujo princípio é independente da natureza do problema específico. Estes algoritmos, apesar de serem computacionalmente muito simples, são bastante poderosos.

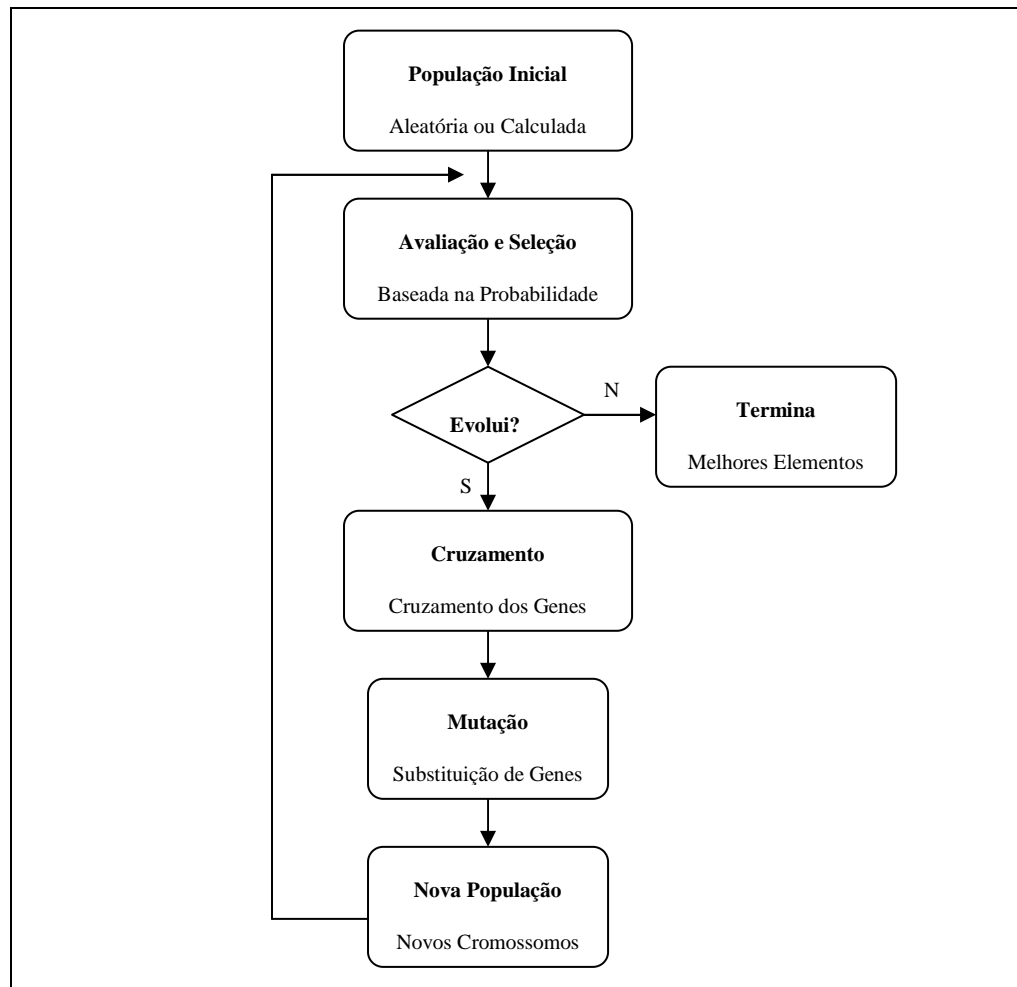
Essencialmente, tais algoritmos baseiam-se na Teoria da Seleção Natural. Essa teoria supõe que a evolução das espécies está diretamente ligada à capacidade dos indivíduos se adaptarem ao seu habitat, onde apenas os mais aptos sobrevivem e deixam descendentes. Nesse processo seletivo são gerados indivíduos com algumas características salientes, que se destacam dos demais de sua espécie. Com isso aumentam sua probabilidade de sobrevivência e geram descendentes ainda melhores, evoluindo a espécie quanto à sua adaptação ao meio ambiente. Por outro lado, indivíduos que não se destacam tendem a não sobreviver e a não gerar descendentes, sendo gradativamente eliminados, Azambuja (2001).

Os algoritmos genéticos procuram imitar, de uma forma computacional, algumas etapas desse processo evolutivo das espécies. Recebem esse nome porque assumem como referência à codificação de DNA, encontrada no núcleo da célula de cada indivíduo. Esse código genético é representado por cromossomos, que são cadeias de genes.

Segundo Azambuja (2001), durante a reprodução, aplicada através das operações de cruzamento (*crossover*), mutações e recombinações genéticas, os genes dos pais são misturados, gerando novos cromossomos que de uma forma organizada, combinam as características dos seus progenitores. O processo de seleção aproveita informações históricas dos melhores elementos.

A fig. 13 mostra um fluxograma ilustrando o processo de implementação dos algoritmos genéticos, onde cada ciclo do laço de repetições representa uma geração. A cada geração, através da reprodução, são criados novos indivíduos formando uma nova população que será avaliada pelo processo de seleção, identificando-se assim, quais elementos darão continuidade ao processo evolutivo e quais serão descartados.

**FIGURA 13 – FLUXOGRAMA DOS ALGORITMOS GENÉTICOS**



Fonte: Azambuja (2001)

Através da representação de uma solução na estrutura de cromossomo e definida uma função de avaliação ou “fitness” é que ocorre o acoplamento entre o método de resolução de propósitos gerais (algoritmo genético) com o problema específico (escalamento).

## 4.1 FUNCIONAMENTO DE UM AG

Segundo Kock (2001), em busca da solução ótima a problemas de otimização combinatória de grande escala, um AG funciona da seguinte maneira: inicialmente, é gerada uma população formada por um conjunto aleatório de indivíduos que podem ser vistos como possíveis soluções do problema (pais potenciais de uma nova população). Durante o processo evolutivo, esta população é avaliada: para cada indivíduo é dado uma nota, ou índice, refletindo sua habilidade de adaptação a determinado ambiente (nada mais é que o valor de *fitness* que está relacionado com o valor da função objetivo por otimizar). Uma porcentagem dos mais adaptados são mantidos, enquanto os outros são descartados (*darwinismo*). Os membros mantidos pela seleção podem sofrer modificações em suas características fundamentais através de mutações e cruzamento ou recombinação genética gerando descendentes para a próxima geração. Este processo, chamado de reprodução, é repetido até que uma solução satisfatória seja encontrada.

Para prevenir que os melhores indivíduos não desapareçam da população pela manipulação dos operadores genéticos (cruzamento e mutação), eles podem ser automaticamente colocados na próxima geração, através de reprodução elitista.

A implementação de um algoritmo genético supõe uma população inicial de indivíduos os quais tem sua aptidão calculada em função do ambiente onde deve ocorrer a evolução. A partir desta população uma nova é gerada usando mecanismos de troca de material genético e mutações. Esta nova população substitui a antiga e o processo se repete. A cada iteração se cria uma nova geração. O quadro 1 mostra um exemplo de algoritmo genético.

### QUADRO 1 – EXEMPLO DE ALGORITMO GENÉTICO

**Procedimento AG**

```

{  $t = 0$ ; // inicialize o tempo
inicia_população ( $P, t$ ) // escolha uma população de indivíduos
avaliação ( $P, t$ );
repita até ( $t = d$ )
    {  $t = t + 1$ ;
      seleção_dos_pais ( $P, t$ );
      recombinação ( $P, t$ );
      mutação ( $P, t$ );
      avaliação ( $P, t$ );
    }
}

```

onde:  $t$  – tempo atual;

$P$  – população

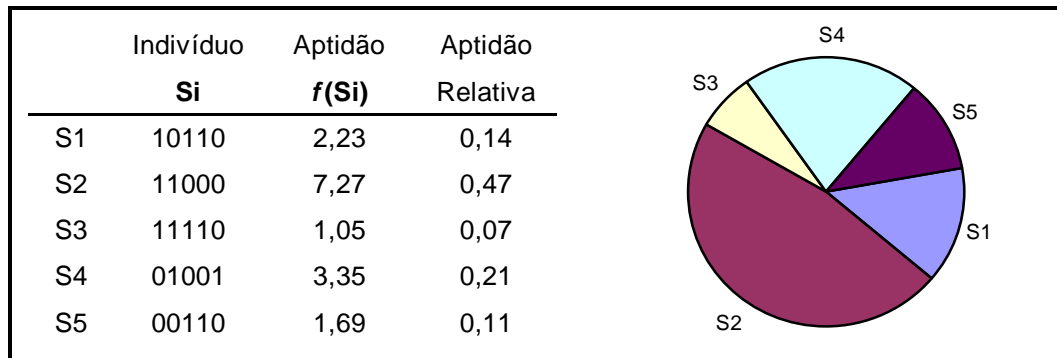
$d$  – tempo determinado para finalizar o algoritmo;

Fonte: Carvalho (2002)

Conforme Carvalho (2002), a maioria dos métodos de seleção são projetados para escolher preferencialmente indivíduos com maiores notas de aptidão, embora não exclusivamente, a fim de manter a diversidade da população. Um método de seleção muito utilizado é o Método da Roleta, onde indivíduos de uma geração são escolhidos para fazer parte da próxima geração, através de um sorteio de roleta.

Segundo Carvalho (2002), neste método cada indivíduo da população é representado na roleta proporcionalmente ao seu índice de aptidão. Assim, aos indivíduos com alta aptidão é dada uma porção maior da roleta, enquanto aos de aptidão mais baixa é dada uma porção relativamente menor da roleta. Finalmente, a roleta é girada um determinado número de vezes, dependendo do tamanho da população, e são escolhidos, como indivíduos que participarão da próxima geração, aqueles sorteados na roleta, conforme a fig. 14:

**FIGURA 14 – INDIVÍDUOS DE UMA POPULAÇÃO E A SUA CORRESPONDENTE ROLETA DE SELEÇÃO**



Fonte: Carvalho (2002)

## 4.2 ESPECIFICAÇÃO DE UM AG

Independentemente de como possa ser sofisticado o projeto de um AG, existem cinco componentes que devem ser incluídos:

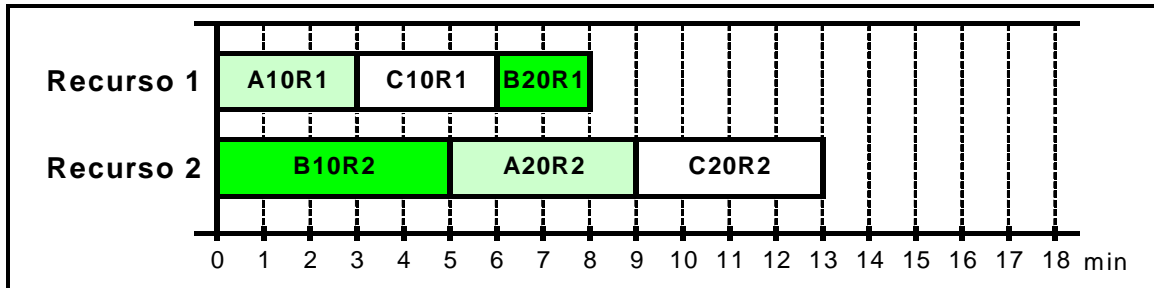
- uma representação, em termos de “cromossomos”, das configurações do problema;
- uma maneira de criar as configurações da população inicial;
- uma função de evolução que permite ordenar os cromossomos de acordo com a função objetivo;
- operadores genéticos que permitem alterar a composição dos novos cromossomos gerados pelos pais durante a reprodução;
- valores dos parâmetros que o algoritmo genético usa (tamanho da população, probabilidades associadas com a aplicação dos operadores genéticos, etc.).

### 4.2.1 EXEMPLO DE REPRESENTAÇÃO DOS CROMOSSOMOS

Existem várias maneiras de representar, em termos de “cromossomos”, as configurações do problema abordado neste trabalho. Uma delas (utilizada neste trabalho) é apresentada na fig. 15. A fig. 12 da seção 3.3 (Visão Lógica do Usuário) será utilizada como exemplo para esta representação.



**FIGURA 15 – REPRESENTAÇÃO DO ESCALONAMENTO DAS OPS “A”, “B” E “C” ATRAVÉS DE AG**



Cada intervalo no gráfico acima representa um gene. Colocando-se em uma *string* os três genes do recurso 1 (R1), seguidos dos três genes do recurso 2 (R2), teremos a representação de um cromossomo, conforme apresentado no quadro 2. A criação de vários cromossomos forma uma população de cromossomos.

**QUADRO 2 – EXEMPLO DE UM CROMOSSOMO**

**A10 R1 / C10 R1 / B20 R1 – B10 R2 / A20 R2 / C20 R2**

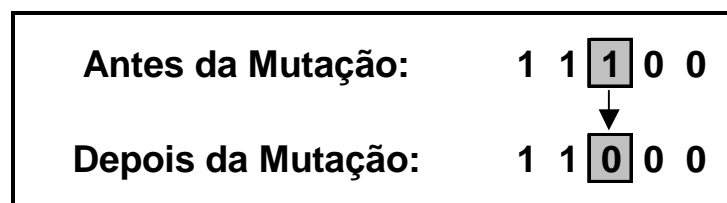
No exemplo do quadro 2, o primeiro gene é formado pela ordem A, seqüência 10 e recurso 1 (A10 R1), o segundo pela ordem C, seqüência 10 e recurso 1 (C10 R1), o terceiro é formado pela ordem B, seqüência 20 e recurso 1 (B20 R1), o quarto pela ordem B, seqüência 10 e recurso 2 (B10 R2), o quinto pela ordem A, seqüência 20 e recurso 2 (A20 R2), o sexto e último gene é formado pela ordem C, seqüência 20 e recurso 2 (C20 R2). Para separar os genes do mesmo recurso na *string*, são utilizados hífen (-) e para separar os três genes do recurso 1 dos três genes do recurso 2 é utilizada uma barra (/).

### 4.3 OPERADORES GENÉTICOS

Os operadores genéticos transformam a população através de sucessivas gerações, estendendo a busca até chegar a um resultado satisfatório. Sendo necessários para que a população se diversifique e mantenha características de adaptação adquiridas pelas gerações anteriores.

Segundo Kock (2001), o operador de **mutação** é necessário para a introdução e manutenção da diversidade genética da população, alterando arbitrariamente um ou mais componentes de uma estrutura escolhida, como é ilustrado na fig. 16, fornecendo assim, meios para introdução de novos elementos na população. Desta forma, a mutação assegura que a probabilidade de se chegar a qualquer ponto do espaço de busca nunca será zero, além de contornar o problema de mínimos locais, pois com este mecanismo, altera-se levemente a direção da busca. O operador de mutação é aplicado aos indivíduos com uma probabilidade dada pela taxa de mutação  $P_m$ ; geralmente se utiliza uma taxa de mutação pequena, pois é um operador genético secundário.

**FIGURA 16 – EXEMPLO DE MUTAÇÃO**

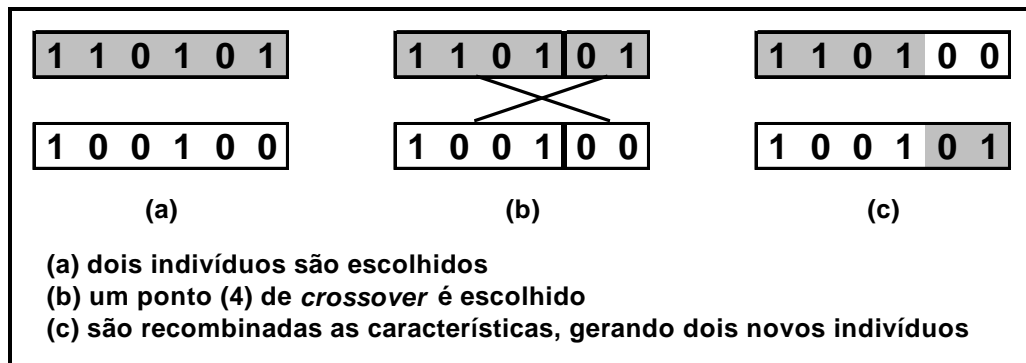


Fonte: Carvalho (2002)

O **cruzamento** é o operador responsável pela recombinação de características dos pais durante a reprodução, permitindo que as próximas gerações herdem essas características. Ele é considerado o operador genético predominante, por isso é aplicado com probabilidade dada pela taxa de *crossover*  $P_c$ , que deve ser maior que a taxa de mutação, Kock (2001).

