

Universidade do Minho

Escola De Engenharia
Departamento de Produção e Sistemas

Textos de
GESTÃO DA PRODUÇÃO

Rev 04-2015

S. Carmo-Silva

- 2015 -

Este texto destina-se a apoiar a aprendizagem e lecionação de disciplinas, sob responsabilidade do autor, no âmbito da Gestão da Produção e das Operações. Não deve, sem conhecimento e autorização do autor¹, ser utilizado para outros fins.

¹ Sílvio do Carmo Silva, Professor Associado do , Departamento de Produção e Sistemas, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 BRAGA
Telef.: +351 253 60 4740 Fax: 351 253 60 4741, email: scarmo@dps.uminho.pt

1. INTRODUÇÃO À GESTÃO DA PRODUÇÃO E AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO .2	
1.1. O que é a Gestão da Produção	2
1.2. Produção e Fatores de Produção.....	3
Fatores de produção.....	4
1.3. Medidas de Desempenho da Avidade Produtiva.....	8
Exemplos de medidas de desempenho	9
1.4. Produtividade.....	12
1.4.1. Noção conceptual	12
1.4.1.1. Produtividade total.....	12
1.4.1.2. Produtividade por fator de produção	13
1.4.1.3. Interpretação dos valores de produtividade	13
1.4.1.4. Produtividade Marginal	14
1.5. Valor acrescentado	16
1.6. Atividades industriais	18
1.7. Tipos e funções de produção	18
1.8. Configurações de Sistemas de Produção – Implantação Industrial.....	20
1.9. Oficinas, linhas e células.	24
1.10. Produção modular.....	28
1.11. Visões complementares de classificação de sistemas de produção	29
2. PLANEAMENTO E CONTROLO DA PRODUÇÃO ..33	
2.1. Componentes e Visões	33
2.2. PLANEAMENTO ESTRATÉGICO DA PRODUÇÃO	37
2.2.1. Plano estratégico.....	38
2.2.2. Plano de Produção Agregada, PP (Plano Agregado de Produção).....	39
3. CONTROLO DA PRODUÇÃO.....49	
3.1. Introdução	49
3.1.1. Funções e conceitos fundamentais	49
3.1.2. Tipos de Produção em Função da Natureza da Procura	52
3.1.3. Tipos de Produção e Complexidade de Controlo	53
3.2. PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO E PLANEAMENTO DE CAPACIDADE ..55	
3.2.1. Programação Diretora da Produção	59
3.2.2. Planeamento Diretor de Capacidade Produtiva	77
3.2.3. Sumário.....	90
3.3. GESTÃO DE MATERIAIS-APROVISIONAMENTO	91
3.3.1. Controlo e determinação de existências	92
3.3.2. Planeamento das necessidades de materiais	96
3.3.3. “Material Requirements Planning” MRP – Programação das necessidades de materiais	99
3.3.4. Planeamento de lançamentos	112
3.3.5. Programação de Necessidades de Capacidade	128
3.3.6. Modelos para o dimensionamento de Lançamentos	133
3.3.7. Aspetos Complementares de MRP	160
Sistemas MRP - Base de Dados de Produção - Informação Fundamental.....	164
3.4. CONTROLO DA ATIVIDADE DE PRODUÇÃO	168
3.4.1. Controlo da atividade de produção em diferentes sistemas produtivos.....	173
4. Fundamentos de Produção Just-in-Time (JIT) e de controlo da atividade de produção (CAP).....175	
5. ESCALONAMENTO/PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CURTA DURAÇÃO ..176	
5.1. Introdução	176

5.2.	Uma classificação dos problemas de programação da produção	177
5.3.	Técnicas e Complexidade da Programação da Produção	182
5.4.	Tipos de Programas de Produção	184
5.4.1.	Programas Semi-Ativos e Ativos	184
5.5.	Medidas de eficiência ou desempenho	186
5.6.	Técnicas de Apoio ao Desenvolvimento de Métodos de Programação da Produção 191	
5.6.1.	Pesquisa local ou na vizinhança. – "Neighborhood search techniques" – NST, 191	
5.6.2.	Técnica de Ramificação e Limite - "Branch and Bound"	197
5.7.	Problemas de Máquina Única – Single Machine Problems	200
5.7.1.	Trabalhos Dependentes e Independentes.....	200
5.7.2.	Problemas de Máquina Única - Trabalhos Independentes	201
5.7.3.	Problemas de Máquina Única - Trabalhos Dependentes.....	213
5.8.	Problemas de Máquinas Paralelas	228
5.8.1.	Problemas de Máquinas Paralelas - Minimização do "makespan"	228
5.8.2.	Problemas de Máquinas Paralelas - Trabalhos Independentes com Preempção 229	
5.8.3.	Problemas de Máquinas Paralelas - Trabalhos Independentes sem Preempção 233	
5.9.	Linhas de Produção	237
5.9.1.	Minimização do Tempo Total de Produção, "Makespan", em Linha de Produção 237	
5.10.	Programação da Produção em Oficinas.....	246
5.10.1.	Programação da Produção de 2 Trabalhos em Oficina com m Máquinas.....	247
5.10.2.	Programação da Produção de n Trabalhos em Oficina com 2 Máquinas	250
5.10.3.	Oficinas Genéricas.....	252
5.10.4.	Giffler and Thompson Active Generation Schedule Procedure -	258
6.	GESTÃO/PROGRAMAÇÃO DE PROJETOS E FORMAS DE REPRESENTAÇÃO 260	
6.1.	Conceitos Chave e Formas de Representação	261
6.1.1.	Formas de representação de projetos.....	261
6.1.2.	Regras Básicas de Construção de Redes PERT/CPM	264
6.1.3.	Método CPM - Critical Path Method	266
6.2.	Controlo e Acompanhamento de Projetos	274
6.2.1.	A necessidade de usar uma aplicação informática para programar e controlar um projeto.....	274
6.2.2.	Estados de progresso dos trabalhos	275
6.3.	Tomando em Conta os Recursos	275
6.3.1.	Métodos de afetação de recursos	278
6.4.	PERT versus CPM.....	282
6.4.1.	Durações das atividades em PERT	282
6.4.2.	Durações do projeto em PERT	283
6.4.3.	Exemplo de Aplicação do Método PERT	285
	Bibliografia	288

Capítulo 1

INTRODUÇÃO À GESTÃO DA PRODUÇÃO E AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

S. Carmo-Silva

1. INTRODUÇÃO À GESTÃO DA PRODUÇÃO E AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

1.1. O que é a Gestão da Produção

Gerir é o processo de estipular objetivos e planear, implementar e controlar os processos de produção para os alcançar.

A gestão determina a organização de uma empresa e desenvolve-se no quadro dela.

A palavra gestão também pode significar o grupo de pessoas que planeiam, dirigem e orientam esforço humano, físico e intelectual, além de outros recursos para atingir os objetivos da organização, i.e. da empresa por exemplo.

Gerir é, portanto, atuar para alcançar os objetivos organizacionais através da integração e uso eficiente dos fatores de produção resumidamente classificados segundo os chamados 5 Ms (Myrnard, 1971), -"men, machines, materials money and management" - originalmente não relacionados.

Podemos encontrar várias palavras que de forma sintética traduzem as funções da gestão da produção, nomeadamente: estabelecer, planear, organizar, coordenar, afetar pessoal, dirigir, implementar, supervisionar, motivar, medir desempenho e controlar, além de outras.

Mas a gestão não é só uma técnica ou processo sujeito a aprendizagem, é, simultaneamente, a arte e a ciência de planear, dirigir e controlar, portanto, de determinar o que fazer no futuro, implementar planos e obrigar a que os acontecimentos se sucedam de acordo com os planos, Figura 1-1. Devido ao avanço tecnológico, ao desenvolvimento e acesso ao conhecimento crescente podemos admitir que a Gestão da Produção, como um processo, é cada vez mais uma ciência e menos uma arte. É uma ciência associada diretamente à conceção e operação de sistemas de produção. Em geral podemos identificá-la como uma função que no mínimo integra tanto Planeamento como o Controlo da Produção, podendo mesmo numa aceção alargada incluir processos de implementação e de organização ou reorganização industrial. Na verdade a configuração organizacional de uma empresa, e certamente do seu sistema produtivo, é altamente dependente do seu posicionamento e objetivos, que se deverão alcançar por diretrizes da gestão empresarial, incluindo a gestão da produção.

Podemos entender **Planeamento da Produção** como uma função da gestão da produção orientada a planear, dirigir e controlar a provisão e preparação de meios de produção e a conceção de métodos de produção dos bens e serviços; e o **Controlo de Produção** como a

função da Gestão da Produção que planeia dirige e controla o abastecimento de materiais e as atividades de processamento das matérias primas de acordo com os planos estipulados pelo planeamento da produção.

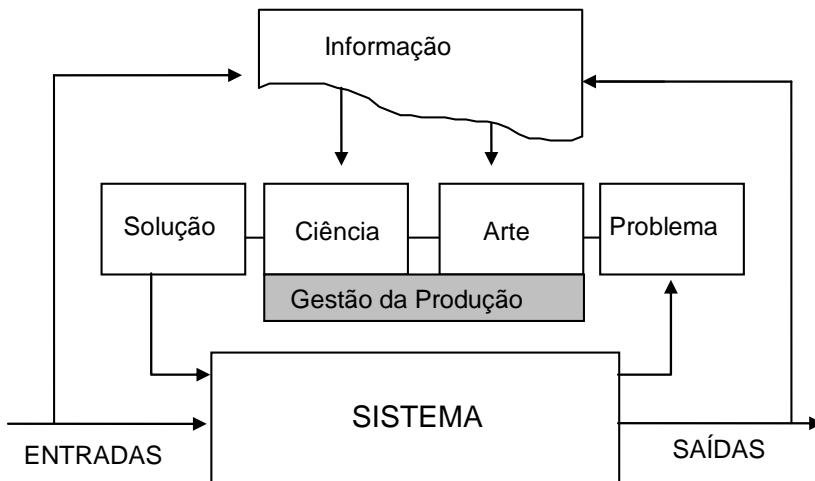


Figura 1-1 – Gestão da Produção: Uma ciência e uma arte.

1.2. Produção e Fatores de Produção

O Homem encontra na natureza uma variedade de recursos e forças de livre acesso. A terra o ar, a água, o vento e o magnetismo são exemplos de tais recursos naturais. Estes recursos podem designar-se por produtos naturais. Há uma outra classe de produtos que resultam da produção, isto é, da intervenção intencional do homem, para aumentar a utilidade ou o valor económico dos produtos naturais e de outros produtos. Aos produtos resultantes desta intervenção podemos designar de produtos económicos (Hitomi, 1979). São os produtos económicos que são objeto da produção.

Produção é, portanto, um processo intencional, concebido e operado pelo homem, para a transformação ou conversão de uns produtos noutros produtos de maior utilidade e valor económico para o homem.

Utilidade é uma medida que expressa o grau de satisfação de um desejo humano.

Algumas medidas determinantes do valor de um produto são a função, a qualidade, o custo de produção, a quantidade de produção e o prazo

Estas medidas determinam o objetivo principal da produção que se pode exprimir de forma sintética como: *criar rapidamente os produtos necessários ao homem com as características desejadas ao mais baixo custo.*

Os objetos ou produtos submetidos a conversão para a criação de outros produtos designam-se de matérias-primas.

O processo de produção ou de criação intencional de produtos realiza-se através de um sistema de produção que converte ou transforma as matérias primas, com a ajuda de outros fatores, em produtos finais, ou simplesmente produtos, Figura 1-2.

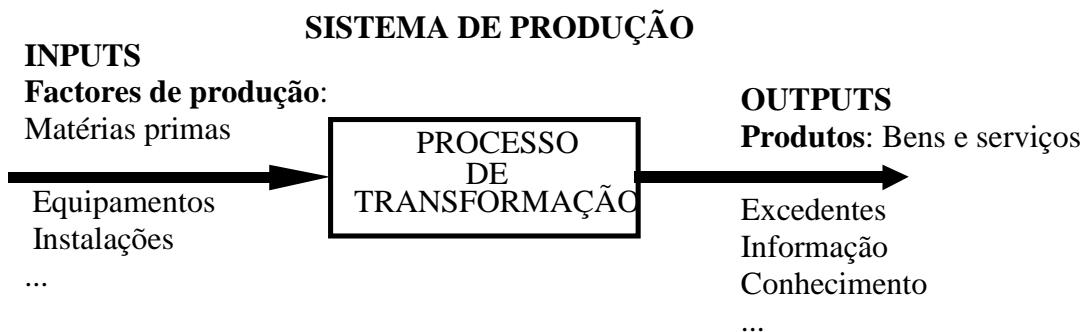


Figura 1-2 - Sistema de produção visto como um processo de transformação de matérias primas em produtos através do envolvimento de outros fatores de produção.

Os produtos finais podem ser de dois tipos:

- os bens e
- os serviços

Os *bens* são produtos tangíveis, que se podem transacionar, geralmente materiais, subsistindo para além do momento da sua criação ou produção. São exemplos os edifícios, as máquinas e os livros, as ações na bolsa de valores.

Os *serviços*, são produtos imateriais, que não podem ser transacionados, não subsistindo para além do momento em que são prestados ou produzidos, embora os seus efeitos possam subsistir no tempo. Exemplos de serviços são uma consulta médica, um conselho ou uma sentença jurídica, a entrega de uma encomenda ou uma aula sobre determinado assunto.

Fatores de produção

Todos os componentes intervenientes no processo de transformação, para a criação de produtos, incluindo as matérias-primas, designam-se de **fatores ou agentes de produção**. Estes podem ser classificados, numa aceção geral ou macro-económica em *recursos naturais, trabalho e capital*.

Os **recursos naturais**, são bens que existem livremente na natureza, como acima se referiu, embora a sua obtenção ou utilização possa, em muitos casos implicar a aplicação de trabalho e portanto, algum processo de transformação.

O fator de produção **trabalho** deve ser entendido como a capacidade ou o esforço humano, físico e intelectual, aplicado direta ou indiretamente na atividade produtiva, i.e na prestação de serviços ou no processo de transformação das matérias primas em bens de consumo ou de produção. Estes usam-se para a produção de outros bens ou para a prestação de serviços. A chamada mão-de-obra, direta e indireta, vulgarmente diferenciadas pelas empresas industriais, são exemplos da de fatores de produção trabalho. Também o trabalho indireto associado às funções administrativas, de organização e de gestão do sistema produtivo, a vários níveis e funções, se pode incluir no trabalho como fator de produção.

O capital, geralmente associado aos conceitos de património ou riqueza, são bens duradouros empregues na produção de outros bens.

Capital é a terceira classe genérica de fatores de produção, que inclui não só o capital financeiro, como também todos os outros fatores que resultam, de alguma forma, de prévia ação produtiva anterior e que normalmente resultam da produção, de aquisição ou de investimento. Podemos ainda falar em capital humano como uma outra classe de capital. Assim, são exemplos de capital, além do dinheiro, as matérias-primas, os equipamentos, os edifícios, as infra-estruturas e os sistemas de informação e de conhecimento.

Na óptica empresarial ou dos sistemas de produção, referida como micro-económica, há interesse em diferenciar os fatores de produção como forma de melhor entendimento não só do processo de conversão mas também da própria natureza e tipo deste processo. Assim essa diferenciação pode iniciar-se por um maior refinamento das classes de fatores de produção. Assim, nesta óptica, é apropriado distinguir os seguintes fatores de produção:

- Trabalho;
- Matérias-primas;
- Meios de produção;
- Informação de produção e
- Dinheiro

O **trabalho** já foi referido anteriormente e o seu significado não se altera. É portanto o a capacidade humana, física e intelectual, utilizada direta ou indiretamente na realização das tarefas do processo de transformação das matérias-primas em produtos. Inclui-se neste fator o trabalho realizado em atividades direta ou indiretamente produtivas incluindo gestão, engenharia e assessoria.

As **matérias-primas**, que se podem classificar em *principais e auxiliares ou subsidiárias*, são, como se disse, todos os objetos que sujeitos ao processo de conversão se transformam em produtos. As matérias-primas transformam-se ou consomem-se no processo de transformação. Exemplos de matérias-primas são os aços, cimentos, borracha, combustíveis, tintas, óleos e gás.

As *matérias primas principais* são objetos que sujeitos a transformação originam os produtos. As *matérias primas auxiliares* ou se consomem tais como materiais combustíveis ou gases ou são suplementares, tais como material de embalagem, transporte e acondicionamento.

Nesta noção de matéria-prima, como fator de produção pode incluir-se a energia. Embora a energia elétrica, possa ser adquirida e não obtida por transformação dentro de um dado processo de conversão, ela resulta, de alguma forma, da conversão de matéria prima em energia pelo que, não parece necessário realçar a energia como um fator de produção independente, mas sim encará-la como uma matéria-prima. Esta posição, que não recolhe necessariamente unanimidade, é tanto mais aceitável quanto a energia seja obtida a partir de combustíveis, isto é de matérias primas, dentro do processo produtivo.

Os **meios de produção** são os meios com os quais as matérias primas são convertidas em produtos. Tais meios incluem, por exemplo, todas as infra-estruturas, edifícios e armazéns e sistemas informáticos, considerados *meios indiretos*, e ainda *os meios diretos*, geralmente meios de equipamento. Estes podem classificar-se em *meios diretos principais* e *meios diretos auxiliares*. Os principais são os equipamentos ou máquinas que realizam as diferentes operações de conversão com a ajuda dos meios auxiliares. Estes incluem todas as ferramentas necessárias a usar pelos equipamentos principais e ainda outros meios auxiliares diversos, não incluídos no fator trabalho, que ajudam as máquinas no processo de conversão, tais como os gabaritos e elementos de fixação ou de guiamento.

A **informação e conhecimento** técnico e administrativo necessário à gestão e execução da atividade produtiva. Este conhecimento pode apresentar-se sob a forma de procedimentos operatórios, algoritmos, regras e guias de orientação, assim como técnica e arte das pessoas, adquirida por treino, experiência e intuição. Na óptima macro-económica este fator enquadra-se na classe do capital.

A empresa é grandemente dependente da informação e conhecimento de produção. A formalização documental do conhecimento associado à informação oferece à empresa autonomia e menor vulnerabilidade técnica e tecnológica perante a ausência de pessoal detentor deste conhecimento.

Exemplos de fatores de produção e processos produtivos

As classes de fatores identificadas podem ser encontradas, invariavelmente, em qualquer sistemas de produção. A sua natureza, no entanto, será diferente de sistema para sistema e dependente de objetivos produtivos a alcançar. A Figura 1-3 mostra alguns exemplos diferenciados de fatores de produção para diferentes situações práticas industriais.

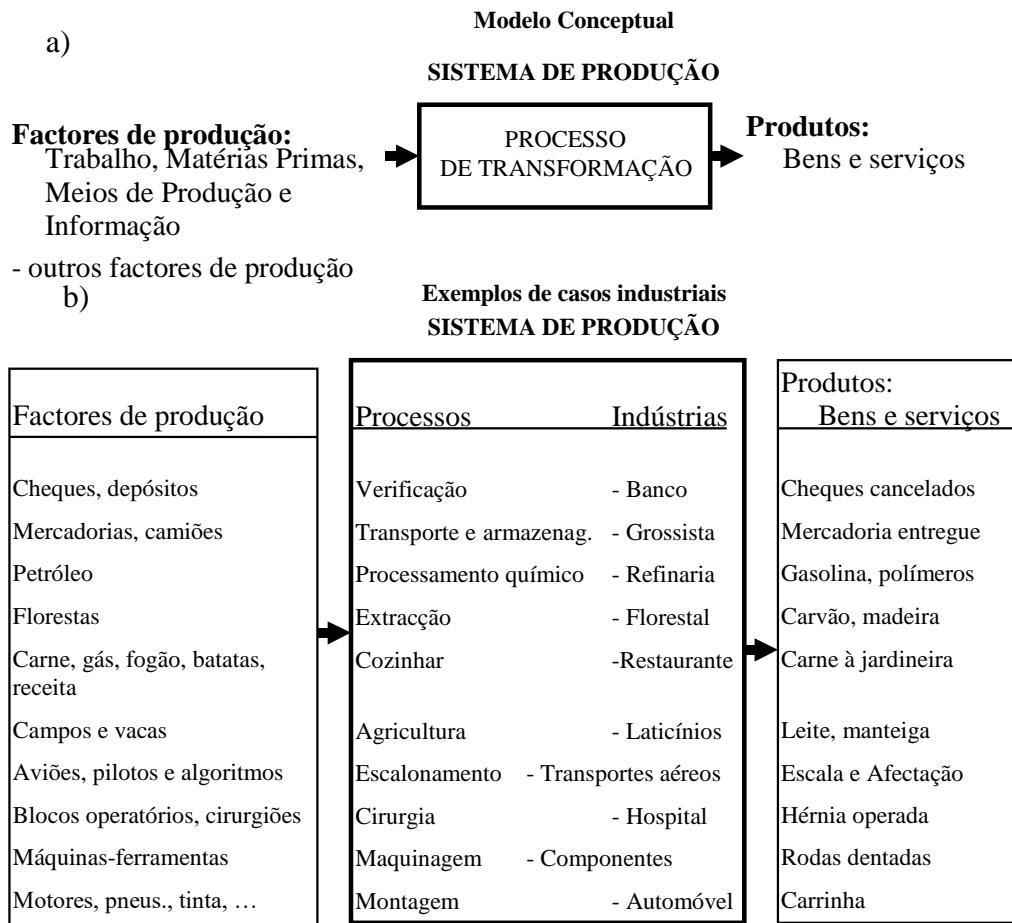


Figura 1-3 - Exemplos de fatores de produção, processos de transformação e produtos - bens e serviços. a) Modelo conceptual de um sistema de produção e classes de fatores; b) Exemplos de aplicação (adaptado de Heizer e Render, 1988)

Os casos apresentados na Figura 1-3 são suficientemente ilustrativos dos dois tipos de produtos, bens e serviços.

Exercício 1

Para os dados da Figura 1-3:

- a) Identifique os bens produzidos e os serviços prestados

b) Agrupe os fatores de produção nas classes de fatores quer na ótica macroeconómica quer na ótica empresarial.

As matérias primas, os meios auxiliares e equipamentos principais sujeitos a movimentação podem classificar-se como **materiais**. Esta classificação de fatores de produção é relevante por razões de análise e estudo dos sistemas de fluxo e movimentação de materiais, isto é, da logística de movimentação e uso dos recursos de produção.

Um *sistema logístico de produção* é uma cadeia de produtores e distribuidores que pode ser vista como um sistema alargado do fluxo de materiais.

Aliás, nesta perspetiva um sistema de produção é um sistema logístico; visto numa aceção alargada das várias fases ou processos produtivos inclui os processos desde a extração das matérias primas até à entrega ao cliente consumidor, Figura 1-4. A gestão da produção deste sistema produtivo alargado é conhecida com Gestão das Operações.

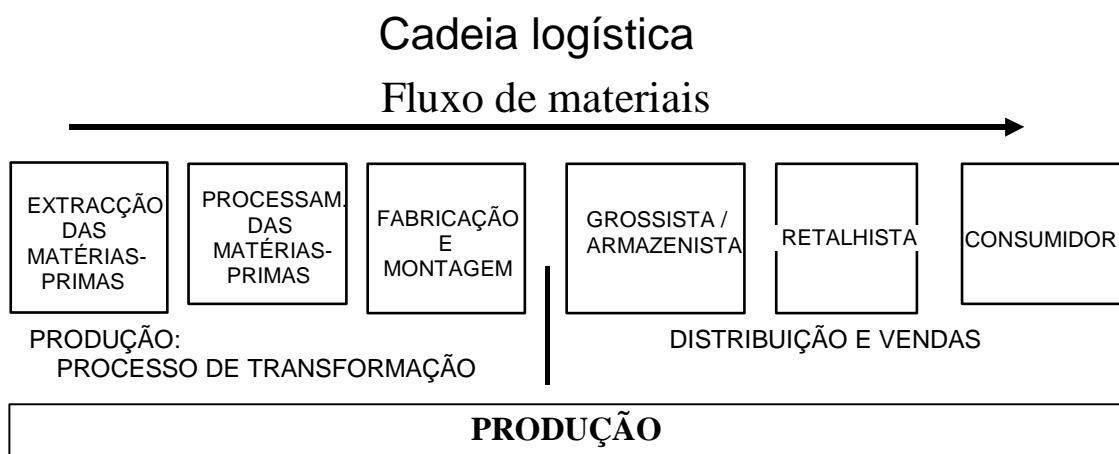


Figura 1-4 - Visão particular e alargada das funções e processos de produção industrial - cadeia logística total.

1.3. Medidas de Desempenho da Aividade Produtiva

Desempenhar bem é atingir resultados consentâneos com os objetivos planeados. Desta forma o desempenho de uma empresa ou da sua atividade produtiva só pode ser avaliado medindo os resultados à luz dos objetivos a alcançar, através do que se conhecem como medidas desempenho. Estas medidas permitem-nos comparar os resultados obtidos com os resultados esperados e desta forma avaliar a necessidade de agir para corrigir ou alterar trajetórias traçadas, i.e., planos e formas de funcionar ou atuar.

Diversas medidas de desempenho podem ser estabelecidas. Tipicamente cada medida é um valor relativo, i.e. uma rácio, uma percentagem, ou um índice, ou ainda o valor médio e uma

medida da variância da variável de uma amostra. Um exemplo é o tempo médio de fabrico (ou em curso de fabrico) por encomenda. O valor absoluto de algumas medidas é também usado muitas vezes como forma de medir o desempenho, para efeitos de comparação em períodos sucessivos. Um exemplo típico é a medida da quantidade de produção diária.

Exemplos de medidas de desempenho

São exemplos típicos de medidas de desempenho em sistemas de produção:

- Tempo médio em curso de fabrico por encomenda.
- Percentagem de utilização da mão-de-obra.
- Tempo médio de entrega por encomenda
- Percentagem de entregas
 - atrasadas ou
 - adiantadas
- Proporção do tempo de paragem do sistema ou máquina por falta de alimentação
- Tempo médio para implementar alterações em produtos encomendado, i.e. para “customizar” ou personalizar o produto
- Taxa de rotação do stock, i.e o número de vezes em que um artigo é encomendado por ano
- Itens com data de validade caducada
 - Valor relativo à quantidade movimentada
 - ...
- Erros de inventariação:
 - Percentagem de artigos inventariados não disponíveis.
 - Percentagem de artigos com quantidades inventariadas erradas.
 - ...
- Tempo de espera média do produto acabado até à expedição
- Percentagem do Custo de deterioração de stocks em relação a custo total
- Erros de faturação por encomenda
- Erros de compras de material por aquisição
- Custo por unidade de produto
- Taxa de produção diária
- ...

Além do significado próprio e utilidade que cada medida de desempenho pode ter, tomada separadamente, é importante compreender quais os valores quantitativos ou qualitativos aceitáveis para cada uma e qual o equilíbrio aceitável entre conjuntos delas para satisfazer os objetivos empresariais e de gestão.

Este é uma questão importante a resolver em qualquer empresa, mas não é, um problema de resolução fácil face à complexidade de inter-relacionamento entre várias medidas de desempenho.

É vulgar separar as medidas de desempenho em medias de eficácia e medidas de eficiência. Se, de uma forma simplificada entendermos *eficiência* significar fazer mais com os mesmos ou menos recursos, i.e. tirar o maior partido económico dos recursos de produção ou do sistema, e medidas de *eficácia* como aquelas que medem o grau de alcance dos objetivos estipulados, podemos dizer que haverá medidas de eficiência que poderão ser medidas de eficácia. No entanto, muitas medidas de eficácia não são de eficiência por não informarem sobre o grau de utilização económica dos recursos de produção. Por exemplo, para uma dada empresa poderá não ser difícil cumprir sempre as datas de entrega acordadas com o cliente, i.e. ser eficaz 100% à luz deste objetivo. No entanto, se isto requiser 50% mais meios de produção que o necessário em condições eficientes então a eficiência da produção não seria muito atrativa.

Não será difícil identificar como medidas de eficiência a produtividade, a proporção do tempo produtivo do equipamento e mesmo o lucro. Por outro lado, como medida de eficácia podemos referir o tempo de atraso na entrega por encomenda.

Exercício

Analise os dados recolhidos e compilados na tabela seguinte, admitindo a existência de 5 operadores no sistema de produção em regime de um turno por dia, e que a data de entrega foi definida no início do primeiro dia de trabalho.

Encomendas (i)	Quantidade por encomenda (Q _i)	Horas de M-D-O usadas	Dia de lançamento no sistema (I _i)	Data acordada de entrega (dia) (d _i)	Saída do sistema(dia)	Tempo em curso de fabrico (O _i)	Encomendas atrasadas (a _i)	Adianto (E _i)	Tardiness (atraso não negativo) (T _i)	Atraso (Lateness) (L _i)
1	18	20	1	9	5					
2	10	20	2	9	8					
3	22	20	1	9	9					
4	4	20	2	9	6					
5	13	20	3	9	11					
6	14	20	1	9	7					
7	12	20	2	9	8					
8	23	20	1	9	10					
9	14	20	2	9	9					
10	12	20	1	9	6					
11	4	20	3	9	6					
12	11	20	4	9	8					

Complete a tabela e determine as seguintes medidas de desempenho:

1. Tempo médio em curso de fabrico
2. Desvio padrão do tempo em curso de fabrico
3. (Percentagem ou taxa de) utilização da mão-de-obra.
4. Tempo médio de entrega
5. Atraso médio
6. Percentagem de entregas:
 - atrasadas
 - adiantadas
7. Taxa de produção
8. Produtividade da m-d-o
9. Número médio de trabalhos em curso de fabrico.

Talvez a medida de desempenho mais referida e útil, e possivelmente a mais importante, seja a produtividade.

1.4. Produtividade

1.4.1. Noção conceptual

1.4.1.1. Produtividade total

Produtividade é uma medida de desempenho que mede a eficiência de utilização dos fatores de produção. De uma forma simples a produtividade representa a quantidade produzida por unidade de fator de produção usado. É um rácio entre uma medida da produção, geralmente o valor ou quantidade dos produtos obtidos no processo de transformação, e um medida do valor fatores de produção utilizados em relação aos quais queremos medir a produtividade, por exemplo a mão-de-obra (m-d-o). Vê-se, portanto, que a produtividade é uma medida de desempenho que mede a eficiência de utilização dos fatores de produção.

A quantidade de produto pode ser medida em diversas unidades, assim como o pode a quantidade de fator de produção. De uma forma normalizada, poderíamos usar a unidade monetária para ambos os casos. No entanto, é também frequente medir a produtividade noutras unidades. Por exemplo o número de produtos, o peso e capacidade (litros, m³, etc.), podem ser usadas para a medição da quantidade de produto. Os fatores de produção, por sua vez, apresentam frequentemente unidades diferentes. Tal é o caso quando se pretende determinar a produtividade do trabalho, vulgarmente referida como m-d-o, tipicamente expressa unidades de produto produzido por empregado ou por hora-homem. A produtividade dos materiais teria de medir este fator de produção, em unidades monetárias ou uma mediada da quantidade usada.

Em geral, portanto, se V representar o valor da produção final e F_1, F_2, \dots, F_n a quantidade dos diferentes fatores de produção utilizados, então a expressão matemática simplificada de produtividade total é:

$$\text{Produtividade} = \frac{V}{\sum_{i=1}^n F_i}$$

1.4.1.2. Produtividade por fator de produção

Podemos ter visões parciais de produtividade, como aquelas que consideram como valor dos fatores de produção apenas o valor da mão-de-obra ou das matérias primas. Neste caso em relação a cada fator de produção pode ser estabelecida a sua produtividade:

$$\text{Produtividade do Fator } F_i = \frac{V}{F_i}$$

A produtividade de alguns fatores de produção, como por exemplo a da informação de produção ou a das competências de gestão, é difícil de avaliar, podendo haver abordagens mais ou menos complexas para o efeito.

1.4.1.3. Interpretação dos valores de produtividade

Quando se fala informalmente em produtividade é comum assumir estar-se a falar da produtividade da mão-de-obra.

Vulgarmente a produtividade de cada fator de produção pode ser um bom indicador da eficiência, competitividade e domínio de uma empresa, sendo no entanto, em alguns casos, suscetível de várias interpretações. Assim, por exemplo, um valor elevado da produtividade do trabalho, i.e. mão-de-obra, pode indicar um grande nível de automatização da atividade produtiva ou bom domínio tecnológico e de conhecimento num dado setor industrial. Diz-se, neste caso, que a empresa trabalha numa área de grande valor acrescentado. Isto normalmente acontece em produtos inovadores e, ou, tecnicamente avançados. Neste caso a produtividade da mão-de-obra é, normalmente um indicador importante de progresso industrial e tende a ser aquele de maior relevância macroeconómica e estatística.

Não podemos inferir que valores elevados da produtividade, nomeadamente da mão-de-obra, se traduzem numa vantagem comparativa de produtividade. É a comparação dinâmica, i.e., ao longo do tempo, da produtividade dentro de uma empresa ou interempresas que torna este índice de bastante relevância. Portanto há mais uma preocupação em seguir as variações de produtividade, como meio de avaliação contínua inter ou intraempresarial do desempenho da atividade produtiva, do que nos ficarmos pela contemplação dos valores absolutos da produtividade.

1.4.1.4. Produtividade Marginal

Frequentemente as empresas pretendem aumentar a produção o que o fazem utilizando mais recursos. No entanto a utilização de recursos adicionais não traz necessariamente um aumento proporcional produção. Verifica-se que num sistema de produção a produtividade marginal, i.e o acréscimo de produção por cada unidade acrescida de fator de produção, ou é proporcional ou cresce até um dado valor, passando depois a decrescer, com o aumento de recursos, se nenhum outro fator se alterar. Este fenómeno é conhecido como a *lei de rendimentos decrescentes*.

Exemplo da lei de rendimentos decrescentes.

Suponha um sistema de produção de tintas cujos dados de produção face à variação de recursos se encontra na tabela. Mostra-se também a produtividade dos recursos total e marginal.

Equipamento (M)	Trabalhadores (H)	Produção (litros)	Produtividade da MDO (litros/H)	Produtividade (litros/M)	Variação marginal da produção (litros)	Variação marginal de trabs.	Produtividade marginal (litros/H)	Produtividade marginal (litros/M)
10	10	590	59	59	-	-		
10	11	650	650/11= 59,1	65	60	1	60	∞
10	12	720	60,0	72	70	1	70	∞
10	13	780	60,0	78	60	1	60	∞
10	14	820	58,6	82	40	1	40	∞
11	14	920	65,7	83	100	0	∞	100
11	15	960	64,0	87	40	1	40	∞
11	16	1010	63,1	92	50	1	50	∞
						

Exercício 1

Considere uma empresa de pintura de prédios que atualmente tem 5 funcionários. A sua produção total é de 500m² de parede pintada por semana. A empresa, com base na sua estrutura e sistema produtivo prevê as seguintes produções por acréscimos marginais de um pintor:

Trabalhadores (H)	Produção (m ²)	Produtividade total ()		Produtividade marginal ()
5	500			
6	620			
7	750			
8	850			
9	940			

Calcule a produtividade total e marginal para cada combinação de fatores de produção e diga qual é o ponto de rendimentos decrescentes. Responda na tabela.

Exercício 2

a) Calcular a produtividade total, e dos seus fatores de produção mais importantes, numa empresa de fabrico de tintas que produziu no mês passado 40 toneladas tinta que vendeu por 100 000 €, tendo a seguinte estrutura e composição dos recursos de produção usados para a produção:

Permanentes/Fixos

10 misturadoras que custaram 100 000€

5 unidades de enchimento que custaram 50 000€

2 unidades de rotulagem que custaram 20 000€

todas as unidades adquiridas há precisamente dois anos e com uma duração de vida estimada de 5 anos.

5000 m² de área coberta de instalações arrendadas a 2 000 €/mês

Matérias primas adquiridos para o mês

Matérias primas principais

MP1 = 100 kg ao Custo= 10 000 €

MP2 = 20 000 Kg ao custo = 10 000€

MP3= 30 000 Kg ao custo de 10 000 €

Latas de embalagem

6 000 latas de 5kg ao custo de 3 000 €

6 000 latas de 1 kg ao custo de 2 000 €

8 000 latas de 1/2 Kg ao custo de 2 000 €

Rótilos : 2 000 €

Gasóleo = 1 000 litro Custo 1 000 €

Energia elétrica adquirida

100 MGW-Hora = 1 000€

Mão-de-obra

Vencimento mensal de 2000 € para cada operador

Três turnos:

Turno 1; 10 Homem: Horário trabalho 08h00 às 17h00 (1 hora de refeições e pausas)

Turno 2: 5 Homem; Horário trabalho 017h00 às 01h00 (1 hora refeições e pausas)

Turno 3: 2 Homem; Horário trabalho 01h00 às 08h00 (1 hora refeições e pausas)

Transporte

Tanto o transporte de matérias primas, como e o da expedição da produção são contratados a uma empresa de transportes através de um contrato de serviço de 1 000 € mês

b) A empresa está a pensar adquirir mais uma misturadora que lhe permite aumentar a produção em 10% se também adquirir mais uma unidade de enchimento. Diga qual seria neste caso a produtividade total e marginal e, se à luz da produtividade atual, a empresa terá vantagens no investimento atendendo a que as matérias primas e energia crescem proporcionalmente e que não há encargos adicionais de mão-de-obra

c) Se a empresa quiser levar a produção para 13 toneladas necessita apenas de adquirir uma máquina de rótulos e adicionar um operador a cada turno. Diga qual a produtividade total e marginal neste caso.

1.5. Valor acrescentado

Em rigor, a medida de produtividade deve considerar, não o valor total da produção mas apenas o seu valor acrescentado.