Conforme Carvalho (2002), este operador pode, ainda, ser utilizado de várias maneiras, as mais utilizadas são:

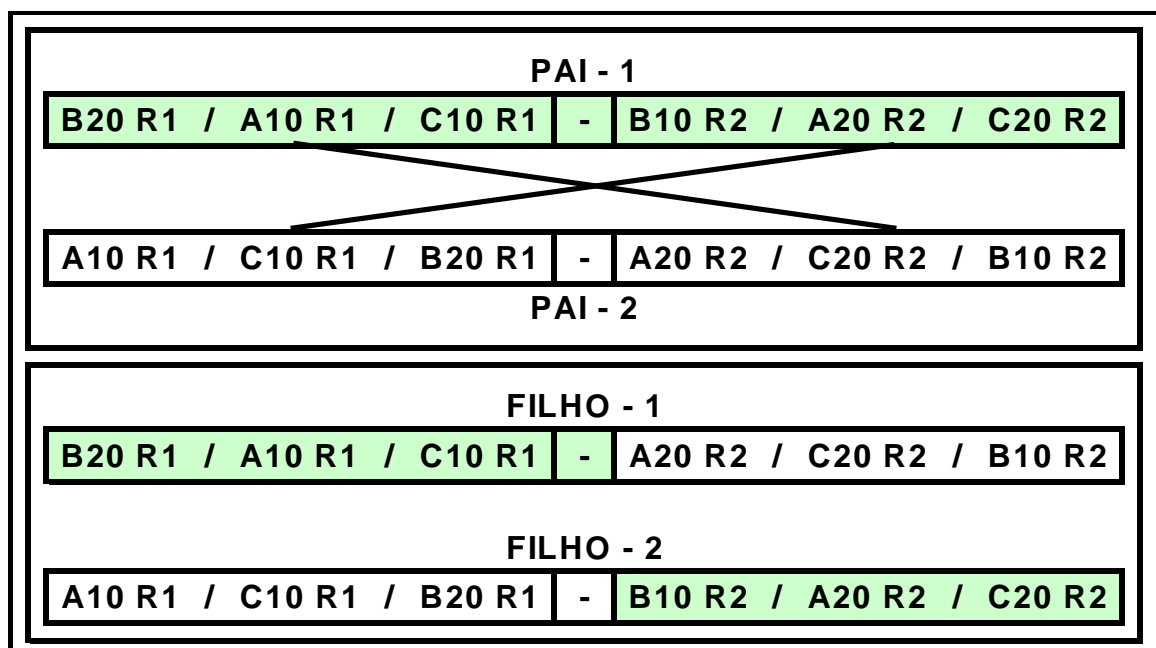
- a) **um-ponto:** um ponto de cruzamento é escolhido e a partir deste ponto as informações genéticas dos pais serão trocadas. As informações anteriores a este ponto em um dos pais são ligadas às informações posteriores a este ponto no outro pai, como é mostrado no exemplo da fig. 17;

FIGURA 17 – EXEMPLO DE *CROSSOVER* DE UM PONTO

Fonte: Carvalho (2002)

- b) **multi-pontos:** é uma generalização desta idéia de troca de material genético através de pontos, onde muitos pontos de cruzamento podem ser utilizados;
- c) **uniforme:** não utiliza pontos de cruzamento, mas determina, através de um parâmetro global, qual a probabilidade de cada variável ser trocada entre os pais.

A fig.18 apresenta um exemplo de cruzamento (*crossover*) de um ponto, no qual um dos dois filhos resultantes (filho 2) é a *string* que foi utilizada no exemplo da fig.15 na seção 4.2.1 (exemplo de representação de cromossomos).

FIGURA 18 – *CROSSOVER* DE UM PONTO GERANDO O CROMOSSOMO DO EXEMPLO DA SEÇÃO 4.2.1

## 4.4 PARÂMETROS GENÉTICOS

É importante também, analisar de que maneira alguns parâmetros influem no comportamento dos Algoritmos Genéticos, para que se possa estabelecê-los conforme as necessidades do problema e dos recursos disponíveis. Serão listados a seguir alguns parâmetros genéticos utilizados, segundo Carvalho (2002):

- a) **Tamanho da População** - o tamanho da população afeta o desempenho global e a eficiência dos AGs. Com uma população pequena o desempenho pode cair, pois deste modo a população fornece uma pequena cobertura do espaço de busca do problema. Uma grande população geralmente fornece uma cobertura representativa do domínio do problema, além de prevenir convergências prematuras para soluções locais ao invés de globais. No entanto, para se trabalhar com grandes populações, são necessários maiores recursos computacionais, ou que o algoritmo trabalhe por um período de tempo muito maior;
- b) **Taxa de Cruzamento** - quanto maior for esta taxa, mais rapidamente novas estruturas serão introduzidas na população. Com um valor alto, a maior parte da população será substituída, mas com valores muito altos pode ocorrer perda de estruturas de alta aptidão. Com um valor baixo, o algoritmo pode tornar-se muito lento;
- c) **Taxa de Mutação**. Uma baixa taxa de mutação previne que uma dada posição fique estagnada em um valor, além de possibilitar que se chegue em qualquer ponto do espaço de busca. Com uma taxa muito alta a busca se torna essencialmente aleatória;
- d) **Intervalo de Geração**. Controla a porcentagem da população que será substituída durante a próxima geração. As conseqüências são as mesmas da taxa de cruzamento.

## 5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Com os assuntos abordados nos capítulos anteriores, pôde-se desenvolver um protótipo de um sistema para escalonamento (melhor seqüência) de ordens de produção, ordens estas já geradas pelo sistema de administração da produção (SAP) da empresa (Metalúrgica Siemens), na qual este estágio supervisionado foi realizado.

O desenvolvimento do protótipo consistiu, principalmente, em dois processos: a especificação e a implementação. A seguir, serão descritos na seção 5.1 os requisitos principais para a construção do protótipo, na seção 5.2 a especificação do protótipo, na seção 5.3 será apresentada a implementação do protótipo, na seção 5.4 a operacionalidade da implementação e na seção 5.5 é feita uma análise dos resultados alcançados.

### 5.1 REQUISITOS PRINCIPAIS DO PROBLEMA A SER TRABALHADO

Para a construção do protótipo foram considerados seis requisitos básicos:

- a) as ordens de produção (OPs) já foram geradas nas quantidades necessárias para a produção e com os tempos de produção já calculados para cada seqüência em cada recurso (máquina);
- b) o protótipo escala somente duas, três, ou no máximo quatro OPs;
- c) as OPs possuem obrigatoriamente duas seqüências, sendo ambas processadas em recursos (máquinas) diferentes;
- d) os recursos (máquinas) foram limitados em somente dois, recurso 1 e recurso 2;
- e) as seqüências, de cada OP, devem ser respeitadas, não podendo executar a seqüência 20 antes do término da seqüência 10;
- f) utilização da técnica de algoritmos genéticos da área de inteligência artificial.

Deste modo o escalonamento trata de um problema complexo com restrições a serem consideradas no processo.

## 5.2 ESPECIFICAÇÃO

A especificação é uma das etapas mais importantes do desenvolvimento de um sistema. É através da especificação que se tem uma visão geral do sistema, além de ter uma linha a ser traçada no desenvolvimento propriamente dito.

A especificação do sistema desse trabalho segue a análise estruturada e o algoritmo do protótipo será apresentado na forma de fluxograma estruturado.

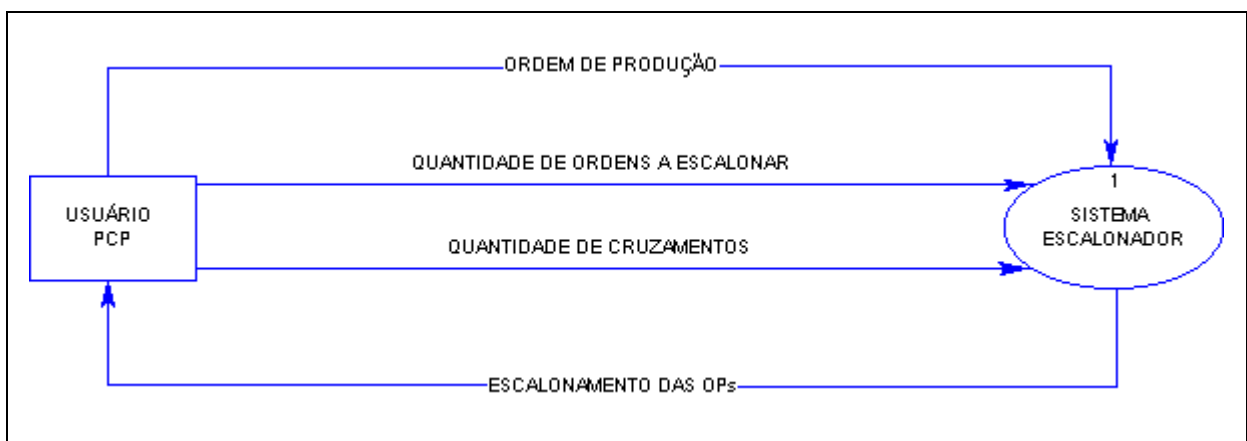
### 5.2.1 DIAGRAMA DE CONTEXTO

O diagrama de contexto é um diagrama de fluxo de dados que contém um único processo representando o sistema. Apresenta de forma clara com quem o sistema se comunica e que tipo de informação é trocada, mostrando uma visão geral das características importantes do sistema, sendo elas:

- as pessoas, organizações ou sistemas com os quais o sistema se comunica (Entidades Externas);
- os dados que o sistema recebe do mundo exterior e que de alguma forma devem ser processados;
- os dados produzidos pelo sistema e enviados ao mundo exterior;
- a fronteira entre o sistema e o resto do mundo.

A fig. 19 apresenta o diagrama de contexto do sistema proposto por este trabalho, tendo-se utilizado a ferramenta *Power Designer 6.0*.

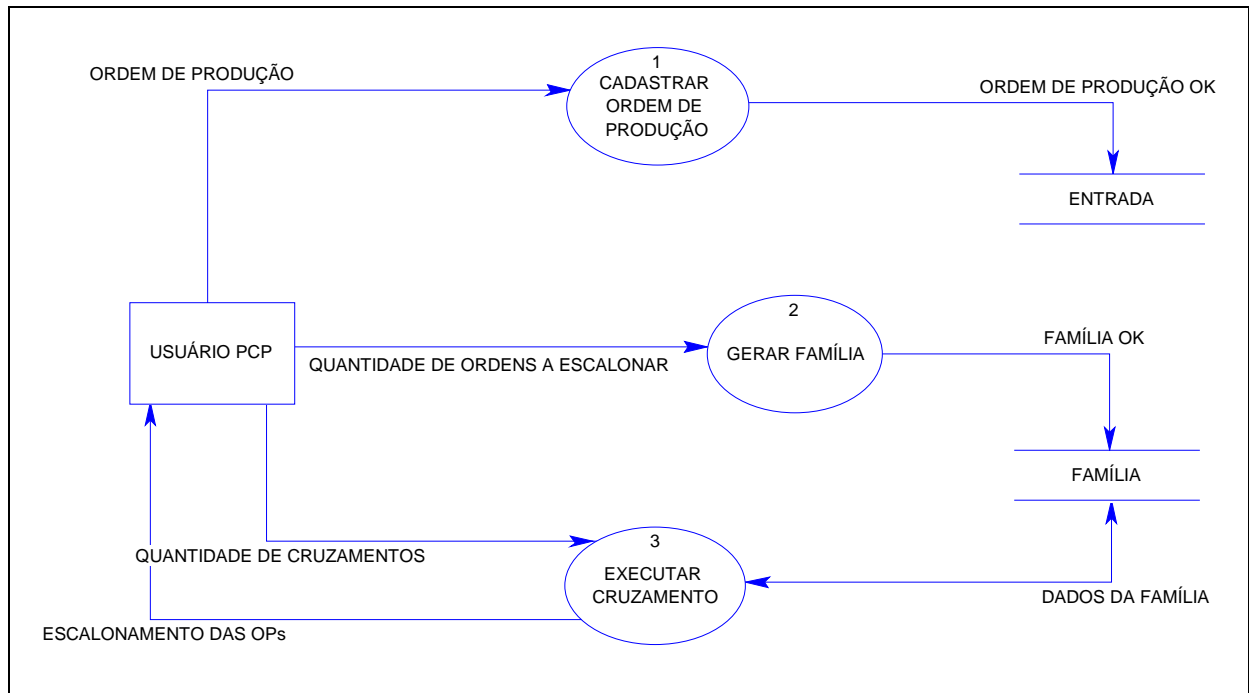
**FIGURA 19 – DIAGRAMA DE CONTEXTO**



## 5.2.2 DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS

O diagrama de fluxo de dados (DFD) mostra todos os eventos do sistema de uma forma mais detalhada e integrada, mostrando sua relação com as entidades e repositórios de dados. A fig. 20 apresenta o DFD do sistema proposto.

**FIGURA 20 – DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS**

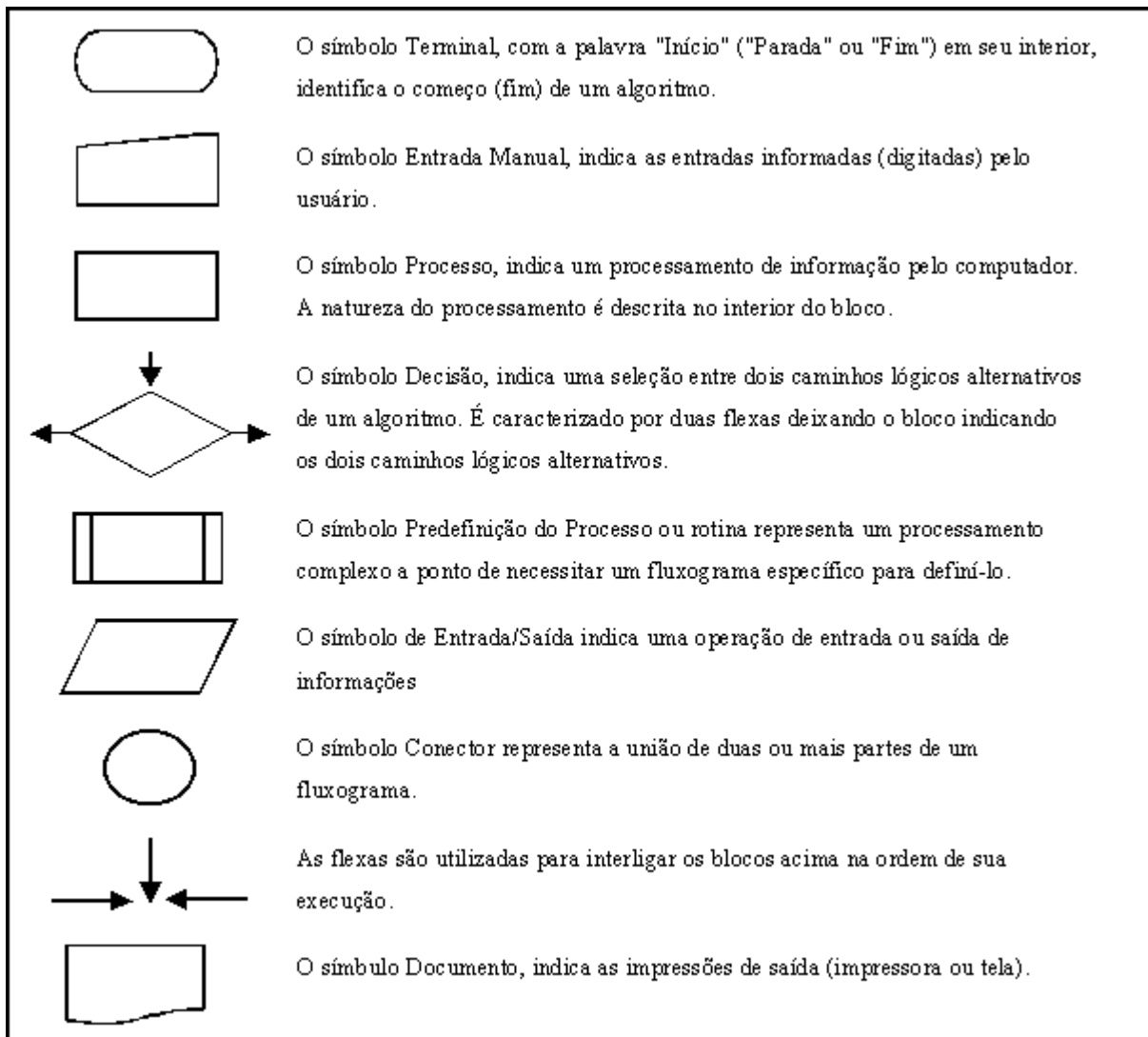


## 5.2.3 FLUXOGRAMA ESTRUTURADO

O fluxograma é uma ferramenta gráfica que expressa a lógica de um problema, através de símbolos pré-definidos, interligados por caminhos que mostram o fluxo das informações. Um fluxograma estruturado poderá ser utilizado no projeto da parte lógica da solução de um problema, antes que se escreva o programa em uma linguagem qualquer. Se o fluxograma for mantido atualizado, refletindo as alterações do programa, terá utilidade na documentação do programa, Newcomer (1985).