Entenda-se por *valor acrescentado* a diferença entre o valor total da produção final e o valor das aquisições ou compras ao exterior. Estas incluem as matérias primas e serviços adquiridos. Estes, se fossem realizados pela empresa seriam considerados um valor acrescentado e, portanto, não dedutíveis no valor final do produto.

Em termos contabilísticos o *valor acrescentado* pode obter-se através da *soma dos salários, encargos sociais, lucros, reservas, provisões, impostos e taxas*². Isto corresponde à noção

² Banco Pinto & Sotto Mayor, Dicionário Comercial Bancário, (década 1980)

apresentada no parágrafo anterior e, de facto, não inclui as despesas com matérias-primas e aquisição de serviços.

Normalmente o valor final dos produtos ou o valor acrescentado é determinado através do valor monetário de venda. Ainda que o valor das vendas possa ser usado para avaliação da produtividade, a sua utilização pode “camouflar” a verdadeira produtividade dos fatores de produção. Isto tem muito a ver com o preço dos produtos. Se este aumentar, para a mesma quantidade de produção, aparentemente aumenta-se a produtividade. De facto, tal assume que qualquer aumento de preço dos produtos vendidos, para a mesma quantidade de produção produzida, se traduz num aumento de produtividade. Ora, isto não é rigorosamente verdade sob o ponto de vista da eficiência ou desempenho da atividade produtiva. De facto, neste caso há uma real dificuldade em contabilizar o valor acrescentado uma vez que o lucro faz parte dele. Por isso medidas de produtividade baseadas em unidades de produção não monetárias, ainda que as dos fatores de produção o possam ser, traduzem de forma mais objetiva e clara a efetiva produtividade de dada atividade produtiva ou empresarial, permitindo melhores comparações da dinâmica de atividade dentro de uma empresa ou mesmo inter-empresas. No entanto, há uma imprecisão no cálculo da produtividade por se estar a utilizar o valor total da produção e não o seu valor acrescentado.

Em todo caso, se tivermos em conta a importância dos verdadeiros resultados, podemos muito bem aceitar que a capacidade de vender a preços mais competitivos um produto, se traduz numa efetiva vantagem produtiva ou numa melhor produtividade dos meios, neste caso, pelo menos, dos meios comerciais. Assim usar o preço de venda para avaliar o valor acrescentado ou a produtividade não deixa de ser importante. Isto depende muito da perspetiva de análise em questão.

1.6. Atividades industriais

Os bens e os serviços são produzidos por uma variedade de indústrias e atividades económicas que estão classificadas, segundo a classificação de atividade económica, CAE (INE, 2007) conforme se indica na Figura 1.4. Esta classificação está sujeita a revisões resultantes da necessidade de enquadrar atividades económicas novas e reenquadrar as existentes.

Estrutura da Classificação Portuguesa das Atividades Económicas (CAE — Rev.3)

Secção	Divisão	Grupo	Classe	Subclasse	Designação
A					Agricultura, produção animal, caça, floresta e pesca .
	01				Agricultura, produção animal, caça e atividades dos serviços relacionados
		011			Culturas temporárias
			0111		Cerealicultura (excepto arroz), leguminosas secas e sementes oleaginosas
			01111		Cerealicultura (excepto arroz)
			01112		Cultura de leguminosas secas e sementes oleaginosas
			0112	01120	Cultura de arroz
			0113	01130	Cultura de produtos hortícolas, raízes e tubérculos
			0114	01140	Cultura de cana-de-açúcar
			...		
		013	0130	01300	Cultura de materiais de propagação vegetativa
		014			Produção animal
			0141	01410	Criação de bovinos para produção de leite
		...			
B					Indústrias extractivas
	...				
C					Indústrias transformadoras
...					
D					Eletricidade, gás, vapor, água quente e fria e ar frio
...					
J					Atividades de informação e de comunicação
...					
U					Atividades dos organismos internacionais e outras instituições extraterritoriais

Figura 1-5 - Classificação de Atividades Económicas, CAE (INE, 2007)

1.7. Tipos e funções de produção

Um sistema é um conjunto de elementos inter-relacionados atuando na busca de um objetivo.

Um sistema de produção tem subjacente um processo de transformação, **T** de entradas ou fatores de produção, **I**, em saídas, i.e. bens e serviços, **O**. Com base nestes elementos, T, I, e O, no estudo do projeto e operação de um sistema de produção uma variedade de problemas típicos se podem pôr (Hitomi, 1979):

- *Análise do sistema (ITO):* Consiste em clarificar cada um dos elementos do sistema, isto é, T, I, e O.

- *Operação de sistema (IO)*: Consiste em determinar I e O, perante a existência do processo de transformação T.
- *Inversão do Sistema (I)*: Neste problema conhecendo-se T e O, o objetivo é determinar quais deverão ser os fatores de produção
- *Síntese do sistema (T)*: Neste problema o objetivo é determinar o processo de transformação, T, conhecidos que são os fatores de produção I e o que se pretende produzir no sistema, O.
- *Optimização do Sistema(ITO))*: Este problema equaciona simultaneamente a determinação de T, I e O com vista a optimizar, (maximizar ou minimizar) um dado critério de desempenho do sistema.

Em geral em gestão da produção, envolve as cinco funções em graus variáveis dependendo do estado do sistema e objetivos a alcançar.

as cinco Um sistema de produção envolve dois tipos de fluxo fundamentais, nomeadamente o fluxo de informação e o fluxo de materiais, Figura 1-6. O primeiro é importante para criar um fluxo de decisão determinante da execução das atividades que se exercem sobre o segundo, isto é sobre o fluxo de materiais, através do sistema de produção.

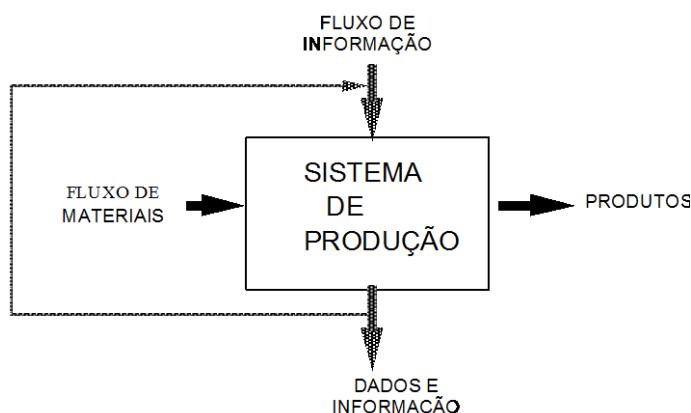


Figura 1-6 - Interação entre fluxos de produção

Em empresas industriais transformadoras as referidas atividades traduzem-se em operações de fabricação e montagem que por sua vez se podem classificar, de forma resumida, conforme se ilustra na Figura 1-7.

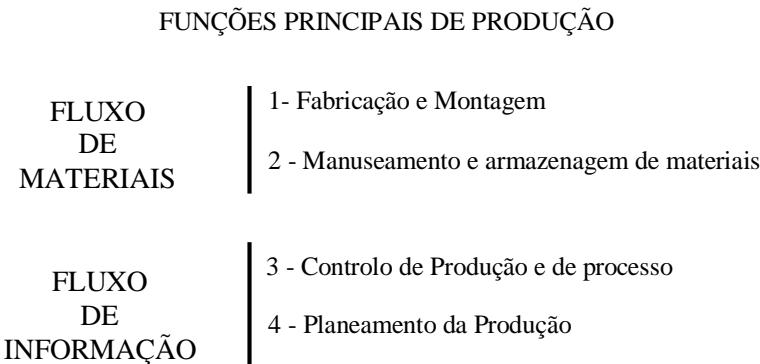


Figura 1-7 - Relacionamento dos fluxos de produção com as atividades produtivas e de gestão da produção

No processo de conversão de matérias primas as operações de fabricação relevantes incluem as operações primárias que transformam as matérias primas resultantes de extração em matérias primas prontas para a transformação através de operações secundárias, e ainda de operações de tratamento e de acabamento. De uma forma genérica podemos definir montagem como o processo de produção que une ou liga fisicamente dois ou mais objetos. Formas típicas de montagem incluem a soldadura, a colagem e a vulcanização. Outras formas de montagem incluem costura, parafusamento, encaixe, e rebitagem.

1.8. Configurações de Sistemas de Produção – Implantação Industrial

Podemos identificar duas dimensões do arranjo, configuração física ou implantação inter-operacional de sistemas de produção:

- A implantação de unidades organizacionais elementares
- A implantação de unidades organizacionais não elementares

Apesar desta dicotomia o problema de implantação, em geral, pode ser visto como um problema de apenas uma dimensão resultante do encadeamento de sucessivas implantações elementares. Assim, as unidades elementares seriam: a) no caso da localização industrial, as instalações industriais; b) na implantação inter-operacional, as unidades operacionais que executam tarefas mais ou menos complexas, tais como os postos de trabalho, departamentos funcionais ou células de produção; c) e na implantação intra-operacional os objetos materiais, matérias primas e ferramentas ou meios a utilizar no processo operatório no posto de trabalho. Apesar desta invariância na forma como as unidades a implantar podem ser vistas em cada nível hierárquico de implantação, adopta-se neste texto a dicotomia acima referida no estudo de implantações inter-operacionais identificando as unidades organizacionais elementares

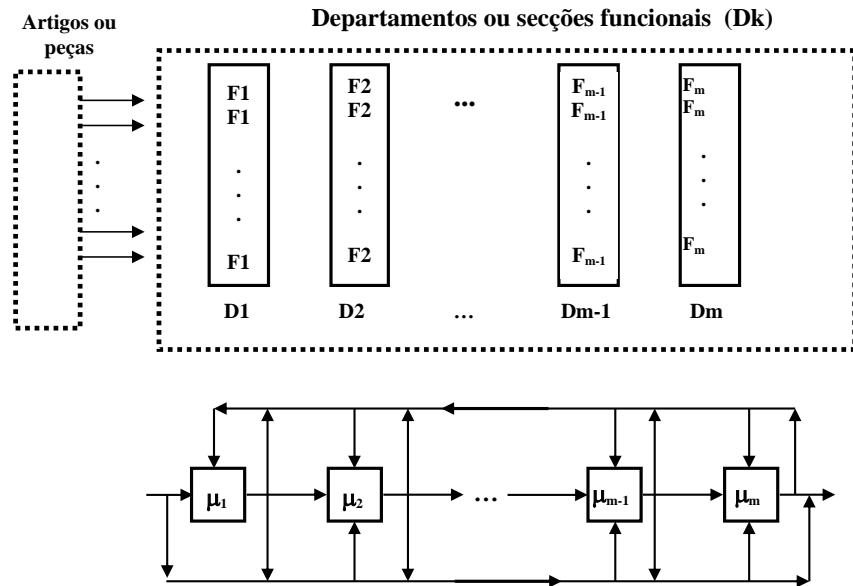
como postos de trabalho e as não elementares como resultando da agregação parcial de postos de trabalho e de meios de transporte, de armazenagem e de serviços diversos. Portanto as duas dimensões da implantação interoperacional traduzem-se no estudo:

1. Da implantação ou do arranjo relativo de *unidades elementares*, tais como postos de trabalho e outros meios, normalmente formando unidades organizacionais não elementares de que são exemplos as células, secções funcionais ou linhas de produção.
2. Da implantação ou arranjo relativo das *unidades organizacionais não elementares* para a constituição do sistema de produção.

Noutra perspetiva deve-se observar que os arranjos ou configurações interoperacionais resultam da aplicação repetida dos seguintes arranjos ou configurações básicas de implantação interoperacional:

- Funcional
 - Orientada ao produto por combinação de
 - Linha pura / Célula de fluxo direto
 - Linha geral /Célula de fluxo geral
 - Oficina orientada ao produto / Célula Geral
 - Híbrida
 - por combinação da funcional com a orientada ao produto

A implantação *funcional* é caracterizada por ser organizada em *secções funcionais*, isto é secções homogéneas constituídas por postos de trabalho, máquinas ou unidades organizacionais elementares similares, que executam a mesma função, Figura 1-8. É vulgar referir-se estas secções funcionais como departamentos ou secções. Pode-se identificar além dos departamentos ou secções de produção, as administrativas, de armazenagem, de planeamento e outras.



F_i – Função de transformação i
 μ_i - Conjunto agregado de meios que executam a função F_i – secção funcional i

Figura 1-8 – Organização ou implantação funcional de um sistema de produção

No contexto puro de produção há implantações de sistemas de produção que se referem frequentemente como *oficinas*. Assim, podemos, identificar dois tipos de oficinas: as funcionais, equivalentes às implantações funcionais, Figura 1-8, e as oficinas orientadas ao produto. Neste caso reúnem um conjunto de equipamentos ou postos de trabalho diferenciados e complementares destinados ao fabrico de um artigo ou uma família de artigos semelhantes sob o ponto de vista do processo produtivo, requerendo, por isso o mesmo sistema produtivo. A Figura 1-9 mostra quatro tipos básicos de configurações de sistemas orientados ao produto onde se incluem as oficinas orientadas ao produto, aqui designadas também por células gerais.

Numa aceção simplificada, uma oficina, quer seja orientada ao produto ou funcional pode considerar-se equivalente ao que na literatura técnica anglo-saxónica se designa por "Job-shop". De facto, em tal configuração não há restrições ao sentido do fluxo de materiais no espaço fabril. Por outro lado, as linhas de produção esquematizadas na Figura 1-9 identificam-se com as chamadas "Flow-Shops" por o trabalho ser processado em fases sucessivas sem inversão de fluxo.

Os sistemas de produção podem, ainda, ser classificados em sistemas *de fase única* e sistemas *de fase múltipla*. Nos primeiros os artigos requerem apenas uma operação de transformação, ainda que complexa, não necessitando de serem reposicionados em qualquer posto de trabalho para a execução de outras operações. *Operação* é aqui entendida como um

processo de transformação realizado num, ou requerendo um único, posto de trabalho, normalmente provido de uma máquina, constituída por um conjunto de operações elementares mas tratadas como um todo no contexto da *programação da produção*.

No caso de fase única o sistema de produção pode tomar dois aspetos: ou é de *máquina única* ou de *máquinas paralelas*, i.e. máquinas equivalentes, capazes de executar as mesmas funções de transformação.

No caso de sistemas de fase múltipla os artigos requerem mais que uma operação na sua transformação. Por isso, geralmente há necessidade de reposicionamento do objeto ou artigo em transformação nos postos de trabalho que por isso estão sujeitos a um processo de preparação ou de “set-up” em cada fase. A Figura 1-9 ilustra esta dicotomia classificativa.

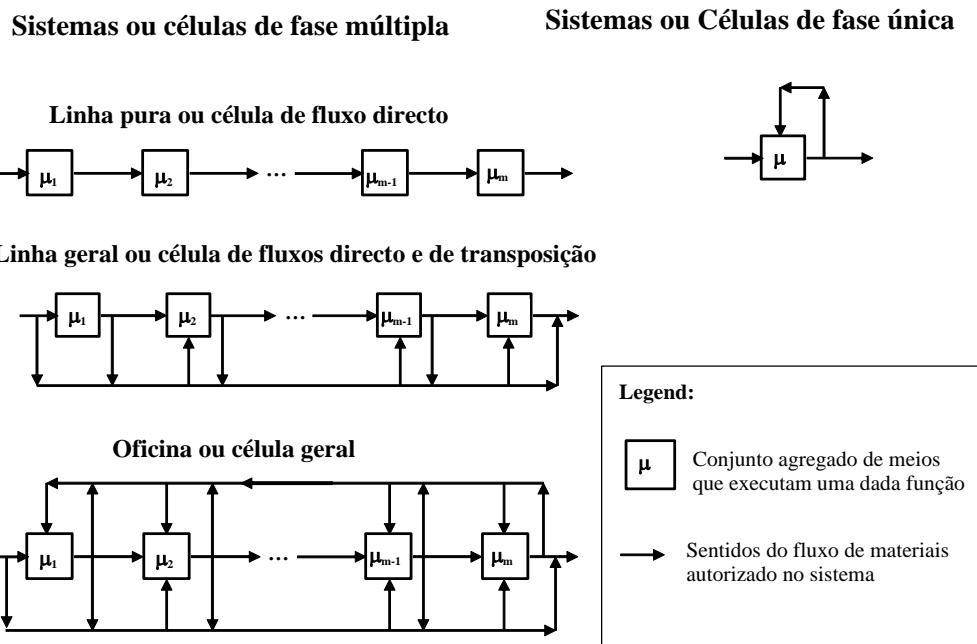


Figura 1-9 – Configurações ou implantações de sistemas de fase múltipla e fase única

Como se pode observar da Figura 1-9, nas linhas considera-se haver apenas fluxos de materiais de sentido direto, no caso de linhas puras, e de fluxo direto e de transposição no caso das linhas gerais, mas é sempre num único sentido, i.e. não há inversão de fluxo. Por seu lado, como se disse atrás, as oficinas permitem a movimentação de materiais e pessoas em qualquer sentido, incluindo o inverso e o inverso com transposição, Figura 1-10. Na realidade o fluxo é aleatório. A designação de inverso quer apenas expressar que o roteiro de fabrico de um artigo pode ser um e o de outro ter fluxos de produção contrários, i.e. inversos, total ou parcialmente.. É esta relatividade e diferença de fluxos entre artigos que caracteriza as oficinas de fabrico ou *Job-shops*.

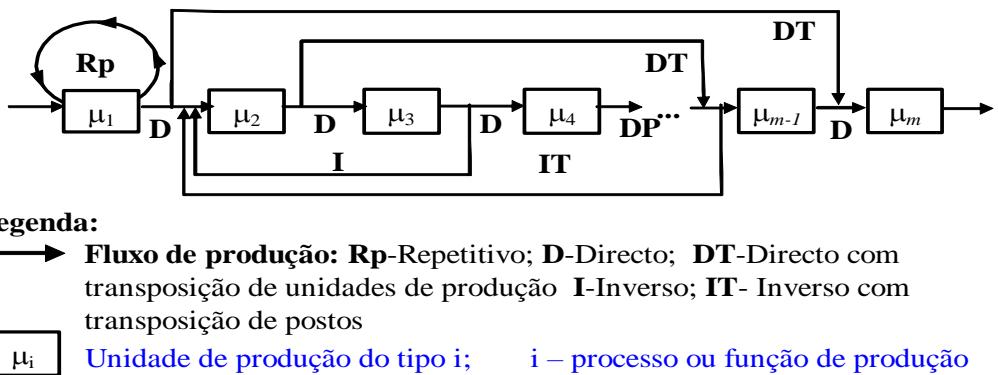


Figura 1-10 - Exemplos de fluxos de trabalho: D- Direto, T- Direto com Transposição, I- Inverso e IT- Inverso com transposição (adapatado de Aneke and Carrie, 1986)

Configurações Virtuais de sistemas de produção

Um arranjo funcional pode, teoricamente, ser convertido num conjunto de arranjos orientados ao produto, virtuais ou físicos, cada um dos quais associado à fabricação de um artigo específico ou a um conjunto de artigos similares, i.e. do mesmo tipo, geralmente referidos como uma família, requerendo o mesmo processo de fabrico e o mesmo subconjunto de equipamentos funcionalmente complementares.

Um arranjo ou *sistema de produção virtual* é aquele que resulta da afetação dinâmica, variável de período de planeamento para período, de certos equipamentos à produção de dados artigos ou famílias de artigos, sem se fazer o rearranjo ou reconfiguração física do sistema ou da implantação existente. Pode dizer-se que a configuração do sistema existe apenas no sistema de informação associado à função de planeamento e controlo da produção. Na prática o arranjo dinâmico da reconfiguração física, equivalente à configuração virtual, poderia ser economicamente viável se o equipamento e pessoas tivessem grande mobilidade. Isto pode-se verificar em algumas indústrias tais como, por exemplo, a indústria do vestuário, mas é raro na maior parte delas. É por isso que os sistemas de produção virtuais podem ser uma alternativa viável e vantajosa a usar em muitos casos.

1.9. Oficinas, linhas e células.

Oficinas

Visto na sua generalidade, uma oficina permite produzir grande variedade de artigos em pequenos lotes ou mesmo fabricação unitária sempre variável, com processos de fabrico bastante diferenciados. Entenda-se por artigo uma peça, componente ou qualquer produto final, resultante de montagem se necessário. Os lotes de artigo fluem intermitentemente pela oficina, de secção em secção e de forma livre ditada apenas pela sequência de operações de

fabricação expressa no *plano operatório*, também designado frequentemente por *gama operatória*. Cada lote diferente exige uma determinada sequência de operações o que implica sempre a deslocação dos lotes entre secções e muitas vezes o retrocesso destes a secções anteriores, num processo intermitente de produção. Devido a estas características, surgem dificuldades diversas, entre as quais, complexidade de controlo do fluxo dos materiais, tempos de produção longos e imprevisíveis e níveis elevados de trabalhos em curso de fabrico, originando custos operacionais bastante elevados. A intermitência produtiva e os longos tempos em curso de fabrico, por vezes comprometem a entrega dos produtos ao cliente nas datas acordada. Uma de várias formas de atenuar estas dificuldades e inconvenientes consiste em manter stocks de produtos acabados e em curso de fabrico. Isto tem a desvantagem, neste ambiente de produção, de originar custos muitas vezes incompatíveis para a empresa uma vez que a variedade de artigos, acabados, intermédios e em curso, é normalmente muito elevada. Isto, mesmo para stocks baixos por artigo pode originar, no todo, encargos muito elevados. A produção modular é uma forma de atenuar este problema, como se refere adiante.

Linhas de produção

As linhas de produção são sistemas de produção especializados e dedicados a um artigo ou uma variedade pequena de artigos do mesmo tipo requerendo o mesmo processo de fabrico e a mesma gama ou gamas operatórias muito similares.

Uma distinção que se pode fazer entre processo de fabrico de um artigo e plano ou gama de operações é a de que o *processo de fabrico* de refere ao conjunto de fases de transformação requerendo processos de transformação claramente identificados, por exemplo costura, corte, furação, fixação de ilhós, colagem, polimento, pintura e teste, para a execução de um dado artigo, ao passo que o *plano ou gama de operações*, que naturalmente está associado ao processo de fabrico, exprime claramente para cada artigo, as operações a executar, a sua sequência de execução e os meios de produção que podem ou devem ser utilizados. Portanto, a gama operatória pode ser vista como uma instanciação do processo de fabrico do artigo com base nos recursos disponíveis no sistema de produção.

Os postos de trabalho numa linha estão organizados para fabricar apenas o tipo de produto para o qual a linha é concebida. Por isso se diz ser um arranjo dedicado ao produto. Na linha os postos estão dispostos linearmente, i.e. uns a seguir aos outros, de acordo com a sequência das operações requerida para transformar os diferentes artigos do mesmo tipo, de forma a assegurar fluxos diretos e, se necessário, admitir apenas fluxos de transposição. O fluxo produtivo tem portanto um sentido único com o artigo a entrar num posto da linha e a passar sucessivamente de um posto para postos implantados a seguir, até à conclusão do trabalho.

Este tipo de sistema de fabrico é caracterizado por possibilitar elevada produtividade e elevadas taxas de produção.

Células de produção

O conceito de célula de produção tem evoluído nos últimos anos. Tradicionalmente uma *célula* era definida apenas como um sistema que agrupava e organizava recursos de produção, como por exemplo homens e máquinas, necessários à execução das operações de produção de uma família de artigos. Entenda-se por *família* de artigos um conjunto de artigos que apresentam similaridades importantes, e.g., de fabricação e manipulação. São exemplos de características de similaridade relevantes para identificar uma família de artigos o processo de fabrico ou montagem, a forma geométrica, as dimensões e ainda os materiais. As células assim caracterizadas e organizadas são chamadas *células de tecnologia de grupo*. A razão de ser tem a ver com o facto da abordagem à formação de famílias de artigos para produção conjunta em células de produção se designar por Tecnologia de Grupo – “Group Technology” - abordagem organizacional produtiva devida inicialmente a Mitrofanov, (1959) sendo também de referir o trabalho de Gallagher and Knihgt (1973), entre outros.

Atualmente o conceito de célula estende-se também a sistemas de produção temporariamente dedicados à execução de um conjunto de operações diferenciadas de um dado artigo, sem, necessariamente, condicionar a sua formação à identificação de famílias de artigos. Esta abordagem é mais geral e consentânea com o intenção de dedicar, tanto quanto possível, o sistema de produção ao produto explorando processos de reconfiguração rápida dos sistemas de produção, para aumento da produtividade e das taxas de produção. É por isso que a maioria das células se configuram como linhas de produção, embora se possam encontrar, ainda que raramente, células com a configuração de oficinas, conceptualmente referidas neste texto como células gerais, Figura 1-9.

No seu todo, um sistema de produção resulta da combinação de unidades de produção, que podem ser unidades funcionais ou de células orientadas ao produto. Esta filosofia de conceber sistemas que se organizam numa rede ou num encadeamento de células de fabrico orientadas ao produto nasce com a filosofia de produção implementada na Toyota há mais de três décadas, que veio a desenvolver-se originando o que hoje é conhecido como filosofia ou organização e produção *Just-in-Time* (JIT). Esta filosofia pode ser vista como precursora e semente da chamada Produção *Lean* [Womack 1996].

Uma conclusão clara é realçada das características das células: é que uma **célula** não é uma secção funcional uma vez que é constituída por postos de trabalho complementares na execução de um conjunto diversificado de operações, requeridas por um produto ou uma

família de produtos similares, e não por um conjunto de postos de trabalho ou máquinas similares realizando a mesma função de transformação.

Os sistemas de produção organizados em células para famílias de artigos mantêm alguma da flexibilidade dos sistemas funcionais (oficinas) retendo benefícios importantes das linhas de produção.

Se tivéssemos de enquadrar a aplicação dos sistemas de produção de acordo com uma variedade relevante de características e medidas de desempenho poderíamos situar os sistemas de produção de acordo com a **Figura 1-11**

A intermitência da produção é entendida como um processo de interrupção sucessiva de produção do artigo com a necessidade da sua armazenagem temporária entre fases de produção. O artigo fica, assim, sujeito a esperas em cada fase. Portanto, o artigo, que é produzido em lotes, procede, desde o início da produção até à sua conclusão, em passos sucessivos, intermitentes, com esperas aleatórias entre processos.

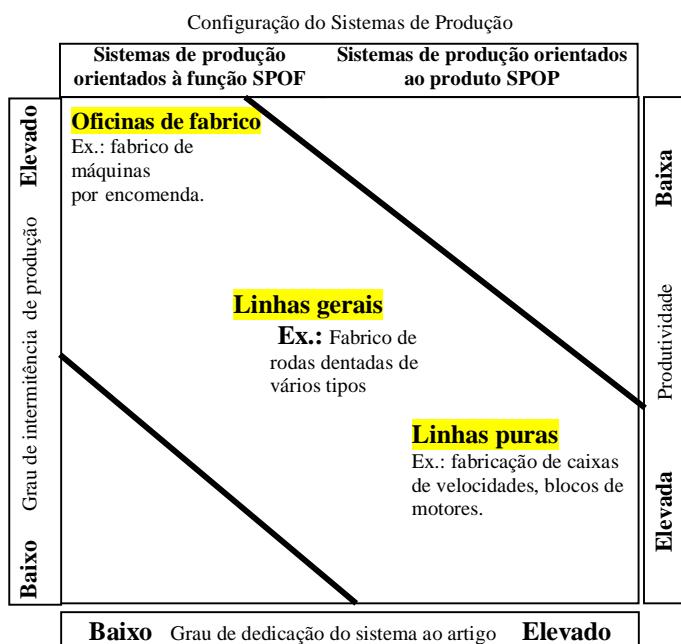


Figura 1-11 - Inter-relacionamento entre diferentes tipos de sistemas de produção face a quatro variáveis de caracterização

Aparentemente, a grande flexibilidade dos sistemas de produção funcionais em produzirem uma grande variedade de artigos é, possivelmente, a sua grande vantagem relativamente aos sistemas de produção orientados ao produto.

No entanto, os sistemas dedicados ao produto são, inquestionavelmente mais eficientes e produtivos que os sistemas funcionais. O problema está em que a procura para o artigo tem que justificar tal dedicação.

É a constatação destas duas realidades que têm orientado estudos no sentido de se poder produzir grande variedade de produtos em sistemas de produção orientados ao produto.

O estratagema para resolver a questão reside em duas abordagens fundamentais. Uma tem a ver com a identificação de similaridades nos componentes e peças a produzir onde aparentemente não existem. O objetivo é reduzir a complexidade produtiva de tais artigos pelo reconhecimento de que, afinal pertencem a famílias que podem ter processamento similar dentro de sistemas dedicados. O sistema resultante designa-se de célula de tecnologia de grupo, CTG.

É evidente que a filosofia da TG pode ser estendida ao processamento de quaisquer tarefas e pode promover mesmo a redução de variedade de artigos a produzir pelo reconhecimento de que sua grande semelhança, que em muitos casos, permite o supressão de alguns através da inter-substituição.

1.10. Produção modular

A outra filosofia para reduzir a variedade de componentes e peças a produzir aumentando, eventualmente, a variedade de produtos finais, designa-se de produção modular. Esta procura maximizar a variedade combinatória de um número reduzido de componentes ou peças, designados de módulos, na obtenção de produtos finais. Em termos teóricos dez módulos podem dar origem a um número de produtos finais de vários milhões se todas as suas combinações possíveis fossem praticamente viáveis.

A título de exemplo refere-se que um produtor alemão de máquinas de controlo numérico, pode oferecer aos clientes uma enorme variedade de tornos, de complexidade e capacidades de maquinagem muito variáveis, construídos a partir de um número reduzido de módulos, Figura 1.11. Em grande medida a produção modular é uma forma de implementar o que se designa de “lean production”, isto é, de uma forma simplificada, uma produção eficiente e sem desperdícios de fatores de produção.

Os benefícios resultantes da aplicação quer da tecnologia de grupo quer da produção modular estendem-se a muitos aspetos da gestão e têm um impacto importante na capacidade competitiva da empresa. Remete-se o leitor para bibliografia sobre o assunto incluindo sistemas JIT que, grandemente beneficiam de ambas abordagens.

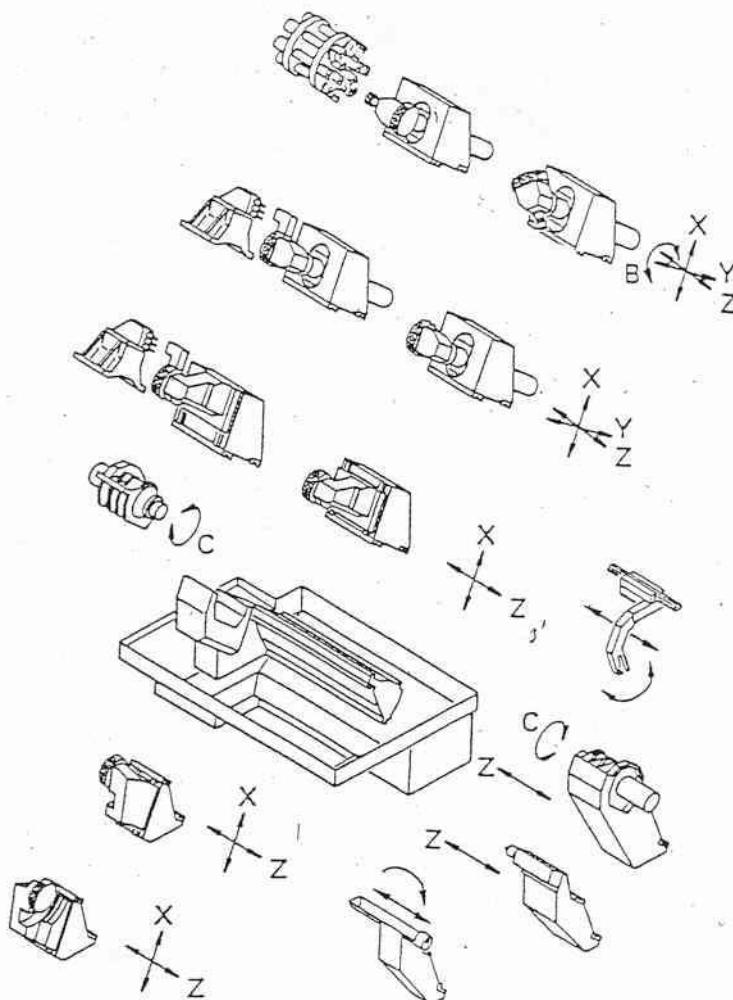


Figura 1-12 - Módulos para a construção de grande variedade de tornos de controlo numérico Kleiner (1993)

1.11. Visões complementares de classificação de sistemas de produção

Os sistemas de produção da indústria transformadora podem classificar-se de várias formas com base em diferentes critérios de classificação. A Figura 1-13 apresenta uma visão integrada de várias classificações da produção e dos sistemas de produção procurando relacionar os conceitos e a sua aplicação face à variedade de artigos e natureza da procura.

Esta visão é complementada pela caracterização dos sistemas quanto à quantidade em função de variáveis de organização e gestão da produção como se ilustra na

Figura 1-14

CLASSIFICAÇÃO QUANTO À	TIPO DE PRODUÇÃO OU SISTEMA DE PRODUÇÃO	EXEMPLOS/CARACTERÍSTICAS
1 - QUANTIDADE	1.1 - Fabricação Unitária e Pequenas Séries 1.2 - Fabricação em Série 1.3 - Fabricação em Massa	-Grande variedade de artigos -Pequena variedade de artigos -Nenhuma variedade de artigos
2 - IMPLANTAÇÃO	2.1 - Fixa 2.2 - Oficina Funcional 2.2 - Oficina Orientada ao produto 2.4 - Linha	- Fabrico de produtos de grandes dimensões tais como navios, aviões e edifícios -Para 1.1 -Para 1.2 -Para 1.2 e 1.3
3 - MODO DE SATISFAÇÃO DA PROCURA	3.1 - Para encomenda 3.2 - Para "stock"	Procura incerta Produção condicionada à existência de encomendas Procura previsível Produção iniciada antes da existência de encomendas
4 - NATUREZA DOS PRODUTOS	4.1 - Discreta 4.2 - De processo	-Peças, componentes e produtos desmontáveis -Produtos não desmontáveis tais como: produtos químicos e siderúrgicos
5 - CONTINUIDADE DO FLUXO DE PRODUÇÃO	5.1 - Intermittente ou descontínua 5.2 - Contínua	Produção em lotes Para 1.1, 1.2, 2.2, 2.3, 2.5 Produção em massa (Exs.:linhas, refinarias) Para 1.3

Figura 1-13 - Algumas classificações dos tipos e sistemas de produção

Variáveis	Pequenas séries	Médias séries	Grandes séries
Variedade de artigos	***	**	*
Quantidade requerida por artigo por período	*	**	***
Taxa de Produção	*	**	***
Custo unitário	***	**	*
Utilização do equipamento	*	**	***
Necessidade de meios auxiliares especiais	*	**	***
Flexibilidade do equipamento	***	**	*
Universalidade do equipamento	***	**	*
Grau de especialização do equipamento	*	**	***
Grau de qualificação da mão-de-obra	***	**	*
Rigor na preparação do trabalho ou dos processos	*	**	***
Dificuldade de controlo de produção	***	**	*
Aplicabilidade a mercado variável ou incerto	***	**	*
Risco de investimento	*	**	***
Tipo de implantação fabril	OFICINA	CÉLULA: Linha ou oficina	LINHA
Tipo de estrutura organizacional	FUNCIONAL	CÉLULA: Produto	PRODUTO

Legenda: * – Baixo, ** – Médio, *** – Elevado

Figura 1-14 - Comparação e caracterização dos tipos genéricos de produção

Capítulo 2

PLANEAMENTO E CONTROLO DA PRODUÇÃO

S. Carmo-Silva

2. PLANEAMENTO E CONTROLO DA PRODUÇÃO

2.1. Componentes e Visões

O Planeamento da Produção, além de estabelecer os planos de produção a longo e médio prazo, preocupa-se também com todas as funções preparatórias do sistema muito antes da necessidade expressa por encomendas de artigos, ou previsões, traduzidas em programas de produção e planos de utilização de capacidade produtiva.

Podemos distinguir três níveis de planeamento e controlo da Produção:

Planeamento Estratégico da Produção cujo objetivo é essencialmente preservar a capacidade competitiva assegurando a utilização eficaz dos recursos de produção tendo como resultado o plano estratégico de produção.

Planeamento e Controlo Tático de Produção é o planeamento de rotina, baseado no planeamento estratégico, e o controlo de produção necessário antes do lançamento dos artigos em produção. Tem como objetivo definir métodos, procedimentos e programas de produção para implementação prática dos objetivos e planos definidos no planeamento estratégico.

Ações típicas deste planeamento incluem:

- Definir objetivos funcionais
- Preparar cursos de ação
- Aquisição de recursos para os diferentes departamentos
- Coordenação dos interesses dos diferentes serviços
- Preparar o trabalho e programas de produção,

Controlo da Atividade de Produção. Atua sobre a execução dos trabalhos e cumprimento dos objetivos programados de prazos, qualidade, quantidade, uso dos recursos, tendo como objetivo a implementação e execução dos trabalhos baseada nos programas de produção, métodos e outras orientações definidas no Planeamento e Controlo Tático de Produção

Visões ligeiramente diferentes das noções genéricas de planeamento e de controlo da produção são apresentadas por diferentes autores.

Assim será interessante observar as visões de Scheer, Figura 2-1, Vollman, Figura 2-2, Hitomi, Figura 2-3 e Burbidge (1987), relativamente ao objeto e funções associadas aos dois conceitos complementares de Planeamento da Produção e de Controlo da Produção.

Em Burbidge et al (1979) define-se Controlo de Produção como "*the function of management which plans, directs and controls the material supply and processing activities of an enterprise*". Neste texto esta visão de controlo de produção será predominante. Por outro lado os mesmos autores definem Planeamento de Produção como "*the function of management concerned with planning, directing and controlling the provision and arrangement of production facilities and the design of processing methods to be used to produce the products or the services provided by an enterprise*".