A fig. 21 contém os símbolos-padrão de fluxogramas conforme Newcomer (1985).

**FIGURA 21 – SÍMBOLOS-PADRÃO DE FLUXOGRAMA**



Fonte: Newcomer (1985)

Com base nesses símbolos, é demonstrado nas fig. 22, 23 e 24 o fluxograma estruturado do escalonador, separado conforme as telas do protótipo.



FIGURA 22 – FLUXOGRAMA DO ESCALONADOR – TELA 1

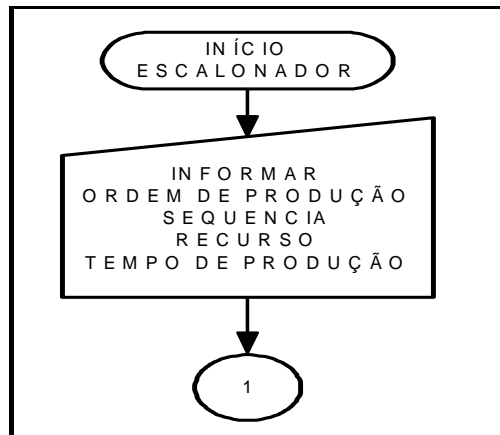


FIGURA 23 – FLUXOGRAMA DO ESCALONADOR – TELA 2

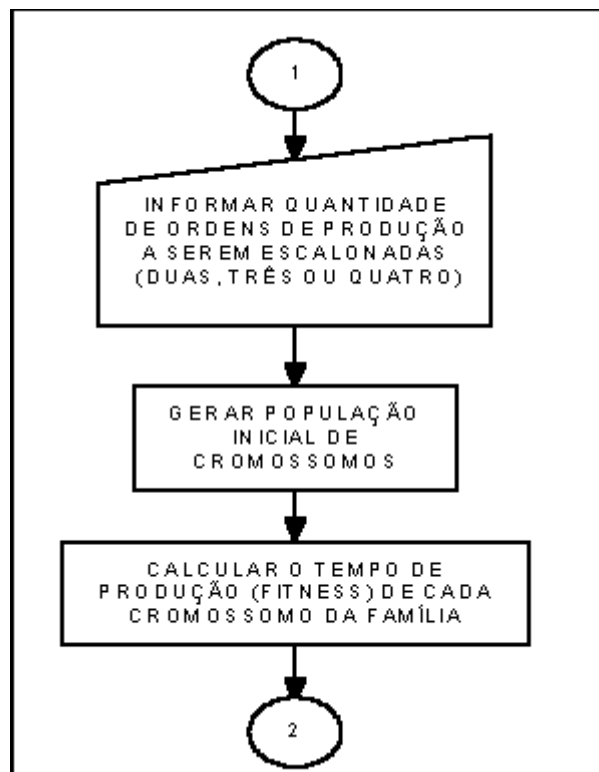
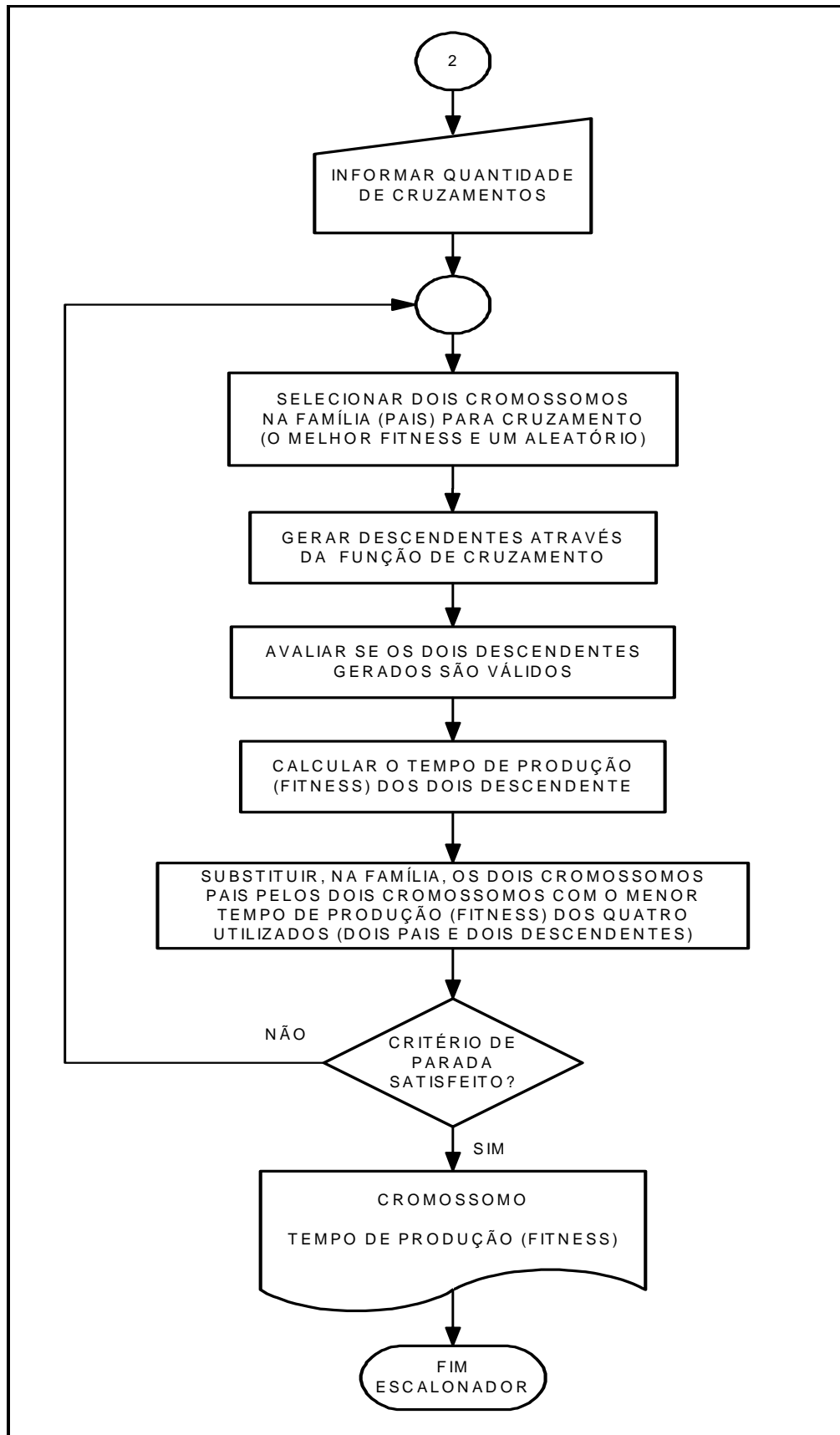


FIGURA 24 – FLUXOGRAMA DO ESCALONADOR – TELA 3



## 5.3 IMPLEMENTAÇÃO

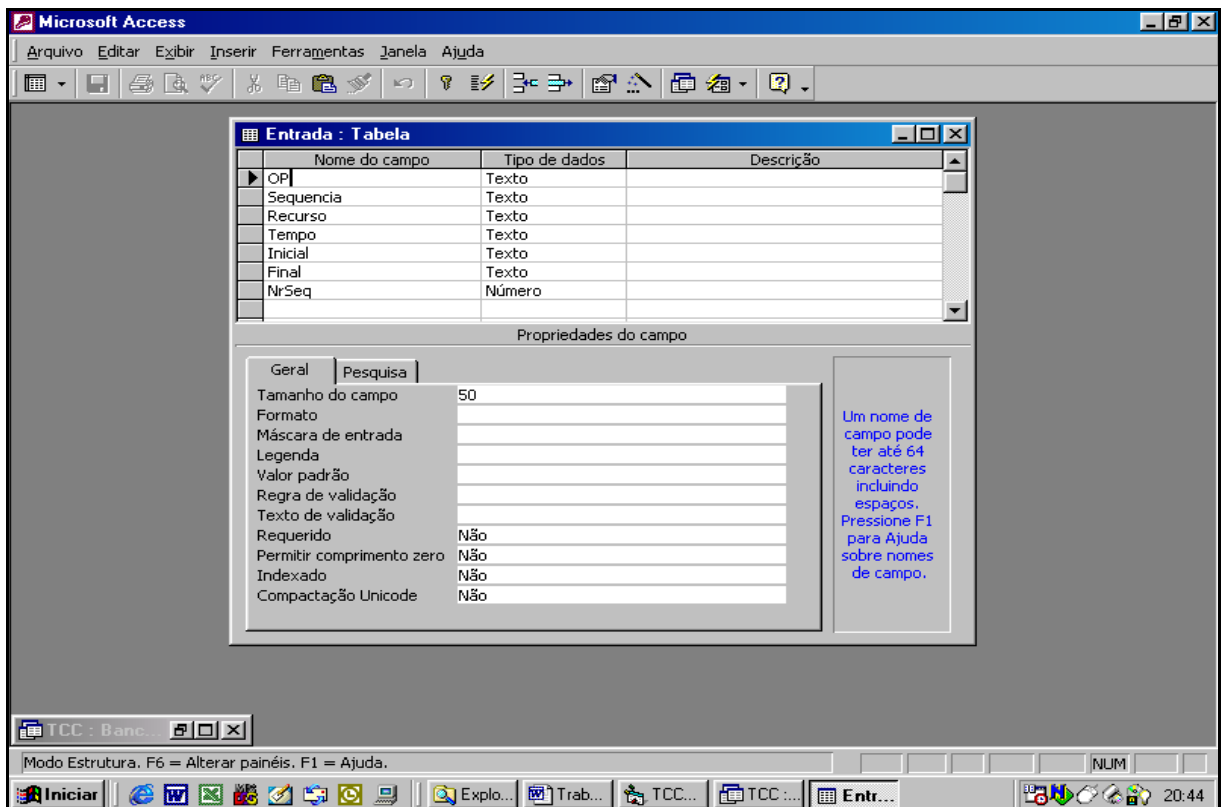
O protótipo tem como enfoque principal o escalonamento de duas, três ou quatro ordens de produção de um determinado setor da empresa, fazendo com que o tempo total para produção destas ordens seja o menor possível, diminuindo ao máximo a ociosidade dos recursos (máquinas). Ressaltando que o protótipo não gera as ordens de produção a serem escalonadas, elas são geradas pelo sistema do PCP da empresa (SGE, módulo produção).

### 5.3.1 TÉCNICAS E FERRAMENTAS UTILIZADAS

Para a implementação da ferramenta foi utilizado o ambiente de programação *Visual Basic 6* e banco de dados *Microsoft Access 2000*.

Como o protótipo escala somente duas, três ou quatro ordens de produção, optou-se por informar as entrada (ordem, seqüência, recurso e o tempo de produção) manualmente. Estas entradas serão informadas pelo usuário e armazenadas em uma tabela, a fig. 25 mostra a estrutura da tabela Entrada.

**FIGURA 25 – ESTRUTURA DA TABELA ENTRADA**



Segundo Mazzucco (1999), a utilização de algoritmos genéticos na resolução de um determinado problema depende fortemente da forma adequada de se representar soluções possíveis do problema em forma de cromossomo. Inicialmente, este foi o maior problema encontrado, mas com dicas e sugestões do meu orientador na empresa e do meu supervisor na FURB, chegamos a conclusão que a melhor forma de representação seria através de uma *string* de caracteres, conforme já mencionado na seção 4.2.1. A tabela 3, mostra como ficou a representação do cromossomo através de uma *string*.

**TABELA 3 – REPRESENTAÇÃO DO CROMOSSOMO**

---

**A10 R1 / B20 R1 / C10 R1 – A20 R2 / B10 R2 / C20 R2**

---

Outro problema encontrado foi a geração da população de cromossomos. Com base nas ordens de produção informadas como entradas para o protótipo, o problema foi solucionado gerando-se todas as combinações possíveis para as OPs ( o total de combinações é calculado a partir do fatorial da quantidade de ordens informadas como entrada). A tabela 4 mostra como ficou a população de cromossomos, tendo três ordens, “A”, “B” e “C”, como entradas para o protótipo ( $3! = 6$  combinações).

**TABELA 4 – EXEMPLO DE POPULAÇÃO DE CROMOSSOMOS (TRÊS OPS)**

---

**A10 R1 / B20 R1 / C10 R1 – A20 R2 / B10 R2 / C20 R2**

---

**A10 R1 / C10 R1 / B20 R1 – A20 R2 / C20 R2 / B10 R2**

---

**B20 R1 / A10 R1 / C10 R1 – B10 R2 / A20 R2 / C20 R2**

---

**B20 R1 / C10 R1 / A10 R1 – B10 R2 / C20 R2 / A20 R2**

---

**C10 R1 / A10 R1 / B20 R1 – C20 R2 / A20 R2 / B10 R2**

---

**C10 R1 / B20 R1 / A10 R1 – C20 R2 / B10 R2 / A 20 R2**

---

Após a entrada dos dados, o usuário seleciona na tela “Família”, a quantidade de OP’s a serem escalonadas (duas, três ou quatro). Se o usuário selecionar duas ordens, a população será formada por dois cromossomos ( $2!$ ), se selecionar três ordens, a população será formada por seis cromossomos ( $3!$ ) e se optar por quatro ordens, a população será formada por vinte e

quatro cromossomos (4!). Para cada cromossomo (*string*) é calculado, para cada OP, o tempo inicial e final de cada seqüência, em cada recurso. As fig. 26, 27, 28 e 29 mostram as funções responsáveis por gerar a população de cromossomos.

**FIGURA 26 – FUNÇÃO GERAR FAMÍLIA DE CROMOSSOMOS (PARTE 1)**

```

Function GeraCromossomos(OP As Byte)
On Error GoTo Event_err

Dim Entrada As Recordset, RecursoOld As String, Recurso As Byte
Set Entrada = gDB.OpenRecordset("ENTRADA")
ReDim PiorCaso(1, 3) As String
'Coluna(1) = Cromossomo Recurso 1
'Coluna(2) = Cromossomo Recurso 2
'Coluna(3) = Fitness
Entrada.Index = "Cromossomo"
RecursoOld = ""
Entrada.MoveFirst
Recurso = 1
If Entrada.RecordCount > 0 Then
For i# = 1 To Entrada.RecordCount
If RecursoOld <> "" Then
If (Entrada!Recurso <> RecursoOld) Then
Recurso = Recurso + 1
Else
PiorCaso(1, Recurso) = PiorCaso(1, Recurso) & " / "
End If
End If
PiorCaso(1, Recurso) = PiorCaso(1, Recurso) & Entrada!OP & Entrada!Sequencia & " R" & Entrada!Recurso
RecursoOld = Entrada!Recurso
Entrada.MoveNext
Next
End If
Entrada.Close
Select Case OP
Case 2:
ReDim ArrayCromossomos(2, 3) As String
ArrayCromossomos(1, 1) = BuscaR1("A") & " / " & BuscaR1("B")
ArrayCromossomos(1, 2) = BuscaR2("A") & " / " & BuscaR2("B")
ArrayCromossomos(2, 1) = BuscaR1("B") & " / " & BuscaR1("A")
ArrayCromossomos(2, 2) = BuscaR2("B") & " / " & BuscaR2("A")

```

## FIGURA 27 – FUNÇÃO GERAR FAMÍLIA DE CROMOSSOMOS (PARTE 2)

Case 3:

ReDim ArrayCromossomos(6, 3) As String

ArrayCromossomos(1, 1) = BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("C")

ArrayCromossomos(2, 1) = BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("B")

ArrayCromossomos(3, 1) = BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("C")

ArrayCromossomos(4, 1) = BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("A")

ArrayCromossomos(5, 1) = BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("B")

ArrayCromossomos(6, 1) = BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("A")

ArrayCromossomos(1, 2) = BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("C")

ArrayCromossomos(2, 2) = BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("B")

ArrayCromossomos(3, 2) = BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("C")

ArrayCromossomos(4, 2) = BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("A")

ArrayCromossomos(5, 2) = BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("B")

ArrayCromossomos(6, 2) = BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("A")

Case 4:

ReDim ArrayCromossomos(24, 3) As String

ArrayCromossomos(1, 1) = BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("D")

ArrayCromossomos(2, 1) = BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("C")

ArrayCromossomos(3, 1) = BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("D")

ArrayCromossomos(4, 1) = BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("B")

ArrayCromossomos(5, 1) = BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("C")

ArrayCromossomos(6, 1) = BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("B")

ArrayCromossomos(7, 1) = BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("D")

ArrayCromossomos(8, 1) = BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("C")

ArrayCromossomos(9, 1) = BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("D")

ArrayCromossomos(10, 1) = BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("A")

ArrayCromossomos(11, 1) = BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("C")

ArrayCromossomos(12, 1) = BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("A")

ArrayCromossomos(13, 1) = BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("D")

ArrayCromossomos(14, 1) = BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("B")