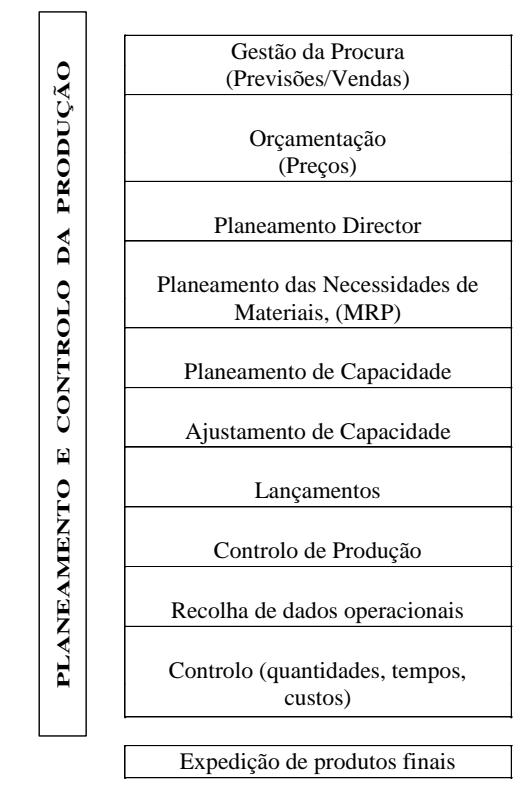


Figura 2-1 - Visão de Scheer das funções de Planeamento e Controlo da Produção

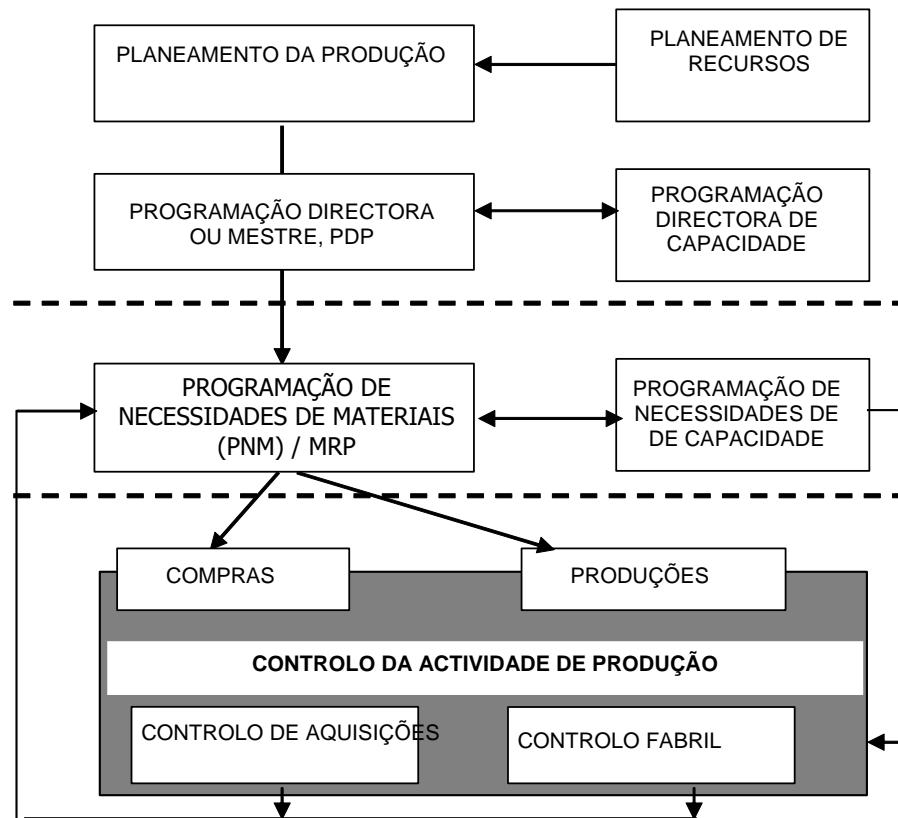


Figura 2-2 - Planeamento e Controlo da Produção (segundo Vollman et al (1992))

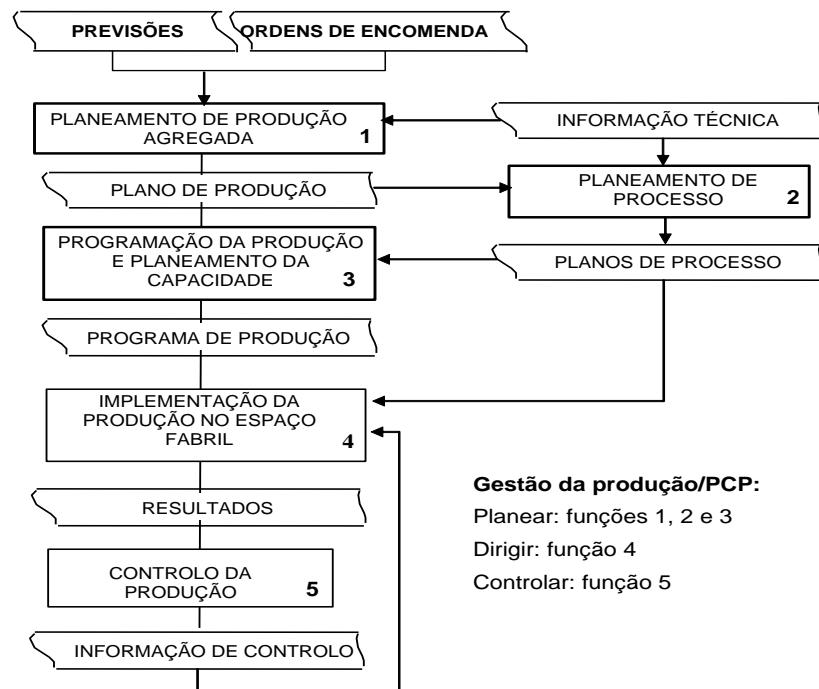


Figura 2-3 - Funções de Gestão da Produção (Hitomi, 1979)

Das visões acima apresentadas se comprehende que aquela que mais se aproxima da visão apresentada por Burbidge é a apresentada por Hitomi. A visão de Scheer e de Vollman são, em grande medida, coincidentes. Ainda que estruturadas nas funções que os autores referem como Planeamento e Controlo de Produção são, na visão de Burbidge, fundamentalmente funções de controlo de produção uma vez que não equacionam de forma explícita a preparação de métodos e de instalações fabris como ações de planeamento de produção.

A relevância desta discussão está no facto de nela se realçarem as diferentes visões, defendidas por diversos autores, acerca dos conceitos de Planeamento e Controlo de Produção. Esta falta de unanimidade pressupõe a necessidade de clarificação quando os dois conceitos genéricos de gestão da produção, nomeadamente Planeamento e Controlo são postos em confronto.

A visão mais vulgar, próxima da apresentada por Vollmann et al e Scheer (2005), é a de que planeamento é controlo a longo prazo e o controlo de produção a asseguração do cumprimento de planos e programas de produção preparados pelo planeamento. Aqui o problema reside essencialmente em estabelecer onde começa o controlo e acaba o planeamento, o que naturalmente pode ser razoavelmente arbitrário e talvez difícil.

Para resolver tal dificuldade adotaremos, predominantemente como se disse, a visão de Burbidge et al (1979), confinando a designação de **planeamento da produção** às três fases hierárquicas designadas de **Planeamento Estratégico da Produção, Planeamento Agregado de Produção e Planeamento Diretor de Produção**, por se entender que estas funções são mais consentâneas com a noção de planeamento e, em grande parte, determinantes do próprio sistema de produção. Desta forma consegue-se uma boa interpretação, conciliação e integração das visões em confronto, **sem no entanto rejeitar que o Planeamento Diretor de Produção pode claramente ser considerado como uma função de Controlo de Produção.**

A integração das visões de Planeamento e Controlo da Produção, permite estruturar e classificar as funções da gestão da Produção, nomeadamente as de planeamento e controlo, como se ilustra na Figura 2-4.

O Planeamento Agregado é normalmente considerado como parte integrante do Planeamento Estratégico, traduzindo o plano estratégico num plano – o plano de produção agregada – consonante com os objetivos de produção e o planeamento de recursos.

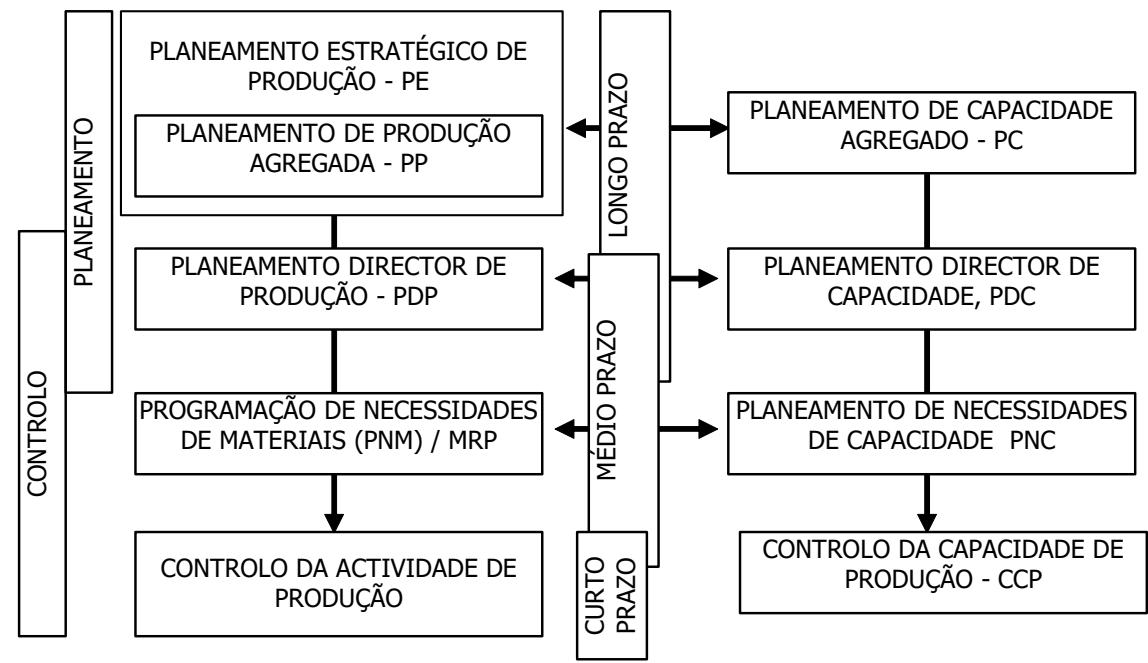


Figura 2-4 Planeamento e Controlo de Produção – Funções da Gestão da Produção

De uma forma simplificada, ao resultado de cada uma ou da conjugação das três fases hierárquicas do planeamento da produção designaremos de plano de produção. Todavia, quando for necessário realçar cada um dos planos de cada fase, em favor da clarificação de ideias, as designações de plano estratégico, plano agregado e plano diretor ou mestre, serão usadas.

2.2. PLANEAMENTO ESTRATÉGICO DA PRODUÇÃO

Objetivo

- Preservar a capacidade competitiva assegurando a utilização eficaz dos recursos de produção.

Documentos Principais

- Plano Estratégico de Produção, PE
- Plano de Produção Agregada, PP

Ações típicas

- Definição da filosofia empresarial,
- Identificação e avaliação do ambiente externo, políticas e objetivos,
- Definição de estratégias de gestão, de políticas orientadoras e de recursos humanos

- Planeamento de novos produtos
- Planeamento de lucros e afetação de recursos financeiros
- Planeamento de investimentos em instalações e equipamento,
- Programação a longo prazo para atingir os objetivos de produção,
- Avaliação global de desempenho do negócio e da produção

Variáveis e factos considerados:

- Ciclo de vida dos produtos: D (tende a decrescer)
- Variedade de artigos C (tende a crescer)
- Prazos de entrega D
- Qualidade e colocação no cliente C
- Flexibilidade C
- Equilíbrio entre capacidade e procura

2.2.1. Plano estratégico

É um registo da atividade geral da empresa para os próximos 2 anos ou mais na base de:

- Previsão da situação económica e política geral
- Previsão da situação em sectores industriais relevantes
- Avaliação da cadeia logística externa
- Considerações de competitividade

Uma visão do PE é apresentada em volume de vendas, expressa em unidades monetárias, por períodos quadrimestrais ou mensais para cada grupo de produtos ou família de produtos.

Um aspeto importante do planeamento estratégico é a definição dos recursos de produção e em particular da capacidade produtiva necessária para os próximos anos.

Qualquer plano estratégico de capacidade deverá, no mínimo equacionar a necessidade de:

- produzir as quantidades planeadas
- estabelecer uma política de prazos
- fazer a utilização eficiente dos recursos de capacidade

- equilibrar a produção, isto é a quantidade, com a capacidade para níveis de competitividade desejados
- ...

2.2.2. Plano de Produção Agregada, PP (Plano Agregado de Produção)

É parte do PE onde se refere a procura na base das previsões apresentando-se as quantidades agregadas de cada família de produtos a ser produzida nas diferentes fábricas, unidades de produção, cobrindo tipicamente o período de 2 anos numa base mensal.

Não se considera, normalmente, neste plano quantidades de artigos individuais, cores, variantes, modelos ou opções. Um exemplo de Plano agregado é mostrado na Figura 2-5.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
Month	Forecasted Demand	Cum. Demand	Regular time Days	Overtime Days	Regular Time Prod.	Overtime Prod.	Cum. Prod.	Cum. Inv.	Back Orders	RT Prod. Costs	OT Prod. Costs	Inv. Costs	Back Order Costs	Total Costs
Jan.	500	500	22	4	836	152	988	488	—	668.8	152.0	4.88	—	825.68
Feb.	750	1250	18	4	684	152	1824	574	—	547.2	152.0	5.74	—	704.94
March	850	2100	22	4	836	152	2812	712	—	668.8	152.0	7.12	—	827.92
April	1000	3100	21	4	798	152	3762	662	—	638.4	152.0	6.62	—	797.02
May	1400	4500	22	5	836	190	4788	288	—	668.8	190.0	2.88	—	796.68
June	1500	6000	21	4	798	152	5738	—	262	638.4	152.0	—	6.55	796.95
July	850	6850	21	4	798	152	6688	—	162	638.4	152.0	—	4.05	794.45
Aug.	750	7600	13	3	494	114	7296	—	304	395.2	114.0	—	7.60	516.80
Sept.	600	8200	20	4	760	—	8056	—	144	608.0	—	—	3.60	611.6
Oct.	400	8600	23	4	483	—	8539	—	61	386.4	—	—	1.53	387.93
Nov.	400	9000	21	5	441	—	8980	—	20	352.8	—	—	0.50	353.3
Dec.	400	9400	20	4	420	—	9400	—	—	336.0	—	—	—	336.0
										6547.20	1216.00	27.24	23.83	7814.27

^aAll values in columns 11 through 15 are multiplied by \$1000.

Figura 2-5 - Exemplo de um Plano de Produção Agregada ((Bedworth, 1987))

2.2.2.1. Questões a equacionar

Algumas questões importantes a considerar na elaboração de um PP incluem:

1. Modo de agregação

- Como agrregar
- Qual o critério

2. Estratégias do PP

- Stocks = ?

- Capacidade = ?
- Como variar capacidade?
- Como ou quanto ocupar ?
- Que política de contratação de pessoal ?
- ...

3. Previsões de procura agregada

4. Dinâmica do sistema de produção e de gestão- novas decisões

2.2.2.2. Estratégias de utilização da capacidade produtiva

Do planeamento estratégico para a produção de uma dada gama de produtos poderia resultar, por exemplo, os programas alternativos mostrados na tabela seguinte evidenciando os custos do uso de diferentes combinações de capacidade..

RUBRICAS	PROGRAMA 1	PROGRAMA 2	PROGRAMA 3
Armazenagem	318000	239000	47300
Custos marginais:			
M-d-o	0	48000	104000
Trab.extraord.	0	11000	44000
Subcontratação	0	0	57750
TOTAL	318000	298000	250050

Uma análise crítica dos três programas de utilização de capacidade produtiva permite fazer as seguintes constatações:

PROGRAMA 1

Não tem os efeitos sazonais em linha de conta e tem subjacente a minimização dos custos de mão-de-obra

PROGRAMA 2

Tenta refletir a sazonalidade procurando equilíbrio entre custos de aprovisionamento e custos de mão-de-obra extraordinária, que poderá incluir contratação temporária e turnos, por exemplo, no período de forte procura.

PROGRAMA 3

Tem inerente custos elevados de mão-de-obra que poderá incluir, contratação temporária e subcontratação para contemplar a grande oscilação de capacidade para satisfazer de perto as variações sazonais.

Podia ainda considerar-se mais uma variedade grande de programas, para ter em conta não só o valor dos parâmetros ou variáveis equacionadas como outras alternativas ou tipos de capacidade produtiva onde poderíamos incluir:

- Aprovisionar
- Variar permanentemente a capacidade produtiva
- horas extraordinárias
- Subcontratação
- atrasar entregas
- Excesso permanente de capacidade
- redução do horário de trabalho
- combinação de estratégias

A Figura 2-6 mostra estratégias puras de planeamento da produção que equacionam diferentes alternativas de utilização da capacidade produtiva acessível a uma empresa para elaboração de programas de produção. A complexidade do Planeamento da Produção resulta da infinidade de planos que podem ser equacionados combinando as diferentes alternativas no tempo e no espaço e da dificuldade em os avaliar à luz de critérios realistas de ordem económica, técnica e sociopolítica.

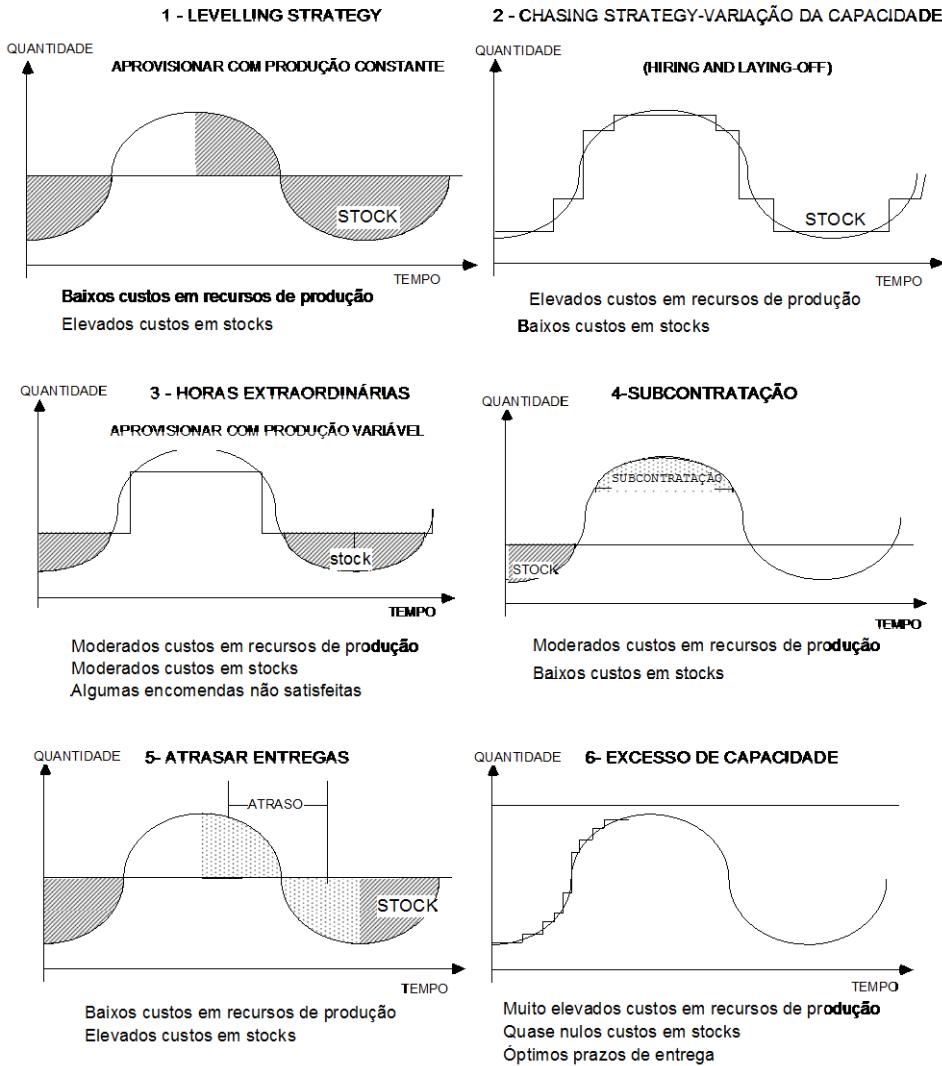


Figura 2-6 - Alternativas para a elaboração de um plano de produção.

Os resultados para um caso típico podiam gerar os programas alternativos bastante diferenciados da Figura 2-7.

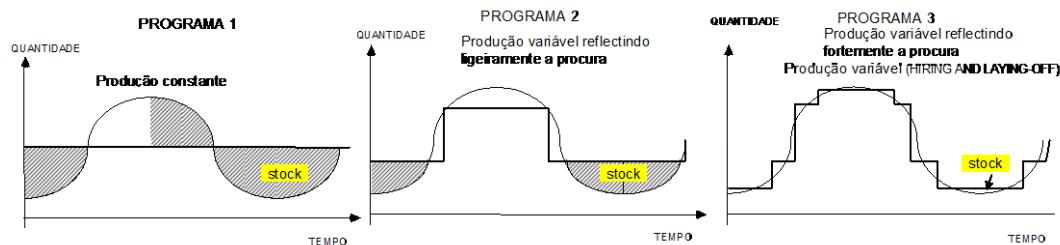


Figura 2-7 - Exemplos de programas alternativos de utilização de capacidade no planeamento de produção.

2.2.2.3. Estratégia e unidades de agregação típicas de um PP

As unidades e o método de agregação são dependentes da natureza do produto. A tabela mostra alguns exemplos usados na prática.

Como estratégias de agregação podem considerar-se:

- Definir famílias de produtos que partilham os mesmos meios de produção ou consomem os mesmos tipos fundamentais de recursos: (Máquinas, Veículos, M-D-O, etc.)
- Determinar a unidade de agregação

As unidades de agregação podem unidades de produto real, por exemplo um dos produtos da família, ou de um produto fictício, que serve para estabelecer o plano das necessidades de produção, isto é, as quantidades de produto e de capacidade. O que se faz é normalizar as quantidades de produção dos diferentes artigos em relação às unidades adotadas de agregação.

Tipo de indústria	Unidade de agregação	Aspectos ou medidas omitidas
Produtor de vinho	Quilolitros de vinho	Tipos de vinho, embalagem (garrafas, pipas, latas, pacotes)
Siderurgia	Toneladas de aço	Composição dos aços, tipos de produto (bobinas, perfis, etc.)
Fabricante de tintas	Litros de tinta	Cor e o tipo de embalagem
Transportes colectivos	Quilómetros passageiro *	Transporte local, longas distâncias,
Saúde	Número consultas de	A natureza das consultas, sua duração, qualidade dos resultados da consulta, etc....

2.2.2.4. Aspectos a equacionar na elaboração de um plano de produção

1. Obedecer às orientações do pano estratégico, no que se refere:

- Taxas de produção
- Stocks e sazonalidade

- Atrasos admissíveis na entrega
 - Outras orientações
2. Utilizar níveis e tipo de capacidade consistentes com a estratégia de uso de recursos adotada pela empresa.
 3. Definir o período e horizonte do planeamento agregado tendo em conta que não devem ser tão curtos que façam o sistema oscilar demasiado, nem tão longos que torne as previsões difíceis e o plano impreciso.
 - Período: mensal?, bimensal?....;
 - Horizonte: 6 meses? ... 2 anos?
 4. Definir as famílias de produtos

O plano estratégico é normalmente baseado na agregação da procura e tem uma correspondência estreita com o que se podem chamar de *famílias comerciais ou de mercado*.

O plano de produção agregada, que é balizado pelo plano estratégico, procura, no entanto, identificar *famílias de produção*. Estas poderão, eventualmente, ter uma correspondência direta com as famílias comerciais mas tal não é obrigatório, nem por vezes desejável. As famílias de produção aparecem na medida em que se relacionam com o sistema produtivo e com a possibilidade da desagregação para efeitos de produção e elaboração do programa diretor de produção, Figura 2-8.

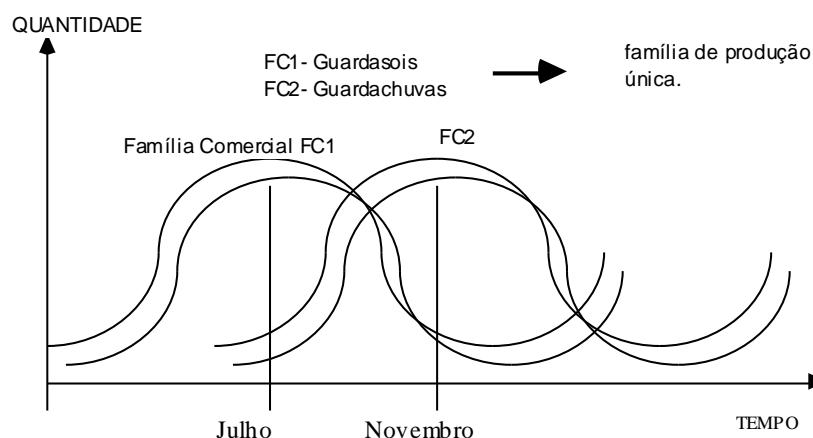


Figura 2-8 - Duas famílias comerciais de artigos para uma família de produção

No caso da Figura 2-8, as previsões que servem de base à preparação do plano estratégico poderão ser baseadas apenas em um ou nos dois produtos agregados, as famílias comerciais.

Para efeitos de produção, se o sistema e os processos forem os mesmos o plano de produção poderá ser baseado apenas numa única família. No entanto a simplicidade de desagregação, no caso de se adotarem duas famílias, poderá indicar ser preferível fazer o planeamento de produção baseado nas duas famílias comerciais, havendo neste caso correspondência entre famílias comerciais e de produção.

As famílias de produção são, por vezes, de fácil identificação como é o caso quando existe produção modular ou de artigos com variantes e opções partilhando um mesmo modelo de base.

Podemos designar de variantes as versões de um tipo de componente obrigatoriamente constituinte do produto. São opções versões de um ou mais tipos de componentes não obrigatoriamente constituintes do produto. Opções são adicionais que integrarão o produto apenas na medida em que o cliente assim o deseje ou opte.

Exemplos de *variantes* são as diferentes motorizações, i.e. motores, de um dado modelo de automóvel.

Exemplo de *opções* podem ser encostos de cabeça ou palas deflectores de ar, por exemplo..

Quando há opções e variantes, as listas de estrutura ou composição dos produtos pode indicar a existência de famílias de produtos que diferem apenas pelas suas variantes e opções.

O processo será menos linear quando as situações acima referidas não se verificam. Neste caso um processo de identificação de similaridades para encontrar famílias de produtos é necessário. Tal processo, na óptica da preparação de um plano de produção, deverá equacionar naturalmente produtos que partilham os mesmos recursos de produção ou partes específicas do sistema de produção. As famílias de Tecnologia de Grupo (TG) poderão ser utilizadas para efeitos de planeamento de produção agregada.

Podemos sumariar alguns critérios para a formação de famílias de produção:

- baseada nas famílias comerciais
- baseadas nos custos de produção
 - de custos elevados
 - de custos baixos
- baseados no uso dos mesmos meios de produção
 - Família F1 => meio de produção P1
 - Família F2 => meios de produção P2

2.2.2.5. Planeamento de Capacidade Agregada

É necessário para manter utilização da capacidade produtiva a níveis desejados e testar o programa de produção agregada.

O planeamento agregado de produção está intimamente relacionado com o planeamento de capacidade agregada, sendo, na verdade, interdependentes não se realizando o primeiro sem o segundo.

Podemos dizer que o planeamento de produção agregada é um processo iterativo para balancear capacidade fixa com capacidade variável até se encontrar um plano de produção realizável que satisfaz a procura e utiliza a capacidade a níveis desejados, para os próximos meses. O plano de Produção, PP, define assim as "balizas do **"Programa Diretor ou Mestre de Produção, PDP**". Neste as necessidades de produção em relação a produtos concretos, i.e. aqueles a vender ao cliente, são definidas para cada período de produção para um prazo inferior ao do planeamento agregado.

Exercícios

Exercício 1

Considere uma empresa com a necessidade de preparar o Programa de Produção Agregada para satisfazer a procura de sapatilhas de diversos modelos. Os custos dos recursos e soluções de ajuste de capacidade estão indicados

Estabeleça um programam agregado apropriado explorando 4 alternativas:

- Produção nivelada
- Seguimento da procura
- Seguimento da procura sem despedimentos e com contratação temporária
- Antecipar a produção havendo capacidade sem necessidades de despedimentos e fazer horas extra se necessário

SAPATILHAS	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Total	Média/mês
PROCURA PREVISTA	3000	6000	2000	1500	4000	5500	8500	30500	4357
CUSTOS	€								
Custo hora normal m-d-o	15 €/hora								
Custo hora extra m-d-o	22,5 €/hora								
Custo de contratação por empregado	500 €/empregado								
Custo de despedimento ou dispensa por empregado	750 €/empregado								
Contratação temporária	750 €/empregado								
Custo de rutura por unidade por período, Cr	7,5 €/(unidade artigo*mês)								
Custo de posse por unidade por período, Ch	5 €/(unidade artigo*mês)								
Custo de rutura por unidade por período, Cr	7,5 €/(unidade artigo*mês)								
Custo da matéria prima	30 €/unidade artigo								
CAPACIDADE									
Pessoal	18 empregados								
Existências	2500 Unidades de artigo (UA)								
m-d-o por unidade	0,64 hora(h)/UA								
Capacidade normal m-d-o	160 h/(empregado*mês)								
Capacidade extra m-d-o	20 h/(empregado*mês)								

Capítulo 3

CONTROLO DA PRODUÇÃO

S. Carmo-Silva

3. CONTROLO DA PRODUÇÃO

3.1. Introdução

3.1.1. Funções e conceitos fundamentais

O Controlo de Produção é a função da Gestão da Produção orientada ao cumprimento de planos. Esta função desenvolve-se em três vertentes ou funções principais: a programação da produção, a gestão de materiais e o controlo da atividade de produção, Figura 3-1. Na figura representa-se também de forma simplificada os fluxos de materiais , de informação e de decisão.

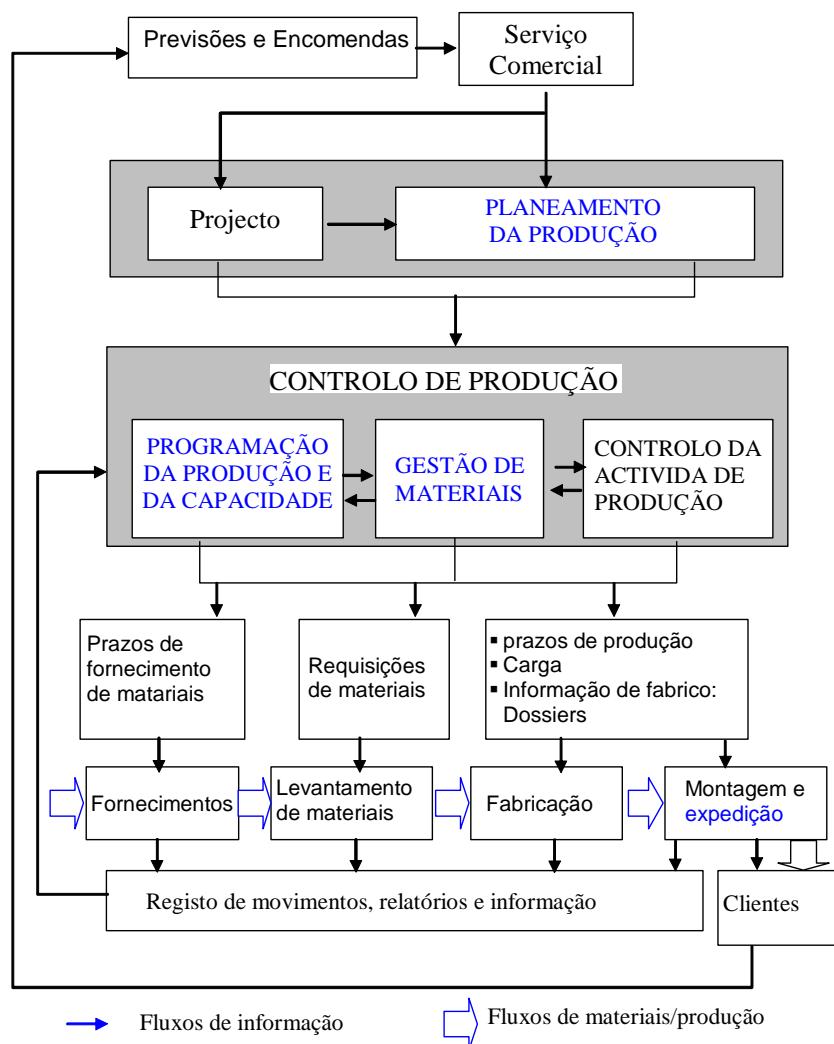


Figura 3-1. - Posicionamento e funções do controlo de produção no progresso e satisfação de encomendas e da procura.

Como objetivos principais do Controlo de Produção podem distinguir-se:

- estabelecer e fazer cumprir os programas de produção
- optimizar a utilização de todos os recursos de produção, nomeadamente matérias primas, energia meios de produção principais e auxiliares, unidades de produção, pessoas e dinheiro.
- optimizar os prazos de produção.

garantindo qualidade de produção desejada e contribuindo para a prestação de um bom serviço ao cliente.

Uma aspeto central do controlo de produção é a sua incidência sobre o abastecimento de materiais e controlo do fluxo de materiais determinando o que deve ser produzido em cada momento e em que quantidades, pelos diversos recursos de produção, para satisfazer os compromissos assumidos de entrega de produtos ao cliente. Fundamentalmente procura assegurar o abastecimento de materiais e recursos de produção planeados e a execução da atividade produtiva para atingir objetivos planeados nomeadamente no que concerne às quantidades, prazos, qualidade e custos, fazendo uso apropriado e eficiente dos recursos de produção.

Neste texto apresentam-se os fundamentos do Controlo de Produção equacionando formas de o levar cabo.

Referem-se, descrevem-se e apresentam-se, diversas estratégias, metodologias e métodos para a execução das funções de controlo de produção. Usam-se vários exemplos de aplicação para ilustração do uso e aplicação das técnicas e métodos apresentados.

A maior parte das ações do Controlo da Produção têm de ser também planeadas. Tal planeamento é levado a cabo a partir de informação obtida do Projeto e do Planeamento da Produção expressa em documentos tais como (Figura 3-2):

- requisições e listas de peças e/ou materiais
- planos ou fichas de trabalho/gamas operatórias
- desenhos de montagem, posicionamento e ou ajustamento
- ...

que normalmente integram os chamados "dossiers" ou cadernos de fabrico ou de fabricação.



Figura 3-2 – Dados e informação que constituem os dossiers de fabrico e a informação para Controlo da Produção

A programação da produção, por vezes também designada de escalonamento da produção, pode ser vista numa ótica detalhada de curto ou muito curto prazo ou, numa aceção mais alargada no tempo, tipicamente de uma semana ou mais, dependendo do tempo necessário para fabricar o produto. Isto pode levar semanas, ou mesmo meses, dependendo da complexidade do produto a fabricar. Nesta última perspetiva a programação da produção diz-se a médio prazo, e estabelece os programas de produção definindo ordens de fabrico, cuja prioridade de execução é dependente de vários parâmetros de decisão. São de especial relevância os prazos de entrega acordados e o tipo e quantidade de capacidade produtiva disponível.

Capacidade produtiva refere-se, de forma indireta, à quantidade de meios de produção disponíveis ou número de horas de processamento que temos disponível num dado período, e, de forma direta, à quantidade de artigo que pode ser produzida por período. Nesta medida, uma máquina tem normalmente e teoricamente a capacidade de oito horas, num dia de trabalho. Esta capacidade pode ser carregada com trabalho, associado às ordens de fabrico, normalmente referido como carga. Podemos dizer que a carga consome ou ocupa a capacidade. O carregamento da capacidade com trabalho num dado período assume que o trabalho é para ser processado nesse período.

O trabalho a executar tem a sua representação em ordens de fabrico. Podemos definir uma ordem de fabrico como um documento traduzindo a decisão de produzir uma dada quantidade de um tipo de artigo como se fosse uma única entidade. Fica assim identificado o artigo a produzir e a sua quantidade. O artigo a produzir é, na prática, por vezes chamado de *referência* por ser identificado com o seu respetivo código por vezes designado de referência.

Não é só a disponibilidade de capacidade que é necessária à programação da produção, i.e. determinar quando devem as ordens de fabrico, ou melhor, os artigos nela referidos, serem

executados e concluídos. É necessário assegurar que outros recursos estejam também disponíveis nesses períodos. Assim, a programação da produção tem de ter em conta existências da matéria prima ou produtos semi-acabados ou intermédios necessários para transformar as encomendas, assim como as datas da sua disponibilidade. Na verdade o processo de gestão de materiais que assegura a disponibilidade dos materiais nos momentos certos não pode, de forma simples, separar-se do processo de programação da produção. As duas funções estão interligadas podendo mesmo dizer-se que são de certa forma equivalentes. É por isso que o processo conhecido como MRP – Material Requirements Planning – ou Planeamento das necessidades ou Requisitos de Materiais, é ao mesmo tempo um processo de gestão de materiais e de programação da produção.

3.1.2. Tipos de Produção em Função da Natureza da Procura

A importância de cada uma das divisões do controlo da produção varia principalmente com o tipo de produção e sistema de produção que, naturalmente, deverão estar adaptados à natureza do mercado e da procura do produto.

De uma forma simplista é por vezes suficiente referir os tipos produção em função do modo de satisfação da procura, face a natureza desta, em *Produção por Encomenda (PPE)* – “Make to Order (MTO)” – e *Produção para Stock (PPS)* – “Make to Stock (MTS)”. Na primeira, a produção é iniciada estritamente com as encomendas postas pelos clientes; na segunda a produção é iniciada para reposição de stock de produtos acabados, de onde é satisfeita a procura, i.e. as encomendas de clientes. No entanto, as exigências de rápida entrega e diminuição do risco associado ao stock de produtos acabados levam a outra forma de produção que se designa de Montagem por Encomenda (ME)– “Assemble to Order (ATO)”. Trata-se na verdade de uma hibridação da PPE – MTO - com a PPS – MTS -. Assim são armazenados, com base em previsões, não produtos acabados, mas sim de produtos intermédios e componentes que, aquando da chegada de encomendas, são montados para a obtenção do produto encomendado e satisfação da encomenda. São evidentes as vantagens de tal estratégia. Primeiro a redução do risco e dos custos associados à gestão de materiais. Redução do risco porque os produtos acabados são obtidos de acordo com o que é realmente encomendado e no período em que são encomendados. Segundo, a redução dos custos de produção, porque é de supor que custa menos armazenar componentes de produtos acabados do que os próprios produtos acabados ou finais. Terceiro, havendo componentes comuns a vários produtos acabados a necessidade da armazenagem reduz-se, ao mesmo tempo que se alarga a oferta de produtos acabados diferentes para a um dado nível de existências. Aumenta-se, assim, a

capacidade e flexibilidade de resposta às exigências de mercado. Os benefícios desta lógica são fortemente catalisados pela chamada *Produção Modular*. Nesta, como sabemos, alguns, poucos, módulos, devidamente combinados permitem obter uma grande variedade de produtos finais diferentes, ou variantes do mesmo produto base. Módulos são aqui vistos como componentes complexos que constituem partes importantes do produto, a cada um dos quais está, normalmente, associada uma dada função do produto. Seriam exemplo de módulos, na produção automóvel, os motores, os distribuidores, as bombas de gasolina e os aparelhos de ar condicionado. Similarmente, na produção de máquinas-ferramentas, a base, os componentes porta-ferramentas e porta-peças e os sistemas de controlo são alguns exemplos de módulos que podem ser concebidos. Finalmente há uma inquestionável vantagem com a ATO no encurtamento de prazos de resposta ao cliente em relação à MTO. De facto, frequentemente, como estratégia de encurtamento de prazos de fornecimento, os produtores estão na disposição de fabricar para stock peças e componentes, i.e. produtos semi-acabados ou intermédios, por forma a que, posta uma encomenda o seu tempo de fabrico se resuma principalmente ao tempo de montagem de alguma combinação de peças e componentes necessários e existentes e, consequentemente, se reduza o prazo de entrega.

Por vezes uma empresa não tem produtos próprios. Produz os produtos que os clientes especificam e que têm, face a essas especificações, de serem por ela projetados ou desenvolvidos. Neste caso a empresa não só produz por encomenda, como é óbvio, mas, mais do que isso, tem de projetar e produzir por encomenda. Esta variante da Produção por Encomenda designa-se, vulgarmente por Engenharia por Encomenda (EE) por associação à designação em Língua Inglesa usada para a situação, nomeadamente "Engineering to Order (ETO)". Este tipo de produção é normalmente destinado a protótipos ou encomendas únicas não repetitivas. São exemplos, máquinas especiais, construções mecânicas ou civis. Os trabalhos únicos, designados de projetos enquadram-se geralmente, também, neste tipo de produção.

3.1.3. Tipos de Produção e Complexidade de Controlo

Na definição do sistema de produção e do tipo de produção é particularmente importante a capacidade de prever a procura, como forma de antecipar a variedade de artigos e as quantidades a produzir por tipo de artigo por cada período de produção. Tal variedade e quantidade são condicionantes do tipo de sistema de produção a adotar e, consequentemente, do nível de complexidade de controlo de produção necessário. Assim, por exemplo, tendo de se optar pela produção unitária e ou de pequenas séries, é normalmente necessário o controlo

simultâneo e coordenado do fornecimento de materiais, da atividade de produção e do andamento ou do progresso de uma variedade considerável de lotes de produção, de tipos de artigos diferentes. Isto significa um controlo de produção complexo em várias dimensões e horizontes. No caso da produção em série ou de grandes séries o controlo de produção é mais simplificado. Tal deve-se à pequena variedade de artigos que, produzidos em grandes quantidades, dão origem a séries de produção invariáveis que se prolongam no tempo, por vezes durante largas semanas, meses e mesmo anos. Neste caso há equipamento que é normal e permanentemente dedicado à produção de cada série durante tais períodos.

A natureza da programação da produção em geral, mas principalmente em grandes séries deve procurar garantir a sincronização da taxa de produção com a taxa de escoamento dos produtos num processo de produção contínua ou quase contínua. Economiza-se, assim, custos na preparação da produção no armazenamento. No entanto tal garantia é muito dependente da conceção do sistema de produção e da sua flexibilidade. Isto, no entanto, não é tanto determinado ao nível do controlo da produção mas mais ao nível do planeamento da produção, que define as quantidades a produzir por período e os métodos, e também ao nível do projeto do sistema e dos equipamentos de produção.

3.2. PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO E PLANEAMENTO DE CAPACIDADE

Esta função tem o seu cabimento e especificidade ao nível do Planeamento da Produção, i.e. Planeamento de Produção Agregada, que se desenvolve com base em famílias agregadas de artigos. No entanto, ao nível do Controlo de Produção o objetivo genérico da Programação da Produção e Planeamento da Capacidade Produtiva PPPCP, Figura 3-3 , é decidir sobre:

- a quantidade a fabricar de cada vez de cada artigo (não de cada família agregada), i.e. quanto e de quê,
- o momento em que deve ser fabricado (quando) e
- Onde e quem deve fabricar (Centros de trabalho)

Naturalmente que esta decisão múltipla tem em vista satisfazer encomendas, ou executar as ordens de fabrico resultantes de previsões, nos prazos estabelecidos. Estes prazos, quando não impostos podem ser definidos com base no trabalho da PPPCP que é uma função do de controlo da produção.

Umas vezes fala-se em Programação da Produção, outras em Planeamento da Capacidade de Produção. Esta última função não pode dissociar-se da primeira. Quando se dissocia, podemos dizer que não estamos tanto a planear a capacidade mas mais a calcular a carga de produção ou as necessidades de capacidade resultantes de um programa de produção já estabelecido. Neste caso, a programação da produção dissocia-se do planeamento da capacidade, uma vez que estabelece o programa de produção fazendo "tábua rasa" da capacidade disponível. Há sistemas informatizados de apoio à gestão da produção, ditos de MRP ou ERP – "Enterprise Resources Palnning"- que, de facto, funcionam assim, i.e. não têm a função PPPCP mas somente a de programação da produção e a de calculo de carga. Por esse facto, geralmente os programas de produção nunca satisfazem as restrições de capacidade, tendo de ser "manualmente" ajustados pelo utilizador, i.e. o operador de Planeamento ou Controlo de Produção.

Em termos de produção, a capacidade é uma medida de quantidade produzida por unidade de tempo. A sua representação é, tipicamente, expressa em unidades de produto, podendo ser convertida em horas de capacidade, normalmente horas-máquina ou horas-homem por período.

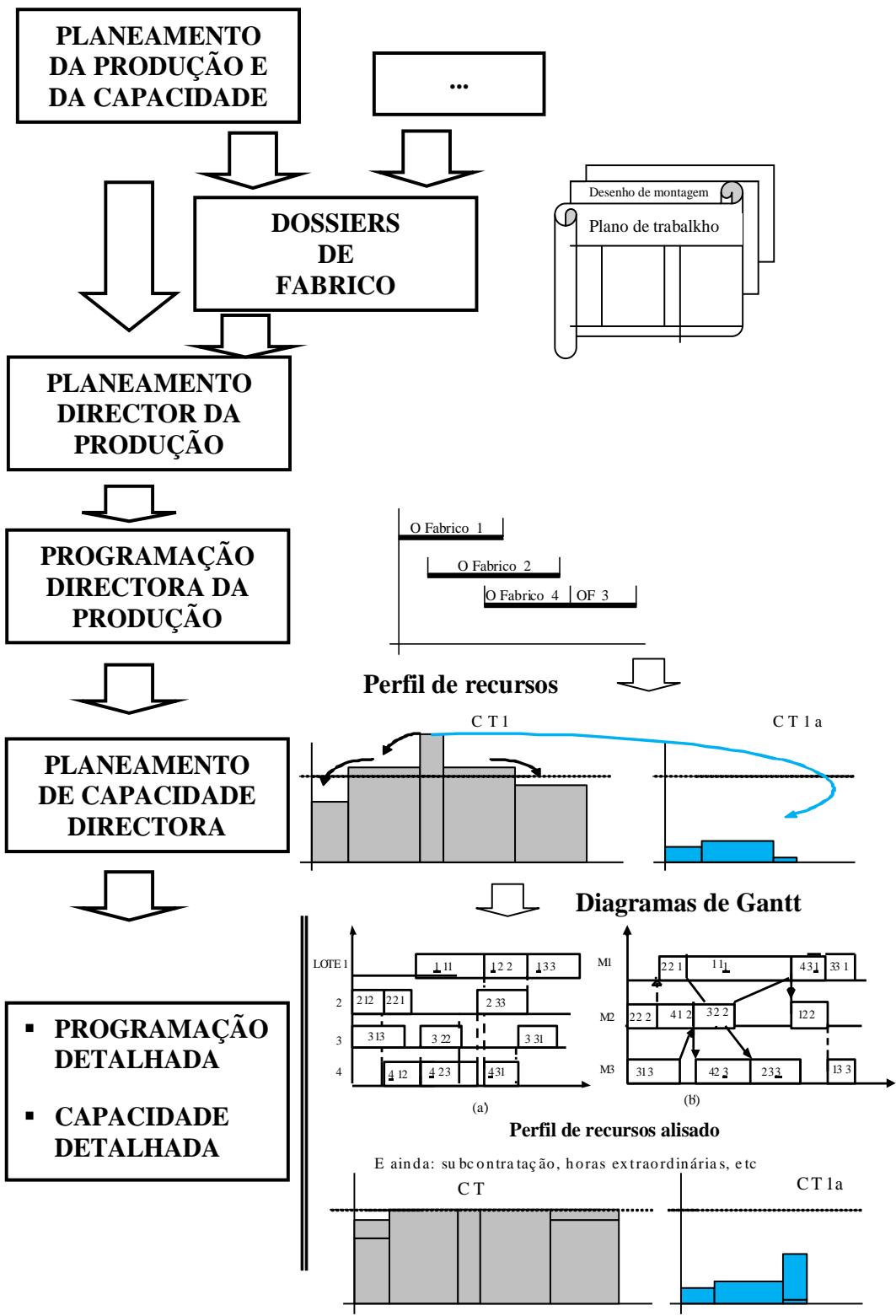


Figura 3-3 - Fases da Programação da Produção e Planeamento da Capacidade Produtiva.

Para exercer esta função integrada de programação da produção e planeamento da capacidade produtiva é necessário conhecer, pelo menos, as quantidades de cada produto e seus componentes, as datas de entrega e a informação de planos de trabalho que indicam o

processo de fabrico, meios necessários e tempo previsto por operação. Esta informação deve constar do “dossier” ou caderno de fabrico, que deve incluir toda a informação necessária à realização da produção, nomeadamente, quantidades, materiais, máquinas, tempos, prazos e o plano operatório, processo de produção ou processo operatório do produto. O processo operatório claramente define todas as operações de transformação referindo os meios que podem ser usados para as executar.

Uma visão genérica integrada da Programação da Produção, do Planeamento da Capacidade e do Controlo de Atividade de Produção é apresentada na Figura 3-4.

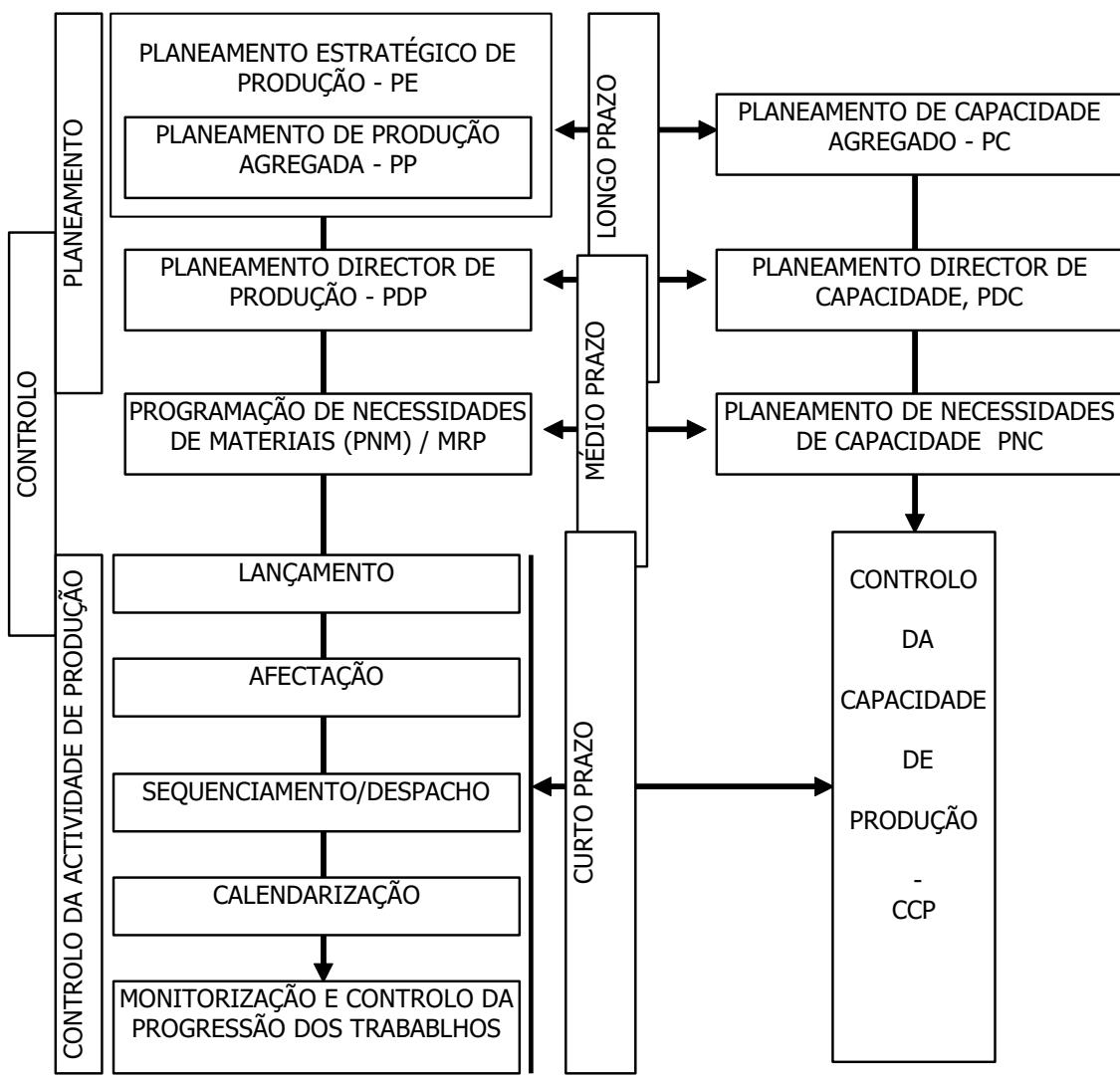


Figura 3-4 - Fases e inter-relacionamento da Programação da Produção, Planeamento da Capacidade de Produção e Controlo da Atividade de Produção (Adaptado de Vollmann (1997))

Como se vê, podemos identificar fases sucessivas diferentes, quer de programação da produção quer de planeamento da capacidade. Surge logo a seguir ao Planeamento Agregado

da Produção o Planeamento Diretor de Produção, incorporando tanto a Programação Diretora como o Planeamento Diretor de Capacidade. O programa diretor de produção resultante é o motor para a Programação Detalhada de Produção que deve tratar integrada e articuladamente a Programação das Necessidades de Materiais e o Planeamento de Capacidade Detalhada.

Finalmente, as condições estão criadas para a execução da produção e levar a cabo o Controlo da Atividade de Produção que se inicia com o Lançamento e termina com o Controlo da Progressão, Seguimento ou Acompanhamento dos trabalhos, função também conhecida como Supervisão Oficial da Produção. Esta função é claramente uma função de curto e muito curto prazo, tipicamente dias, podendo em sistemas de controlo de produção “on-line” ser feita em tempo real, isto é continuamente. Por vezes esta função é identificada com o próprio controlo da produção, numa visão míope desta função.

O lançamento pode considerar-se como a ação de enviar ou libertar as ordens de fabrico para a produção para se proceder à sua execução, i.e. à produção dos produtos nela referidos nas quantidades especificadas. Inicia-se assim o processo de transformação de um produto noutro produto de maior utilidade e valor, i.e. da matéria prima em produto intermédio ou semi-acabado e, depois, em acabado.

É claro que o lançamento requer que as condições estejam criadas para que à encomenda possa ser dada ordem de início de fabrico no imediato ou dentro de curto espaço de tempo, i.e. horas ou dias e, em particular, que as matérias-primas a transformar estejam disponíveis quando necessárias.

O Controlo da Produção inclui o que podemos designar de Controlo de Capacidade de Produção (CCP) que, naturalmente se assegura da disponibilidade e da boa utilização da capacidade de produção planeada e requerida para o cumprimento dos programas detalhados estabelecidos. É importante realçar que o detalhe de tais programas é dependente da realidade industrial e da complexidade de controlo, podendo em alguns casos tudo estar programado e outros serem deixadas balizas de programação que permitem flexibilizar os programas durante a execução dos trabalhos. Naturalmente que tal flexibilização é tanto mais necessária quanto maiores forem as perturbações previsíveis face à variedade e variabilidade no sistema de produção. Todas as ações de gestão referidas, com a exceção do Planeamento Agregado da Produção, podem ser enquadradas no Controlo da Produção, aliás necessário a partir da decisão de realmente produzir quer produtos bem determinados quer componentes ou semi-acabados necessários à montagem futura de produtos.

3.2.1. Programação Diretora da Produção

Umas vezes fala-se em Planeamento Diretor da Produção – “Master Production Planning” (MPP) - e outras em Programação Diretora da Produção (PDP) – “Master Production Scheduling (MPS)”. Estas funções estão relacionadas, sendo a primeira mais abrangente, contendo a segunda e, contendo ainda o que correntemente se pode designar de Planeamento Diretor de Capacidade (PDC). Como se comprehende estas duas funções estão inter-relacionadas e devem ser resolvidas de forma integrada.

A Programação Diretora da Produção tem como objetivo determinar, com razoável antecipação, que produtos finais se devem produzir, em que quantidades, em cada período de produção futuro. O período de planeamento pelo qual se estende a PDP é variável, abrangendo, tipicamente, seis meses de programação deslizante da produção, feita período a período, por períodos, normalmente, semanais. No entanto estes pressupostos podem variar com a precisão das previsões e com o prazo de produção previsto, para a produção de uma qualquer encomenda ou lote de artigos. Este prazo é normalmente referido como “Lead Time (LT)”. Tal prazo deverá garantir uma elevada probabilidade de concluir a encomenda nesse prazo, seja, 0,95 de probabilidade e, como se comprehende é muito variável com a natureza e complexidade do processo de transformação do produto e da forma de gerir o sistema de produção.

O resultado da PDP é um Programa Diretor de Produção, PDP, conhecido também como Programa Mestre de Produção - “Master Production Schedule” – que, para ser fiável, deve ter em conta a disponibilidade de capacidade crítica. Entenda-se por capacidade crítica aquela que é escassa sendo portanto condicionante do cumprimento do programa. Muito vulgarmente a mão-de-obra é considerado um, ou mesmo o, recurso de capacidade crítica

Por vezes, como acima se referiu, há focagem primeiro na programação da produção e, a seguir, no cálculo da carga distribuída pelos períodos resultante do programa de produção estabelecido. Podemos dizer que na base do programa de produção podemos obter um Programa de Carregamento dos centros de trabalho críticos: Podíamos também interpretar este carregamento como o Programa de Necessidade de Capacidade Crítica. Este programa pode ser referido, como Plano ou Programa Diretor de Capacidade (PDC), e é frequentemente conhecido por “Rough Cut Capacity Plan (RCCP)”

O processo de programação diretora está esquematizado na Figura 3-5. e pode desenvolver-se diretamente ou a partir do Plano de Produção realizado a prazo mais alargado, através do que se designa Planeamento de Produção Agregada. Este Plano de Produção, PP, tem em vista

a tradução de objetivos do negócio no que concerne a metas de produção de diferentes famílias de produtos, definindo quantidades agregadas a produzir em cada período, mês geralmente, e as formas e quantidades de capacidade a utilizar, incluindo , m-d-o, máquinas, armazenagem, subcontratação etc..

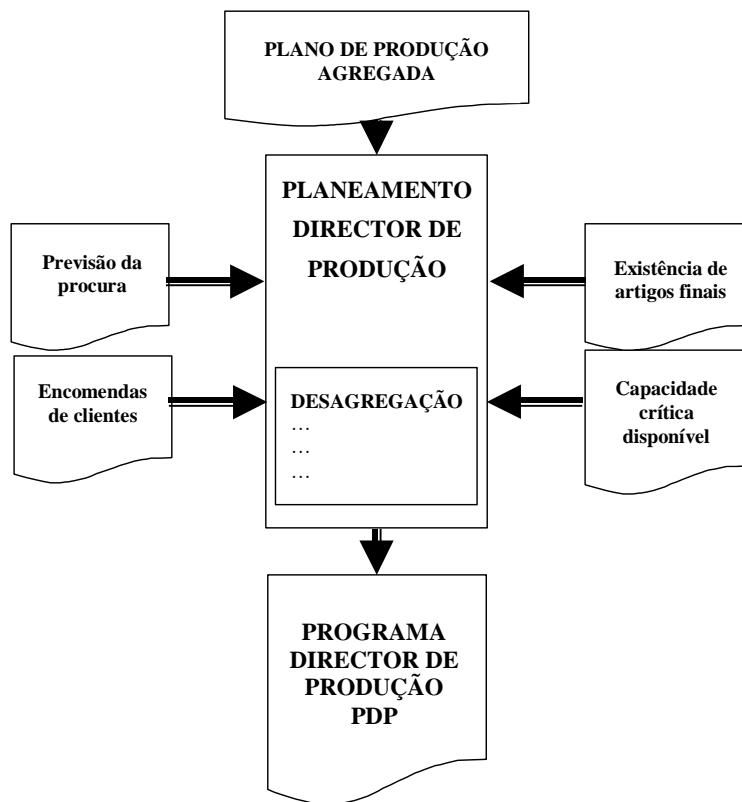


Figura 3-5 - Esquematização do processo de Programação Diretora da Produção

Como se vê, as existências de artigos acabados são tomadas em conta na feitura deste programa, mas os componentes e peças eventualmente existentes em armazém, ou já fabricados, não são. Daqui resulta, geralmente uma aproximação por excesso às necessidades de capacidade produtiva. Esta é mais uma das razões pela quais o PDC se diz “rough” ou aproximado.

3.2.1.1. Desagregação do Plano de Produção

O Plano de Produção, de que um exemplo é apresentado na Figura 2-5 indica níveis de capacidade e quantidades de artigos agregados de produção. A sua utilidade está associada à possibilidade de desagregar o programa de forma a definir que artigos específicos devem ser produzidos nos próximos períodos de produção.

O problema da desagregação não é um problema simples. Deverá ter em consideração, entre outros dados, previsões de procura, encomendas firmadas, estrutura e composição de cada família de artigo, e existências, i.e. artigos em stock para venda.

A desagregação do programa agregado de produção, é necessária para realizar o Programa Diretor ou Mestre de Produção. Este, por sua vez servirá de base ao planeamento detalhado de necessidades de materiais e de capacidade.

Um exemplo de desagregação de um programa agregado de produção é apresentado na Figura 3-6. Este programam desagregado de necessidades brutas de artigo permite preparar o Programam Diretor de Produção semanal, ou até diário, dependente das abordagens ao Planeamento Diretor usadas. Uma típica é usar um lote, de tamanho bem determinado, sempre que se pretende produzir um artigo.

PROGRAMA AGREGADO DE PRODUÇÃO

MÊS	J	F	M	A	M	J	J	A	S
QUANTIDADE DE MOTORES	40	25	50	30	30	50	50	40	40

PROCURA DESAGREGADA PARA O PROGRAMA DIRECTOR DE PRODUÇÃO

MÊS	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Motores de CA									
5 Kw	15		30			30			10
25 Kw	20	25	20	15	15	15	20	20	20
Motores de CC									
20 Kw							10	10	
Motores WR									
10 Kw	5			15	15	5	20	10	10
TOTAL	40	25	50	30	30	50	50	40	40

Figura 3-6 - Desagregação do Programa de Produção para Preparação do Programa Diretor.

Tipicamente, quando um dos artigos de uma dada família é necessário num dado período, se não existir deverá ser produzido e com ele todos os artigos da família são candidatos á produção se os níveis de stock foram insuficientes para satisfazer as necessidades.

A desagregação torna-se mais simples, se conhecer o processo ou esquema de agregação em famílias utilizado. Frequentemente a agregação é baseada em famílias de artigos cujos fatores ou percentagens de desagregação nos artigos da família, já se conhecem ou se podem

determinar. Será portanto possível estabelecer a quantidade dos diferentes artigos finais em que se deve desagregar uma dada quantidade agregada da família de artigos correspondente.

3.2.1.2. PDP e Tipos de Produção para Satisfação da Procura.

Dependendo das forma de resposta à procura, no extremo, a empresa pode adotar as duas estratégias opostas puras atrás referidas (secção 3.1.2):

- Satisfação da procura a partir de existências de artigo final, a que corresponde a chamada Produção para Stock (PPS) – *Make to Stock (MTS)*
- Satisfação da produção a partir da produção de artigos encomendados, a que corresponde a chamada Produção por Encomenda (PPE) – *Make to Order (MTO)*.

Como se comprehende, no primeiro caso, i.e. Produção para Stock (MTS) estamos perante produtos padronizados de procura garantida, correspondentes ao catálogo do produtor. Isto pressupõe o conhecimento da procura cujas previsões e encomendas firmadas permitem preparar programas diretores de produção de uma forma relativamente fácil e com um grau de estabilidade razoável.

Na produção por encomenda as quantidades a produzir são estritamente aquelas encomendadas, quer sejam de catálogo ou não. Não há impedimento físico de produzir por encomenda produtos de catálogo, ou variações de produtos de catálogo que podem apenas diferir nos processo de acabamento ou na cor ou nos materiais utilizados ou, ainda, na combinação de módulos, associada à chamada produção modular. Estas situações são muito típicas da indústria do calçado e do vestuário e, no que concerne à produção modular, das indústrias de veículos e de máquinas ferramentas, por exemplo.

Na produção MTO o processo de Programação Diretora da Produção está condicionado à existência de encomendas, embora, em algumas situações a produção de semiacabados possa ser estabelecida, por exemplo, quando a fase de acabamento determina a “customização” do produto, i.e., a sua adaptação aos requisitos do cliente.

A Engenharia por Encomenda – *Engineer to Order (ETO)*- que, como atrás se referiu, é uma extensão do modo MTO para incluir o projeto do produto de acordo com as especificações do cliente. NA ETO nem as atividades de projeto, nem as atividades de escolha e aquisição de materiais e ferramentas estão concretizadas antes da encomenda ser firmada. Por isso é necessário, para efeitos de programação da produção, tomar em conta o tempo e os recursos necessários para a execução destas atividades. Assim, podemos pelas características da ETO,

afirmar ser a programação diretora de produção, neste modo de satisfação da procura, mais complexo e mais difícil de automatizar, i.e. informatizar, do que outros.

Na montagem por encomenda – Assembly to Order (ATO) - a produção é baseada na stockagem prévia de componentes e/ou módulos que são montados apenas quando a encomenda do cliente é posta. Por vezes, é mesmo o cliente a compor, i.e. “customizar” o seu produto por escolha de variantes e opções ou de módulos que pode combinar para definir o produto. A ATO que na verdade é uma variante da produção por encomenda, assim como o é a ETO, pode também considerar-se uma forma de hibridação da produção para stock com a produção por encomenda. A conjugação desta abordagem com a produção modular tem um impacto marcante na redução dos riscos e encargos com stocks e principalmente aqueles associados à resposta ao mercado. Em particular, uma maior variedade de artigos diferentes pode ser produzida e oferecida para a mesma quantidade de artigos ou componentes intermédios fabricados.

Um problema relevante ao PDP na ATO tem a ver com a necessidade de determinar que artigos intermédios, componentes ou módulos se devem armazenar, quando e quanto de cada um, para satisfazer a procura e não incorrer em custos elevados. Neste caso é necessário ter previsões, relativamente às variantes de modelos e o seu impacto nas necessidades de componentes, para poder desenvolver um programa diretor de fabrico de módulos ou componentes, geralmente subconjuntos de montagem. Estas previsões podem ser registadas em nomenclaturas ou estruturas de produtos designadas de estruturas de planeamento – “planning bills” - que traduzem em percentagem as necessidades dos diferentes componentes, face às previsões de procura das diferentes variantes e opções dos modelos a produzir Figura 3-7. O Programa Diretor é assim dependente das Nomenclaturas de Planeamento que representam de facto uma família de artigos possibilitando a explosão de materiais, i.e. o cálculo de necessidades, baseada nas percentagens correspondentes das variantes e opções. A Explosão é o processo de planeamento e controlo de produção que permite identificar as necessidades faseadas de materiais e componentes para satisfazer a produção diretora programada.

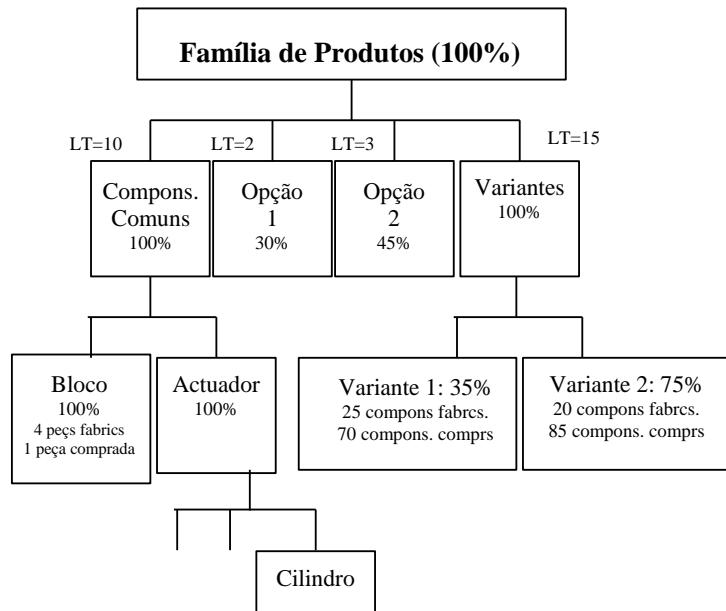


Figura 3-7 - Exemplo de estrutura de planeamento de materiais- "planning bill"
(Vollmann, 1997)

Adicionalmente ao programa diretor das diferentes variantes e opções, outro programa diretor, um de produtos finais, tem de ser elaborado a um prazo mais curto e mais próximo da data de entrega das encomendas, designado Programa Diretor de Montagem, - "Assembly Schedule" – ou, simplesmente Programa de Montagem, que programa a montagem dos produtos finais com base em encomendas firmadas.

Vemos, portanto, que a problemática do PDP é variável com a natureza do produto, sua complexidade e principalmente com a sua previsibilidade em relação às solicitações do mercado, que determina os formas de organização e planeamento da produção mais adaptadas à natureza do modo de satisfação e da variabilidade da procura.

Variantes e Opções

O conceito de variante e opção não é por vezes bem entendido. Um artigo tem apenas uma variante podendo, no entanto, ter muitas opções. Por exemplo poderá haver duas variantes de motor para um automóvel, devendo o veículo a produzir incorporar, naturalmente uma e uma só delas. No entanto, havendo *opção* de ter faróis de nevoeiro, conta-rotações e computador de bordo, o cliente pode optar por todas, por parte, ou nenhuma. O que o cliente não pode é deixar de optar por uma das motorizações do automóvel, isto é por uma variante. Terá sempre de optar por uma das existentes. Por outro lado, é também claro, que nada impede que dentro de cada *opção* possa haver *variantes*.

3.2.1.3. Programação finita e infinita.

Nenhum programa de produção pode ser implementado no vazio. A sua concretização é dependente da disponibilidade de capacidade produtiva, isto é dos meios de produção para a sua concretização. Quando tais meios são abundantes, a suposição de que não comprometem o programa de produção é aceitável, (embora seja inaceitável ter meios abundantes). Neste caso os programas de produção desenvolvem-se sem ter em consideração a capacidade disponível. De qualquer forma, é sempre possível avaliar à posteriori qual a capacidade de produção necessária, isto é meios de produção necessários resultantes de um tal programa. Este procedimento de programação e determinação da capacidade designa-se de programação infinita da produção, nome que advém do facto de se considerar não haver restrições de capacidade na feitura do programa de produção. Deste procedimento pode-se constatar à posteriori que certos tipos de capacidade, poderão ser solicitados em quantidades maiores, ou menores do que o disponível em alguns períodos de produção. Esta constatação é útil porquanto permite ao gestor de produção tomar medidas para acautelar o cumprimento do programa ou fazer alterações a este de forma económica. Esse acautelamento passa, necessariamente, por medidas diversas de planeamento de capacidade e devem tomar em conta as opções disponíveis para a variação da capacidade disponível.

Opções possíveis no planeamento de capacidade, já foram referidas, e incluem:

- aquisição de serviços de produção, incluindo subcontratação
- aquisição de trabalho temporário
- horas extraordinárias
- turnos
- investimentos
- redução temporária da semana de trabalho
- movimentação de cargas (no tempo) para períodos de produção menos carregados
- movimentação de cargas (no espaço) para centros de trabalho alternativos
- produção antecipada com armazenagem
- produção atrasada assumindo os encargos

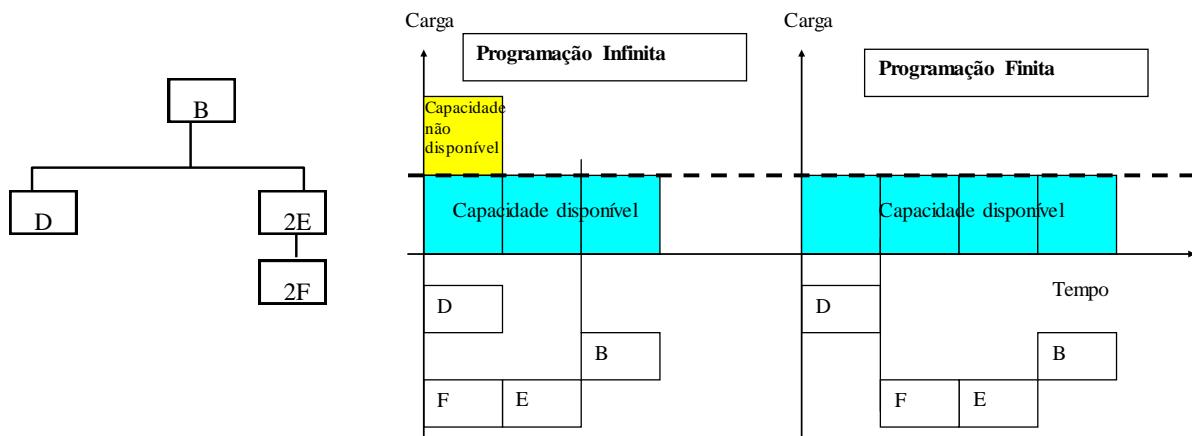
O plano de capacidade ideal é, normalmente, uma combinação de várias das opções possíveis. A quantidade de capacidade associada a cada opção será dependente de variáveis controláveis

pela empresa, nomeadamente, por exemplo, a eficácia da opção, a sua duração, as prioridades de fabrico. Tal dependência resulta, também, de variáveis externas, não controláveis, tais como as penalidades impostas por clientes, o mercado de trabalho e de meios ou recursos de produção.

O processo de estabelecimento de programas de produção que tem conta as disponibilidades de capacidade produtiva, nos diferentes períodos ou instantes no tempo, designa-se por programação finita. Assume-se aqui que nenhuma sobrecarga é admissível no sistema de produção. Programa-se a produção numa base realista, na base da existência ou possibilidade de obtenção de meios, para cumprimento dos prazos de entrega.

Os custos e a dificuldade em realizar a programação finita tem levado a que muitos sistemas informáticos de apoio à programação implementem o mecanismo de programação infinita. O problema do cumprimento dos prazos, é assim deixado a resolver pelo utilizador que à posteriori recorre a opções de ajuste e flexibilização de capacidade, como as acima referidas, para viabilizar ou ajustar o programa diretor.

Considere o exemplo de fabricação do artigo B:



A programação finita assume a conclusão do artigo B num período mais curto mas pressupõe a resolução do conflito de carga pelos gestores, através de formas alternativas de flexibilização da capacidade, e.g. subcontratação. A programação infinita faz apenas uso da capacidade disponível, obrigando a um atraso no começo de fabricação de F.

Em resumo, podemos dizer que a programação finita é uma programação que toma como base os meios de produção para estabelecer o programa de produção das encomendas, ao passo que a programação infinita toma como base as encomendas e estabelece o seu programa de produção sem considerar em primeira instância a disponibilidade de meios de produção.