ArrayCromossomos(15, 1) = BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("D")

ArrayCromossomos(16, 1) = BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("A")

ArrayCromossomos(17, 1) = BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("B")

ArrayCromossomos(18, 1) = BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("A")

ArrayCromossomos(19, 1) = BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("C")

ArrayCromossomos(20, 1) = BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("B")

ArrayCromossomos(21, 1) = BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("C")

ArrayCromossomos(22, 1) = BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("A")

ArrayCromossomos(23, 1) = BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("A") & "/" & BuscaR1("B")

ArrayCromossomos(24, 1) = BuscaR1("D") & "/" & BuscaR1("C") & "/" & BuscaR1("B") & "/" & BuscaR1("A")

### FIGURA 28 – FUNÇÃO GERAR FAMÍLIA DE CROMOSSOMOS (PARTE 3)

```

ArrayCromossomos(1, 2) = BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("D")
ArrayCromossomos(2, 2) = BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("C")
ArrayCromossomos(3, 2) = BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("D")
ArrayCromossomos(4, 2) = BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("B")
ArrayCromossomos(5, 2) = BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("C")
ArrayCromossomos(6, 2) = BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("B")
ArrayCromossomos(7, 2) = BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("D")
ArrayCromossomos(8, 2) = BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("C")
ArrayCromossomos(9, 2) = BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("D")
ArrayCromossomos(10, 2) = BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("A")
ArrayCromossomos(11, 2) = BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("C")
ArrayCromossomos(12, 2) = BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("A")
ArrayCromossomos(13, 2) = BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("D")
ArrayCromossomos(14, 2) = BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("B")
ArrayCromossomos(15, 2) = BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("D")
ArrayCromossomos(16, 2) = BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("A")
ArrayCromossomos(17, 2) = BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("B")
ArrayCromossomos(18, 2) = BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("A")
ArrayCromossomos(19, 2) = BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("C")
ArrayCromossomos(20, 2) = BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("B")
ArrayCromossomos(21, 2) = BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("C")
ArrayCromossomos(22, 2) = BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("A")
ArrayCromossomos(23, 2) = BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("A") & "/" & BuscaR2("B")
ArrayCromossomos(24, 2) = BuscaR2("D") & "/" & BuscaR2("C") & "/" & BuscaR2("B") & "/" & BuscaR2("A")
End Select

Event_exit:
Exit Function

Event_err:
MsgBox Err & " - " & Err.Description
Resume Event_exit

End Function

```

**FIGURA 29 – FUNÇÕES UTILIZADAS NA GERAÇÃO DA FAMÍLIA**

```
Function BuscaR1(OP As String) As String
```

```
On Error GoTo Event_err
```

```
    Select Case OP
```

```
        Case "A"
```

```
            BuscaR1 = Mid$(PiorCaso(1, 1), 1, 6)
```

```
        Case "B"
```

```
            BuscaR1 = Mid$(PiorCaso(1, 1), 10, 6)
```

```
        Case "C"
```

```
            BuscaR1 = Mid$(PiorCaso(1, 1), 19, 6)
```

```
        Case "D"
```

```
            BuscaR1 = Mid$(PiorCaso(1, 1), 28, 6)
```

```
    End Select
```

```
Event_exit:
```

```
    Exit Function
```

```
Event_err:
```

```
    MsgBox Err & " - " & Err.Description
```

```
    Resume Event_exit
```

```
End Function
```

```
Function BuscaR2(OP As String) As String
```

```
On Error GoTo Event_err
```

```
    Select Case OP
```

```
        Case "A"
```

```
            BuscaR2 = Mid$(PiorCaso(1, 2), 1, 6)
```

```
        Case "B"
```

```
            BuscaR2 = Mid$(PiorCaso(1, 2), 10, 6)
```

```
        Case "C"
```

```
            BuscaR2 = Mid$(PiorCaso(1, 2), 19, 6)
```

```
        Case "D"
```

```
            BuscaR2 = Mid$(PiorCaso(1, 2), 28, 6)
```

```
    End Select
```

```
Event_exit:
```

```
    Exit Function
```

```
Event_err:
```

```
    MsgBox Err & " - " & Err.Description
```

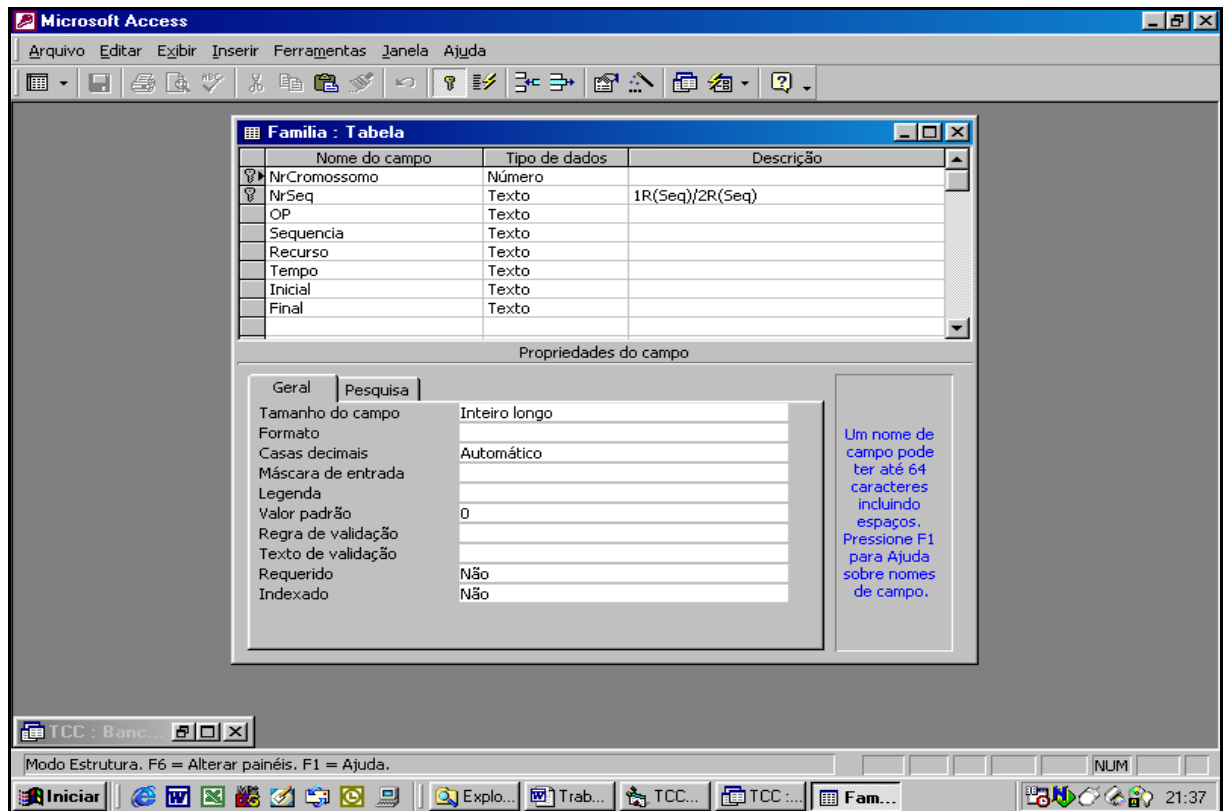
```
    Resume Event_exit
```

```
End Function
```



A população de cromossomos gerada a partir dos dados informados pelo usuário (tabela Entrada), é armazenada em outra tabela chamada Família, a fig. 30 mostra a estrutura da tabela Família.

**FIGURA 30 – ESTRUTURA DA TABELA FAMILIA**

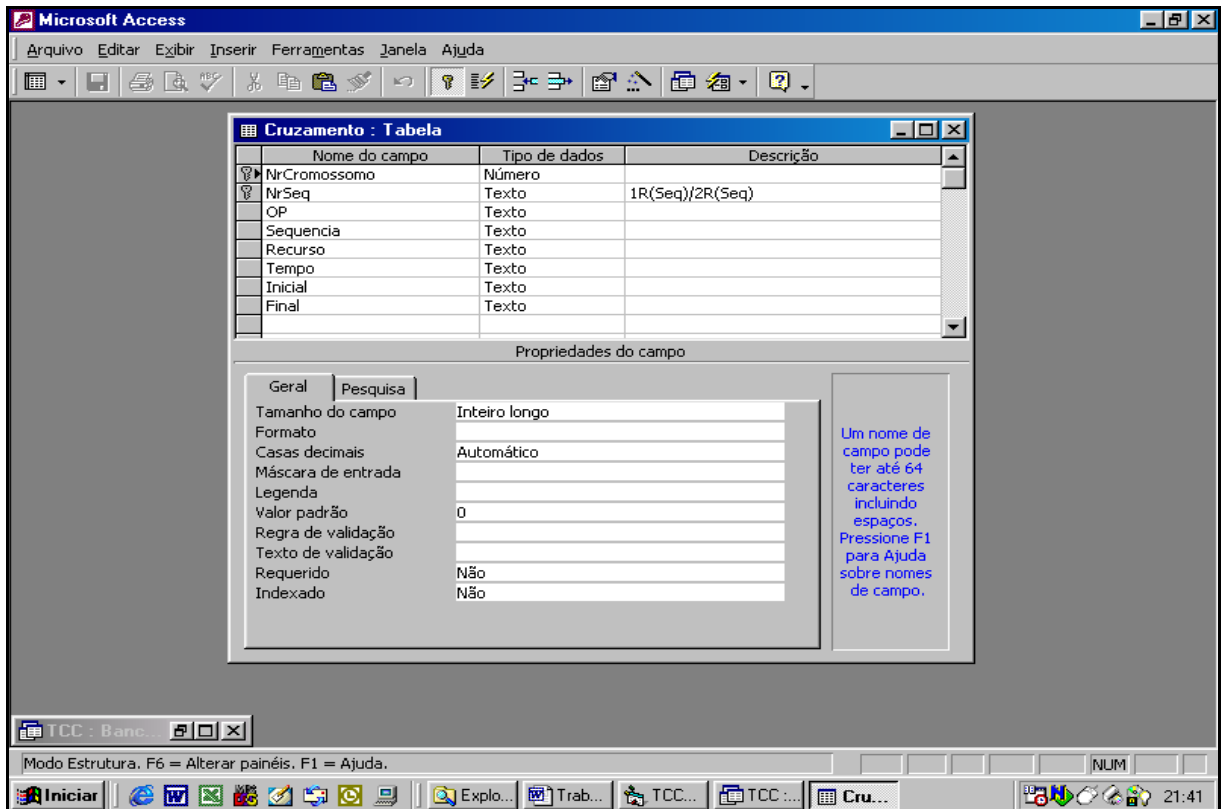


Após a geração da população, o usuário seleciona na tela “Cruzamento (Crossover)”, a quantidade de cruzamentos desejados e pressiona o botão “Executar” para serem efetuados os cruzamentos.

Os cruzamentos são efetuados pegando-se dois cromossomos pais, um com o menor tempo total de processamento (melhor *fitness*) e outro cromossomo aleatório, calculado através da função *rnd* (randômico do VB). Conforme a fig. 18 da seção 4.3, o cruzamento de dois pais irá gerar dois novos filhos. Após a geração dos dois novos cromossomos filhos, calcula-se para cada OP, o tempo de processamento inicial e final de cada seqüência em cada recurso, verificando também se estes cromossomos filhos gerados são válidos ou não (para um cromossomo ser válido, é obrigatória à execução da seqüência 10 em um recurso, antes ou na mesma posição da seqüência 20 no outro recurso). Os quatro cromossomos (dois pais e

dois filhos) são armazenados em uma tabela chamada Cruzamento, a fig. 31 mostra a estrutura da tabela Cruzamento. Por último, os dois cromossomos pais utilizados para o *crossover*, serão substituídos na tabela Família pelos dois cromossomos (válidos) que possuírem o menor *fitness* dos quatro pertencentes à tabela Cruzamento.

**FIGURA 31 – ESTRUTURA DA TABELA CRUZAMENTO**



Atingindo-se a quantidade de cruzamentos informados pelo usuário, será mostrada na tela uma mensagem contendo o cromossomo (*string*) e o seu tempo total de processamento. Também será mostrado na tela do escalonador, o tempo inicial e final das seqüências 10 e 20 de cada ordem em cada recurso.

### 5.3.2 INTERFACE

A interface é uma atividade importante no sistema, pois é através dela que o usuário vai conhecer e reconhecer o sistema, sendo também um dos principais fatores na usabilidade do mesmo.

As fig. 32, 33, 34 e 35 mostram as telas do sistema proposto neste trabalho:

FIGURA 32 – TELA “ENTRADA”

Projeto TCC Wilian Kohler

**SKYSEN**  
SE É SKYSEN PODE CONFIAR

**METALÚRGICA SIEMSEN LTDA.**  
**ESCALONADOR DE ORDENS DE PRODUÇÃO**

**POLI**  
PREÇO ALIADO A QUALIDADE

**Entrada** Família Cruzamento (Crossover)

OP	Sequencia	Recurso	Tempo
A	10	1	3
A	20	2	4
B	10	2	5
B	20	1	2
C	10	1	3
C	20	2	4
D	10	1	2
D	20	2	4
*			

Sequência de produção (sem escalonamento) Melhor sequência de produção (com escalonamento)

A tela “Entrada” (fig. 32) é onde são informadas as entradas do sistema, tais como as ordens de produção e seus respectivos dados (seqüência, recurso e tempo de produção)

FIGURA 33 – TELA “FAMÍLIA”

Projeto TCC Wilian Kohler

**SKYMSSEN**  
SE É SKYMSSEN PODE CONFIAR

**METALÚRGICA SIEMSEN LTDA.**  
**ESCALONADOR DE ORDENS DE PRODUÇÃO**

**POLI**  
PREÇO ALIADO A QUALIDADE

Entrada      **Família**      Cruzamento (Crossover)

Quantidade de OP's  
 2     3     4   

A10 R1 / B20 R1 / C10 R1 - A20 R2 / B10 R2 / C20 R2 --> Tempo de Produção: 21  
A10 R1 / C10 R1 / B20 R1 - A20 R2 / C20 R2 / B10 R2 --> Tempo de Produção: 18  
B20 R1 / A10 R1 / C10 R1 - B10 R2 / A20 R2 / C20 R2 --> Tempo de Produção: 18  
B20 R1 / C10 R1 / A10 R1 - B10 R2 / C20 R2 / A20 R2 --> Tempo de Produção: 18  
C10 R1 / A10 R1 / B20 R1 - C20 R2 / A20 R2 / B10 R2 --> Tempo de Produção: 18  
C10 R1 / B20 R1 / A10 R1 - C20 R2 / B10 R2 / A20 R2 --> Tempo de Produção: 21

Seqüência de produção (sem escalonamento)      Melhor seqüência de produção (com escalonamento)

A10 R1 / B20 R1 / C10 R1 - A20 R2 / B10 R2 / C20 R2 --> Tempo de Produção: 21

OP	SEQÜÊNCIA	RECURSO	TEMPO INICIAL	TEMPO FINAL
A	10	1	000	003
B	20	1	012	014
C	10	1	014	017
A	20	2	003	007
B	10	2	007	012
C	20	2	017	021

A tela “Família” (fig. 33) é onde o usuário informa a quantidade de ordens a serem escalonadas (duas, três ou quatro), e com base nesta quantidade de ordens, pressionando-se o botão “Gerar Família”, é gerada a família de cromossomos que será utilizada na tela seguinte.