Exercício 4.1

Considere as necessidades dos modelos M1 e M2 de Armários de Escritório para os primeiros 6 meses do ano 2009 são as indicadas na tabela

Mês de 2009	1	2	3	4	5	6
Previsão de M1	300	320	400	350	300	300
Encomendas de M1	320	200	100	0	0	0
Previsão de M2	100	100	130	130	120	110
Encomendas de M2	90	110	50	0	0	0

Apresente as necessidades semanais para a preparação de um Plano Diretor de produção tendo em conta as existências de armários acabados e os m² de chapa indicados, tendo em conta que para cada armário se usa 4 m² de chapa.

Disponível Previsto (31 Dez 2008)	M1 (U)	M2 (U)	Chapa (m ²)
Existências	300	100	200

Exercício 4.2

Considere os modelos MX1 e MX2 de automóveis cuja Estrutura de Planeamento é simplificadamente dada na tabela:

Tabela: Componentes comuns, opções e variantes dos Modelos MX1 e MX2: valores em proporção (1=100%)

	Carcaça D	Carcaça	Caixa de Velocs	Motor D2000	Motor 2000	Motor 1400	Rodas R1	Rodas R2	Estabilizador	Ar Cond	Relogio Analógico	GPS Thomp	GPS Sony
	C1	C2	V	M1	M2	M3	R1	R2	E	AC	T	GPS1	GPS 2
Modelo X1	0	1	1	0	0,4	0,6	0,3	0,7	0,2	0,8	0,2	0,1	0,3
Modelo X2	1	0	1	0,8	0,2	0	0,8	0,2	0,5	1	1	0,3	0,7

- a) Identifique as variantes de cada modelo e as opções.
- b) Calcule as necessidade de artigo em cada período por forma a poder realizar o Plano Diretor de Produção se a procura prevista de cada modelo e dos sobressalentes, nos primeiros 6 meses de 2009, for de:

Mês Modelos de Automóveis	1	2	3	4	5	6
MX1	300	320	400	380	380	200
MX2	100	120	130	130	140	110
Sobressalentes						

C1	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	0	0
C3	10	12	15	6	3	12
M1	2	2	3	3	3	2
M2	6	6	7	7	7	4
M3	8	8	10	10	10	5
R1	6	6	7	7	7	5
R2	9	10	12	12	12	7
E	4	4	5	5	5	3
C	12	13	16	15	15	9
T	5	5	6	6	6	4
GPS1	2	2	3	3	3	2
GPS2	5	6	7	7	7	4

a) Procura Prevista

Disponível Previsto (31 Dez 2008)	C1	C2	V	M1	M2	M3	R1	R2	E	AC	T	GPS1	GPS 2
Existências	0	0	1000	230	350	250	300	100	20	100	100	100	100

b) Existências

Figura 3-8 Previsões de procura existências de produtos de venda

c) Estabeleça o plano diário diretor de montagem – Assembly Schedule - dos automóveis e respetivo fornecimento de materiais para montagem por forma a nivelar a procura com lotes não superiores a 10 automóveis idênticos. Estabeleça o plano na base da semana ou dia, de acordo com o que achar mais apropriado.

- a. Utilizando um processo expedito
- b. Usando o Goal Chasing Method

Resolução

a)

...

b)

...

c)

Linhas de orientação utilizando um método expedito:

- Identificar todos os dias de cada mês, excluindo feriados e dias não úteis.
- Face às necessidades estabelecer a quantidade a ter pronta em cada dia.
- Dividir essas necessidades em lotes de 10 unidades e definir quantos lotes produzir em cada dia de cada modelo. Misturar a produção dos lotes dos modelos de forma a nivelar ou balancear a produção com procura.

Linhas de orientação utilizando o Goal Chasing Method GCM:

- Identificar todos os dias de cada mês, excluindo feriados e dias não úteis.
- Face às necessidades estabelecer a quantidade a ter pronta em cada dia.
- Dividir essas necessidades em lotes de 10 unidades e definir quantos lotes produzir em cada dia de cada modelo. Misturar a produção dos lotes dos modelos de forma a cumprir os requisitos de alimentação impostos pelo GCM (Carmo-Silva, 2007)³

3.2.1.4. Abordagens à Programação Diretora de Produção

Do acima exposto resulta que diferentes abordagens à PDP podem ser exploradas e orientadas para os diferentes tipos de produção ou estratégia de satisfação da procura. Tais abordagens adquoram-se de forma diferente a diferentes ambientes de produto e mercado, no que concerne principalmente à natureza variável da procura e variedade produtiva de artigo.

Entre outras identificamos aqui as seguintes abordagens genéricas à obtenção do Programa Diretor de Produção, (PDP), [Vollmann, 1992]

- Constante nivelada ou uniforme – Levelling Approach
- Seguimento da procura – Chasing Approach
- Loteamento ótimo– Lot Sizing

Estas abordagens tomam em linha de conta a necessidade de uma boa utilização dos recursos de produção, particularmente da capacidade produtiva, e, também, a de satisfação atempada da procura. Tais abordagens estão intimamente relacionadas com estratégias de utilização e rentabilização de capacidade produtiva tais como: aprovisionar, variar permanentemente a capacidade produtiva, horas extraordinárias, subcontratação, atrasar entregas, excesso permanente de capacidade, redução do horário de trabalho e combinação de estratégias.

³ Textos de Apoio à U C de Organização de Sistemas de Produção – I “, Publicação Interna DPS, Universidade do Minho, Portugal 2007

A Figura 3-9 ilustra as três abordagens. Os vários quadros têm um campo de registos designado de PDP. Este campo traduz as quantidades de artigo a produzir e concluir ou disponibilizar nos períodos indicados. Devem interpretar-se como **recepções programas do artigo** depois de produzido. Naturalmente que o seu início de produção é realizado no momento em que se autoriza a procura de fornecedores e, depois, o fornecimento de materiais e serviços necessários à produção do produto.

Na abordagem de produção constante ou uniforme, é produzida periodicamente uma dada quantidade, constante ou uniforme. O período poderá ser diário, semanal ou outro.

Na abordagem de seguimento da procura, as quantidades a produzir nos diferentes períodos são iguais às necessidades líquidas para o período. Nos exemplos da Figura 3-9 considera-se que as necessidades líquidas são as que resultam das previsões e de se pretender assegurar um excedente ou stock de segurança de 20 unidades de artigo. Esta quantidade está disponível no início do período 1.

No PDP por lote “ótimo” é produzido o tamanho do lote recomendado para o artigo. Este pode ter resultado da aplicação de modelos de lotes económicos ou simplesmente da experiência e restrições operacionais ou logísticas que sugerem um determinado tamanho de lote.

A Figura 3-10 mostra as consequências da revisão de previsões na correção dinâmica ou deslizante do programa diretor. Assim, em complementaridade com estes métodos ou abordagens é necessário ter em atenção a necessidade de correção de previsões, necessária à medida que nos aproximamos das datas futuras. Estas correções implicam a necessidade de refazer de forma dinâmica o programa diretor para os períodos futuros.

Programação Directora de Produção PDP com base em
Produção Constante Nivelada ou Uniforme – Levelling Approach

Período (semana)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Previsão		5	5	5	5	5	5	15	15	15	15	15	15
Stock previsto		25	30	35	40	45	50	45	40	35	30	25	20
PDP		10											
Stock	20												

Situação de sazonalidade

Programação Directora de Produção PDP com base em
Seguimento da Procura) – “Chasing Approach”

Período (semana)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Previsão		5	5	5	5	5	5	15	15	15	15	15	15
Stock previsto		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
PDP		5	5	5	5	5	5	15	15	15	15	15	15
Stock	20												

Situação de “stock” de segurança de 20 unidades de artigo

Programação Directora de Produção PDP com base em
Loteamento óptimo de produção– “Lot Sizing Approach”

Período (semana)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Previsão		5	5	5	5	5	5	15	15	15	15	15	15
Stock previsto		15	10	5	30	25	20	5	20	5	20	5	20
PDP					30				30		30		30
Stock	20												

Situação de “stock” de segurança de 5 unidades de artigo

Tamanho do lote de 30 unidades de artigo

Figura 3-9 - Abordagens ao Programa Diretor de Produção

A abordagem de produção constante nivelada ou uniforme – *Levelling Approach* - toma as necessidades previstas, resultantes quer da procura quer de previsões quer de encomendas firmadas e, conta tida das existências de artigo, define um programa de produção, com uma quantidade constante de artigo a produzir para cada período de planeamento, cada semana por exemplo, para a programação diretora, assegurando-se que não se entra em rotura de stock. É, normalmente a abordagem adotada perante procura sazonal quando se pretende fazer uso de excesso de capacidade em períodos de procura reduzida. Não há impedimento em utilizar esta abordagem em situações não sazonais podendo também resultar apropriada mesmo perante uma procura bastante variável. Uma clara vantagem desta abordagem é a invariância do plano diretor em cada período do horizonte de planeamento. O processo de

gestão torna-se bastante simplificado. A maior desvantagem é a necessidade de “stocks” e os custos a tal associado.

A abordagem de seguimento da procura- “*Chasing approach*” poderá ser muito exigente em termos de flexibilização da capacidade produtiva, não só em termos de quantidade mas, também do tipo de capacidade, quando a procura é muito variável. Se a procura é variável em quantidade então há custos associados à necessidade de capacidade variável, quer sejam resultantes da adoção de excesso de capacidade, ou da aquisição flexível de capacidade. No caso das quantidades totais da procura se manterem mais ou menos constantes, estamos perante uma variação da “product mix”, isto é, da mistura de artigos a produzir. Neste caso será necessário ter capacidade flexível embora não seja, nestas circunstâncias, necessária a aquisição flexível de mais capacidade. Requerer -se, portanto, flexibilidade qualitativa ou de competências e não quantitativa.

**Programação Directora de Produção PDP
Loteamento óptimo – “Lot Sizing Approach”**

Sem considerar a alteração das previsões

Período (semana)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Previsão		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	15
Stock previsto (repondo as roturas)		0		10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PDP				30				30		30		30	
Stock	10												
Necessidades líquidas			10				15	0	0	0	0	0	0

Situação de “stock” de segurança: rotura de artigo

Tamanho do lote de 30 unidades de artigo

**Programação Directora de Produção PDP
Loteamento óptimo de produção (LOP) – “Lot Sizing Approach”**

Com consideração da alteração das previsões

Período (semana)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Previsão		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	15
Stock previsto		30	20	10	30	20	5	20	5	20	5	20	5
PDP	30			30			30		30		30		
Stock	10												

Situação de “stock” de segurança de 5 unidades de artigo

Tamanho do lote de 30 unidades de artigo

Figura 3-10 - Efeito da correção do PDP baseado na alteração das previsões da procura

O seguimento da procura é uma abordagem oposta à da produção constante. As suas vantagens situam-se na óptica da gestão de stocks, que podem ser quase nulas. Além da

necessidade de um processo de controlo mais rigoroso a desvantagem mais marcante é a necessidade de constantemente ter de se ajustar a capacidade produtiva quer em quantidade quer em qualidade, i.e. tipo ou competência.

A pretensão de chegar a lotes ótimos de produção, no âmbito do PDP, é certamente uma miragem, porquanto o número de variáveis e a complexidade da otimização seriam tão grandes, em situações comuns, que nenhum ótimo seria possível formalizar, quanto mais esperar. Este facto não impede que a abordagem de Loteamento Ótimo seja frequentemente utilizada no PDP. Como se comprehende, a sua aplicação é suscetível de ser mais apropriada para artigos de consumo contínuo, ainda que não necessariamente regular, de produção própria, i. e. de catálogo, devido ao controlo de produção mais fácil associado a este ambiente de produção e mercado. De facto embora não haja de forma explícita e rigorosa uma formulação para a obtenção do tamanho de lote ótimo, é possível, por experiência industrial e conhecimento do comportamento do mercado, estabelecer tamanho de lotes, para os diferentes artigos, que respondem bem às exigências da procura e se coadunam com características do sistema de produção utilizado. Tais características referem-se não só ao sistema de produção, na sua flexibilidade e implantação mas também ao sistema de controlo de produção nas suas abordagens ao controlo, nomeadamente JIT-KANBAN, OPT/DBR, CONWIP GKS, ou outras [Silva, 1998]

3.2.1.5. Aceitação e Negociação de Entrega de Encomendas

Um aspeto importante que deve aqui ser realçado é a utilização da PDP como instrumento ou mecanismo de aceitação de encomendas. Podemos com a sua ajuda definir os compromissos de entrega de artigo solicitado pra as diferentes datas. Uma registo típico do PDP que ajuda a função de aceitação de encomendas é o que se pode designar de quantidade disponível para entrega ou para venda- “available to promise”, Figura 3-11.

Este compromisso pode ser, também, assumido de forma mais ou menos expedita, mas a utilização da programação diretora permite introduzir algum rigor na negociação dos prazos de entrega.

Planeamento Director de Produção PDP
Loteamento óptimo – “Lot Sizing Approach”

Registo ATP – Disponível para entrega – situação na semana 1

Período (semana)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Previsão		5	5	5	5	5	5	15	15	15	15	15	15
Comprom. assumidos (Encomendas)		5	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stock previsto		15	10	5	30	25	20	5	20	5	20	5	20
ATP		10			30				30		30		30
PDP					30				30		30		30
Stock		20											

Período 1: ATP = $20 - (5+3+2) \rightarrow ATP = 10$; Períodos 4, 8, 10, 12 : ATP = $30 - 0 = 30$

Situação de “stock” de segurança de 5 unidades de artigo

Tamanho do lote de 30 unidades de artigo

Planeamento Director de Produção PDP
Loteamento óptimo – “Lot Sizing Approach”

Registo ATP – Disponível para entrega
Situação na semana 2 com alteração de previsões e encomendas

Período (semana)		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Previsão		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	15
Comprom. assumidos (Encomendas)		5	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stock previsto		30	20	10	30	20	5	20	5	20	5	20	5
ATP		28			30			30		30		30	
PDP		30			30			30		30		30	
Stock		10											

Período 2: ATP = $(10+30) - (5+5+2) \rightarrow ATP = 28$; Períodos 5, 8, 10, 12 : ATP = $30 - 0 = 30$

Situação de “stock” de segurança de 5 unidades de artigo

Tamanho do lote de 30 unidades de artigo

Figura 3-11 - O registo de disponível para entrega – “Available To Promise, ATP” - como mecanismo de asseguração das datas de entrega de compromissos de entrega assumidos (contínuo)

No intuito de satisfazer a entrega das encomendas representadas na tabela abaixo resultaria a modificação do registo ATP representada na Figura 3-12.

Alteração de registo ATP devido às seguintes encomendas adicionais:

Encomenda	Quantidade	Semana desejada
1	5	2
2	15	3
3	35	6
4	10	5
Total	65	

Planeamento Director de Produção PDP
Loteamento óptimo – “Lot Sizing Approach”

Registo ATP – Disponível para entrega
Situação na semana 2 com alteração de previsões e encomendas

Período (semana)		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Previsão		10	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15	15
Comprom. assumidos (Encomendas)		10	20	2	0	5+30	0	10	0	0	0	0	0
Stock Previsto		30	10	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
ATP		3			0			30		30		30	
PDP		30			30			30		30		30	
Stock	10												
Necessidades Líquidas						15	30	15	30	15	30	15	30

Período 2: ATP = $(10+30) - [(10+20+2)+5]$ → ATP = 3 ; Períodos 5: ATP = 0 Períodos 8: ATP = 20
 Períodos 10 e 12 : ATP = $30 - 0 = 30$

Notas:

- 1) 5 unidades de artigo para o período 6 são satisfeitas com produção do período 2
- 2) As 10 unidades desejadas para o período 5 só são satisfeitas no período 8. Um atraso de 3 semanas é proposto ao cliente.

Tamanho do lote de 30 unidades de artigo

Figura 3-12 - O registo de disponível para entrega – “Available To Promise, ATP - como mecanismo de asseguração das datas de entrega de compromissos de entrega assumidos.

É claro que a satisfação da encomenda de 35 unidades na semana 6 impossibilita a entrega da encomenda 4 de 10 unidades para a semana 5.

Se o estabelecimento de prazos de entrega ou aceitação de encomendas num dado prazo pode ser comprovado ou assumido com base no registo ATP da Programação Diretora, também é frequente encontrar no mundo industrial formas expeditas de definir prazos de entrega de encomendas baseadas quer na experiência do agentes envolvidos quer na negociação com o cliente . Exemplos de tais formas são:

Fixação de um prazo invariável para qualquer encomenda. Neste caso a data de entrega é definida com base num período constante de desfasamento futuro relativamente à data da encomenda.

- *Prazo empírico negociado.* Neste caso o prazo é normalmente o resultado de negociação entre produtor e cliente definido com base na experiência dos gestores, numa avaliação aproximada da carga ao sistema e na aceitação do prazo pelo cliente.
- *Prazo de entrega é uma restrição imposta pelo cliente e aceite pelo fornecedor.*
- *"Lead times" do artigo.* Neste caso os prazos de produção do artigo são tomados como referência para definir a data de entrega. Naturalmente que o caminho mais

longo, numa rede representativa das atividades de produção do lote ou artigo define esse prazo. Desta forma uma rede de atividades, tipo rede de um projeto, permite saber qual o prazo de produção do artigo, com base nos prazos de fornecimento de materiais e de fabrico - “lead times” – para de componentes e peças e para a montagem do artigo.

3.2.2. Planeamento Diretor de Capacidade Produtiva

Como se referiu atrás podemos distinguir três fases no processo de planeamento de capacidade produtiva, nomeadamente o planeamento diretor de capacidade (PDC), - *Rough Cut Capacity Planning* (RCCP), a Programação e Planeamento de Necessidades de Capacidade (PNC) – *Capacity Requirements Planning* (CRP) e o Controlo de Capacidade (CC). De forma simplificada pode dizer-se que o CC assegura que a capacidade programada se encontra disponível quando necessária e controla o seu uso por forma a poder cumprir os programas de produção estabelecidos. Eventualmente faz ajustamentos de pequena monta se for necessário, actuando, por exemplo, nas horas extraordinárias ou subcontratação prevista.

O planeamento diretor de capacidade (PDC) e a programação diretora de produção (PDP) são, duas atividades interrelacionadas.

A abordagem ao PDC feita neste texto é simplificada. Não se faz uma análise das vantagens e desvantagens de alternativas de capacidade acessível para estabelecer o programa diretor de capacidade produtiva. Apenas se determina as necessidades de capacidade crítica com base no PDP, i.e. calcula-se a carga nos recursos críticos associada um plano diretor estabelecido, isto é , faz-se apenas a Programação Diretora da Capacidade e usaremos a mesma sigla (PDC).

3.2.2.1. Abordagens à Programação Diretora de Capacidade

A Programação Diretora de Capacidade (PDC), geralmente inserida no contexto de do designado por MRP II – Manufacturing Resources Planning - é realizada em conjugação com o Programa Diretor de Produção, PDC, para testar a sua validade e ajudar à sua correção, incidindo principalmente sobre os recursos de trabalho, ou centros de carga, críticos. Consideram-se críticos os meios de produção que, devido à sua escassez, quando comparados com outros, podem perigar a realização de um programa de produção, restringindo ou impondo as datas de entrega dos produtos.

A PDC consiste na determinação aproximada e rápida das necessidades de capacidade fabril, para recursos críticos, para satisfazer o PDP para os próximos períodos de produção planeados.

O período de planeamento utilizado é, normalmente a semana, podendo ser utilizado o dia ou o mês, dependendo do prazo de fabrico típico dos produtos: prazos curtos apontam para a programação diária, prazos longos adequam-se mais à programação mensal.

A programação diretora de capacidade, PDC, vista simplesmente na acepção da determinação de necessidades de capacidade a partir do Programa Diretor de Produção pode realizar-se usando os três abordagens ou métodos: (Vollmann, 1992):

- 1 - PDC usando fatores globais – “*capacity planning using overall factors –CPOF*”.
- 2 – PDC usando listas de capacidade – “*capacity planning using capacity bills – CPCB*”
- 3 – PDC usando perfis de recursos – “*capacity planning using resource profiles – CPRP*”.

3.2.2.2. Programação diretora de capacidade usando fatores globais – “*capacity planning using overall factors*”

Este método permite fazer uma estimativa das necessidades de capacidade para os próximos períodos, baseada no uso passado da capacidade crítica. Este uso permite determinar os chamados fatores globais.

Fatores Globais (overall factors) são estimativas:

- 1) *do consumo de capacidade* (por exemplo mão de obra, máquina, pintura), por cada unidade de artigo.
 - Exemplo: Se dois artigos A e B são produzidos, tendo os 10000 artigos do tipo A usado no passado 9500 horas de m-d-o, pode-se concluir que cada unidade de A consome 0,95 horas de capacidade de m-d-o.
 - Similar análise podia ser feita para B ou qualquer outro artigo.
 - O mesmo raciocínio podia ser feito em relação para outros recursos críticos, por exemplo estações lacagem numa fábrica de perfis de alumínio ou de móveis.
- 2) *da proporção de imputação da capacidade por cada centro de trabalho*.
 - Exemplo de imputação da m-d-o por três centros de trabalho: CT1 60,3%; CT2 30,4% e CT3 9,3%
 - Exemplo 2: Imputação de horas máquina CT1 = 50%; CT2=30%; CT3 =10% e CT4= 10%:

Estas estimativas permitem determinar de forma aproximada as necessidades de capacidade de cada centro de trabalho pelo simples conhecimento das quantidades a produzir planeadas.

Assim, os dados necessários para realizar esta forma de PDC são:

- dados de procura expressos em termos de um programa diretor de produtos finais .

- dados históricos de utilização percentual relativa dos recursos críticos por cada centro de trabalho e da carga imputável a cada tipo de capacidade crítica por cada unidade de produto.

Exemplo de PDC usando fatores globais

Considere o seguinte Programa Diretor de Produção, Figura 3-13

Períodos	1	2	3	4	5	...	12	13	Total
Produto									
A	33	33	33	40	40	...	27	37	457
B	17	17	17	13	13	...	27	27	273

Figura 3-13 - Programa diretor de produção para 13 períodos.

Atenda, ainda, aos seguintes tempos de utilização do recurso crítico, i.e. de mão-de-obra direta, por artigo:

$$\text{Produto A} = 0,95 \text{ horas} \quad \text{Produto B} = 1,85 \text{ horas}$$

Estes valores podem ter sido obtidos por medição direta e rigorosa ou obtidos através de estimativas baseadas no consumo de m-d-o de quantidades produzidas no passado dos artigos A e B, podendo considerar-se os seus tempos padrão.

Considere também que os produtos são produzidos nos centros de trabalho CT1, CT2 e CT3, que historicamente usam a seguinte proporção do recurso crítico (mão-de-obra direta):

$$\text{CT1} \Rightarrow 60,3\% \quad \text{CT2} \Rightarrow 30,4\% \quad \text{CT3} \Rightarrow 9,3\%.$$

O programa diretor de capacidade que estabelece a necessidade ou carga de m-d-o direta face ao PDP pode ser obtido aplicando os seguintes dois passos.

Passo 1: Calculo da carga total associada a cada produto em cada período

Este calculo é baseado no tempo padrão do recurso crítico e na quantidade expressa no programa diretor em cada período, Figura 3-14 Carga do recurso crítico para a produção dos produtos A e B, em horas homem

Períodos	1	2	3	4	5	...	12	13	Total
Produto									
A	31,35	31,35	31,35	38,0		...			
B	31,45	31,45	31,45	24,05	24,05	...			

Figura 3-14 - Carga do recurso crítico para a produção dos produtos A e B, em horas homem

Passo 2: Calculo da carga total associada a cada centro de trabalho em cada período

Este calculo é baseado na proporção de utilização do recurso crítico em cada centro de trabalho e na carga de recurso crítico em cada período determinada no passo anterior, em cada período, Figura 3-15

Períodos	Util. histórica do recurso crítico pelos CTs, em %	1	2	3	4	5	...	12	13	Total
Centros de Trabalho										
CT1	60,3	37,87	37,87	37,87	37,41	37,41	...	51,32	51,32	566,33
CT2	30,4	19,09	19,09	19,09	18,86	18,86		25,87	25,87	285,49
CT3	9,3	5,84	5,84	5,84	5,78	5,78	...	7,91	7,91	87,38
Capacidade total necessária (horas homem)	62,80	62,80	62,80	62,05	62,05	...	85,10	85,10	939,20	

Figura 3-15 Programação de capacidade pelo método dos fatores globais. Carga de recurso crítico por centro de trabalho por período para satisfazer o programa diretor

É importante notar que face aos pressupostos do método ele só é suficientemente preciso se a proporção do recurso crítico usada em cada centro de trabalho se mantiver constante. A alteração desta realidade tira rigor ao método. Por exemplo um súbito crescimento de procura de um dos artigos pode ocasionar que, na realidade as proporções de utilização do recurso crítico nos centro de trabalho seja alterada.

O método tem a vantagem de poder ser aplicável em muitas empresas e de ser relativamente fácil estimar a capacidade necessária do ou dos recursos críticos

3.2.2.3. Programação diretora de capacidade usando listas de capacidade – “capacity bills”

Este método toma em consideração os tempos padrão do recurso crítico, por operação de cada conjunto (montagem) ou peça (fabricação) em cada centro de trabalho. É diferente do anterior na medida em que a ocupação de cada centro de trabalho em relação à mistura de produtos do programa diretor não é baseada na proporção histórica do uso do recurso crítico em cada centro, mas sim na utilização real dos recursos. Esta utilização é determinada na base das necessidade de capacidade por cada operação de cada artigo, conjunto ou peça, informação contida na Chamada lista de capacidades Figura 3-16. Portanto a Chamada lista de capacidades do produto - “capacity bill”- expressa, para cada centro de trabalho, as necessidades de capacidade do recurso crítico por unidade de artigo a produzir.

Artigos	A	B
CTs	Horas homem/artigo	Horas homem/artigo
CT1	0,05	1,30
CT2	0,70	0,55
CT3	0,20	0,00
Total	0,95	1,85

Figura 3-16 Lista de capacidades para os artigos A e B do exemplo

A lista de capacidades pode ser obtida a partir dos roteiros ou gamas operatórias dos artigos.

A Figura 3-17 é uma representação das listas de materiais dos produtos, contendo a informação sobre a sua estrutura e composição em termos de componentes, peças e matérias-primas e sequência pela qual são utilizadas.

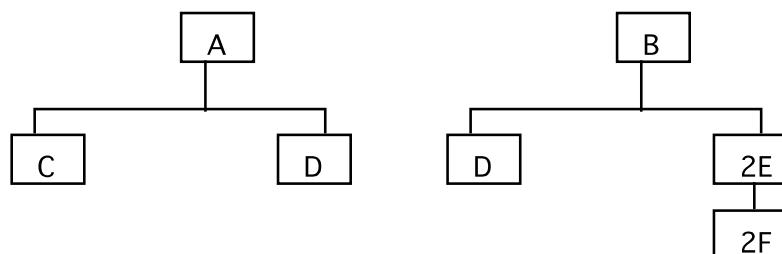


Figura 3-17 - Estrutura e composição dos artigos A e B em representação em árvore invertida

A Figura 3-18 contém a informação correspondente à execução de cada fase de fabrico, incluindo os tempos de processamento e preparação em cada unidade de produção ou centro de trabalho.

	Lote	Opn.	CT	LT (Períodos)	Set-up por lote (horas)	Set-up por artigo (horas)	Horas/ Artigo	Total
Montagem								
A	40	1.1	CT1	1	1	0,025	0,025	0,05
B	20	1.1	CT1	1	1	0,050	1,250	1,30
Fabricação								
C	40	1.2	CT2	1	1	0,025	0,575	0,60
		2.2	CT3	1	1	0,025	0,175	0,20
D	60	1.1	CT2	1	2	0,033	0,067	0,10
E	100	1.1	CT2	1	2	0,020	0,080	0,10
F	100	1.1	CT2	1	2	0,020	0,0425	0,0625

Figura 3-18 - Registo do tempo em horas-homem de utilização de cada centro de trabalho para realizar as operações de fabrico e montagem dos artigos A e B.

A chamada lista de capacidades do produto - "capacity bill"- expressa, para cada centro de trabalho, as unidades de capacidade do recurso crítico por unidade de artigo a produzir. Isto pode-se obter diretamente do roteiro ou gama operatória dos artigos.

A Figura 3-16 mostra a lista de capacidades para os artigos A e B do exemplo.

É importante notar que a capacidade do recurso crítico é consumido por duas parcelas. Uma é correspondente ao repetido consumo, para processar um lote de artigo, face ao tempo operatório unitário por artigo no CT, e a outra correspondente ao tempo de preparação do CT por cada unidade de artigo. Esta segunda parcela é obtida dividindo o tempo de preparação do lote pelo seu tamanho. O valor da lista de capacidade para cada CT e artigo, Cct, obtém-se, portanto, neste caso de :

Cct, = horas homem/operação do artigo + horas homem de preparação/lote e operação do artigo

tendo ainda em conta o número de artigos que constituem o artigo principal. Por exemplo o valor 0,55 no CT2 para o artigo B referido na Figura 3-16 obtém-se da seguinte forma (ver Figura 3-18):

$$0,55 = 0,10[Ds] + 2 [Es]*0,10 + 4 [Fs]* 0,0625$$

Neste caso, para efeitos de programação diretora de capacidade o lote é considerado invariável. Esta suposição nem sempre é aceitável, porquanto os tamanhos dos lotes de fabrico podem depender da dinâmica da procura. Por vezes eles são mantidos constantes à custa da

correção dos períodos em que são lançados. O acréscimo da procura antecipa lançamentos e a diminuição atrasa-os.

Se o tamanho do lote for alterado então é preferível entrar com o tempo de preparação total para cada lote do PDP, somando-o ao tempo processamento obtido para o lote lançado, i.e:

Carga por lote = (tempo operatório /artigo)*lote de artigos + tempo de preparação por lote de artigo

Obtida a lista de capacidades, é, finalmente, possível com base nela, determinar o programa diretor de capacidade para cada período, por centro de trabalho, Figura 3-19, tendo em conta as quantidades de artigo a produzir em cada período para o caso das quantidades expressas no programa diretor da Figura 3-13

Períodos Centros de Trabalho	Utilização histórica dos CTs, em %	1	2	3	4	5	...	12	13	Total	Util. média dos CTs %
CT1	60,3	23,75	23,7 5	23,7 5	18,9 0	18,9 0	...	36,9 5	36,9 5	377,75	40%
CT2	30,4	32,45	32,4 5	32,4 5	35,1 5	35,1 5	...	40,7 5	40,7 5	470,75	50%
CT3	9,3	6,60	6,60	6,60	8,0	8,0	...	7,40	7,40	91,40	10%
Capacida de total	(horas homem)	62,80	62,8 0	62,8 0	62,0 5	62,0 5	...	85,1 0	85,1 0	939,20	100%

Exemplo de calculo: $23,75 = (33*0,05) + (17*1,30)$

Figura 3-19 - Programa diretor de capacidade. Necessidades de capacidade, em horas-homem/CT, obtidas pelo método da lista de capacidades.

É possível verificar que, para o programa de produção considerado, a utilização média dos centros de trabalho, i.e., as suas necessidades de capacidade são diferentes daquelas determinadas com base no método de fatores globais baseado no uso histórico dos recursos críticos.

3.2.2.4. Programação Diretora de Capacidade por Perfis de Recursos – “capacity planning by resource profiles”.

Este processo é semelhante ao anterior - Lista de Capacidades - diferindo apenas no facto de os tempos ou prazos de fabrico, i.e. "lead times", previstos para a montagem do artigo ou fabricação dos seus componentes, serem tomados em consideração. Desta forma as necessidades de capacidade para cada artigo aparecem faseadas no tempo de acordo com o

momento, no ciclo de produção do artigo, em que é necessário executar as suas diferentes fases.

- Assim os dados necessários para aplicar o método são:
- Estrutura do produto e lista de materiais
- Tempos operatórios por operação, de processamento e preparação de lote para artigos principais e dependentes.
- Tamanho do lote
- Prazos de fabrico por operação (independentemente do tamanho do lote), i.e. "lead times (LT)" por operação.

É importante referir que é vulgar assumir LT invariáveis de um qualquer artigo qualquer que seja o tamanho do lote lançado. Aparentemente esta é uma suposição irrealista porquanto o tempo que demora a produzir um lote de dez unidades será provavelmente diferente àquele que demora a produzir um lote de 1000 unidades do mesmo artigo. No entanto, na prática variações de lotes a este nível são inexistentes ou muito raras. Por isso, desde que as variações do tamanho do lote lançado não existam ou sejam pequenas a suposição é aceitável. Note-se que o LT inclui quer o tipo de processamento útil quer os tempo de espera e transporte estimados para a produção. Esta estimativa resulta da experiência e é, naturalmente dependente da forma como se opera um sistema de produção.

A tentativa de tirar o máximo partido do sistema, em termos da sua utilização, sugere que se deve carregar o sistema com muito trabalho para que nunca falte trabalho para ocupar todos os recursos. Isto por vezes é uma ilusão, e tem o inconveniente de alongar demasiado o tempo para a produção de artigos lançados em último lugar no sistema. Na realidade, a utilização dos meios de produção não depende tanto da carga em cada instante, contanto que o sistema esteja minimamente carregado, como da adequação da carga à diversidade e "competência" dos recursos disponíveis. Em outros termos, é importante que um adequado balanceamento do sistema esteja garantido. Quanto maior for a carga maior será o LT qualquer que seja o tempo útil necessário para o processamento de um artigo. Desta forma para a estabilização do "lead time" é necessário estabilizar a carga do sistema.

Exemplo de aplicação

Considere, para o caso de procura e produção, referido nos dois métodos anteriores de programação da capacidade, que os artigos e seus componentes têm os prazos de fabrico,

"lead times", LT, expressos em períodos, de tal forma que para cada operação o prazo de fabrico de um período é reservado, Figura 3-20 .

	Lote	Opn.	CT	LT (Períodos)	Set-up por lote (horas)	Set-up por artigo (horas)	Horas/ Artigo	Total
Montagem								
A	40	1.1	CT1	1	1	0,025	0,025	0,05
B	20	1.1	CT1	1	1	0,050	1,250	1,30
Fabricação								
C	40	1.2	CT2	1	1	0,025	0,575	0,60
		2.2	CT3	1	1	0,025	0,175	0,20
D	60	1.1	CT2	1	2	0,033	0,067	0,10
E	100	1.1	CT2	1	2	0,020	0,080	0,10
F	100	1.1	CT2	1	2	0,020	0,0425	0,0625

Figura 3-20 - Necessidades de capacidade por operação de cada artigo e Prazos de produção ou "Lead times (LT)" de produção

Assim, como a produção dos artigos A, B, D, E e F exigem apenas uma operação, é:

LT A = 1 período/ LT B = 1 período/ LT D = 1 período/ LT E = 1 período/ LT F = 1 período

C tem duas operações, C12 no CT2 e C22 no CT3, pelo que: LT C = 2 períodos

correspondente à soma de: LT C12 = 1 período e LT C22 = 1 período

Podemos assim elaborar um diagrama de atividades e prazos, incluindo tempos operatórios, para os períodos 3 4 e 5, ou mais genericamente, i-2, i-1 e i, conforme se indica na Figura 3-21.

Do diagrama de atividades e prazos de fabrico pode-se de imediato extrair o perfil de recursos de cada produto A e B. Como se vê, este perfil indica para um número de períodos correspondente ao prazo de fabrico dos artigos, qual a capacidade necessária em cada desses períodos em cada centro de trabalho por cada unidade de produto. O perfil de recursos correspondente à rede de atividades e prazos apresentada é indicado na Figura 3-21 e representado graficamente na Figura 3-22.

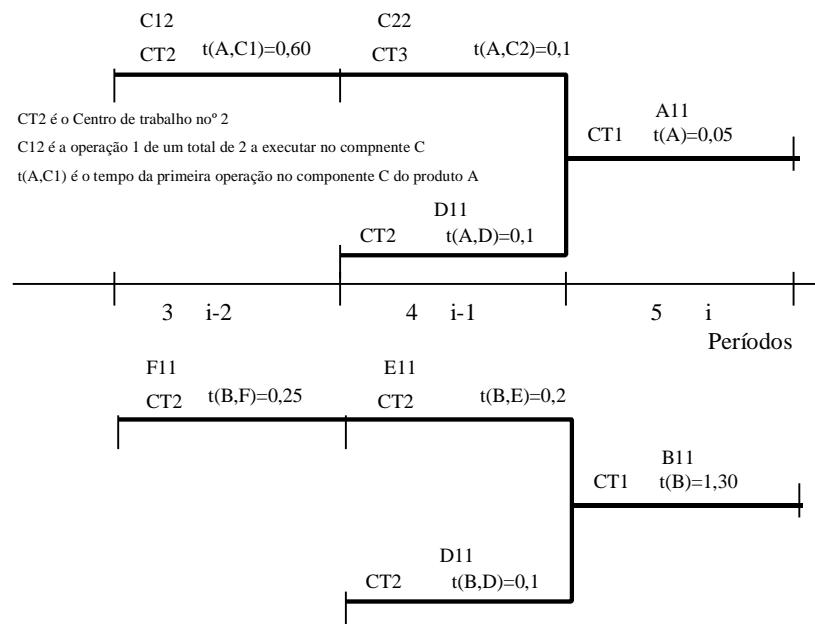


Figura 3-21 - Diagrama de atividades e prazos para o fabrico de A e B.