FIGURA 34 – TELA “CRUZAMENTO (*CROSSOVER*)”

Projeto TCC Wilian Kohler

**SKYSEN**  
SE É SKYSEN PODE CONFIAR

**METALÚRGICA SIEMSEN LTDA.**  
**ESCALONADOR DE ORDENS DE PRODUÇÃO**

**POLI**  
PREÇO ALIADO A QUALIDADE

Entrada Família **Cruzamento (Crossover)**

Quantidade de Cruzamentos  
1 Executar

A10 R1 / B20 R1 / C10 R1 - B10 R2 / C20 R2 / A20 R2 --> Tempo de Produção: 18  
A10 R1 / C10 R1 / B20 R1 - A20 R2 / C20 R2 / B10 R2 --> Tempo de Produção: 18  
B20 R1 / A10 R1 / C10 R1 - B10 R2 / A20 R2 / C20 R2 --> Tempo de Produção: 18  
B20 R1 / C10 R1 / A10 R1 - B10 R2 / C20 R2 / A20 R2 --> Tempo de Produção: 18  
C10 R1 / A10 R1 / B20 R1 - C20 R2 / A20 R2 / B10 R2 --> Tempo de Produção: 18  
C10 R1 / B20 R1 / A10 R1 - C20 R2 / B10 R2 / A20 R2 --> Tempo de Produção: 21

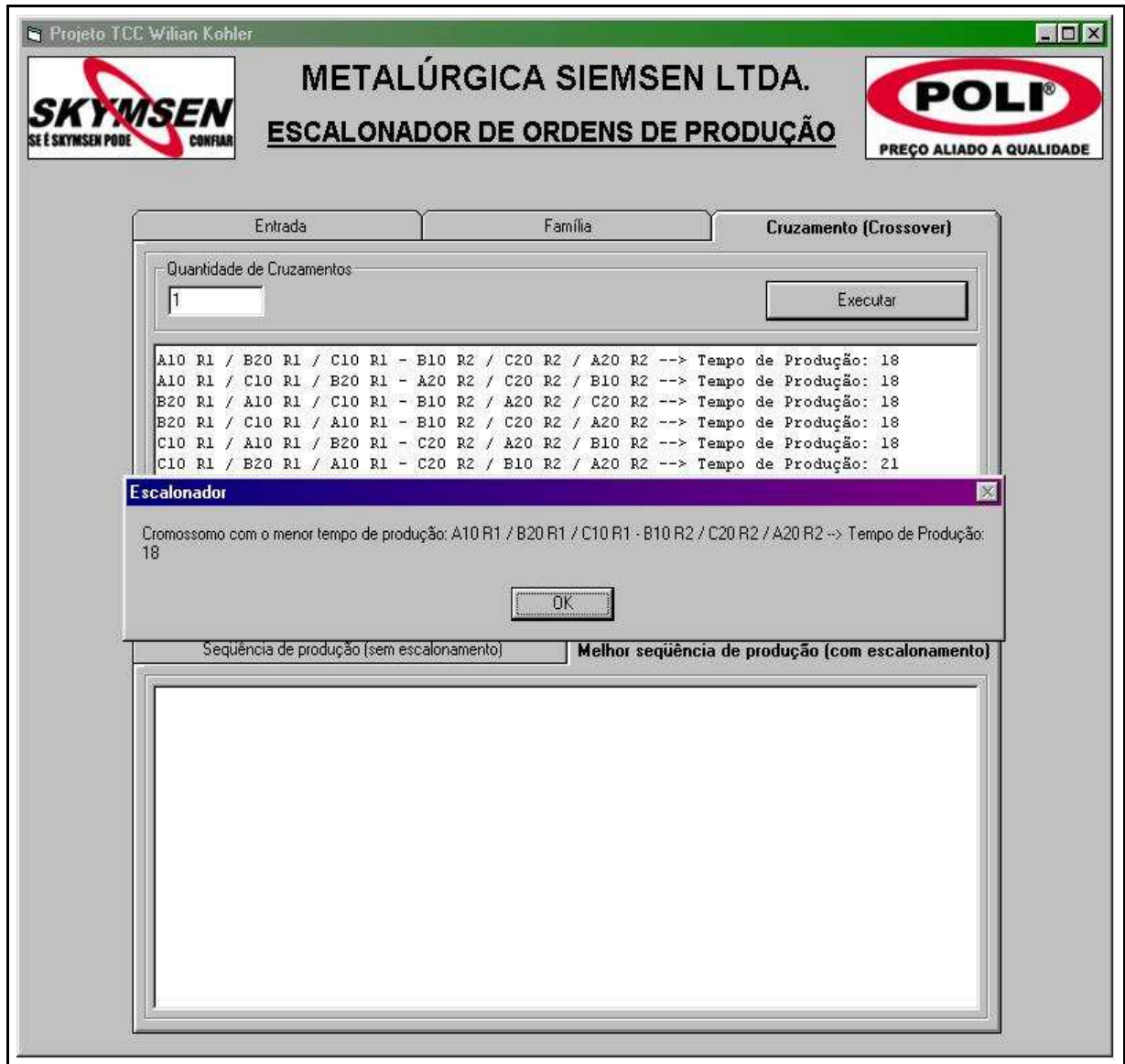
Sequência de produção (sem escalonamento) **Melhor sequência de produção (com escalonamento)**

A10 R1 / B20 R1 / C10 R1 - B10 R2 / C20 R2 / A20 R2 --> Tempo de Produção: 18

OP	SEQUÊNCIA	RECURSO	TEMPO INICIAL	TEMPO FINAL
A	10	1	000	003
B	20	1	005	007
C	10	1	007	010
B	10	2	000	005
C	20	2	010	014
A	20	2	014	018

A tela “Cruzamento (*Crossover*)” (fig. 34) é onde o usuário informa a quantidade de cruzamentos a serem efetuados pelo escalonador, e com base nesta quantidade de cruzamentos, pressionando-se o botão “Executar”, são gerados os cruzamentos entre os cromossomos da família gerada na tela anterior.

FIGURA 35 – TELA RESULTADO



Seguindo-se os passos anteriores corretamente, após o processamento do escalonador, será mostrado na tela (fig. 35) o resultado obtido pelo escalonador de ordens de produção.

## 5.4 OPERACIONALIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO

Nesta seção serão apresentados três estudos de casos, utilizando-se os dados da tabela 5 como entradas para o protótipo. O primeiro estudo de caso mostra o escalonamento de duas OPs, o segundo o escalonamento de três OPs, o terceiro e último, o escalonamento de quatro OPs.

**TABELA 5 – ENTRADAS PARA OS ESTUDOS DE CASOS**

OP	Seqüência	Recurso	Tempo de Produção
A	10	1	3
A	20	2	4
B	10	2	5
B	20	1	2
C	10	1	3
C	20	2	4
D	10	1	2
D	20	2	4

Cada ordem de produção possui duas seqüências (10 e 20) e ambas seqüências são processadas em dois recursos diferentes, tendo como restrição não poder processar a seqüência 20 antes de ser processada a seqüência 10.

#### **5.4.1 ESCALONAMENTO DE DUAS OPS**

Para o primeiro estudo de caso foram utilizadas como entradas para o protótipo as OPs “A” e “B” da tabela 3 e seus respectivos dados (seqüência, recurso e tempo de produção). O algoritmo executa o escalonamento e chegará na seqüência de produção mostrada na fig. 36.

FIGURA 36 – RESULTADO DO ESCALONAMENTO DAS OPS “A” E “B”

Projeto TCC Wílian Kohler

**SKYMSSEN**  
SE É SKYMSSEN PODE CONFIAR

**METALÚRGICA SIEMSEN LTDA.**  
**ESCALONADOR DE ORDENS DE PRODUÇÃO**

**POLI**  
PREÇO ALIADO A QUALIDADE

Entrada Família Cruzamento (Crossover)

Quantidade de Cruzamentos  
1 Executar

A10 R1 / C10 R1 / B20 R1 - A20 R2 / B10 R2 / C20 R2 --> Tempo de Produção: 16  
 A10 R1 / C10 R1 / B20 R1 - A20 R2 / C20 R2 / B10 R2 --> Tempo de Produção: 18  
 A10 R1 / C10 R1 / B20 R1 - B10 R2 / A20 R2 / C20 R2 --> Tempo de Produção: 13  
 B20 R1 / C10 R1 / A10 R1 - B10 R2 / C20 R2 / A20 R2 --> Tempo de Produção: 18  
 C10 R1 / A10 R1 / B20 R1 - C20 R2 / A20 R2 / B10 R2 --> Tempo de Produção: 18  
 C10 R1 / B20 R1 / A10 R1 - C20 R2 / B10 R2 / A20 R2 --> Tempo de Produção: 21

Seqüência de produção (sem escalonamento) Melhor seqüência de produção (com escalonamento)

A10 R1 / C10 R1 / B20 R1 - B10 R2 / A20 R2 / C20 R2 --> Tempo de Produção: 13

OP	SEQÜÊNCIA	RECURSO	TEMPO INICIAL	TEMPO FINAL
A	10	1	000	003
C	10	1	003	006
B	20	1	006	008
B	10	2	000	005
A	20	2	005	009
C	20	2	009	013

### 5.4.2 ESCALONAMENTO DE TRÊS OPS

Para o segundo estudo de caso foram utilizadas como entradas para o protótipo as OPs “A”, “B” e “C” da tabela 3 e seus respectivos dados (seqüência, recurso e tempo de produção). O algoritmo executa o escalonamento e chegará na seqüência de produção mostrada na fig. 37.



FIGURA 37 – RESULTADO DO ESCALONAMENTO DAS OPS “A”, “B” E “C”

Projeto TCC Wilian Kohler

**SKYSEN**  
SE É SKYSEN PODE CONFIAR

**METALÚRGICA SIEMSEN LTDA.**  
**ESCALONADOR DE ORDENS DE PRODUÇÃO**

**POLI**  
PREÇO ALIADO A QUALIDADE

Entrada Família Cruzamento (Crossover)

Quantidade de Cruzamentos:

A10 R1 / C10 R1 / B20 R1 - A20 R2 / B10 R2 / C20 R2 --> Tempo de Produção: 16  
 A10 R1 / C10 R1 / B20 R1 - A20 R2 / C20 R2 / B10 R2 --> Tempo de Produção: 18  
 A10 R1 / C10 R1 / B20 R1 - B10 R2 / A20 R2 / C20 R2 --> Tempo de Produção: 13  
 B20 R1 / C10 R1 / A10 R1 - B10 R2 / C20 R2 / A20 R2 --> Tempo de Produção: 18  
 C10 R1 / A10 R1 / B20 R1 - C20 R2 / A20 R2 / B10 R2 --> Tempo de Produção: 18  
 C10 R1 / B20 R1 / A10 R1 - C20 R2 / B10 R2 / A20 R2 --> Tempo de Produção: 21

Seqüência de produção (sem escalonamento) **Melhor seqüência de produção (com escalonamento)**

A10 R1 / C10 R1 / B20 R1 - B10 R2 / A20 R2 / C20 R2 --> Tempo de Produção: 13

OP	SEQÜÊNCIA	RECURSO	TEMPO INICIAL	TEMPO FINAL
A	10	1	000	003
C	10	1	003	006
B	20	1	006	008
B	10	2	000	005
A	20	2	005	009
C	20	2	009	013

Consegue-se notar que o estudo de caso acima solucionado, corresponde aos mesmos tempos de produção apresentados na figura 12 da seção 3.3 (visão lógica do usuário), onde conseguiu-se atingir um escalonamento de ótima qualidade.

### 5.4.3 ESCALONAMENTO DE QUATRO OPS

Para o terceiro estudo de caso foram utilizadas como entradas para o protótipo as OPs “A”, “B”, “C” e “D” da tabela 3 e seus respectivos dados (seqüência, recurso e tempo de produção). O algoritmo executa o escalonamento e chegará na seqüência de produção mostrada na fig. 38.

FIGURA 38 – RESULTADO DO ESCALONAMENTO DAS OPS “A”, “B”, “C” E “D”

Projeto TCC Wilian Kohler

**SKYMSSEN**  
SE É SKYMSSEN PODE CONFIAR

**METALÚRGICA SIEMSEN LTDA.**  
**ESCALONADOR DE ORDENS DE PRODUÇÃO**

**POLI**  
PREÇO ALIADO A QUALIDADE

Entrada Família Cruzamento (Crossover)

Quantidade de Cruzamentos  
1 Executar

D10 R1 / C10 R1 / A10 R1 / B20 R1 - B10 R2 / C20 R2 / A20 R2 / D20 R2 --> Tempo de Produção: 17  
A10 R1 / B20 R1 / D10 R1 / C10 R1 - A20 R2 / B10 R2 / D20 R2 / C20 R2 --> Tempo de Produção: 24  
A10 R1 / C10 R1 / B20 R1 / D10 R1 - A20 R2 / C20 R2 / B10 R2 / D20 R2 --> Tempo de Produção: 24  
A10 R1 / C10 R1 / D10 R1 / B20 R1 - A20 R2 / C20 R2 / D20 R2 / B10 R2 --> Tempo de Produção: 22  
A10 R1 / D10 R1 / B20 R1 / C10 R1 - A20 R2 / D20 R2 / B10 R2 / C20 R2 --> Tempo de Produção: 25  
A10 R1 / D10 R1 / C10 R1 / B20 R1 - A20 R2 / D20 R2 / C20 R2 / B10 R2 --> Tempo de

Seqüência de produção (sem escalonamento) Melhor seqüência de produção (com escalonamento)

D10 R1 / C10 R1 / A10 R1 / B20 R1 - B10 R2 / C20 R2 / A20 R2 / D20 R2 --> Tempo de Produção: 17

OP	SEQÜÊNCIA	RECURSO	TEMPO INICIAL	TEMPO FINAL
D	10	1	000	002
C	10	1	002	005
A	10	1	005	008
B	20	1	008	010
B	10	2	000	005
C	20	2	005	009
A	20	2	009	013
D	20	2	013	017

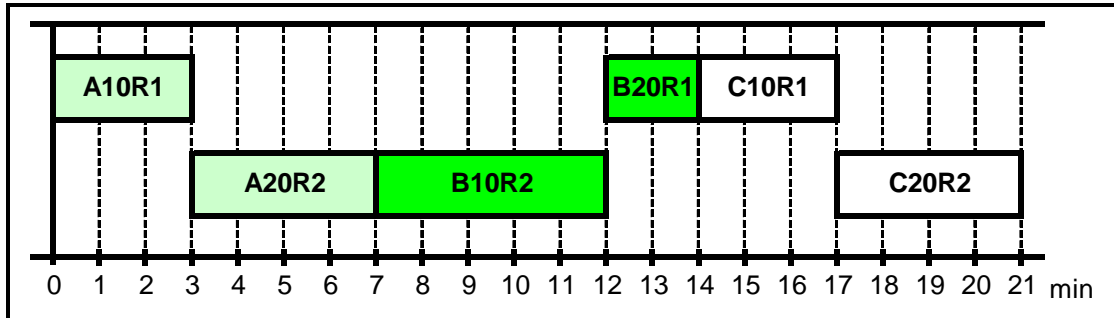
## 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tempo total de fabricação das ordens de produção obtido após o escalonamento, tanto para duas, três ou quatro ordens, diminuindo bastante o tempo de processamento em relação ao tempo de processamento sem escalonamento.

Utilizando-se como exemplo, a fabricação de três ordens de produção (A, B e C), sem o escalonamento, o tempo total de fabricação é de 21 minutos, sendo este o pior caso, pois a

seqüência de produção é a mesma na qual foram digitadas as ordens de produção e seus respectivos dados de entrada para o sistema, fig. 39.

**FIGURA 39 – FABRICAÇÃO DE TRÊS OPS SEM ESCALONAMENTO**



Aplicando-se o escalonador nestas três ordens de produção citadas acima (“A”, “B” e “C”), obteve-se o tempo de 13 minutos (fig.37, seção 5.4.2). Com a utilização do escalonador, economizou-se 8 minutos no decorrer do processo de fabricação, “somente em três ordens de produção”, gerando a melhor seqüência de processamento das ordens de produção possível.

O capítulo seguinte apresenta as conclusões alcançadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho, bem como as possíveis extensões que podem enriquecer ainda mais o conteúdo e protótipo desse trabalho.

## 6 CONCLUSÕES

As empresas em geral, enfrentam dificuldades diárias na programação de sua produção, devido a uma enorme quantidade de informações que são utilizadas no planejamento da produção de seus produtos, causando assim uma grande dificuldade para o setor de PCP.

Portanto é indispensável a ajuda de um sistema de planejamento para auxiliar o setor de PCP a não cometer erros de programação, ou pelo menos minimizá-los, e assim, atender aos pedidos em suas respectivas datas de entrega.

O uso de uma ferramenta como o escalonador, implica em um aumento de responsabilidade das fontes de informação sobre as quais o sistema fará suas projeções e programações. A confiabilidade destes indicadores é importante e seus responsáveis precisam estar conscientes disso e envolvidos no processo, pois deles depende o resultado final do sistema, daí a importância do estudo detalhado das técnicas de produção existentes.

Uma organização que deseja contar com um escalonador, precisa estar segura que possui em mãos uma ferramenta eficiente e confiável. Com o desenvolvimento das tecnologias computacionais, surge a simulação, que se não é a única, pelo menos é a mais importante ferramenta de análise de sistemas produtivos complexos. Segundo Ramos (1998), a grande vantagem da simulação é que permite simular o desenvolvimento de um sistema produtivo antes de implementá-lo, com um custo baixo e com grande eficiência. A simulação atualmente dispõe-se da animação, que nos permite visualizar na tela o desempenho do modelo desenvolvido, fornecendo informações que não obteríamos com nenhuma outra técnica de análise.

Um trabalho usando a técnica de Algoritmos Genéticos exige provavelmente mais tempo gasto em estudos de comportamentos, testes, composição de indivíduos, cromossomos e genes, evolução das populações, variação de operadores ou a combinação de todas estas situações, do que a sua própria implementação. Este é, com certeza, o motivo da não possibilidade de conclusão de todos os objetivos previamente traçados (por exemplo, o escalonamento de todas as OPs da empresa, ordens estas pertencentes aos setores de

usinagem, funilaria e pintura), onde agora, tem-se a absoluta certeza que se tratando de um problema dessa complexidade, é necessário um estudo de anos e não simplesmente de meses.

Partiu-se do princípio de que AG fosse uma técnica que traria maior facilidade na implementação de um escalonador para seqüenciamento das tarefas, mas na verdade, chegou-se a conclusão de que é uma maneira possível para chegar aos objetivos de um escalonador. Isto porque utilizando uma técnica de programação tradicional, poderia dizer que é na melhor das hipóteses, extremamente complicado. No entanto, a utilização de AG é talvez apenas uma maneira possível e eficaz de fazer este escalonamento se tornar uma realidade, já que na verdade, exige muito estudo e teste como qualquer técnica de programação que se venha a utilizar.

Enfim, sabe-se que através da técnica de Algoritmos Genéticos da Inteligência Artificial, é possível criar um escalonador para programação da produção, até porque, mesmo que não totalmente concluído (com algumas restrições), já foi possível ver horizontes claros de onde deseja-se chegar.

## **6.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS**

A principal dificuldade está relacionada com a não distribuição de conhecimentos na área da programação da produção no que tange as técnicas utilizadas para atingir o sucesso dessa magnífica arma competitiva, onde quem desenvolve algo nesse sentido e consegue atingir os objetivos, guarda isso a “sete chaves”.

## **6.2 EXTENSÕES**

Sugere-se que, continue o desenvolvimento da implementação utilizando-se AG, com o objetivo de escalonar todas as ordens de produção de uma empresa, não somente quatro OPs.

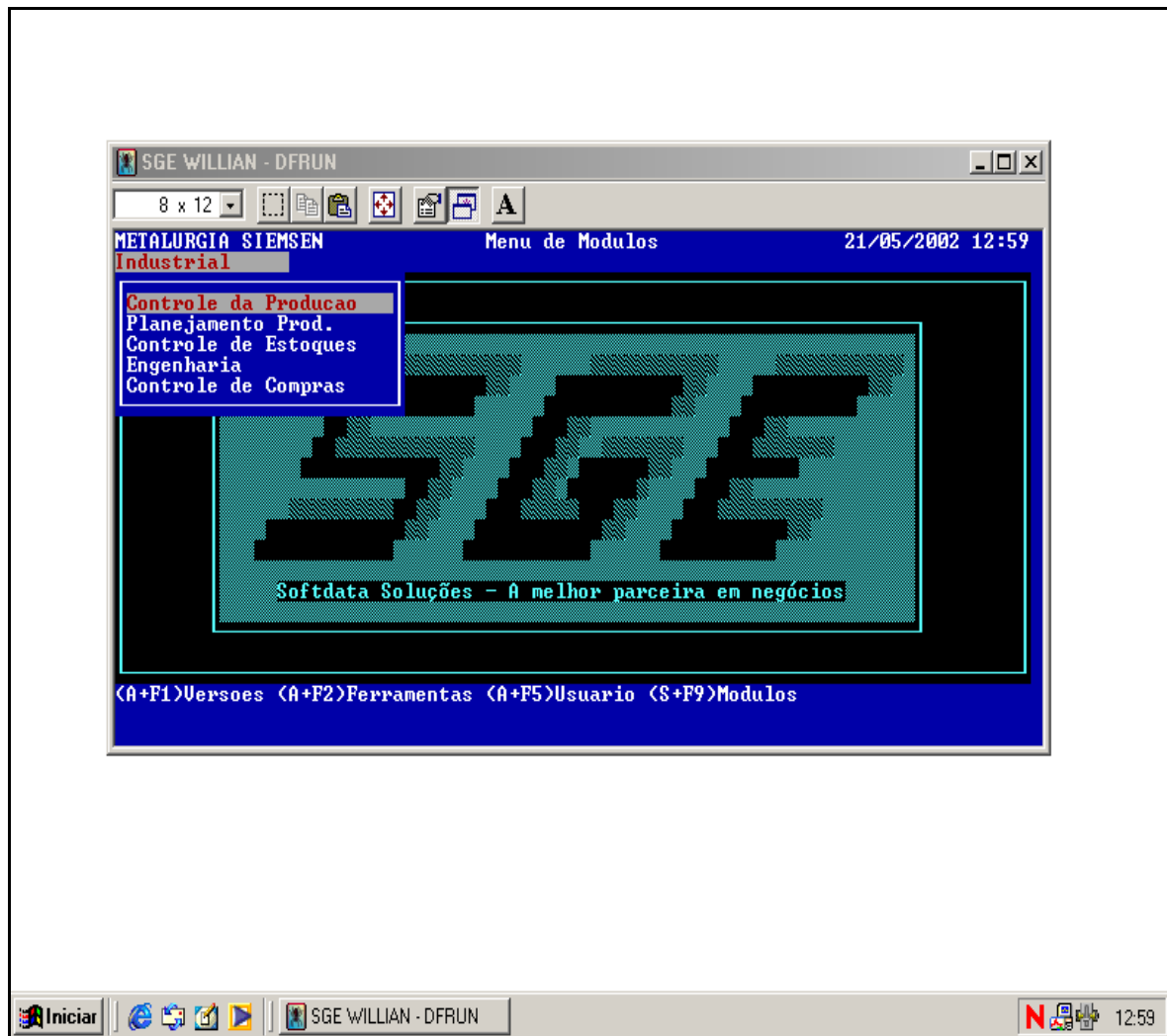
Sugere-se também que sejam realizados estudos de outras técnicas para escalonamento das OPs, tentando diminuir o tempo final de produção e com isto, diminuindo o tempo de ociosidade dos recursos.

## **ANEXO 1: INTERFACES DO SAP DA EMPRESA**

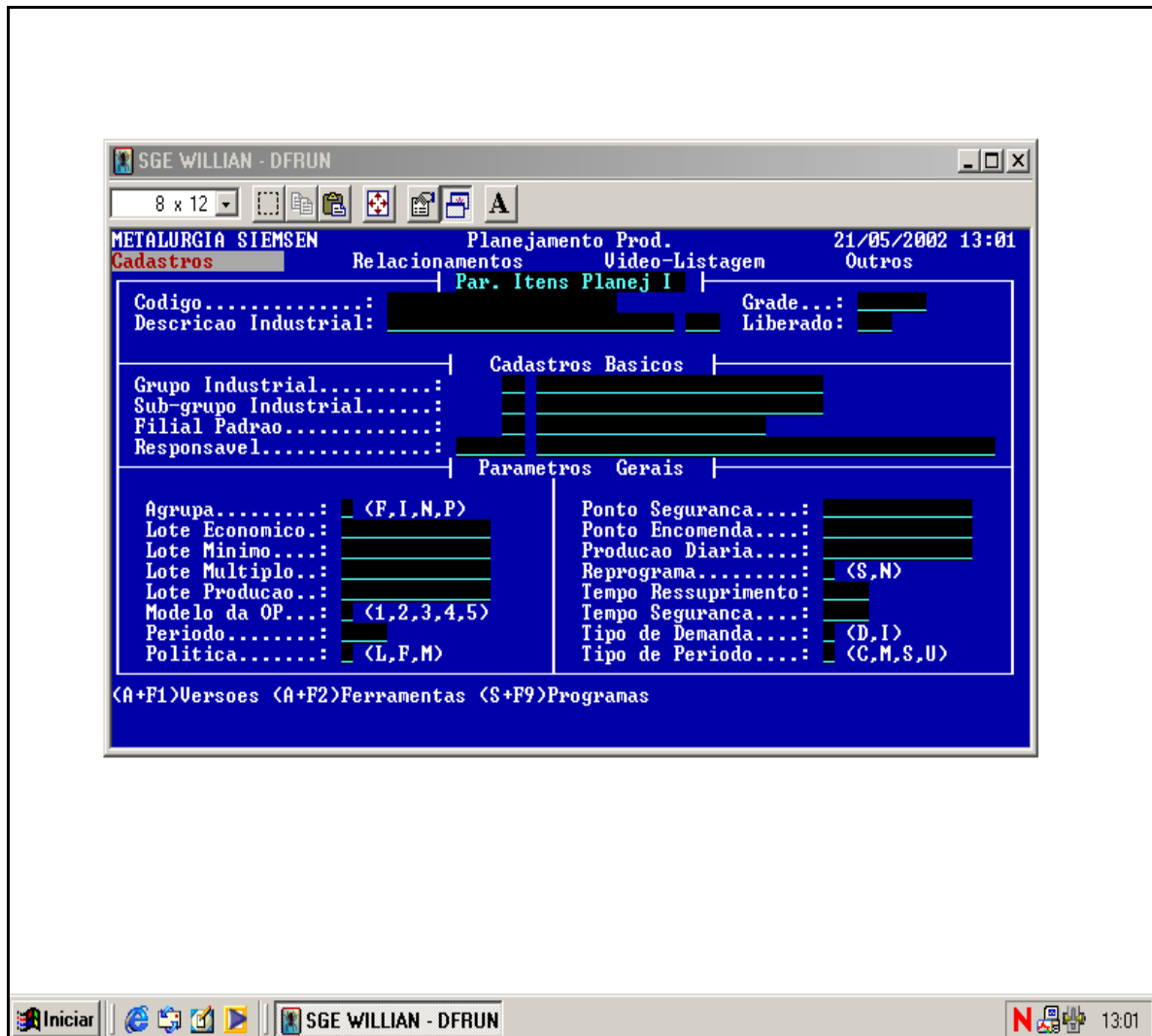
Neste anexo serão apresentadas as principais interfaces do SAP utilizado pelo setor de PCP da Metalúrgica Siemens (Sistema de Gestão Empresarial - SGE).

Interface dos módulos disponíveis para a utilização do setor de PCP:

- a) Controle da Produção;
- b) Planejamento da Produção;
- c) Controle de Estoques;
- d) Engenharia;
- e) Controle de Compras.

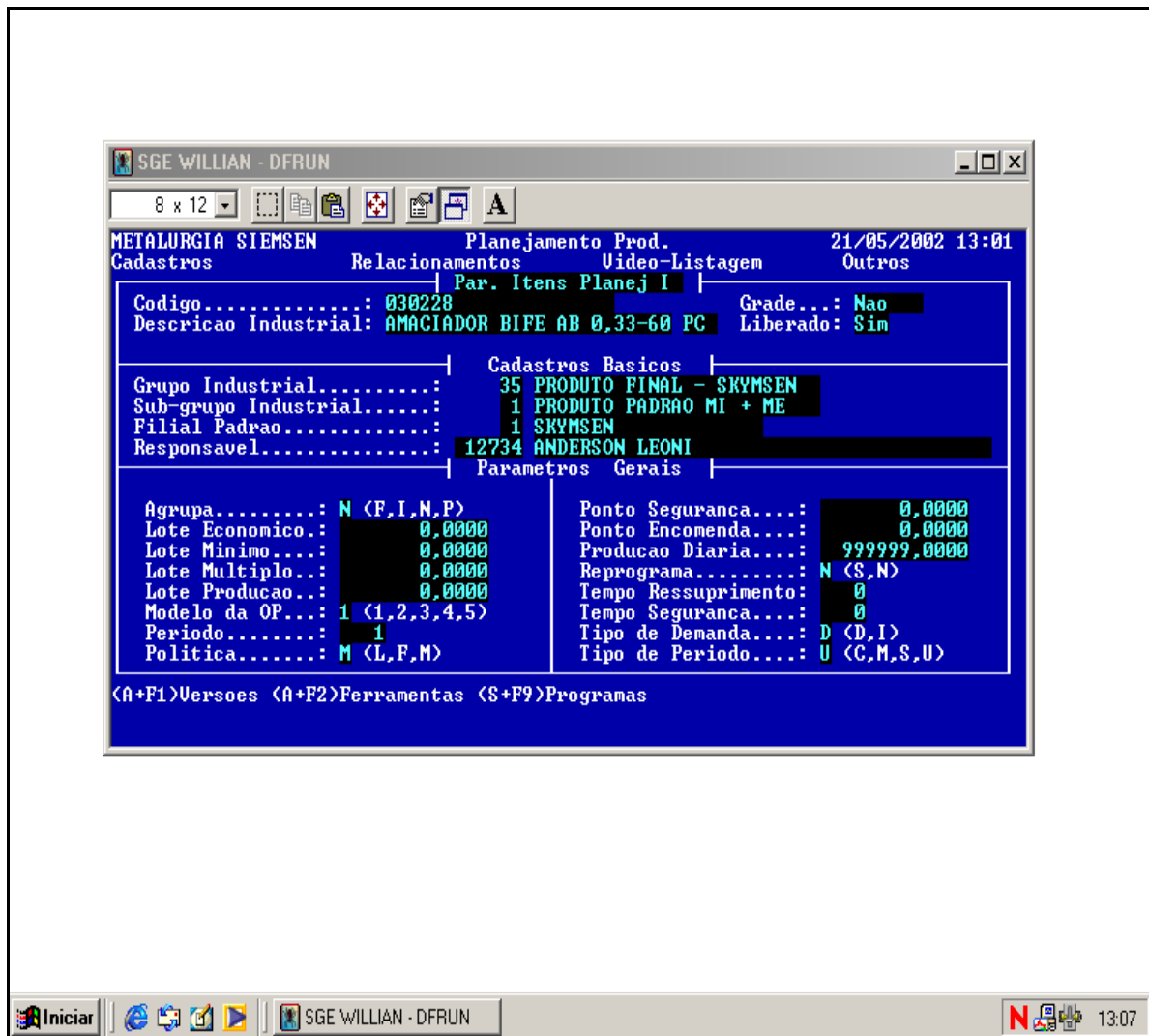


Parâmetros de Itens do Planejamento, interface do Planejamento da Produção, responsável pela parametrização de todos os itens cadastrados no sistema da empresa, tais como, produtos finais, componentes e matérias primas.