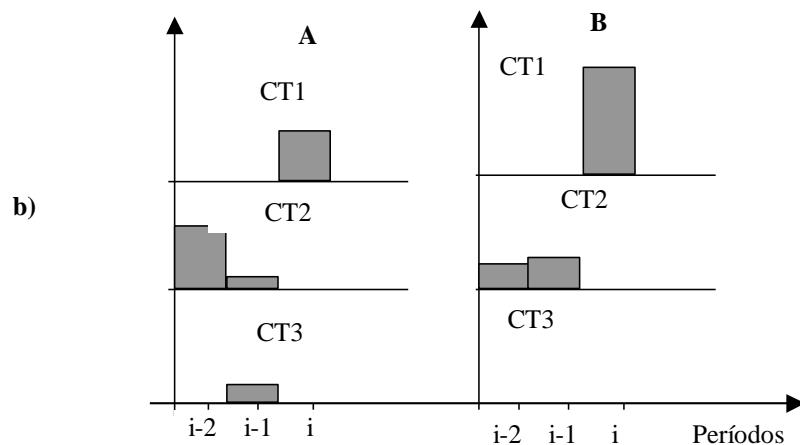


Figura 3-22 - a) Perfil de recursos b) Representação gráfica do perfil de recursos .

Tendo, agora em atenção o programa diretor, é possível estabelecer as necessidades de capacidade para cada período baseado no perfil de recursos. A Figura 2.23 apresenta as necessidades de capacidade respeitantes às quantidades necessárias dos artigos A e B para o período 5 apenas.

Períodos	i-2 (3)	i-1 (4)	i-3 (5)
40 As no período 5			
CT1			$40 * 0,05 = 2,0$
CT2	$40 * 0,6 = 24$	$40 * 0,1 = 4,0$	
CT3		$40 * 0,2 = 8,0$	
13 Bs no período 5			
CT1			$13 * 1,30 = 16,9$
CT2	$13 * 0,25 = 3,25$	$13 * 0,3 = 3,9$	
CT3			
TOTAL (A+B)	27,25	15,9	18,9

Períodos	i-2 (3)	i-1 (4)	i-3 (5)
CTis	Horas-homem	Horas-homem	Horas-homem
CT1			18,9
CT2	27,25	7,9	0
CT3		8	0
TOTAL (40As+13Bs) no período 5)	27,25	15,9	18,9

Figura 3-23 - Necessidades de capacidade para satisfazer as necessidades para o período 5 usando o método do perfil de recursos.

Realizado este cálculo para todos os períodos obtém-se as seguintes necessidades de capacidade determinadas com base no perfil de recursos por unidade de artigo..

Períodos	Utilização histórica dos CTs, em %	Carga em períodos anteriores	1	2	3	4	5	...	12	13	Total	Util. média dos CTs %
Centros de Trabalho												
CT1	60,3	0,00	23,75	23,75	23,75	18,90	18,90	...	36,95	36,95	377,75	0,41
CT2	30,4	56,50	32,45	35,65	35,15	35,15	32,15	...	11,80	0,0	470,75	0,48
CT3	9,3	6,60	6,60	6,60	8,0	8,0	8,0	...	7,40	0,0	91,40	0,10
Capacidade total (horas homem)	63,10	62,80	66,0	66,90	62,05	59,05	...		56,10	36,95	939,9	100%

Abaixo mostra-se como se obtém os valores 27, para o período 1 e o valor 35,15 para o período 5:

Períodos CTi	Utilização histórica dos CTs, em %	1	2	...	13	Total	Util. média CTs %
CT1	60,3	23,75	23,75	...	36,95	377,75	40%
CT2	30,4	32,45	32,45	...	40,75	470,75	50%
CT3	9,3	6,60	6,60	...	7,40	91,40	10%
Capac. total	(horas homem)	62,80	62,80	...	85,10	939,20	100%

Exemplo de cálculo: $23,75 = (33 * 0,05) + (17 * 1,30)$

Períodos Produto	1	2	...	12	13	Total
A	33	33	...	27	37	457
B	17	17	...	27	27	273

Programa director de produção de A e B para 13 períodos.

Lista de Caps com set-up

Artigos: A e B

Artigos	A	B
CTs	Horas-homem /artigo	Horas-homem /artigo
CT1	0,05	1,30
CT2	0,70	0,55
CT3	0,20	
Total	0,95	1,85

Figura 3-24 - Programação diretora de capacidade. Necessidades de capacidade (horas-homem) por período com base no método do perfil de recursos

Períodos	1	2	3	4	5	6	7	...	12	13	Total
Produto											
A	33	33	33	40	40	40		...	27	37	457
B	17	17	17	13	13	13		...	27	27	273

Períodos	i-2 (3)	i-1 (4)	i-3 (5)
40 As no período 5			
CT1			$40 * 0,05 = 2,0$
CT2	$40 * 0,6 = 24$	$40 * 0,1 = 4,0$	
CT3		$40 * 0,2 = 8,0$	
13 Bs no período 5			
CT1			$13 * 1,30 = 16,9$
CT2	$13 * 0,25 = 3,25$	$13 * 0,3 = 3,9$	
CT3			
TOTAL (A+B)	27,25	15,9	18,9

CT1							
CT2				35,15			
CT3							
Periodo	2	3	4	5	6	7	Total
40 As no período 4							
CT1				2			
CT2	24	4					
CT3		8					
13 Bs no período 4							
CT1				16,9			
CT2							
CT3	3,25	3,9					
TOTAL (A+B)	27,25	15,9	18,9	0			34,8

40 As no período 5						
CT1				2		2
CT2		24	4			28
CT3			8			8
13 Bs no período 5						0
CT1				16,9		16,9
CT2		3,25	3,9			7,15
CT3						0
TOTAL (A+B)	0	27,25	15,9	18,9		62,05
40 As no período 6						0
CT1					2	2
CT2		24	4			28
CT3			8			8
13 Bs no período 6						0
CT1					16,9	16,9
CT2			3,25	3,9		7,15
CT3						0
TOTAL (A+B)	0	0	27,25	15,9		43,15
40 As no período 7						0
CT1						0
CT2				0	0	0
CT3					0	0
13 Bs no período 7						0
CT1						0
CT2				0	0	0
CT3						0
TOTAL (A+B)	0	0	0	0		0
	CT1	0	2	18,9	18,9	0
	CT2	31,25	35,15	7,9	0	0
	CT3	8	8	8	0	0

Figura 3-24 (cont) Programação diretora de capacidade. Necessidades de capacidade (horas-homem) por período com base no método do perfil de recursos

3.2.2.5. Comentários finais sobre a programação diretora de capacidade, PDC

Diz-se que programação diretora de capacidade é grosseira devido às simplificações que introduz originando alguma imprecisão relativamente à carga efetivamente necessária em cada período para cumprir o programa diretor.

Algumas tais simplificações incluem:

- 1 – Não reflete a efetiva necessidade de capacidade nos períodos em que é necessária em cada centro de trabalho.
- 2 - Usa métodos o expeditos e aproximados de cálculo de capacidade.
- 3 – é baseada no Programa Diretor de Produção e por isso considera não atende à existência de artigos intermédios já produzidos que podem ser incluídos no fabrico das artigos programados.

Os métodos descritos, nomeadamente os dos fatores globais, o das listas de capacidade e o do perfil de recursos são, na ordem apresentada, respetivamente mais precisos relativamente à determinação da carga efetivamente necessária em cada período. A segurança deste planeamento relativamente aos prazos é ainda reforçada pelo facto de as existências de componentes e peças já fabricadas e armazenadas, ou em curso de fabrico, não serem normalmente contabilizadas para efeito desta programação de capacidade. Estas existências só são tomadas em linha de conta na programação detalhada de capacidade produtiva, aqui designado simplesmente por programação de capacidade.

3.2.3. Sumário

Na secção 3.2.2 o problema da programação da capacidade no âmbito da Programação da Produção é apresentado. Posteriormente dá-se ênfase à Programação Diretora de Capacidade, PDC com a qual se integra e descreve a Programação ou Planeamento de Necessidades de Capacidade. Esta programação articula-se com a programação de materiais tipicamente associada ao mecanismo MRP-“Materials Requirement Planning”, descrito na secção seguinte.

3.3. GESTÃO DE MATERIAIS-APROVISIONAMENTO

Esta função poderá incluir aspectos de logística de materiais mas que aqui serão apenas marginalmente considerados. A função tradicional que mais lhe corresponde é conhecida como Aprovisionamento.

O objetivo fundamental da Gestão de Materiais é assegurar a disponibilidade dos materiais, isto é, das matérias primas, peças e componentes, necessários à produção, nas condições desejadas e quantidades requeridas no momento certo. Tal disponibilidade deverá ser planeada baseada em critérios económicos e técnicos de aprovisionamento dos materiais tendo em conta variáveis como deterioração com o tempo, preços e quantidades assim como custos de aquisição e armazenagem incluindo funções de administração das existências ou "stocks".

Na Gestão de Materiais podem distinguir-se três funções essenciais, Figura 3-25:

1. controlo e determinação de existências,
2. planeamento das necessidades de materiais e
3. planeamento de lançamentos, i.e. ordens de aquisição ou compra e ordens de produção.

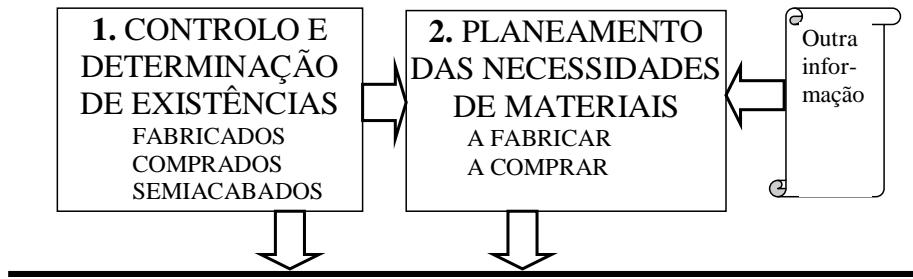
As quantidades a lançar em encomenda ou produção resultam da diferença entre as necessidades e as existências.

A otimização das quantidades de lançamento, na satisfação das necessidades de produção, procura conciliar dois aspectos antagónicos, nomeadamente:

evitar a rotura de stock e

manter reduzido o custo total de gestão da materiais, incluindo a armazenagem.

Para poder encontrar boas soluções para a reposição dos "stocks" e satisfação das necessidades de produção, é não só importante aplicar modelos adequados à determinação das quantidades a lançar, i.e. adquirir e/ou produzir, como também manter actualizada e precisa informação sobre as quantidades existentes em armazém, i.e. em todos armazéns, locais ou distribuídos, e sobre as necessidades de matérias-primas para a produção.



3 . PLANEAMENTO DE LANÇAMENTOS: ORDENS DE AQUISIÇÃO OU COMPRA E DE PRODUÇÃO

Tamanho do lote= 50 UN ; LT=1 UT							
REGISTOS PARA O ARTIGO A1	PERÍODOS	1	2	3	4	5	6
NECESSIDADES BRUTAS <i>NB</i>			10		40	10	10
RECEBIMENTOS PROGRAMADOS <i>R</i>		50					
EXISTÊNCIAS / EXISTÊNCIAS PREVISTAS, <i>D</i>	4	54	44	44	4	-6	-16
NECESSIDADES LÍQUIDAS <i>NL</i>					6	10	
LANÇAMENTOS PREVISTOS OU PROGRAMADOS, <i>Li</i>					50		

$s_i > s \Rightarrow$ Não encomendar $s_i \leq s \Rightarrow$ Encomendar Q_o

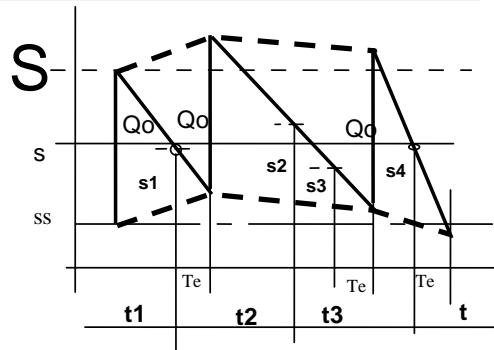


Figura 3-25 - Fases da Gestão de Materiais

3.3.1. Controlo e determinação de existências

Esta fase ocupa-se de todas as transações, movimentos e registo de entradas e saídas de material, procurando manter actualizados e precisos os registos de existências, Figura 3-26. Desta forma poder-se-á saber em cada instante as quantidades de existências de artigos disponíveis ou a receber. Este informação é fundamental para a determinação das necessidades líquidas de materiais que por sua vez são determinantes das quantidades de encomenda e momentos de aquisição.

Os custos do controlo de existências resultam do elevado número de entradas e saídas de materiais e outros movimentos assim como da gestão dos variados armazéns de matérias primas, produtos semi-acabados ou em curso de fabrico e produtos acabados.

No Controlo de existências os aspetos mais importantes são os relacionados com a organização dos dados informativos relativos aos produtos armazenados e dos registo do movimento dos "stocks". A precisão e atualidade dos resultados depende largamente da rapidez com que a totalidade dos movimentos são registados.

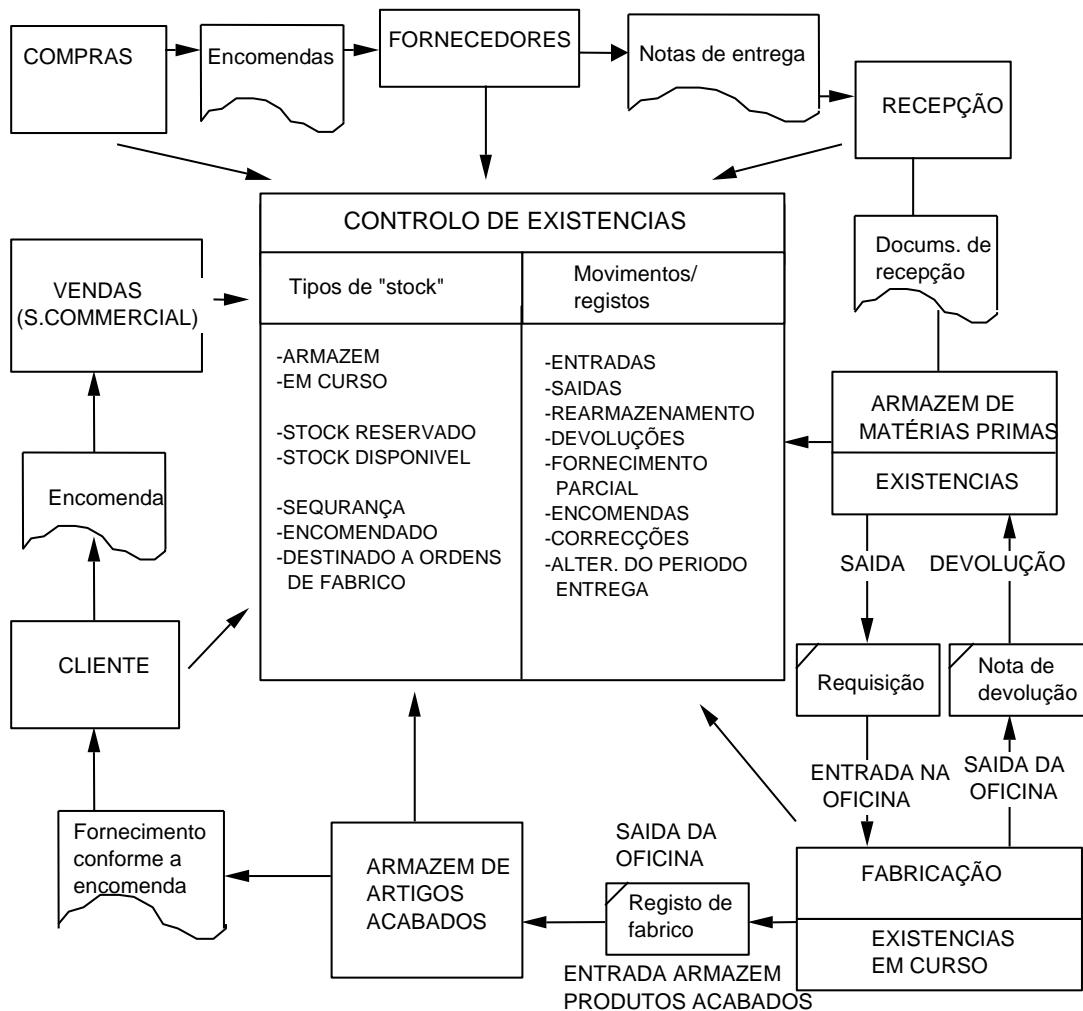


Figura 3-26 - Controlo de existências

3.3.1.1. Inventariação de stocks

Inventariar stocks é essencialmente contar e verificar quais são os stocks realmente existentes e manter tão precisos quanto possível os seus registo na base de dados da organização ou empresa.

A inventariação pode ser **acíclica** quando é feita de forma irregular no tempo ou, então, **cíclica**. Neste caso pode classificar-se em **periódica** e **rotativa**. A periódica tem por base um período bem determinado para definir o começo repetitivo da inventariação que uma vez terminada obriga a esperar pelo próximo período. Portanto, o período de inventariação não é necessariamente igual ao tempo de contagem. No caso da inventariação cíclica rotativa (ICR) o processo de inventariação é contínuo e rotativo. Os artigos a contar podem ser:

- determinados aleatoriamente
- pertencerem a um grupo a controlar
- classificados nas classes A B e C.

No caso da classificação ABC ou de Pareto, geralmente os artigos de cada classe são inventariados diariamente durante o período de contagem. Quando um ciclo rotativo de contagem termina a recontagem de todos os artigos a contar recomeça. Portanto todos os artigos são rotativamente contados embora a frequência de contagem dos artigos de cada classe seja normalmente diferente. Assim os artigos da classe C, por serem muitos e de pouco valor, são normalmente contados menos vezes do que os da classe B e estes do que os da classe A. Podemos encontrar nesta inventariação também uma lógica periódica em que os períodos de inventariação de cada classe são normalmente múltiplos dos da classe de maior frequência de contagem diferentes.

Na classificação ABC os artigos são classificados na classes por ordem de importância, medida geralmente pelo valor do artigo movimentado por período, geralmente por ano. Esta classificação segue a lei de Pareto podendo ser identificados artigos da classe A, a que corresponde um valor anual de cerca de 75% para apenas uma variedade de artigos de cerca de 15%. O restante valor do stock reparte-se pelas classes B e C, com cerca de 20% para a classe B e 5% para classe C. Esta classe correspondente ao maior número de artigos diferentes, geralmente superior a 50%, Figura 3-27.

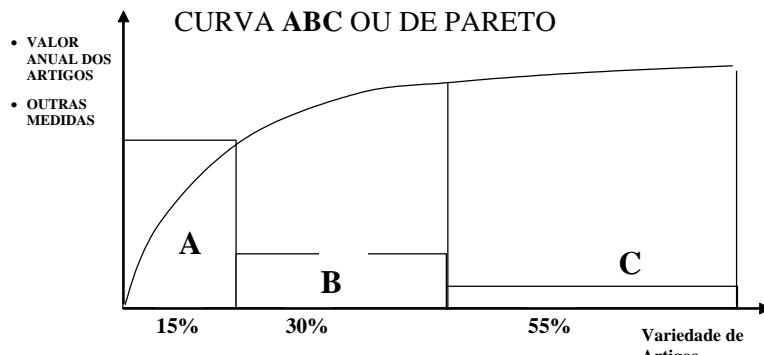


Figura 3-27 - Análise ABC de artigos: Valor versus variedade

Exercício de aplicação da ICR

Havendo 5000 artigos distribuídos pelas classes A, B e C da seguinte forma:

$$A=500; B=1750; C=2750$$

implemente uma ICR para garantir precisão dos registo informáticos, observar desvios e detetar as suas causas.

Proposta:

Contar :

- Os artigos do tipo A uma vez por mês, i.e. 20 em 20 dias úteis os mesmos artigos deveriam ser recontados.
- Os artigos do tipo B uma vez de três em três meses, i.e. de 60 em 60 dias úteis.
- Os artigos do tipo C de 6 em 6 meses, i.e. de 120 em 120 dias úteis

Seja QA, QB e QC a quantidade de artigos de A, B e C, respetivamente, a inventariar todos os dias.

Analizando o esforço de contagem ou inventariação vem:

QA= 500 artigos/20 dias =>	25 artigos por dia
QB = 1750 artigos/60 dias =>	29 artigos por dia
QC = 2750 artigos/120 dias =>	23 artigos por dia
Total	77 artigos por dia

Portanto no total deveriam ser inventariados todos os dias 77 artigos dos quais 25 deviam ser do tipo A, 29 do tipo B e 23 do tipo C.

Vantagens da Inventariação Cíclica Rotativa (ICR)

- Elimina a necessidade de paragens para inventário de produção ou armazenagem
- Elimina a necessidade de fazer ajustes ou correções anuais às existências
- Cria competência na auditoria da precisão do inventário
- Permite a identificação de causas de erros
- Mantém precisos os registo das existências
- Reduz as perturbações de produção por falta imprevista de materiais
- Reduz o custos de relançamento por falta de materiais
- ...

3.3.2. Planeamento das necessidades de materiais

Com base nas encomendas e previsões de vendas, tem em vista determinar todas as necessidades de materiais, desde as matérias-primas aos produtos finais a fabricar, para satisfazer a procura. Esta tarefa inclui o cálculo de todas as matérias primas, conjuntos, componentes e materiais auxiliares necessários ao cumprimento do programa de produção de *artigos finais*, também designados de artigos de procura independente. Esse cálculo está intimamente ligado ao processo de planeamento de lançamentos, uma vez que os lançamentos de um artigo determinam as necessidades de outros, i.e. dos artigos “filhos”.

Os diferentes artigos produzidos ou adquiridos podem enquadrar-se em três classes, Figura 3-28:

- Artigos finais
- Artigos intermédios e
- Matérias primas

Os artigos intermédios são obtidos a partir das matérias-primas e são usados na produção de artigos finais, podendo as matérias-primas serem usadas também diretamente nos artigos finais.

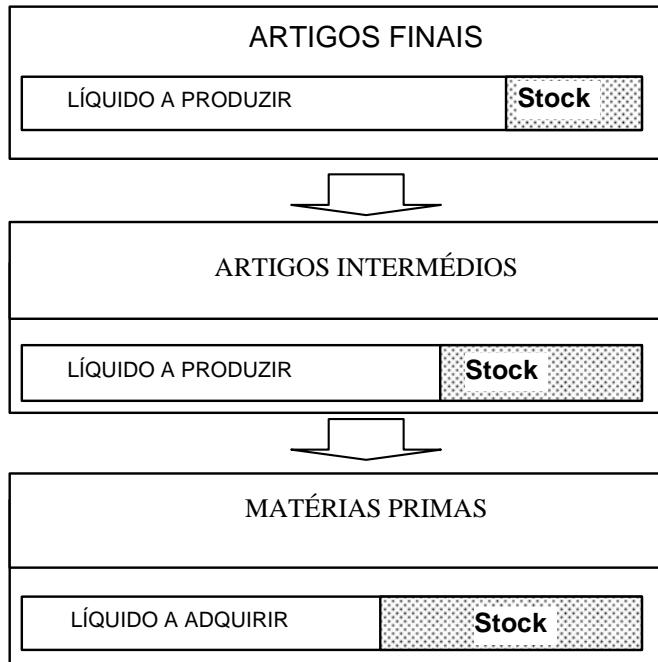


Figura 3-28 - Relação de dependência entre três classes diferentes em que os artigos podem ser classificados: Finais, intermédios e matérias-primas

Os produtos finais são aqueles vendidos ao cliente e as existências destes são geralmente referidas como *produtos acabados*.

Os artigos intermédios incluem tanto as peças e os componentes já fabricados destinados à montagem como os *produtos semi-acabados*. Estes são produtos quase terminados cujo acabamento não está ainda realizado. Isto deve-se normalmente à pretensão de flexibilizar ou diversificar a oferta de produto final. Assim, por exemplo, o cliente pode fazer a especificação do acabamento do produto que, será assim “customizado”.

As matérias-primas incluem todos os artigos ou materiais incorporados nos produtos intermédios e finais que não resultam de processos de transformação na empresa. Assim, por exemplo, numa indústria de fabrico de automóveis, tanto são matérias primas, a chapa para estampar e fazer a estrutura monobloco, como o são os motores para integrar nos diferentes modelos e ainda o combustível necessário para a produção de energia.

Toda a transformação das matérias-primas levada a cabo pela empresa resulta na criação do valor acrescentado ao produto comprado, i.e. matérias primas. É este valor que se usa normalmente para medir a produtividade de um sistema de produção.

Algumas matéria primas necessárias ao processo produtivo são referidas como consumíveis por não integrarem ou não ser visível a sua integração nos artigos, como é o caso de gases e líquidos combustíveis e papel de embalagem, ou óleos.

Outra classificação dos artigos, frequentemente usada no âmbito do MRP – "Material Requirements Planning" carateriza os artigos ou necessidades em:

Independentes e

Dependentes

As necessidades *independentes* correspondem aos artigos finais e as *dependentes* às matérias-primas e componentes, i.e. artigos intermédios, que normalmente representados ou identificados em estruturas, nomenclaturas ou listas de materiais de artigos, formalmente representadas num sistema de informação para MRP. De forma simplificada podemos dizer que estas nomenclaturas são a “receita” de fabricação dos produtos finais que serve de base ao cálculo das necessidades dependentes em MRP.

Na Gestão de Materiais podem-se utilizar métodos previsionais, i.e. não determinísticos, ou deterministicamente calcular as quantidades de artigo a lançar em produção ou em compra. Os métodos previsionais podem ser aplicados a qualquer espécie de artigo cuja procura não seja bem determinada. O cálculo determinístico, no caso de produtos finais é baseado em encomendas de clientes confirmadas ou ordens de fabrico planeadas pelo gestão no caso de produção para stock.

No cálculo das previsões utilizam-se dados históricos e análises de mercado relativas ao período cujas necessidades de artigo se pretendem determinar. Para tal podem usar-se métodos expeditos e empíricos e modelos de previsão que, consoante os casos, poderão incluir tendências e efeitos sazonais ou periódicos. Um exemplo simples de tais modelos é o da média móvel (Montgomery, 1976)

O cálculo determinístico das necessidades de aquisição ou produção de artigo dependente, para cada período de produção planeado, é normalmente feito a partir da necessidade expressas de artigos a produzir, dependentes ou independentes, que para os artigos finais se encontram no Programa Diretor de Produção, e da lista ou nomenclatura de materiais de cada artigo. Assim, com base nas quantidades de produtos a fabricar e dos seus prazos de produção, é possível estabelecer as necessidades brutas que, tendo em conta as existências, permitem determinar as quantidades líquidas a adquirir ou produzir, Figura 3-29. Este mecanismo de estabelecimento das necessidades de matérias-primas e produtos intermédios, é central aos conhecidos sistemas MRP – "Material Requirements Planning"

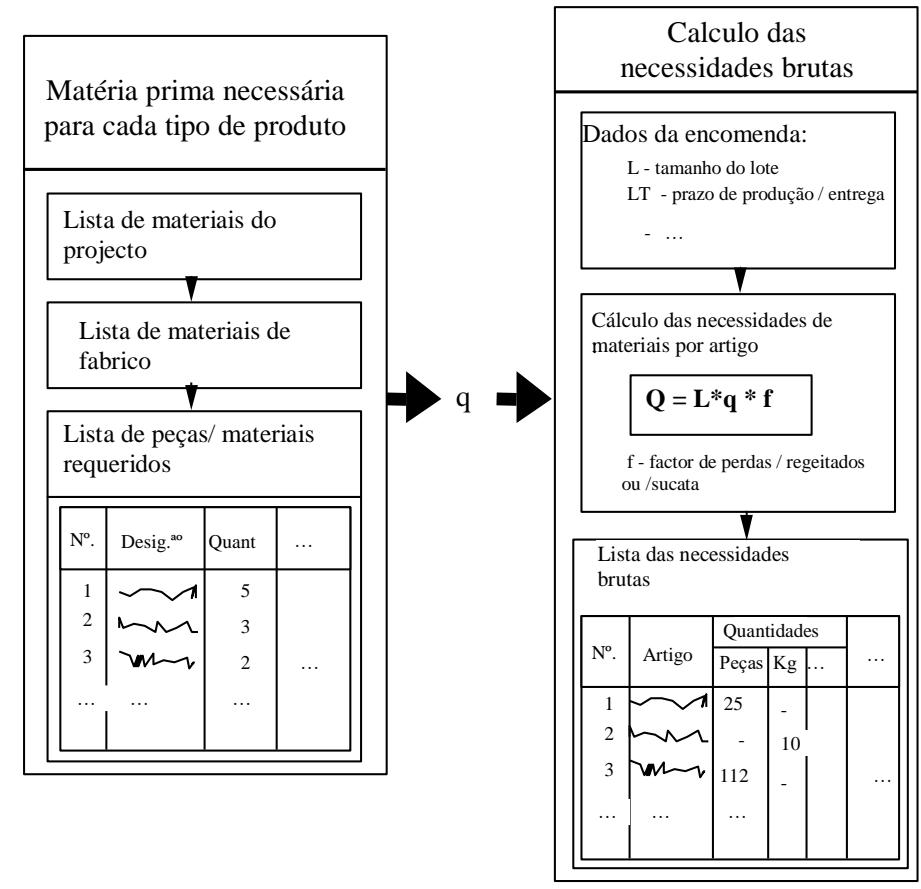


Figura 3-29 - Obtenção das lista de necessidades brutas de materiais

3.3.3. “Material Requirements Planning” MRP – Programação das necessidades de materiais

Os sistemas de programação da produção MRP, inserem-se simultaneamente na função genérica de Gestão de Materiais e na da Programação da Produção

A programação MRP das necessidades de materiais estabelece de uma forma determinística as necessidades líquidas de materiais e correspondentes ordens de compra ou produção para satisfazer o programa de fabrico de artigos finais. O método MRP baseia-se, portanto no Programa Diretor de Produção, PDP, de tal forma que através das nomenclaturas dos artigos (Bills of Material, BOM) é possível calcular com rigor as necessidades de todos os materiais, componentes, peças e matérias-primas necessárias, constituintes dos artigos do programa diretor de produção, nos diferentes períodos (semanas ou dias) através de um processo que se designa de Explosão, Figura 3-30. Juntamente com métodos de loteamento - "lot sizing" a programação MRP estabelece as quantidades de material a encomendar ou produzir, em cada período, expressas num registo designado de lançamentos planeados, programados ou previstos para cada matéria prima ou produto intermédio necessário.

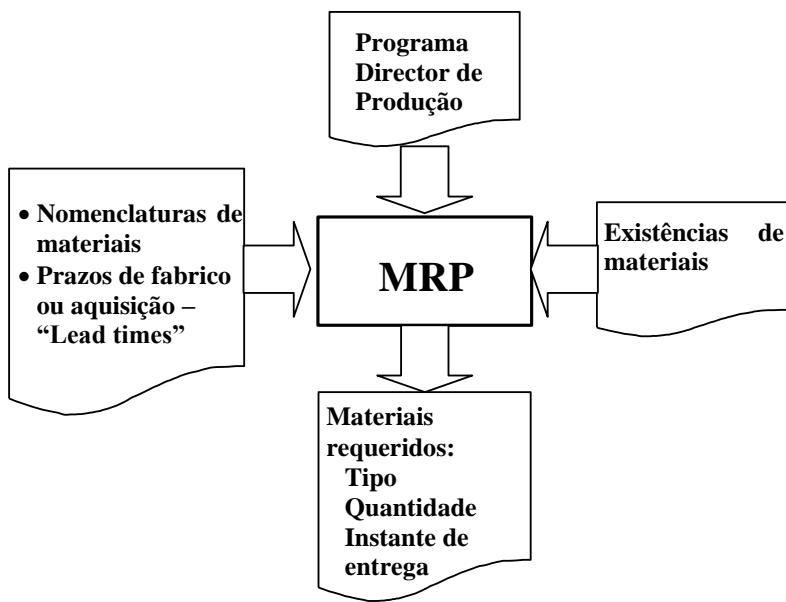


Figura 3-30 - A função explosão no âmbito da programação das necessidades de materiais pelo método determinístico usado nos sistemas MRP

É importante notar que, embora numa empresa se possa considerar haver artigos que claramente são produtos finais, por serem os produtos vendidos ao cliente, uma empresa pode ter outros artigos, vistos como intermédios para a produção dos primeiros, mas que, também podem fazer parte do rol de artigos a vender. Nesta perspetiva claramente alguns devem ser incluídos tanto no Programa Diretor de Produção, como artigo a vender, e outros como num programa MRP como artigo componente de outros artigos a fabricar.

3.3.3.1. Nomenclaturas de Materiais

As nomenclaturas de materiais ou de artigo, de que o MRP se serve, são listas ou registos de materiais necessários para cada artigo, usualmente referidos como *listas de materiais de artigo, nomenclaturas ou estruturas de artigo*. Estas listas identificam e indicam a quantidade e a referência dos componentes ou matérias-primas constituintes de cada artigo de forma a permitir estabelecer as necessidades de todos os componentes a adquirir ou produzir, ou matérias primas, para a produção do artigo final nas quantidades requerida pelos clientes. Outra designação vulgar por que são conhecida a lista de materiais de um artigo é “Bills of Materials” ou simplesmente BOM.

Por vezes as nomenclaturas têm uma composição específica para o planeamento da produção, baseado nas encomendas e/ou previsões de venda e outra para a engenharia de processos e de produto . A primeira composição diz-se que está de acordo com “como se vende o produto”; a segunda diz-se que é específica de “como se faz o produto”. Normalmente a

composição das estruturas para fazer o produto tende a ser mais elaborada que a necessária para estrito planeamento de materiais, portanto associado à compra ou venda de materiais e não tanto à produção.

As nomenclaturas e sua representação estrutural em sistemas informáticos, são absolutamente essenciais aos sistemas MRP e, de um modo geral a todos os sistemas de programação da produção e gestão de materiais.

As nomenclaturas podem ser representadas de variadas formas, umas mais apelativas a uma função, por exemplo de visualização da constituição do produtos, outras a outra, por exemplo cálculo de necessidades de materiais. As nomenclaturas representam, também, frequentemente, o processo de fabrico, claramente mostrando como são uns componentes obtidos a partir de outros ou de matérias primas, formalizando os processos produtivos.

Por o processo produtivo de um artigo não ser instantâneo, é vulgar para efeitos de planeamento e gestão operacional da produção assumir que cada componente ou fase operatória deste leva um certo tempo que vai muito para além do tempo estrito de transformação. Tal tempo é, normalmente estimado com base na experiência e em mecanismos de gestão, sendo vulgarmente referido com "Lead Time (LT)". Este é, em última análise um prazo estipulado para a execução das diferentes tarefas, incluindo por isso todos os tempo envolvidos, desde a aquisição de matérias-primas ao processamento efetivo do artigo incluindo esperas, transporte, preparações etc.. É evidente a importância do LT no processo de programação das necessidades, não só de materiais, mas também de outros recursos de produção, tais como, m-d-o, horas-máquina, energia, dinheiro etc..

Como se comprehende qualquer sistema de Planeamento e Controlo da Produção (PCP) é totalmente dependente das nomenclaturas de artigo. Em ambiente MRP os LTs que se estabelecem para cada lançamento, produção ou aquisição de materiais são também importantes e necessários ao processo de PCP.

As nomenclaturas de materiais, são utilizadas para a determinação rigorosa das necessidades brutas de artigos dependentes a partir do PDP pelo que, além de representarem a ligação estrutural ou produtiva entre os diferentes componentes constituintes do produto deve indicar as quantidades de artigo necessárias de cada componente ou matéria prima.

Estas listas podem apresentar várias formas. A título de exemplo podemos representar um determinado artigo A1 pela sua estrutura arborescente que, totalmente identifica que componentes constituem o artigo e a sua relação estrutural de fabrico, Figura 3-31.

Diversas representações mais simplificadas ou diferentes, com utilidades diferenciadas podem ser estabelecidas como se identifica na mesma figura. Em geral podemos ver as estruturas de materiais segundo duas perspetivas, Figura 3-31:

- quanto aos níveis de representação
- quanto aos suportes ou às formas de representação

Ainda que seja possível identificar uma grande variedade de nomenclaturas, sobe o ponto de vista da sua utilidade, no quer no planeamento, quer na produção, quer ainda para efeitos de manipulação de informática, é relevante, neste momento, identificar e compreender dois tipos de estruturas fundamentais, nomeadamente:

- A nomenclatura multi-nível e a
- A nomenclatura de nível único,

Como suportes ou formas de representação de nomenclaturas podemos identificar árvores invertidas, listas aninhadas, matrizes e grafos. Estes são por vezes referidos como grafos *gozinto* como acrónimo da expressão “*goes into*”.

Nomenclatura multi-nível

Para cada artigo distinto podemos estabelecer a sua nomenclatura multi-nível.

Neste tipo de estrutura podemos identificar claramente as matérias primas. Estas não são constituídas por outros materiais. Assim, M1, M2, M3, M4 e A5 podem considerar-se matérias-primas usadas para o fabrico do produto A1.

No artigo intermédio A4 é usado apenas de matéria prima do tipo M4. Se este produto intermédio resultar da transformação de uma única peça por ação de operações de fabricação, mas não de montagem, podemos designá-lo por *produtos simples*. Podemos designar os produtos A1, A2 e A3 por *produtos compostos* na medida em que resultam da transformação por ação de montagem, podendo incluir outro tipo de operações.

Nomenclatura de nível único,

Esta nomenclatura representa a constituição de um artigo a um único nível, referindo apenas quais os componentes ou matérias-primas mais próximas necessários à obtenção do artigo. Apesar da sua simplicidade, é possível representar um produto complexo, através de listas de nível único ligadas. A ligação das três listas, A1, A2 e A3 permite totalmente representar o produto final A1, acima representado.