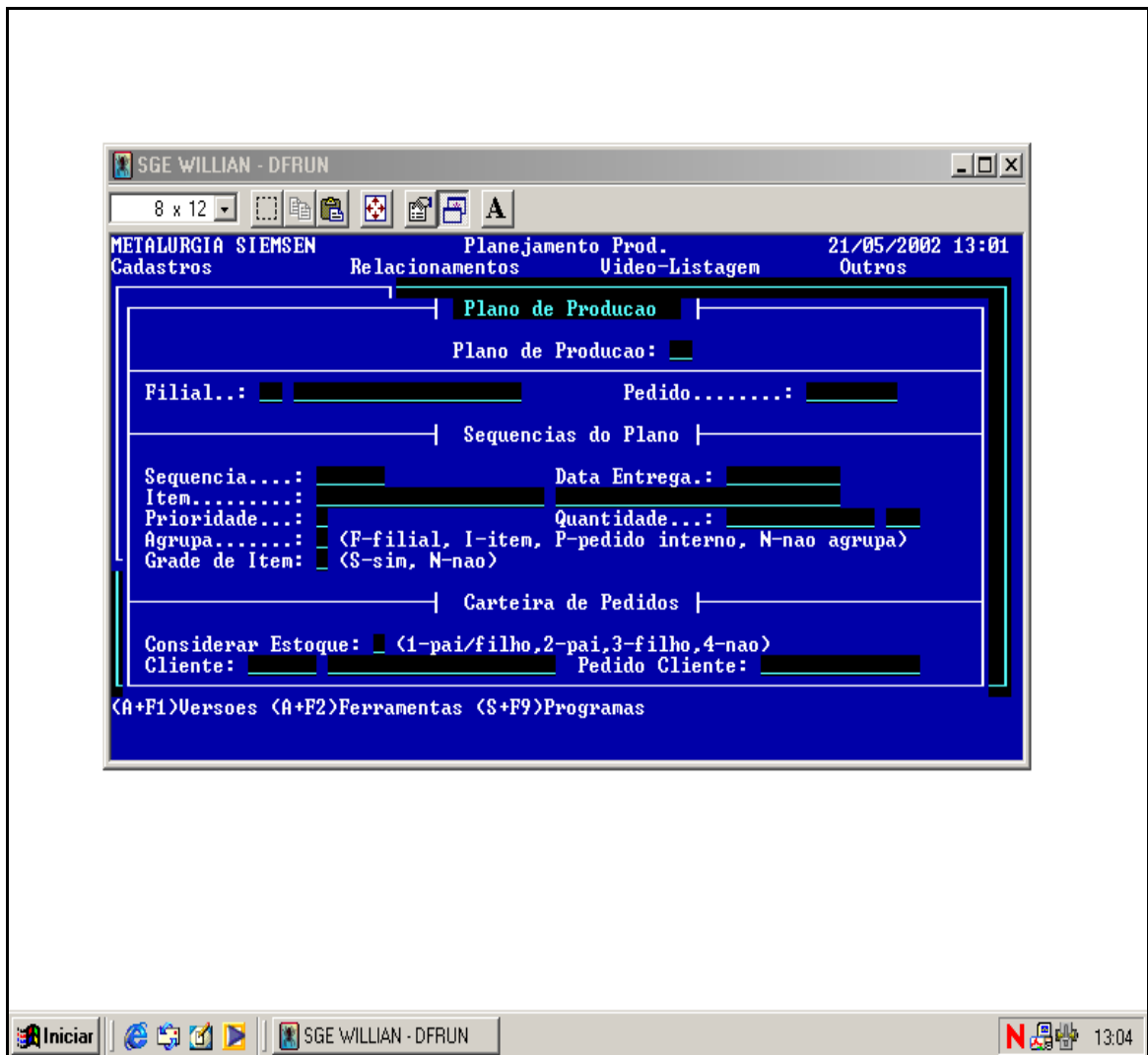




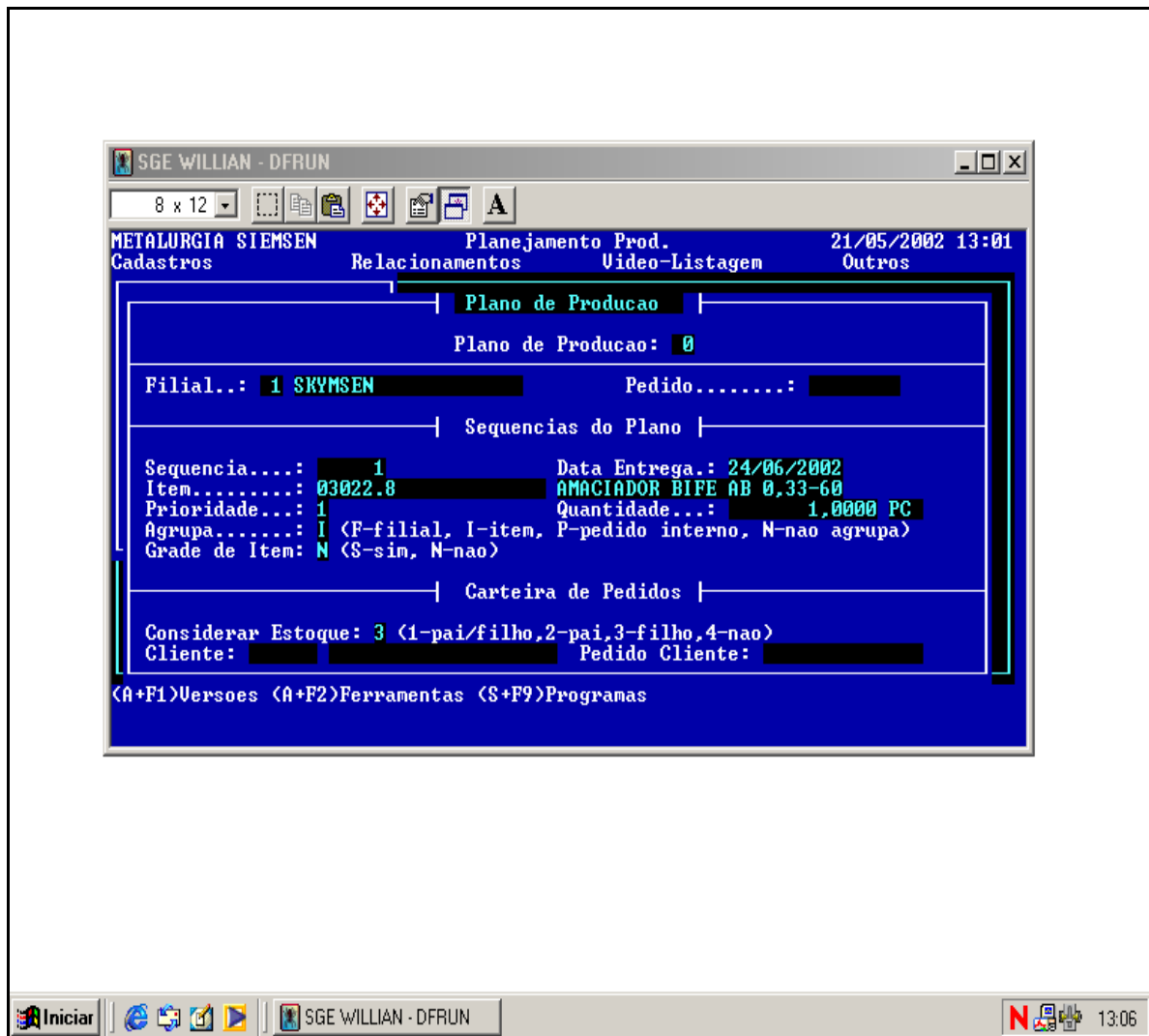
Exemplo da parametrização de um produto final ( amaciador de bife) para posterior programação.



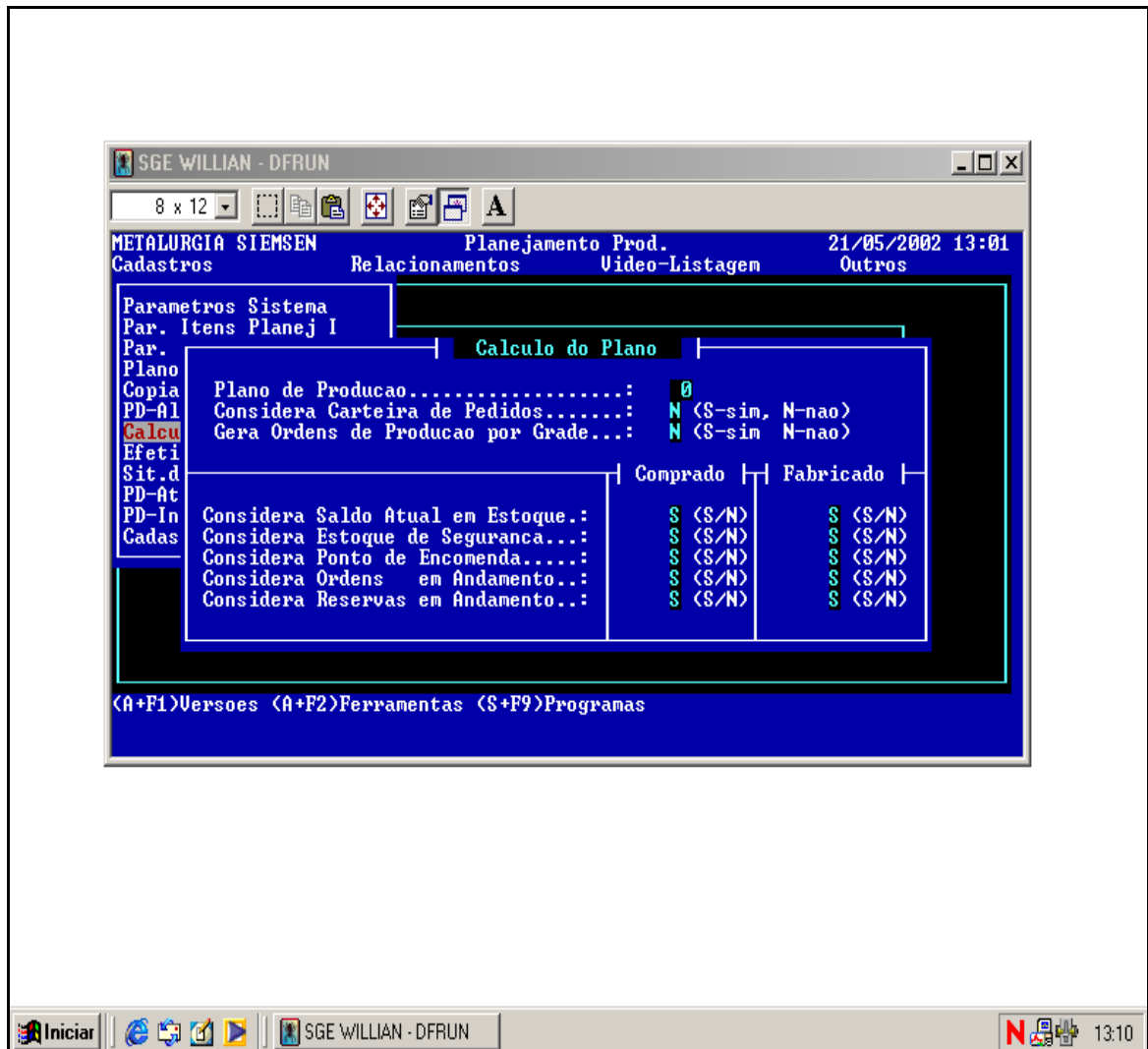
Plano de Produção, interface do Planejamento da Produção, onde são cadastrados os produtos finais que serão programados para produção.



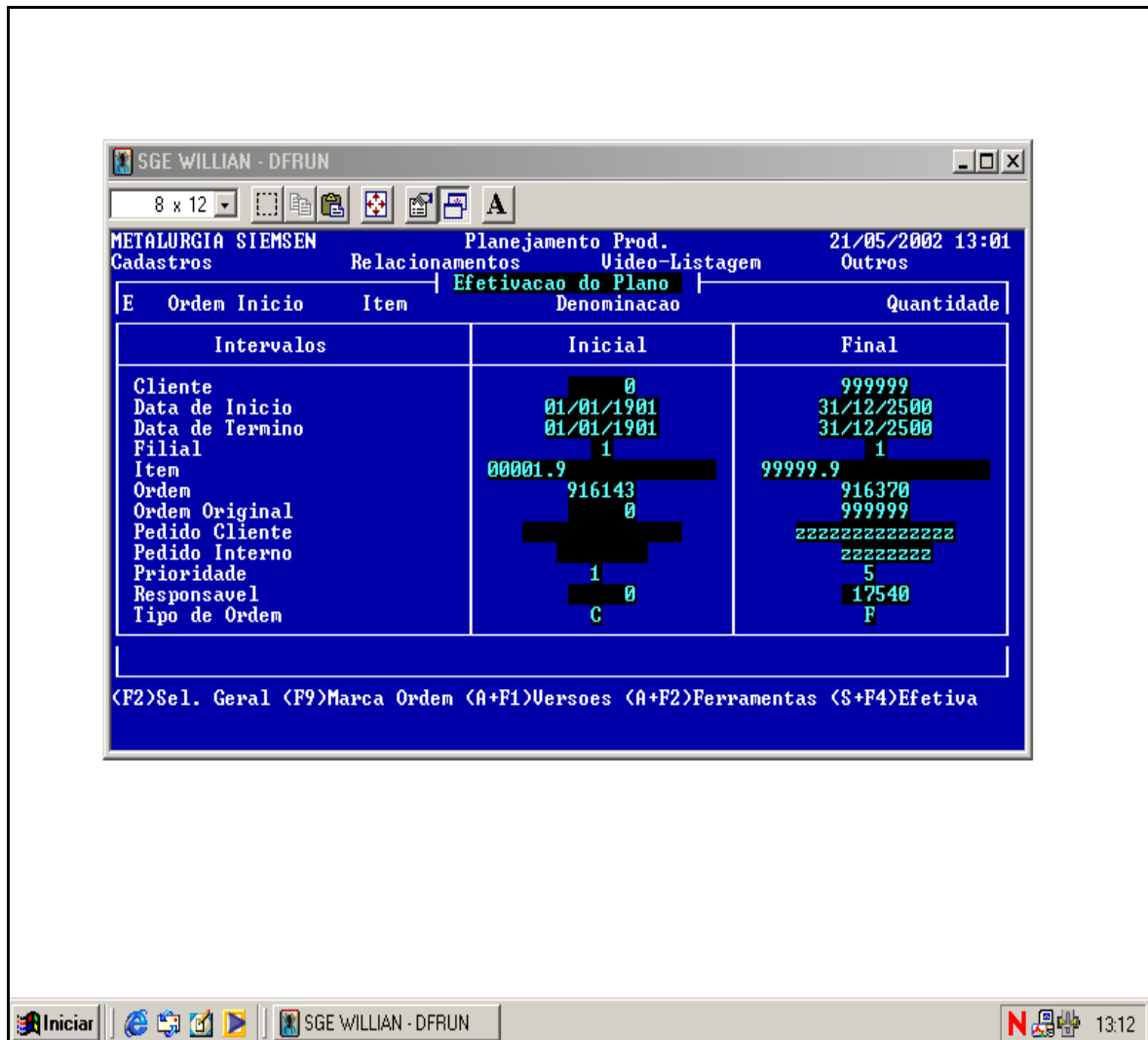
Exemplo do cadastro de um produto final (amaciador de bife) que terá uma máquina programada para produção.



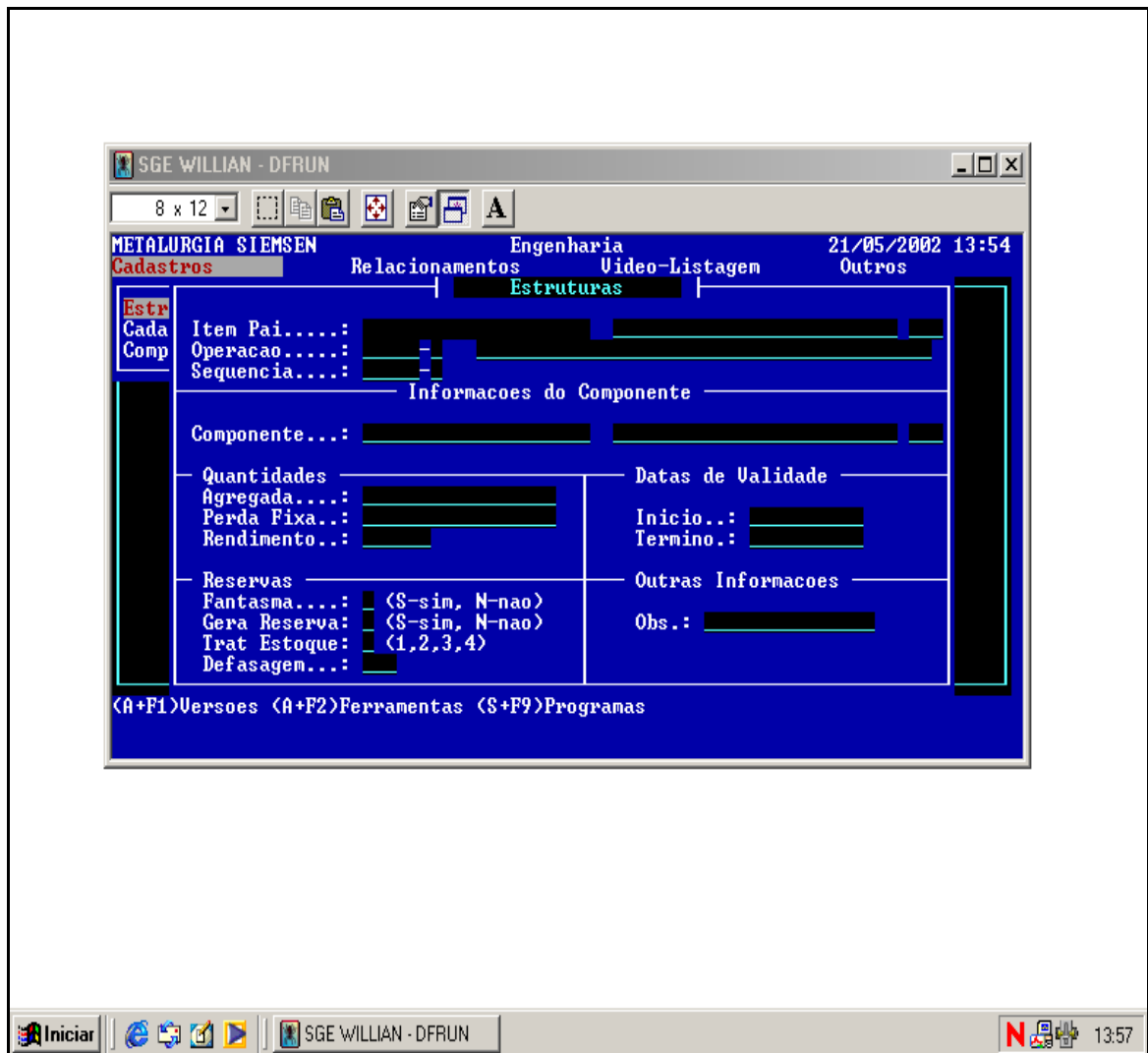
Cálculo do Plano, interface do Planejamento da Produção, responsável pelo cálculo da programação dos produtos finais, informados no plano de produção (interface anterior), que serão programados para produção.



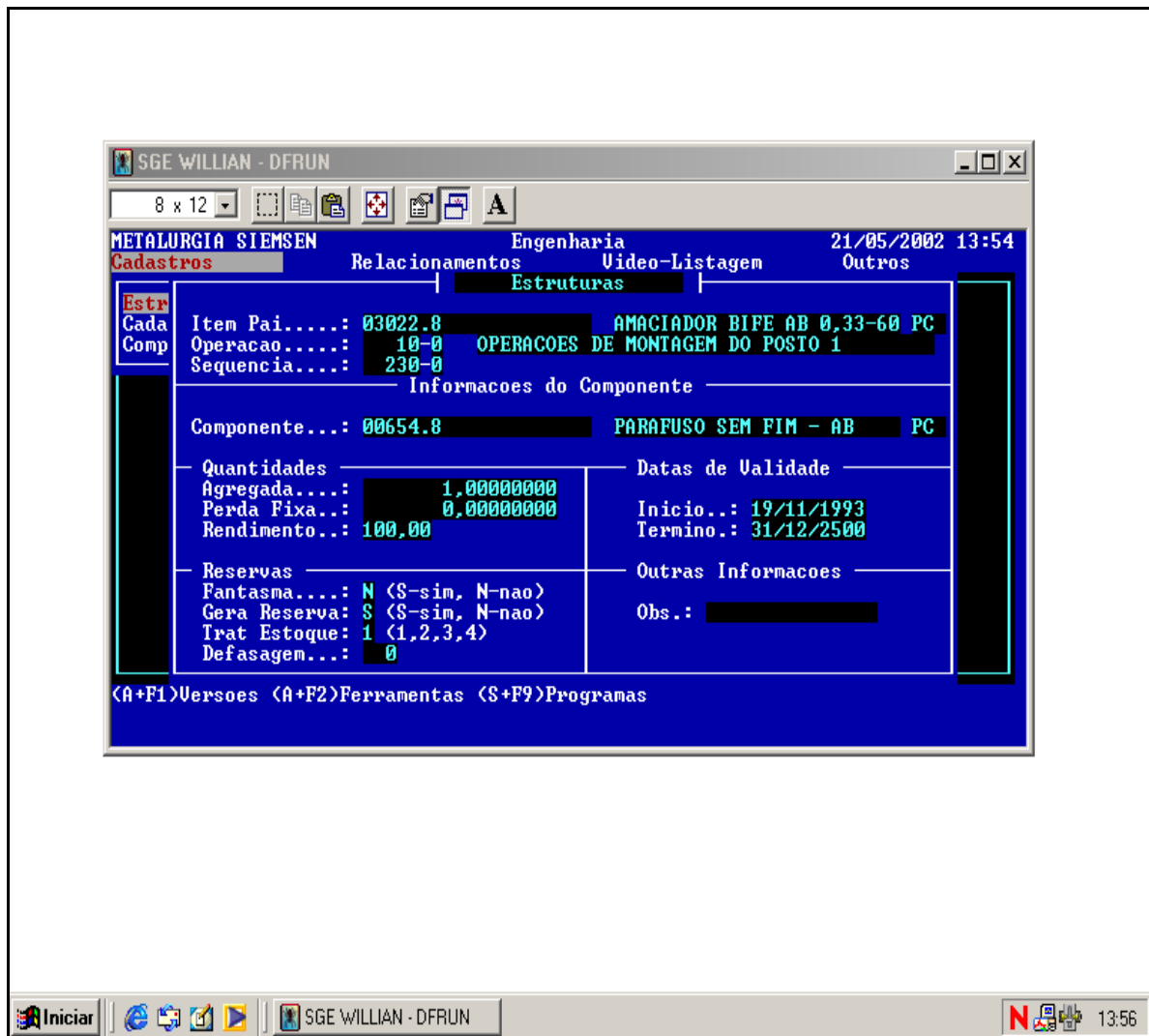
Efetivação do Plano, interface do Planejamento da Produção, responsável pela efetivação dos produtos finais, calculados pelo Calculo do Plano (interface anterior), que foram programados para produção.



Estruturas, interface da Engenharia, responsável pelo cadastro das estruturas de todos os itens fabricados da empresa, tais como, produtos finais e componentes.



Exemplo do cadastro de um componente na estrutura de um produto final (amaciador de bife), podendo este ser programado para produção.



Exemplo de relatório contendo a estrutura de um produto final (amaciador de bife), cadastrado na interface anterior.

Item Pai: 03022.8    Denominacao: AMACIADOR BIFE AB 0,33-60    UM: PC						
Nivel	Oper.	Seq.	F	Comp.	Denominacao	Quant. UM
1	0-0	10-0	L	17576.5	TINTA LACKTHANE S32 BCO	0,2500 L
2	10-0	10-0	N	17577.3	LACKTHANE S32 BRANCO	0,1516 L
2	10-0	20-0	N	17578.1	CATALIS.P/LACKTHANE S32	0,0758 L
2	10-0	30-0	N	17579.0	DILUENTE P/LACKTHANE S32	0,0228 L
1	10-0	190-0	N	12940.2	MOTOR COMPLETO 0,33CV 60H	1,0000 PC
2	10-0	10-0	N	12938.0	MOTOR 0,33CV 60Hz	1,0000 PC
2	10-0	20-0	N	01307.2	CHAVE HH-201 SF1G3FS1Q	1,0000 PC
2	10-0	30-0	L	09534.6	TUBO TERMO ENCOL.1/4x20mm	5,0000 PC
3	10-0	10-0	N	03861.0	TUBO TERMO-ENCOLHIVEL 1/4	0,1000 M
2	10-0	40-0	L	13682.4	FIO LIGACAO MOTOR	2,0000 PC
3	10-0	10-0	N	08026.8	FIO ELET. FLEX. 1mm PRETO	0,3200 M
1	10-0	230-0	N	00654.8	PARAFUSO SEM FIM - AB	1,0000 PC
1	20-0	10-0	L	01887.2	CABEC.COMP.C/SUP.ROL.AB	1,0000 PC
2	10-0	10-0	N	00667.0	CABECOTE - AB	1,0000 PC
3	10-0	10-0	N	02394.9	CABECOTE BR MOD.14	1,0000 PC
3	10-0	40-0	N	00663.7	PFS FCH 5/32"x1/2" RTZB	0,0100 CE
2	20-0	70-0	N	00668.8	TAMPA DO CABECOTE AB/ABN	1,0000 PC
3	10-0	10-0	N	02072.9	ACO 1010/20 CH.18 1,2x2m	0,3180 KG
2	150-0	30-0	N	00659.9	RETENTOR 00790BR*(F.0165)	2,0000 PC
2	160-0	40-0	N	00695.5	EIXO CONDUTOR AB	1,0000 PC
2	160-0	50-0	N	00697.1	EIXO CONDUZIDO AB/ABN	1,0000 PC
3	10-0	20-0	N	00652.1	ENGREN.CONDUT.Z-17-AB/N	1,0000 PC
2	160-0	80-0	N	00212.7	PINO ELAST.6x22 DIN 1481	0,0100 CE
2	160-0	90-0	N	00651.3	ENGREN.CONDUZ.Z-17-AB/N	1,0000 PC
1	20-0	65-0	N	17080.1	BASE AB/CCE (PLASTICA)	1,0000 PC
2	10-0	10-0	N	10168.0	BASE BR.AB/ABN (PLASTICA)	1,0000 PC
1	20-0	80-0	N	04697.3	CB.3x1,0mm2C/PG90 2PR1FTF	1,0000 PC
1	20-0	120-0	N	15962.0	KIT PENTES/ROLOS AB/ABN	1,0000 PC
1	20-0	170-0	N	12906.2	GABINETE - AB/ABN	1,0000 PC
2	10-0	10-0	N	18859.0	ALUMINIO CH.No.22 1,25x2m	0,2210 KG
1	20-0	180-0	N	10248.2	MANIPULO REVERSAO	1,0000 PC
1	20-0	200-0	N	02790.1	OLEO ILO SP 680	0,2500 L
1	20-0	280-0	N	00169.4	PE DE PVC REDONDO	4,0000 PC
1	20-0	370-0	N	00661.0	PFS SEX UNC5/16x2.3/4RPZB	0,0200 CE
1	20-0	385-0	N	00086.8	CHAVE EL.14123 A1B1E3Q	1,0000 PC
1	20-0	510-0	N	00047.7	LOGOTIPO SKYMSSEN PQ.ADES.	0,2000 DE
1	20-0	520-0	N	00693.9	ETIQUETA ADES.NIVEL OLEO	0,0100 CE
1	20-0	530-0	N	08849.8	ETIQUETA ATENCAO SEM OLEO	0,0100 CE
1	20-0	560-0	N	09741.1	RELACAO AT - MECANICA	1,0000 PC
1	20-0	570-0	N	09740.3	MAN.USU.P AB/N	1,0000 PC
1	20-0	580-0	N	00699.8	CAIXA PAP. AB (L)	1,0000 PC
1	20-0	590-0	N	00673.4	TAMPA PROTECAO BAIXA- AB	1,0000 PC

-----  
Softdata Solucoes Ltda.



## **ANEXO 2: ORDENS DE PRODUÇÃO UTILIZADAS NESTE TRABALHO**

Neste anexo são mostradas as quatro ordens de fabricação utilizadas para testes no sistema de escalonamento, ordens estas, que também foram utilizadas como exemplos no decorrer do texto.

## a) ordem de fabricação "A";

-----								
SEMANA: 50      OBS: C O M P O N E N T E S   D A   P R O D U C A O .								
-----								
OP: A						! QUANTIDADE APROVADA !		
CLIENTE: 0						!-----!		
						!	!	
ITEM: 03926-8						!	!	
DESCRICAO: POLIA MOTORA MMS-50I						!	!	
ENDERECO: U-109						!	!	
DEPOSITO: 1						!	!	
-----								
QUANTIDADE:	4,0000	UM: PC				APLICACAO : MMS-50I;		
SEQUENCIA	C.CUSTO	DESCRICAO DO CENTRO DE CUSTO			TEMPO DE PRODUÇÃO			
!__!	10	30600	SECAO DE CORTE DE AÇO			3 min		
!__!	20	30600	SECAO DE USINAGEM			4 min		
-----								
ITEM	DESCRICAO	QUANT.	UM	END.	PROCED.	TRANSF	DT.ENTR.	DT.ENTR.
05599-9	AÇO INOX 304 RED.5/8"	2,908	KG	FU-01	COMP.	!__!	02/12/02	!_____!
-----								

## b) ordem de fabricação "B";

-----								
SEMANA: 50      OBS: C O M P O N E N T E S   D A   P R O D U C A O .								
-----								
OP: B						! QUANTIDADE APROVADA !		
CLIENTE: 0						!-----!		
						!	!	
ITEM: 13722-7						!	!	
DESCRICAO: POLIA MOTORA BAKL-16/BSKL-16						!	!	
ENDERECO: U-111						!	!	
DEPOSITO: 1						!	!	
-----								
QUANTIDADE:	10,0000	UM: PC				APLICACAO : BAKL-16:BSKL-16;		
SEQUENCIA	C.CUSTO	DESCRICAO DO CENTRO DE CUSTO			TEMPO DE PRODUÇÃO			
!__!	20	30600	SECAO DE USINAGEM			5 min		
!__!	10	30600	SECAO DE CORTE DE AÇO			2 min		
-----								
ITEM	DESCRICAO	QUANT.	UM	END.	PROCED.	TRANSF	DT.ENTR.	DT.ENTR.
12073-1	POLIA MOTORA FERRO BR.	10,0000	PC	U-12	COMP.	!__!	02/12/02	!_____!
-----								

## c) ordem de fabricação "C";

-----								
SEMANA: 50      OBS: C O M P O N E N T E S   D A   P R O D U C A O .								
-----								
OP: C						! QUANTIDADE APROVADA !		
CLIENTE: 0						!-----!		
ITEM: 08591-0						!		
DESCRICAO: POLIA MOTORA PAIE						!		
ENDERECO: U-17						!		
DEPOSITO: 1						!		
-----								
QUANTIDADE:		5,0000		UM: PC		APLICACAO : PAIE;		
SEQUENCIA	C.CUSTO	DESCRICAO DO CENTRO DE CUSTO			TEMPO DE PRODUÇÃO			
-----								
!__!	10	30600	SECAO DE CORTE DE AÇO			3 min		
!__!	20	30600	SECAO DE USINAGEM			4 min		
-----								
ITEM	DESCRICAO	QUANT.	UM	END.	PROCED.	TRANSF	DT.ENTR.	DT.ENTR.
-----								
05599-9	AÇO INOX 304 RED.5/8"	0,7750	KG	FU-01	COMP.	!__!	02/12/02	!_____!
-----								

## d) ordem de fabricação "D".

-----								
SEMANA: 50      OBS: C O M P O N E N T E S   D A   P R O D U C A O .								
-----								
OP: D						! QUANTIDADE APROVADA !		
CLIENTE: 0						!-----!		
ITEM: 00242-9						!		
DESCRICAO: POLIA MOTORA DB-10						!		
ENDERECO: U-105						!		
DEPOSITO: 1						!		
-----								
QUANTIDADE:		25,0000		UM: PC		APLICACAO : DB-10;		
SEQUENCIA	C.CUSTO	DESCRICAO DO CENTRO DE CUSTO			TEMPO DE PRODUÇÃO			
-----								
!__!	10	30600	SECAO DE CORTE DE AÇO			2 min		
!__!	20	30600	SECAO DE USINAGEM			4 min		
-----								
ITEM	DESCRICAO	QUANT.	UM	END.	PROCED.	TRANSF	DT.ENTR.	DT.ENTR.
-----								
02977-7	TARUGO FUCO RED.40,3x2000	13,7500	KG	TT-95	COMP.	!__!	02/12/02	!_____!
-----								

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES JUNIOR, Jose Antonio Valle; KLIEMANN NETO, Francisco Jose; FENSTERSEIFER, Jaime Evaldo. Considerações críticas sobre a evolução das filosofias de administração da produção: do just in case ao just in time. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 49-64, jul./set. 1989.

AZAMBUJA, Rogério Xavier de. **Escalonamento com restrição de recursos utilizando algoritmos genéticos**, Itajaí, [2001?]. Disponível em: <<http://www.cbcomp.univali.br/pdf/2001/ina009.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2002.

BIANCHI, Eberten Bonetti. **Aplicação de algoritmos genéticos no planejamento da produção de tecidos**. 1996. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

CARVALHO, André Ponce de Leon F. de. **Algoritmos genéticos**, São Carlos, [2000?]. Disponível em: <<http://www.icmcs.sc.usp.br/~andre/gene1.html>>. Acesso em: 12 maio 2002.

CORRÊA, Henrique L.; GIANESI, Irineu G. N.; CAON, Mauro. **Planejamento, programação e controle da produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2001.

DAVIS, Lawrence. **Genetic algorithms and simulated annealing**. Cambridge-Massachusetts: Morgan Kaufmann, 1987.

DAVIS, Mark M.; AQUILIANO, Nicholas J.; CHASE, Richard B. **Fundamentos da administração da produção**. 3. ed. Tradução Eduardo D' Agord Schaan. Porto Alegre: Bookman, 2001. 598 p.

KOCK, Cláudio. **Protótipo de um escalonador de ordens de produção utilizando algoritmos genéticos**. 2000. 106 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

LUBBEN, Richard T. **Just in time**: uma estratégia avançada de produção. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1989.

MARTIN, James; MCCLURE, Carma. **Técnicas estruturadas e case**. Tradução Lúcia Faria Silva. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991. 854 p.

MAZZUCCO JUNIOR, José. **Uma abordagem híbrida do problema da programação da produção através dos algoritmos simulated annealing e genético**, Florianópolis, [1999?]. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/teses99/mazzucco/index.html>>. Acesso em: 12 maio 2002.

MICROSOFT. **Visual Basic guia de ferramentas componentes**. Porto Rico: Microsoft Corporation, 1998a.

MICROSOFT. **Visual Basic guia do programador**. Porto Rico: Microsoft Corporation, 1998b.

NEWCOMER, Lawrence R. **Cobol estruturado**. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.

RAMOS, Aureo Nereu. **A manufatura sincronizada como solução para maior competitividade**. 1998. 95 f. Monografia (Pós-Graduação em Nível de Especialização em Administração Industrial) – Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

REZENDE, Maria Lúcia Alencar de. **PCP básico na indústria têxtil**. Rio de Janeiro: SENAI/CETIQT, 1992.

RUSSOMANO, Victor Henrique. **Planejamento e controle da produção**. 6. ed. São Paulo: Pioneira, 2000.

SLACK, Nigel et al **Administração da produção**. São Paulo: Atlas S.A., 1999.

SOUZA, André Luiz. **Geração de SQL com Power Designer - App Modeler**, Uberaba, set. [2001?]. Disponível em: <<http://xfk.vila.bol.com.br/any/appmod/appmod.htm>>. Acesso em: 12 maio 2002.

VOLKMANN, Eduardo Augusto. **Um protótipo para auxiliar a programação de produção para indústrias têxteis.** 1998. 115 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

YOURDON, Edward. **Análise estruturada moderna.** Rio de Janeiro: Campus, 1990.