	Multinível	Nível único																																																																																															
Árvore invertida	<pre> graph TD A1[A1] --- A2[A2] A1 --- A3[A3] A1 --- A4[A4] A1 --- A5[2A5] A2 --- A3_1[A3] A2 --- M1[M1] A3 --- M1_1[M1] A3 --- M2[M2] A3 --- A5_1[2M3] A4 --- M4[M4] A5 --- M1_2[M1] A5 --- M2_1[M2] A5 --- A5_2[2M3] </pre>	<pre> graph TD A1[A1] --- A2[A2] A1 --- A3[A3] A1 --- A4[A4] A1 --- A5[2A5] A2 --- A3_1[A3] A2 --- M1[M1] A3 --- M1_1[M1] A3 --- M2[M2] A3 --- M3[M3] A4 --- M4[M4] A5 --- M1_2[M1] A5 --- M2_1[M2] A5 --- A5_2[2M3] </pre>																																																																																															
Lista Aninhada	<pre> graph TD A1[A1] --- A2[A2] A1 --- A3[A3] A1 --- A4[A4] A1 --- A5[2A5] A2 --- A3_1[A3] A2 --- M1[M1] A3 --- M1_1[M1] A3 --- M2[M2] A3 --- A5_1[2M3] A4 --- M4[M4] A5 --- M1_2[M1] A5 --- M2_1[M2] A5 --- A5_2[2M3] </pre>	<table border="1"> <tr><td>A1</td><td>A2</td><td>A3</td><td>A4</td><td>A5</td><td>M1</td><td>M2</td><td>M3</td><td>M4</td></tr> <tr><td>A1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A2</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>A4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> </table>	A1	A2	A3	A4	A5	M1	M2	M3	M4	A1	1	1	1	2					A2		1			1				A3					1	1	2		A4								1																																																		
A1	A2	A3	A4	A5	M1	M2	M3	M4																																																																																									
A1	1	1	1	2																																																																																													
A2		1			1																																																																																												
A3					1	1	2																																																																																										
A4								1																																																																																									
Matriz	<table border="1"> <tr><td></td><td>A1</td><td>A2</td><td>A3</td><td>A4</td><td>A5</td><td>M1</td><td>M2</td><td>M3</td><td>M4</td></tr> <tr><td>A1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A2</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> </table>		A1	A2	A3	A4	A5	M1	M2	M3	M4	A1	1	1	1	2						A2		1			1					A3					1	1	2			A4									1	<table border="1"> <tr><td>A1</td><td>A2</td><td>A3</td><td>A4</td><td>A5</td><td>M1</td><td>M2</td><td>M3</td><td>M4</td></tr> <tr><td>A1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A2</td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A3</td><td></td><td></td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td></tr> </table>	A1	A2	A3	A4	A5	M1	M2	M3	M4	A1	1	1	1	2					A2		1			1				A3			1	1	2				A4						1		
	A1	A2	A3	A4	A5	M1	M2	M3	M4																																																																																								
A1	1	1	1	2																																																																																													
A2		1			1																																																																																												
A3					1	1	2																																																																																										
A4									1																																																																																								
A1	A2	A3	A4	A5	M1	M2	M3	M4																																																																																									
A1	1	1	1	2																																																																																													
A2		1			1																																																																																												
A3			1	1	2																																																																																												
A4						1																																																																																											
Grafo	<pre> graph TD A1((A1)) --- A2((A2)) A1 --- A3((A3)) A1 --- A4((A4)) A1 --- A5((A5)) A1 --- A6((A6)) A2 --- A3 A3 --- A4 A3 --- A5 A3 --- A6 A4 --- A5 A4 --- A6 A5 --- A6 A1 --- M1((M1)) A1 --- M2((M2)) A1 --- M3((M3)) A1 --- M4((M4)) A1 --- M5((M5)) A1 --- M6((M6)) A2 --- M1 A2 --- M2 A3 --- M3 A3 --- M4 A4 --- M5 A5 --- M5 A5 --- M6 A6 --- M6 </pre>	<pre> graph TD A1((A1)) --- A2((A2)) A1 --- A3((A3)) A1 --- A4((A4)) A1 --- A5((A5)) A1 --- A6((A6)) A2 --- A3 A3 --- A4 A3 --- A5 A3 --- A6 A4 --- A5 A4 --- A6 A5 --- A6 A1 --- M1((M1)) A1 --- M2((M2)) A1 --- M3((M3)) A1 --- M4((M4)) A1 --- M5((M5)) A1 --- M6((M6)) A2 --- M1 A2 --- M2 A3 --- M3 A3 --- M4 A4 --- M5 A5 --- M5 A5 --- M6 A6 --- M6 </pre>																																																																																															

Figura 3-31 - Diferentes representações de estruturas ou nomenclaturas de materiais segundo duas perspetivas: nível e forma de representação.

Grafo da estrutura do artigo

O grafo é um instrumento de grande poder de representação e formalização da estrutura de artigos. Na realidade não só a composição estrutural do artigo final é clara como também o é a dos seus componentes através do grafo da nomenclatura. Teoricamente, é possível construir um grafo complexo contendo todas as nomenclaturas dos artigos de uma empresa.

No grafo representado na Figura 3-31 é visível que se A1 for considerado um artigo final ele é também um artigo intermédio no seu papel de componente do artigo A10. Os artigos A5 e A6 não têm componentes, podendo ser obtidos ou por aquisição ou produção. O mesmo acontece com todos os artigos Mi. No caso destes artigos serem adquiridos, podem considerar-se matérias primas, i.e. os materiais aos quais será acrescentado valor pela empresa.

3.3.3.2. Tipos de Nomenclaturas de Materiais – Objeto representado

As listas ou nomenclaturas de materiais podem representar dois tipos principais de objetos:

- Artigos e
- Famílias de artigos

A estrutura de artigos pode ser complexa, referindo-se a todos os componentes, matérias-primas e componentes do artigo, ou apenas representando os componentes necessários ao processo da sua montagem, se existir. Esta última representação é relevante na Montagem por Encomenda – *Assembly to Order* (ATO).

Portanto, nem sempre uma lista refere um artigo bem determinado a produzir. Por razões diversas, entre as quais a necessidade de sinteticamente representar toda a gama de artigos a produzir, ou impossibilidade de poder referenciar o artigo antes de formalização das encomendas, recorre-se a lista de materiais, referidas como super listas ou super nomenclaturas. Alguns autores referem-nas, por vezes, como estruturas de planeamento de materiais - “Planning Bills of Materials” - (Vollmann, 1992). Cada uma das super nomenclaturas, de forma implícita, representa uma variedade de artigos da mesma família de artigos, que diferem apenas nas suas *variantes* e *opções*. Um exemplo de uma estrutura de planeamento é mostrada na Figura 3-7. Portanto as super-nomenclaturas são particularmente apropriadas para responder às necessidades de planeamento resultantes de opções e variantes dos artigos. Se facta, não especificam as quantidades de cada artigo dependente mas sim as proporções, que podem ser consideradas na programação, de cada uma das suas variantes ou opções.

Um caso paradigmático das famílias de artigos definidas pelas opções e variantes, são aquelas produzidas por produção modular. Nesta, como sabemos, os variados artigos são obtidos por combinação de um conjunto de módulos especialmente desenhados para possibilitar a oferta de uma variedade grande de artigos a partir de um número reduzido de componentes complexos chamados módulos. Quer estejamos perante a produção modular ou não, as super-listas ou super-nomenclaturas são de facto úteis à explosão do PDP baseado em famílias. De

facto, quando tais listas são usadas, o PDP é feito na base de famílias de artigos, que serão então desagregadas por rácios. Estes são, geralmente, obtidos a partir de previsões da procura, que permitem fazer a imputação dos módulos ou componentes, na sua lógica de variantes e opções, ao produto genérico representado pela família. Desta forma, especificam-se, definem-se ou determinam-se os produtos finais a produzir ou, simplesmente, os módulos, componentes e peças, i.e. produtos intermédios, necessários à montagem oportuna de artigos posteriormente confirmados ou encomendados. Nesta perspetiva, podemos dizer que há primeiro um PDP produção de módulos e componentes a armazenar, isto é, produção para stock de módulos e componentes, seguindo, posteriormente de um Programa Diretor de Montagem (PDM) – “*Assembly Schedule*” - para a fabricação final dos artigos, próximo da data de entregas destes. Esta requer a recolha dos produtos intermédios em stock ou em vias de fabrico, e eventualmente algumas matérias primas, nas quantidades necessárias à montagem dos artigos.

Além de se poder estabelecer o PDP para cada das opções e variantes assinaladas na super-nomenclatura a representação do cilindro (Figura 3-7) sugere que este componente além de integrar o grupo de componentes comuns pode também ser vendido como peça sobressalente e portanto como um artigo final. Neste papel, deverá ser incluído no PDP se alguns cilindros sobressalentes tiverem de ser vendidos.

3.3.3.3. Explosão - Necessidades de Materiais em ambiente MRP

Como é evidente as necessidades líquidas de um artigo para um período de produção são dependentes das necessidades brutas para o período e das existências no início do período. As existências devem ser descontadas às necessidades brutas para obter as necessidades líquidas.

O cálculo das necessidades brutas de artigos dependentes é sempre dependente dos lançamentos dos artigos pai.

Por outro lado, se o prazo previsto ou planeado, lead time (LT), de obtenção (aquisição ou produção), do artigo A1, cuja estrutura se apresenta na Figura 3-32, for de 1 (um) período e o tamanho do lote recomendado ou ótimo de 50 unidades, então, face às necessidades líquidas os lançamentos previstos seriam:

REGISTOS PARA O ARTIGO A1	PERÍODOS	1	2	3	4	5	6
NECESSIDADES LÍQUIDAS	NL_i					6	10
LANÇAMENTOS PREVISTOS OU PROGRAMADOS	L_i				50		

e, tendo em conta a estrutura do artigo A1, as necessidades brutas de, por exemplo, A4 e A5 seriam as indicadas a seguir:

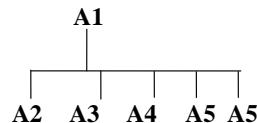


Figura 3-32 - Estrutura de nível único do artigo A1

NECESSIDADES BRUTAS	PERÍODOS	1	2	3	4	5	6
ARTIGO A4 <i>NB</i>					50		
ARTIGO A5 <i>NB</i>					100		

Planejar lançamentos significa, portanto, estabelecer ordens de aquisição ou de produção de artigos, ou serviços, tendo em conta as necessidades de cada um face ao PDP a cumprir e, ainda, a estratégia ou esquema de produção estabelecido no que concerne à repetibilidade de produção e ao tamanho dos lotes. Neste contexto as três abordagens puras usadas no estabelecimento do PDP, que permitiam definir as quantidades a produzir para os artigos acabados em cada período, nomeadamente o seguimento da procura, produção constante uniforme, e lotes de produção, são também aplicáveis à aquisição de matérias-primas ou à produção de artigos intermédios. Combinações destas abordagens podem também ser equacionadas. A diferença é que as quantidades a lançar são dependentes da procura por via indireta, i.e. por via do PDP, e não diretamente pela análise previsional da procura de cada artigo. Entram também em linha de conta as existências de artigo para estabelecer as necessidades líquidas, essas sim determinantes do tamanho das ordens a lançar Figura 3-33.

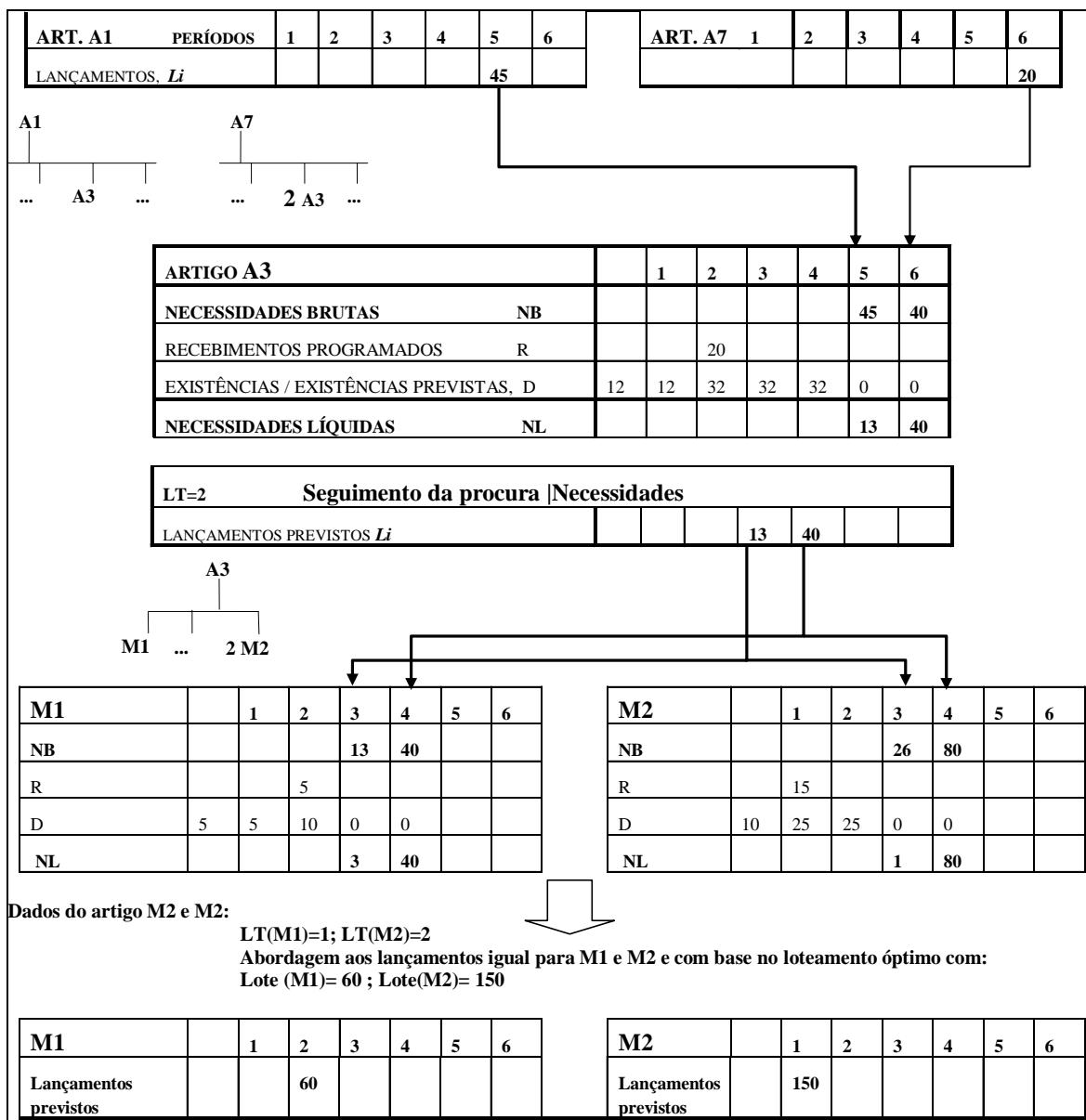


Figura 3-33 - Estabelecimento de lançamentos previstos com base no PDP dos artigos A1 e A7. Lançamentos de A3 usando o seguimento da procura; Lançamentos de M1 e M2 usando “lotes ‘ótimo’”

Como se vê as abordagens referidas, usadas no âmbito do PDP têm um enquadramento e estão relacionadas com as estratégias e planeamento de lançamentos acima referidas. Ainda que a aplicação destas estratégias ou abordagens tenha sido referida de uma forma genérica, não está claro o seu impacto na aplicação em componentes de estrutura complexa multi-nível.

É pertinente, neste momento, observar a Figura 3-33 e compará-la com a Figura 3-34. A primeira resolve o problema de estabelecimento dos lançamentos do produto intermédio A3 seguindo as necessidades líquidas – “*Chasing approach*” - e a segunda através de lotes económicos.

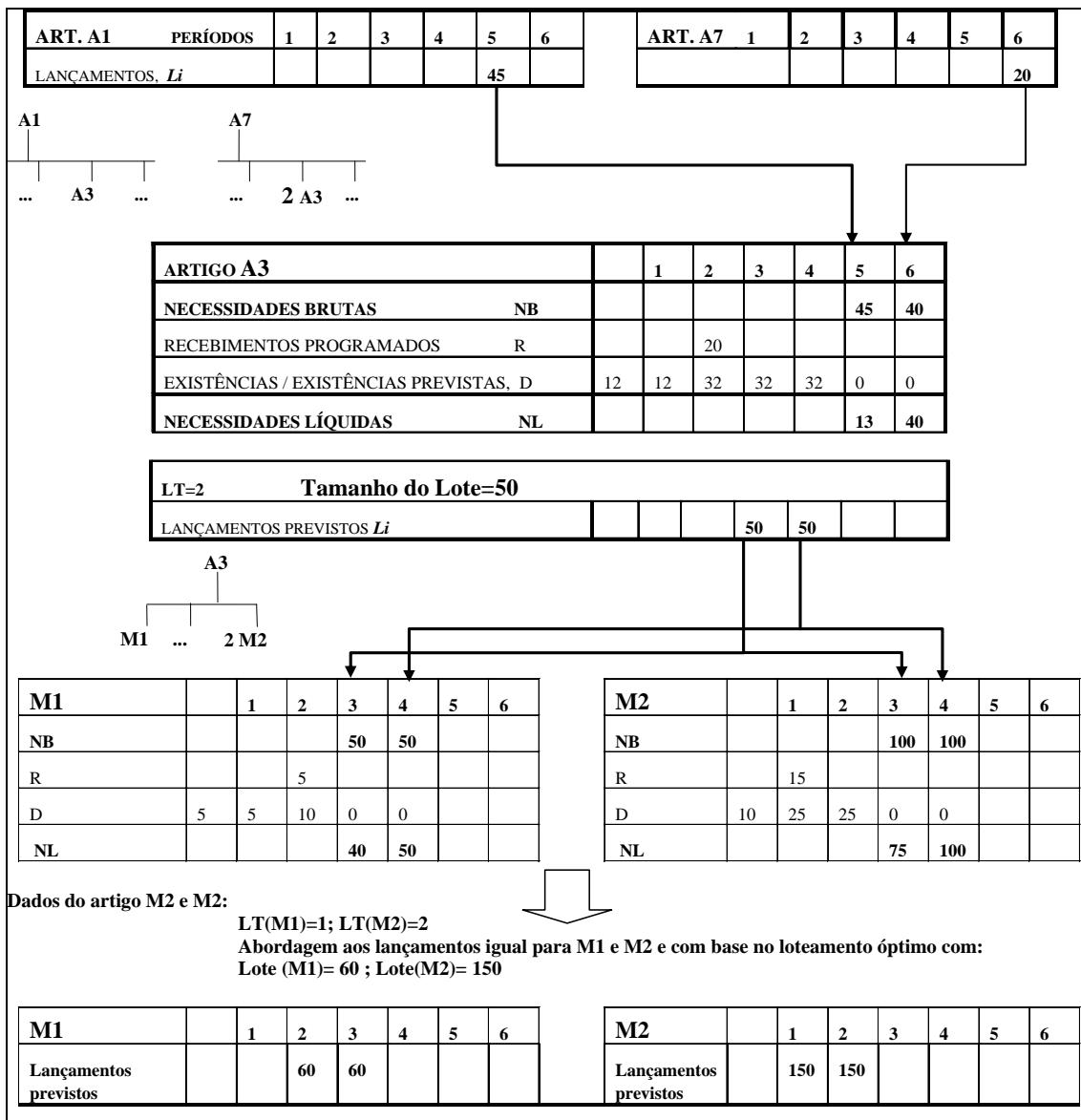


Figura 3-34 – Efeito do uso de lotes económicos de produção de produtos intermédios

Como se vê inicialmente, na Figura 3-33, foram adquiridas apenas 53 unidades de A3. Estas originaram a necessidade de adquirir 43 unidades de M1 e 81 unidades de M2. devido à aquisição de M1 e M2 em lotes, tais necessidades deram origem a um lote de 60 unidades de M1 e um de 150 de M2.

A utilização de lotes económicos de 50 unidades de artigo para A3, mostrada na Figura 3-34, originou lançamentos previstos, para as mesmas necessidades de A1 e A7, de 100 unidades do artigo A3, e consequentemente necessidades de M1 e M2 de 90 e 175 respetivamente. Daqui resultou a necessidade de lançar 120 unidades, em dois lotes de 60 unidades cada, de M1 e 300 unidades, em dois de 150 cada de M2.

Se houvesse mais níveis intermédios na estrutura do produto explodido, usando-se a estratégia dos lotes ótimos originar-se-ia um crescimento em cascata de existências de produtos intermédios e matérias-primas muito para além do necessário face ao PDP. É por este facto que normalmente é recomendado que para os produtos intermédios se adote um processo de estipulação de lançamentos baseado na estratégia de seguimento das necessidades líquidas ou da procura. Por outro lado para as matérias primas, i.e. os últimos artigos da cadeia da estrutura do artigo, i.e. do nível último, inferior ou mais baixo da nomenclatura, as estratégia recomendada é a de lote ótimos, em períodos regulares ou irregulares Figura 3-35.

Em qualquer destes casos, reside a preocupação de evitar roturas mantendo os custos de stock baixos, restrições condicionantes do tamanho do lote e do intervalo periódico de lançamento.

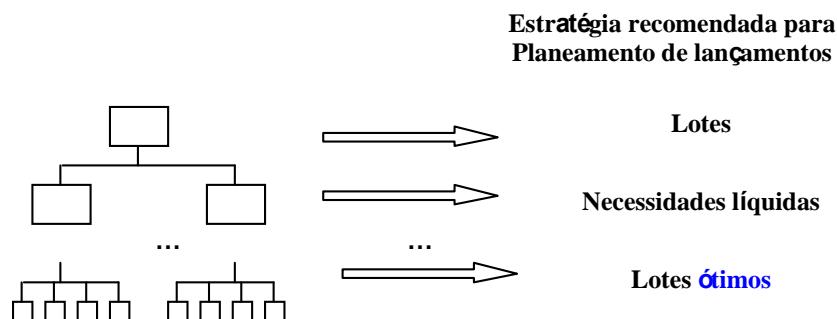


Figura 3-35 - Estratégia a adotar para no estabelecimento de lançamentos para os diferentes artigos de uma estrutura de materiais.”

3.3.3.4. Pegging

Pegging é o procedimento implementado em sistemas informatizados de gestão de materiais, tipo MRP, que permite identificar a que encomendas ou lançamentos de artigo são destinados os materiais requisitados, encomendados ou lancados em fabrico.

Um exemplo elucidativo é apresentado por Halevi (1980) , na Figura 3-36.

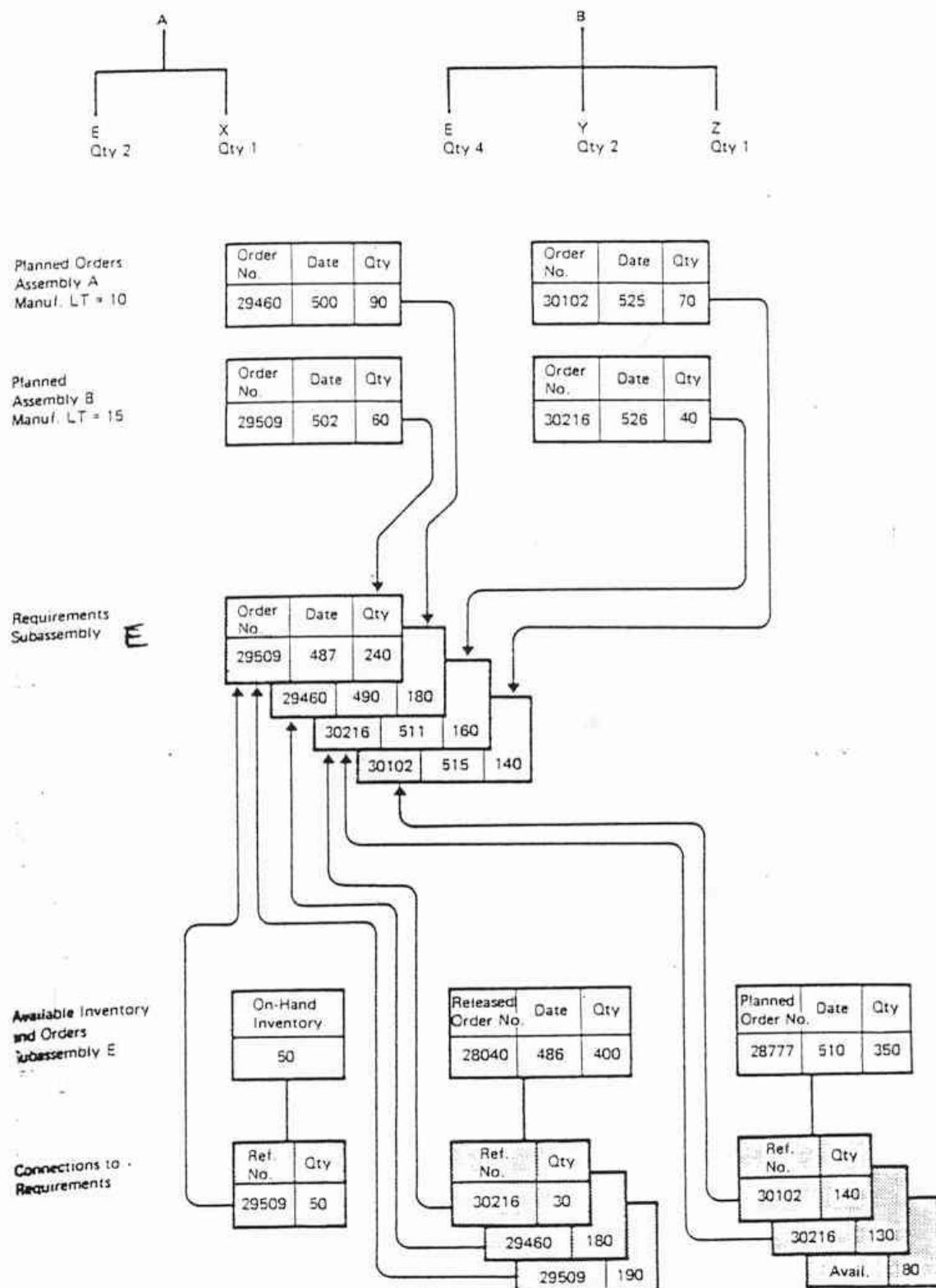


Figura 3-36 - Conceito de “pegging e dados básicos requeridos [Halevi, 1980]

3.3.3.5. Código de Nível Inferior (CNI) – " Low Level Coding "

Perante a existência de um PDP e a necessidade de explodir as várias nomenclaturas para determinar as quantidades necessárias dos diferentes materiais, i.e., artigos, o problema pode tornar-se moroso se nenhum método sistemático e simplificativo for estabelecido para abreviar o processo.

Nos sistemas MRP o conceito de *código de nível inferior* é usado para seletiva sucessivamente ir calculando de uma forma fácil e rápida, as quantidades de materiais necessárias face a um dado plano diretor de uma variedade de artigos . Cada artigo ou material, tem um único código de nível que corresponde ao posicionamento do nível onde mais baixo aparece como componente de outro, conta tida de todos os artigos de que faz parte, Figura 3-37, existente na base de dados da empresa. Desta forma o cálculo das quantidades começa pelos artigos de nível superior, que são naturalmente os artigos acabados e de venda, não constituintes de qualquer outro artigo, e vai sucessivamente tomando os artigos cujo nível inferior é o seguinte até chegar ao artigo nível mais baixo codificado na base de dados. Naturalmente que nem todos os artigos da base de dados têm de ser considerados para cálculo, mas somente os do PDP e seus dependentes. Deve-se notar que o CNI de uns artigos pode ser elevado, na verdade zero, i.e. o máximo, e o de outros mais baixo, tendo uns artigos um CNI e outros outro.

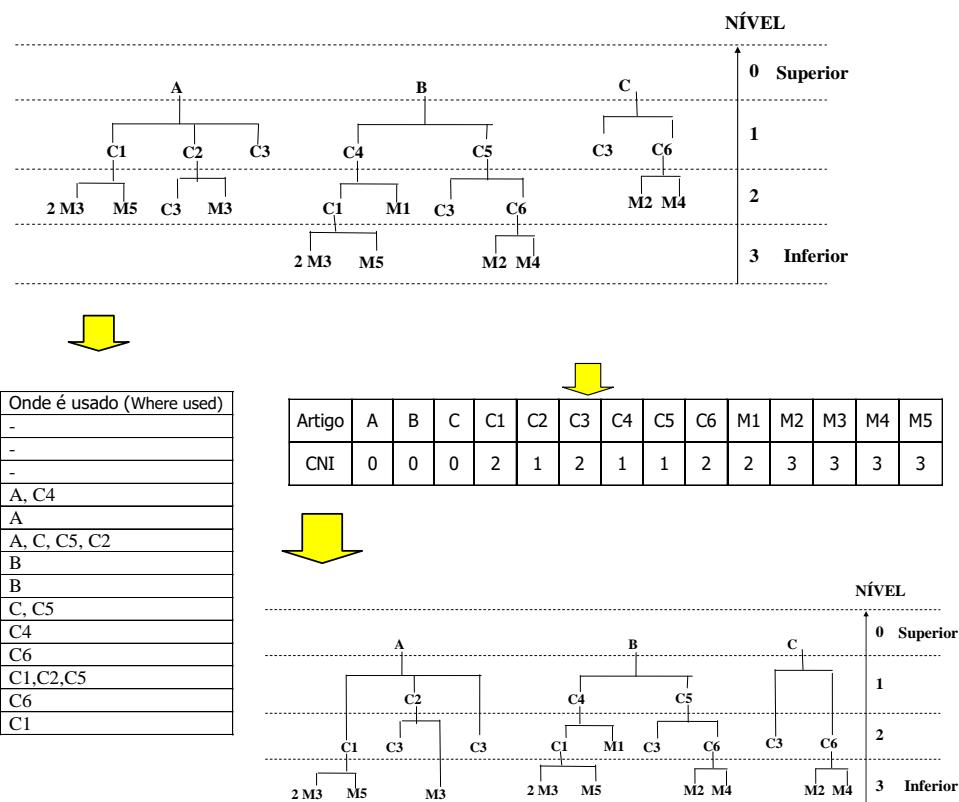


Figura 3-37 – Mecanismo de cálculo de necessidades e código de nível inferior de cada artigo

A representação da informação estrutural dos artigos assim como informação complementar de lançamento pode então ser sumarizada na tabela da Figura 3-38

Artigo	Onde é usado	Nível	A	B	C	C2	C4	C5	C1	C3	C6	M1	M2	M3	M4	M5
		CNI	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3
A	Necs Indp	0														
B	Necs Indp	0														
C	Necs Indp	0														
C2	A	1	1													
C4	B	1		1												
C5	B	1		1												
C1	A, C4	2	1					1								
C3	A, C, C5, C2	2	1			1	1			1						
C6	C, C5	2			1				1							
M1	C4	2					1									
M2	C6	3									1					
M3	C1,C2,C 5	3				1			2				1			
M4	C6	3														
M5	C1	3							1							

Figura 3-38 –Mecanismo Low level coding e quantidades necessárias de artigo por unidade de artigo pai

3.3.4. Planeamento de lançamentos

Como se referiu, um lançamento é uma ordem de aquisição ou produção de uma dada quantidade de um artigo, emitida numa certa data para entrega do artigo após um determinado prazo. Este prazo refere-se, no âmbito do MRP, como "Lead Time (LT)". Pode ser visto numa aceção restrita para significar um prazo planeado de fabrico ou, numa aceção alargada, para incluir não só o prazo de fabrico como também o prazo de compra e fornecimento de matérias-primas ou de serviços.

O objetivo do Planeamento de Lançamentos é a obtenção de materiais nas quantidades necessárias e o estabelecimento dos instantes de lançamento de forma a estarem disponíveis nas quantidades requeridas quando necessário. Este planeamento deverá ter preocupações de eficiência, pelo que as quantidades apropriadas, sob o ponto de vista dos custos, prazos e qualidade, deverão ser adquiridas.

O Planeamento de lançamentos exige um processo relacionado de supervisão e monitorização de todo o processo de aquisição de materiais e produção. Em particular, o controlo dos prazos de entrega ou de produção dos materiais, são determinantes para estabelecer as data dos lançamentos que, no fundo, são uma função crítica do processo de programação da produção.

Vê-se portanto que a gestão de materiais e a programação da produção são claramente funções interligadas, devendo mesmo estar integradas.

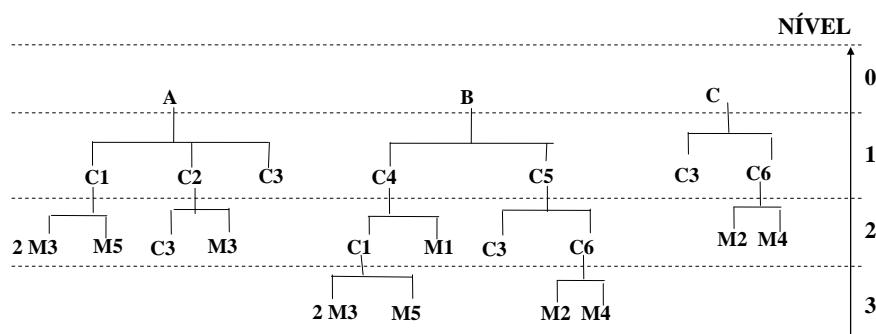
Abordagens aos lançamentos

Note que os lançamentos podem fazer-se em lotes ditos ótimos ou simplesmente ordenar o lançamento da quantidade estritamente necessária para o período, isto é, seguindo as necessidades líquidas. A designação desta abordagem aos estabelecimentos de lançamentos é também conhecida por "lot-for-lot (LFL)" ou "chasing approach".

Fazer lançamentos planeados iguais em todos os períodos capazes de satisfazer a procura para um horizonte alargado de vários períodos designa-se por abordagem nivelada – "levelling approach".

Exercício – Cálculo de necessidades de materiais e planeamento de lançamentos

Considere a seguinte estrutura de artigos:



- a) Complete a tabela nas zonas sombreadas no que for necessário.

LFL = Seguim. da procura	Abordagens de Loteam.	30	20	20	50	LFL	100	LFL	50	LFL	
Laed time	LT	1	1	1	1	1	2	1	1	1	
Artigo	Onde é usado	CNI (LLC)	A	B	C	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A	Necs Indp	0									
B	Necs Indp	0									
C	Necs Indp	0									
C1	A, C4		1					1			
C2		1	1								
C3			1		1		1			1	
C4	B	1		1							
C5		1		1							
C6	C, C5	2			1					1	
M1	C4	2						1			
M2	C6										
M3	C1,C2	3					1				
M4	C6	3									
M5	C1	3					1				

b) Liste os artigos:

comprados:..

produzidos:

c) Preencha os quadros QI, QII e QIII no que for necessário e diga qual foi a sua ordem de preenchimento. Atenda às abordagens de loteamento e Lead Times indicados na tabela da al. a), às necessidades líquidas de A, B e C e a que as existências de cada artigo são as indicadas.

Artigo	where used	CNI	Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			Regs.										
A		0	NL						10				
B		0	NL						12				
C		0	NL						13	15			

QI Período Artigo: C3	1	2	3	4	5	6
Necs. Brutas						
Exists.Prevs [50]						
Lançams.(100)						
QII Período Artigo: C2	1	2	3	4	5	6
Necs. Brutas						
Exists.Prevs [10]						
Lançams.(LFL)						
QIII: Período Artigo: C5	1	2	3	4	5	6
Necs. Brutas						
Exists.Prevs [10]						
Lançams.(50)						

Resolução

- a) Com base na estrutura de artigos indicada podemos construir a informação de low level coding e as quantidades necessárias de artigo por cada unidade de artigo pai. Podemos completar a tabela.

LFL = Seguim. da procura		Abordagens de Loteam.	30	20	20	50	LFL	100	LFL	50	LFL
Laed time		LT	1	1	1	1	1	2	1	1	1
Artigo	Onde é usado	CNI (LLC)	A	B	C	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A	Necs Indp	0									
B	Necs Indp	0									
C	Necs Indp	0									
C1	A, C4	2	1						1		
C2	A	1	1								
C3	A, C, C5, C2	2	2		1		1			1	
C4	B	1		1							
C5	B	1		1							
C6	C, C5	2			1					1	
M1	C4	2							1		
M2	C6	3									1
M3	C1,C2	3				2	1				
M4	C6	3									1
M5	C1	3				1					

b)

Artigos comprados

Claramente os artigos comprados são aqueles que não são fabricados e são todos aqueles que não têm composição de artigo e se podem identificar como matérias-primas.

Podem identificarem-se como sendo os que na coluna “where used” não aparecem, ou seja, os que têm o maior LLC ou não são compostos por nenhuns artigos, ∴ M2,M3,M4 e M5 e C3

Artigos fabricados

São todos os que têm outros na sua composição e portanto aparecem na coluna “where used”, i.e.: A, B, C, C1, C2, C4, C5, C6.

Note que na prática, uma empresa pode sempre mandar fazer um artigo que também pode fabricar. Neste caso o artigo é simultaneamente de compra e de fabrico.

- c) Face às necessidades líquidas e loteamento indicado para A, B e C, podemos definir os seguintes lançamentos tendo em conta o LT de fabrico:

Lançamentos de A, B e C						
Período Artigo	1	2	3	4	5	6
A					30	
B					20	
C					20	20

Uma vez que são os lançamentos que determinam as necessidades brutas de artigo e, no sentido de não ter de repetir cálculos, deve começar-se por estabelecer necessidades e lançamentos dos artigos por ordem do seu LLC. Assim o quadro II e QIII são preenchidos primeiro, em qualquer ordem já que correspondem a artigos com o mesmo LLC e depois o quadro II que se alimenta não só dos lançamentos de C2 e C5, mas também dos artigos de venda A e C.

QI Período Artigo: C3	1	2	3	4	5	6
Necs. Brutas				20+50	2*30+20=80	20
Exists.Prevs [50]	50	50	50	80	0	80
Lançams.(100)		100		100		
QII Período Artigo: C2	1	2	3	4	5	6
Necs. Brutas					30	
Exists.Prevs [10]	10	10	10	10	0	
Lançams.(LFL)				20	0	
QIII: Período Artigo: C5	1	2	3	4	5	6
Necs. Brutas					20	20
Exists.Prevs [10]				10	40	20
Lançams.(50)				50		

O planeamento de lançamentos, como se viu na resolução dos exercícios, é função da seguinte informação:

- Low level code (CNI)
- Necessidades líquidas (NL)
- Existências (Stock) (E)
- Política de loteamento e
- Lead Times (LT)

3.3.4.1. Estratégias de Planeamento de Lançamentos

Genericamente o *Planeamento de Lançamentos* é baseado em quatro estratégias, para a determinação do momento de lançamento:

- Lançamentos seguindo as necessidades líquidas
- Lançamentos cíclicos ou periódicos de lotes de tamanho variável
- Lançamentos acíclicos, dependentes do nível e stock, de lotes económicos
- Lançamentos periódicos de lotes económicos

A última estratégia referida é, na verdade, uma combinação da segunda e terceira. A Figura 3-39 ilustra as três primeiras e a sua utilidade.

Estas estratégias são dependentes de várias características dos artigos e da procura ou do consumo.

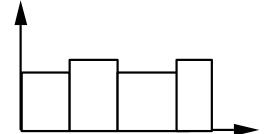
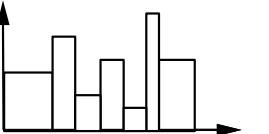
Estratégia	SEGUINDO AS NECESSIDADES LÍQUIDAS	LANÇAMENTOS PERIÓDICOS	LANÇAMENTOS DEPENDENTES DOS NÍVEIS DE STOCK
Princípio	 Necessidades esporádicas ou determinísticas	 Necessidades constantes	 Necessidades irregulares
Aplicação	<ul style="list-style-type: none"> Artigos de um programa MRP Artigos normalmente caros, específicos de produtos de fabrico irregular ou esporádico e em pequenas quantidades 	Aquisição regular em datas pré-determinadas e quantidades variáveis, de artigos de consumo regular	Aquisição de quantidades económicas de artigos de consumo contínuo mas irregular.
Exemplo	<ul style="list-style-type: none"> Caixas de velocidades especiais. Artigos especialmente caros Artigos programados em MRP 	Artigos de consumo corrente típico da fabricação em série.	Produtos intermédios e semi-acabados em fabricação unitária ou de pequenas séries.
Consumo	-Irregular -Descontínuo	-Regular -Contínuo	-Irregular -Contínuo
Quantidade de encomenda	VARIÁVEL	VARIÁVEL LOTE ECONÓMICO	LOTE ECONÓMICO

Figura 3-39 - Estratégias subjacentes à aquisição de materiais ou produção de artigos

Os métodos ou mecanismos baseados na estratégia das necessidades líquidas são determinísticos e assentam na análise individual das encomendas de clientes ou previsões de produção de artigos acabados que permitem estabelecer o Programa Diretor de Produção (PDP). Pode-se então determinar com rigor as necessidades de materiais dependentes do PDP ou das encomendas para cada período e fazer lançamentos correspondentes. Esta estratégia é em tudo similar à referida como seguimento da procura usada para o PDP. A estratégia deve ser aplicada, em geral, em artigos de custo elevado, pequeno consumo, necessidades

irregulares e a artigos da classe A de uma curva do valor de stock de artigos, to tipo ABC ou de Pareto. Como se comprehende os sistema MRP facilitam a implementação desta estratégia, não havendo impedimento de a adotar para qualquer artigo programado pelo sistema MRP, uma vez que as necessidades dependentes podem ser calculadas.

Na estratégia de planeamento de lançamentos periódicos as ordens são lançadas regularmente em instantes bem determinados. Os mecanismos que implementam esta estratégia são particularmente apropriados para artigos de consumo relativamente constante podendo variações periódicas ou tendências do consumo serem tomadas em consideração. Por este facto, geralmente, as quantidades a lançar são variáveis, dependendo do consumo em períodos anteriores. Tanto artigos do tipo B como C da curva de Pareto, podem usar esta estratégia. Esta estratégia também pode ser aplicada em ambiente MRP. Neste caso o tamanho do lote depende das necessidades para cada período de lançamento e, por isso, será previsivelmente variável. Em situações de nivelamento de lançamentos, distribui-se uniformemente as necessidades, de um horizonte futuro alargado, em lançamentos periódicos de lotes do mesmo tamanho. Esta abordagem já foi referida para o Planeamento Diretor de Produção.

Na estratégia de lançamentos baseada nos níveis de stock , i. e. quantidades em stock, os lançamentos realizam-se quando um determinado nível de stock é atingido. A área de aplicação mais frequente desta estratégia é na obtenção de artigos de consumo contínuo mas de necessidades quantitativas irregulares, isto é muito variáveis, como é o caso de uma grande parte dos artigos do tipo B e C.

O processo de planeamento de lançamentos é influenciado pelas necessidades de operacionais do sistema de produção para satisfazer compromissos de mercado e é fortemente relacionado com o que tradicionalmente se designa de Gestão Económica de Stocks. Esta gestão faz uso das estratégias acima referidas e pode utilizar também uma variedade considerável de modelos matemáticos, ditos de otimização, para estabelecer as chamadas quantidades económicas de encomenda ou de produção tendo em consideração o comportamento da procura, prazos de entrega, custos diversos, incluindo os de gestão, de preparação, de uso de recursos, do capital e dos materiais e ainda, no caso de aquisições, descontos de quantidade.

Os modelos de gestão de stocks são baseados num certo ambiente restritivo de aplicação, sendo necessário, para correta aplicação dos modelos, uma forte correspondência entre as restrições de um modelo e a situação real existente. Mais, a sua aplicação requer dados que muitas vezes são difíceis de obter com a precisão necessária. Frequentemente tal

correspondência e dados precisos não existem pelo que a aplicação é quase sempre baseada numa certa simplificação da realidade.

Apesar disso a abordagem matemática pode ser integrada, com vantagem, em ambiente MRP, para a determinação dos tamanhos dos lotes de lançamento

Num processo tradicional de reposição de “stocks” podemos identificar alguns métodos típicos de gestão de stocks para determinar, não só o momento para fazer um lançamento ou encomenda, mas também o tamanho do lote a lançar. Tais métodos baseiam-se em três paradigmas ou esquemas de revisão ou controlo de stock, tendo em conta a periodicidade de controlo.

- O controlo contínuo,
- O controlo periódico, e
- O controlo híbrido que combina o controlo contínuo com o periódico

Estes paradigmas estão estreitamente relacionados com as estratégias de lançamento acima referidas.

No paradigma de *controlo contínuo*, Figura 3.40, o nível de stock do artigo é continuamente monitorizado para verificar se um determinado nível *mínimo s* de stock, referido como *ponto de encomenda*, é atingido. Quando o é, então um lançamento é feito, para a encomenda ou produção de uma dada quantidade de artigo. No caso mais paradigmático a quantidade a lançar é constante e geralmente igual à chamada quantidade económica de lançamento, i.e. encomenda ou produção conforme o artigo é comprado ou produzido. O nível de stock *máximo S*, é conhecido por *nível de reposição ou enchimento*.

Como se comprehende, a necessidade de continuamente verificar os níveis de stock tem a ver com a grande variabilidade de consumo do artigo.

No paradigma de *controlo periódico*, Figura 3.41, é definido um período *t* para estabelecer os instantes em que se faz cada lançamento. A quantidade do lançamento é variável de forma a repor o nível de enchimento *S* e tendo em conta o consumo previsível no prazo de entrega *Te*.

Este paradigma não é muito aconselhável em situações de grande variabilidade de consumo, pois provavelmente ocasionaria rupturas de stock frequentes. Portanto, é um mecanismo mais aconselhável para situações em que os artigos têm um consumo regular e pouco variável. É também um esquema muito aconselhável para situações em que se pretende fazer a aquisição

conjunta de artigos, por exemplo ao mesmo fornecedor. Neste caso, são estabelecidos os artigos que periodicamente são conjuntamente adquiridos.

A análise do comportamento destes dois modelos de reposição de stock mostra que os níveis das existências tendem a variar mais no esquema de controlo periódico do que no de controlo contínuo. Assim, introduzindo um processo de controlo contínuo no paradigma de controlo periódico, como acontece no paradigma híbrido, atenua-se esta variação.

No paradigma de *controlo híbrido*, Figura 3.42, definem-se períodos, normalmente mais apertados do que no de controlo periódico, ao mesmo tempo que se verificam os níveis de stock em cada revisão. Só quando os níveis de existências são inferiores ao *ponto de encomenda s* é que se realiza um lançamento de uma quantidade constante previamente fixada.. Se os níveis forem mais elevados do que o ponto de encomenda, então nenhum lançamento é realizado.

PARADIGMA s,S / CONTROLO CONTÍNUO/ACÍCLICO/ "FIXED ORDER QUANTITY / PARADIGMA DOS DOIS CONTENTORES- "TWO BIN SYSTEM".

Apropriado para artigos da classe C de valor, como anilhas e parafusos, quando o nível de existências tem vigilância frequente.

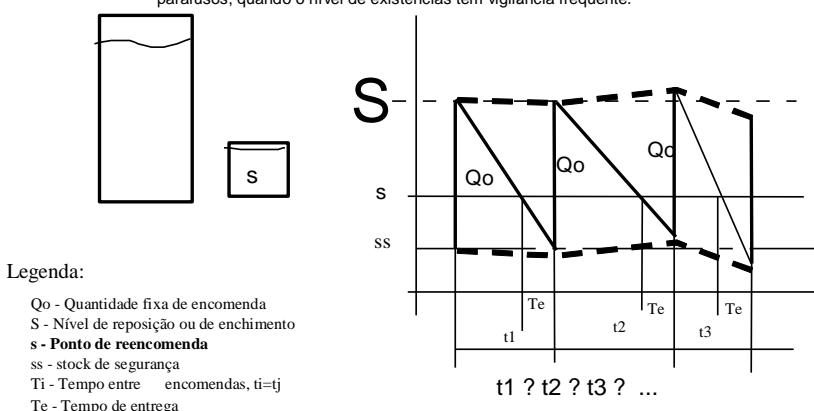


Figura 3.40 – Paradigma de Controlo Contínuo de Reposição de Stock.

PARADIGMA t,S / CONTROLO PERIÓDICO/ CÍCLICO /QUANTIDADE VARIÁVEL

Apropriado para a aquisição conjunta de diferentes artigos da mesma fonte fornecedora.

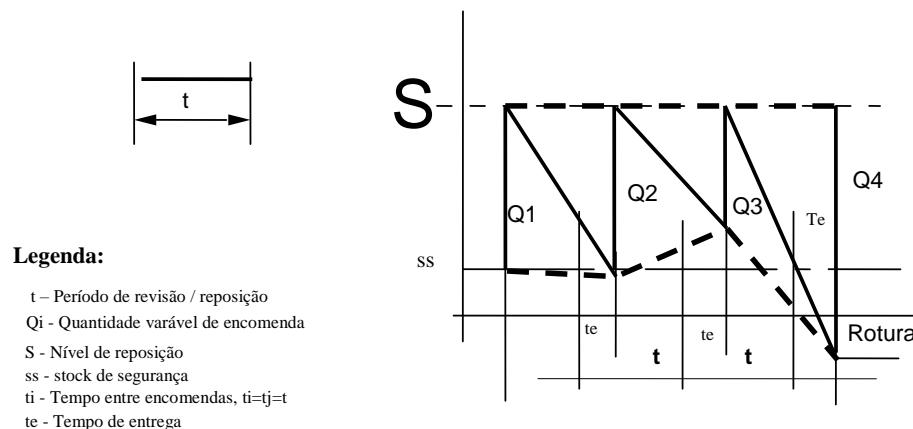


Figura 3.41 – Paradigma de Controlo Periódico de Reposição de Stock

ESQUEMA t,s,S / CONTROLO HÍBRIDO

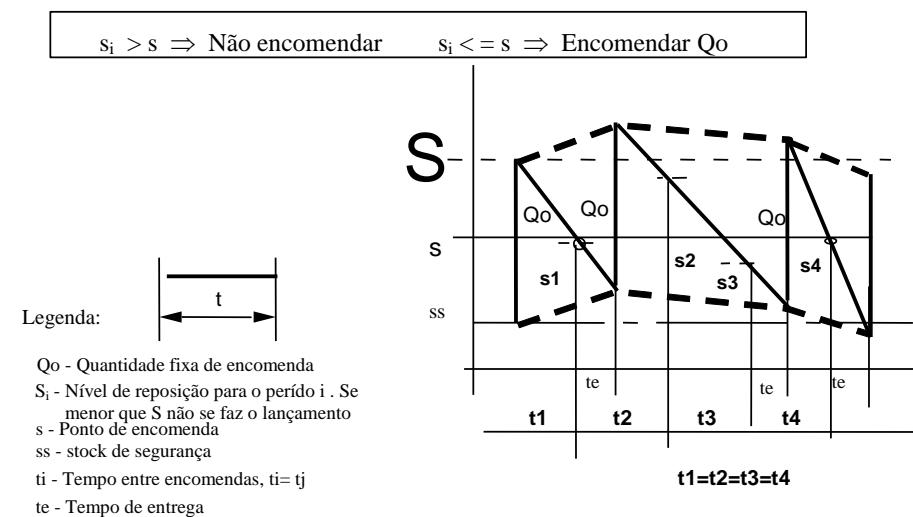


Figura 3.42 -Paradigma de Controlo Híbrido ou combinado de Reposição das Stock

Podemos ainda conceber outras variações dos paradigmas. Em particular podemos considerar controlo periódico com quantidade fixa de encomenda ou outro paradigma híbrido com quantidade variável e nível de reposição.

Uma expressão gráfica alternativa à representação destes paradigmas é apresentada na Figura 3-43.

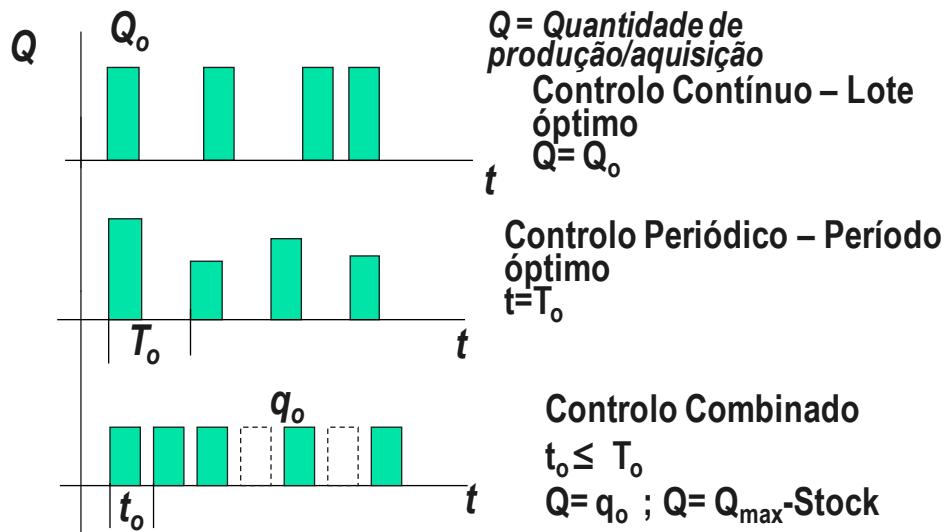


Figura 3-43 - Cláusula 1- Paradigmas tradicionais de reposição de stock: As necessidades dependentes comuns diferentes produtos finais são baseadas em previsões

Conjugando os paradigmas tradicionais de reposição de stocks com a abordagem MRP de cálculo de necessidades dependentes, podemos identificar uma adaptação em que as quantidades necessárias, em cada período, de materiais, i.e. matérias primas, componentes e peças, relativas a todas as encomendas ou previsões de consumo de produtos finais, são agregadas e calculadas com base nas quantidades necessárias dos artigos, Figura 3-44.

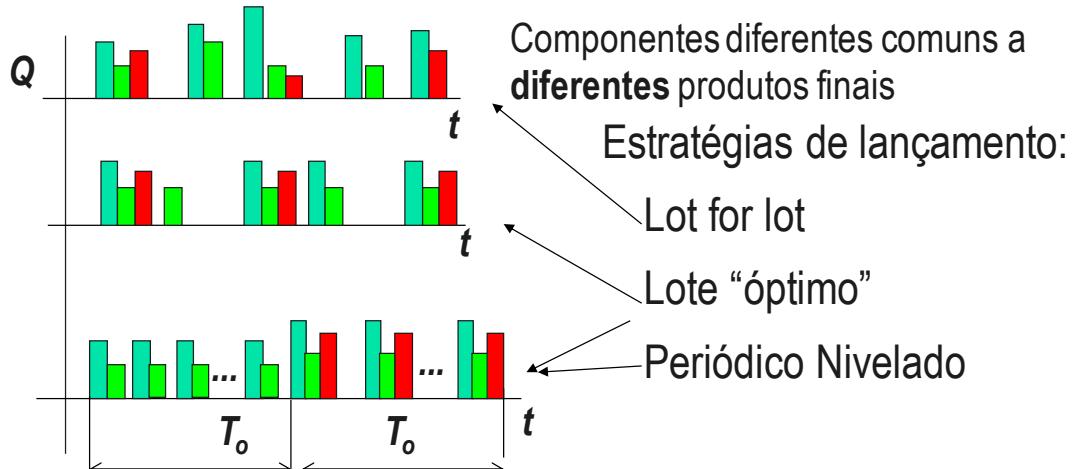


Figura 3-44 - Cláusula 2- Adaptação dos Paradigmas tradicionais de reposição de stock ao ambiente MRP: Necessidades dependentes, comuns a diferentes produtos finais, são calculadas a partir dos artigos pai.

Na extensão do conceito à perspetiva orientada à encomenda ou ao produto as necessidades de materiais são agregadas e calculadas por encomenda ou por produto a fabricar, Figura 3-45. O caso mais paradigmático deste processo é o conhecido Period Batch Controlómico

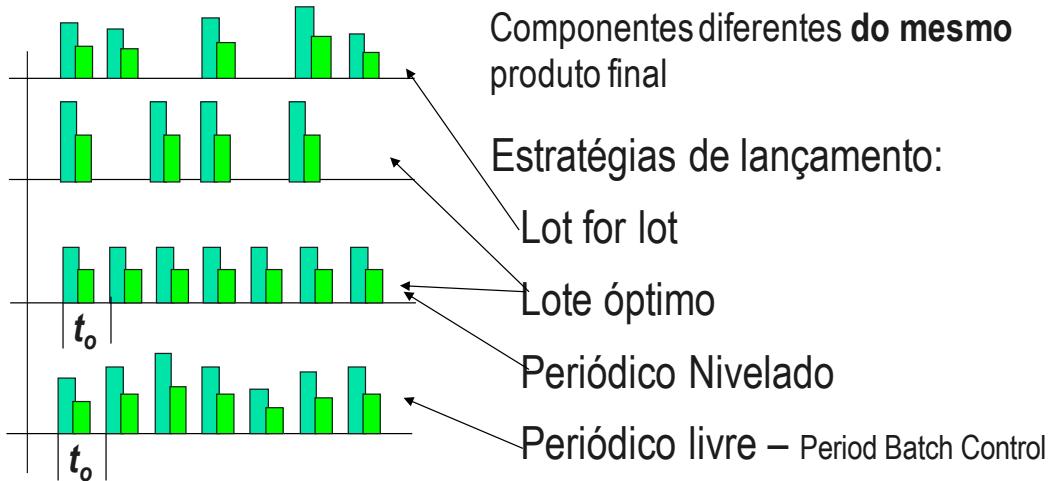


Figura 3-45 - Classe 3- Adaptação dos Paradigmas tradicionais de reposição de stock ao ambiente MRP orientando ao produto: Necessidades dependentes, de uma únicas encomenda ou único produto, são calculadas.

3.3.4.2. Programação Progressiva e Regressiva - Forward Backward - da Produção

A definição do momento ou data de início de produção respeitante a um lançamento é resultante de uma análise integrada que toma em linha de conta a capacidade disponível por cada centro de trabalho, da empresa ou exterior, por exemplo subcontratado, as existências de matérias-primas e de artigos intermédios os prazos de entrega de materiais ou serviços acordados com fornecedores ou necessários para aquisição de materiais, , os prazos de entrega do produto assumidos pelo produtor e, ainda, as quantidades a produzir.

Normalmente, definido o prazo de entrega, é possível determinar o começo e fim da execução das diferentes atividades de produção. Tal determinação tem em linha de conta o tempo de cada operação em cada centro de trabalho, os tempos auxiliares de preparação e os tempos de transporte, armazenagem e esperas. O tempo total, constituído por estas parcelas, para cada ordem de produção ou lote, determina o seu prazo de fabricação também designado por tempo de percurso de fabrico, ou tempo em curso, também conhecido por "lead time" de fabrico.

O processo de programação pode explorar duas abordagens:

- 1 - Programação progressiva--"forward scheduling"
- 2 - Programação regressiva – "backward scheduling "

No caso da programação progressiva, também designada por procedente, direta ou "para a frente" parte-se da data mais cedo possível de iniciação dos trabalhos, com base nas restrições

de recursos, isto é de meios de fabrico, materiais ou capital, determinando-se o instante de início de execução das diferentes fases operatórias até se terminar a produção do artigo e/ou os trabalhos. Estabelece-se, assim, o programa progressivo - "*forward schedule*". Obtém-se desta forma o instante em que mais cedo se pode concluir a produção do artigo ou dos trabalhos.

Na programação regressiva, também designada por retrocedente ou inversa ou "para trás" parte-se da data de entrega do artigo ou dos trabalhos, isto é o instante mais tardio possível de conclusão dos trabalhos e, contida nos recursos disponíveis, determina-se a data de conclusão de cada fase operatória desde a última à primeira. Estabelece-se desta forma o programa regressivo - "*backward schedule*".

Resultante destes dois processos de programação, pode verificar-se existirem atividades ou operações cujos instantes de início e fim, determinados por ambos os programas, são iguais, isto é, os instantes mais tarde possível e o mais cedo possível, quer do início quer do fim das atividades, são iguais para os dois programas. As operações ou atividades em que tal se verifica não têm folga, e dizem-se críticas. Isto significa que se houver atrasos nestas atividades verificar-se-ão atrasos na entrega dos trabalhos.

O uso integrado das duas abordagens permite, portanto, identificar as folgas de tempo, face ao prazo de entrega, se o começo dos trabalhos for aquele indicado pela programação progressiva, isto é, o mais cedo possível. Este princípio é sistematicamente adotado na programação de projetos, i.e. trabalhos de longa duração. Na produção de artigos discretos o processo a programação regressiva é importante para definir o instante mais tardio de começo dos trabalhos.

No caso da gestão de projetos é típico utilizar redes ou grafos com nós, e arcos direcionados de ligação, representando os arcos atividades ou operações: caso da rede AOA "Activity On Arc network". Neste caso os nós exprimem acontecimentos de começo e/ou término de uma ou mais atividades. Se as atividades são representadas por nós diz-se rede de atividades nos nós ou "Activity on Node network, AON".

Tanto o método CPM, "*Critical Path Method*", como o Método PERT, "*Program Evaluation and Review Technic*", de programação de projetos, podem usar os dois tipos de redes, embora seja mais comum o uso da rede AOA.

Como forma de visualizar programas, de uma forma sensível e ergonómica, podemos usar o Diagrama de Gantt, Figura 3-3. Este diagrama é auxiliar de programação mas não se pode, naturalmente, interpretar como um método, técnica, heurístico ou algoritmo de programação.

Trata-se tão somente de instrumento de representação, descrição ou visualização gráfica de um programa.

Quando a programação finita é articulada com a programação progressiva ou regressiva o lead time de fabrico não é utilizado. Apenas a carga resultante das operações de transformação é importante. É o carregamento do sistema nessa base, e a prioridade de execução de cada trabalho, que determinam a data de lançamento desejável para cumprir a data de entrega. Alternativamente determinam a data de entrega possível perante uma programação progressiva a partir da data possível ou desejável de início do trabalho ou ordem de fabrico.

3.3.5. Programação de Necessidades de Capacidade

A programação de necessidades de capacidade (PNC), corresponde à função conhecida como “Capacity Requirements Planning (CRP)”.

A Programação Diretora da Produção (PDP) é o motor da Programação da Produção Detalhada (PPD). Esta traduz as necessidades de produção de componentes e peças necessários à obtenção dos produtos acabados referidos no PDP. Por isso, frequentemente refere-se que esta programação começa com a *Explosão do Programa Diretor, ou simplesmente Explosão* e termina com o estabelecimento dos lançamentos, isto é, estabelece **o quê, quanto e quando** produzir de cada produto e seus componentes ou peças. Há no entanto necessidade de determinar o “**onde e quem**”, isto é estabelecer as necessidades de capacidade e verificar que o programam de produção é exequível. Portanto, o planeamento de lançamentos, para ser completo e válido deveria tomar em linha de conta a capacidade produtiva disponível para cumprir o PDP. Este processo, como se referiu, designa-se por *Programação Finita da Produção*, que resumidamente consiste em integrar a programação da produção e planeamento de capacidade produtiva. Devido à dificuldade prática e complexidade de implementar a programação finita, é vulgar assumir inicialmente haver capacidade suficiente, e definir o programa de produção necessário, i. e. os lançamentos planeados ou previstos, com base em estratégias de lançamento apropriadas. Dizemos que estamos perante *Programação Infinita da Produção*. Este programa, dito programam finito, passa então a ser o input principal para se fazer o cálculo de necessidades de capacidade para satisfazer a procura. Este cálculo de capacidade, baseada num programa de lançamentos que não tem em conta a restrição de capacidade, determina necessidades de capacidade nos diferentes períodos , isto é, o Programa de Necessidades de Capacidade (PNC), sendo tal processo conhecido como Programação Necessidades de Capacidade– Capacity Requirements Planning (CRP). Esta programação usa, geralmente, uma metodologia idêntica à usada na Programação Diretora de Capacidade pelo método do *perfil de recursos*, em que todos os lançamentos, em vez do PDP, são usados para estabelecer as necessidades de capacidade. Portanto, duas variáveis críticas que entram no cálculo de necessidades de capacidade é o “lead time” do fabrico do artigo, seja ele produto final, ou cada um dos seus componentes e a capacidade necessária em cada fase e centro de fabrico por unidade de artigo.

Como se deduz, sendo o PNC dependente de lançamentos de todos os artigos, exclui as necessidades de capacidade resultantes da procura já satisfeita por stocks existentes.

Claramente a constatação à posteriori de necessidades de capacidade que não podem ser satisfeitas implica um processo de controlo de produção que tem em vista corrigir o programa.

Nesta perspetiva a PNC estende-se para além de um simples cálculo de necessidades, podendo compreender uma envolvente de planeamento. Portanto, podemos sumarizar dizendo que o objetivo da PNC é calcular a capacidade necessária face à produção de todos os artigos e verificar se a capacidade produtiva disponível é suficiente para implementar um dado programa de produção a curto ou médio prazo, numa base semanal ou diária, procurando firmar a afetação do trabalho a cada centro de trabalho ou de carga por forma a que o programa seja realizável.

Exemplo 1.(Vollmann, 1997)

Considere que, para o exemplo do PDP apresentado na secção anterior, Figura 3-13, que se pretende fazer o programação finita detalhado de capacidade, i.e. o cálculo de necessidades de capacidade dos centros de trabalho CT1 e CT3, resultante dos lançamentos necessários do artigo C para satisfazer o PDP. Sendo C apenas componente do produto A, como se mostra na Figura 3-17, e tendo em conta que o PDP de A é:

Períodos	1	2	3	4	5	...	12	13	Total
Produto									
A	33	33	33	40	40	...	37	37	457

```

graph TD
    A[A] --- C[C]
    A[A] --- D[D]
  
```

e ainda que o perfil de recursos de A é:

	Lote	Opn.	CT	LT (Períodos)	Set-up por lote (horas)	Set-up por artigo (horas)	Horas/ Artigo	Total
Montagem								
A	40	1.1	CT1	1	1	0,025	0,025	0,05
Fabricação								
C	40	1.2	CT2	1	1	0,025	0,575	0,60
		2.2	CT3	1	1	0,025	0,175	0,20
D	60	1.1	CT2	1	2	0,033	0,067	0,10

e admitindo que 40 unidades de C estão programadas para entrega na semana 2, que existem 37, vem:

COMPONENTE C

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

Necs. Brutas		33	33	33	40	40	40	30	30	20	37	37	37	37
Receb.Progs.			40											
Existências previstas	37	4	11	18	18	18	18	28	38	8	11	14	17	20
Lanç.previstos		40	40	40	40	40	40		40	40	40	40		

Período	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Carga (Capacidade usada) no CT3		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Nota: Carga da semana 1: resulta da execução da operação 2.2 das 40 unidades dos recebimentos programados que foram lançadas antes (semana 0), e que ficam prontas na semana 1, e disponíveis para usar na semana 2 em que são recebidas.

Produção de A.

No caso de estarmos perante a necessidade de fazer o CRP para a produção de A, i.e. a montagem de C e D, em relação ao centro CT1, desenvolver-se-ia raciocínio idêntico ao que se fez para o componente C. Os resultado de carga, neste centro seria naturalmente diferenciado do obtido através do Planeamento ou Programação Diretora de Capacidade *pelo perfil de recurso*, essencialmente pelo o facto de 1) se ter em consideração os recebimentos programados (se os houver), devido a lançamentos efetivados de artigos dependentes, e 2) pelo o facto de o calculo ser feito com base no referencial de tempo associado a cada lançamento, e não no PDP. Os lançamentos referem-se ao instante em que se começa a produzir; o PDP traduz os instantes em que o artigo está disponível para entrega.

Exemplo 2

A seguir é apresentado um exemplo de aplicação para a determinação parcial da capacidade requerida para a produção do produto H, nomeadamente aquela requerida para a produção do componente A, da estrutura do produto H representada na Figura 3-46 (Adam , 1988).

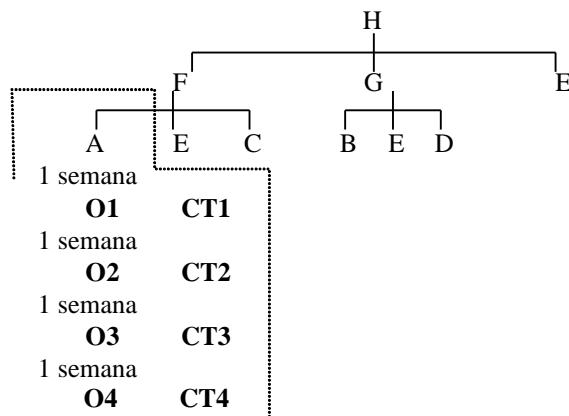


Figura 3-46 - Representação da estrutura e composição do produto H com indicação dos centros de carga e operações no componente A

A capacidade necessária para a execução de cada uma das quatro operações sequenciais, O1 a O4, respeitantes ao fabrico do componente A, é indicada na **Figura 3-47**.

OPERAÇÃO	CENTRO DE TRABALHO	TEMPO DE PERCURSO [Semanas]	TEMPO DE PREP. POR LOTE [horas]	DURAÇÃO POR OPERAÇÃO [horas]
O1	CT1	1	1	0,05
O2	CT2	1	3	0,2
O3	CT3	1	0,5	0,02
O4	CT4	1	2	0,15

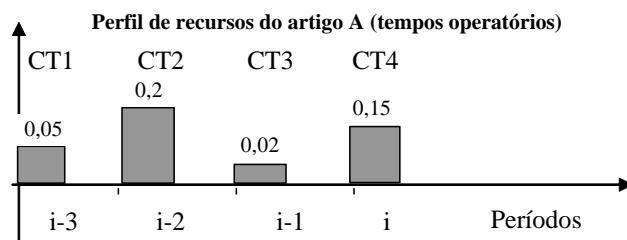


Figura 3-47 - Necessidades de capacidade para fabrico do artigo A

Admitindo, serem as necessidades brutas do componente A as indicadas na Figura 3-48, tendo em conta as existências, isto é o disponível no início do primeiro período, e s recebimentos programados, podem ser calculadas as necessidades líquidas e, consequentemente, conta tida dos prazos de fabrico, o programa detalhado de produção de A pode ser estabelecido com base nas necessidades de capacidade por operação, conforme se ilustra na Figura 3-49.

Artigo A (LT=4 semanas)	Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8
Nec. Brutas,NBi		80	90	90	90	70	70	70	90
Recebimentos,Ri		70	70	70	80				
Disponível, Di	70	60	40	20	10	0			
Nec. Líquidas,NLi						60	70	70	90
Lançamentos, Li		60	70	70	90				

Figura 3-48 - Programação detalhada da produção do componente A

Centro de carga	Período	1	2	3	4	5	6	7	8
CT1		4,0	4,5	4,5	5,5				
CT2			15,0	17,0	17,0	21,0			
CT3				1,7	1,9	1,9	2,3		
CT4					11,0	12,5	12,5	15,5	

Figura 3-49 - Necessidades de capacidade para o fabrico do componente A de acordo com o programa detalhado de produção da Figura 3-48

Exemplos de cálculo:

a) Exemplos de cálculo:

a) Carga programada em CT1 no período 1 devido ao componente A

$$4,0 \text{ horas} = 1 \text{ hora preparação do centro para o lote} + 0,05 \text{ hora de O1}*60 \text{ A's}$$

b) Carga programada em CT2 no período 2 devido ao componente A

$$15 \text{ horas} = 3 \text{ horas de preparação do centro para o lote} + 0,2 \text{ hora de O2}*60 \text{ A's}$$

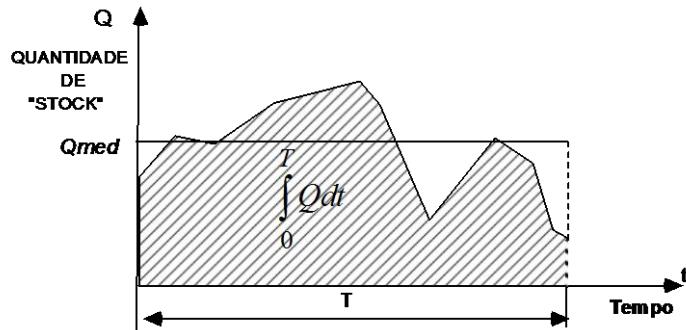
c) Carga programada em CT2 no período 3 devido ao componente A

$$17 \text{ horas} = 3 \text{ horas de preparação do centro para o lote} + 0,2 \text{ hora de O2}*70 \text{ A's}$$

3.3.6. Modelos para o dimensionamento de Lançamentos

3.3.6.1. Conceito de Quantidade Média de Stock, Q_{med}

É uma quantidade fictícia constante cujo custo de posse num determinado intervalo de tempo T é igual ao custo de posse da quantidade real variável de stock no mesmo intervalo.



Sendo C_h é o custo de posse em unidades monetárias (UM), por unidade de artigo (UA), por unidade de tempo (T), [UM/UA*T], podemos escrever:

$$\text{CUSTO DE POSSE} = Q_{med} \times C_h \times T \quad \text{e} \quad \text{CUSTO DE POSSE} = \int_0^T C_h \times Q dt$$

então:

$$Q_{med} * C_h * T = \int_0^T C_h * Q dt$$

Considerando C_h constante no período de análise vem:

$$Q_{med} * T = \int_0^T Q dt$$

Ou seja

$$Q_{med} = \frac{\text{ÁREA TRACEJADA}}{T}$$

3.3.6.2. Dimensionamento de Lançamentos em Ambiente MRP

Uma vez estabelecidas as necessidades líquidas de artigos, componentes e peças a fabricar ou matérias-primas a encomendar, no âmbito da programação MRP – “Materials Requirements Planning” - existe a necessidade de determinar as quantidades- **quanto** - e definir os momentos – **quando** - é que tais materiais deverão ser fabricados ou encomendados em cada período de planeamento, tipicamente o dia ou a semana, para satisfazer as encomendas de clientes. Designaremos este problema como o problema de loteamento – “Lot sizing” ou *dimensionamento de lotes*.

Aqui descrevem-se alguns métodos e modelos matemáticos que poderão ser utilizados para resolver este problema de loteamento.

Os tamanhos dos lotes resultantes da aplicação dos métodos ou modelos matemáticos poderão ser ajustados para contemplar outros fatores como o tamanho das embalagens, descontos de quantidade e outros.

Assim podemos identificar os seguintes métodos de loteamento (Orliky (1975), Vollmann (1992)):

- Seguindo as Necessidades Líquidas ou lote por lote (LPL)
- Quantidade Económica de Lançamento (QEL)
- Quantidade Económica de Lançamento Agregado (QEL-A)
- Período ou Intervalo Económico de Lançamento (IEL)
- Balanceamento das Peças Período (BPP)
- Mínimo custo por Unidade (MCU)
- Mínimo custo por Período (*MCP*),
- Momentos de Lançamento de McLaren (MLM)
- Wagner-Whitin
- ...

3.3.6.2.1. Seguimento as Necessidades Líquidas: Lote-Por-Lote (*lot-for-lot*)

Neste método de loteamento, que pode-se dizer ser o método mais paradigmático dos sistemas de programação MRP, o tamanho do lote de lançamento, L , é igual às necessidades líquidas de artigo em cada período. Portanto, conta tida do prazo de entrega ou fabrico, as

quantidades necessárias em cada período são encomendadas ou lançadas em fabrico no período em que são necessárias. Desta forma o tamanho dos lotes de lançamento são normalmente variáveis.

Exemplificação: Lote Por Lote

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Necessidades líquidas, NL	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10
Lançamentos previstos , L	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10

Dados:

Custo de lançamento (encomenda ou preparação da produção) $C_p = 300$ UM

Custo de posse, $C_h = 2$ UM/UA*Semana

Média periódica de necessidades, $\overline{NL} = 92,1$

Prazo de entrega- "Lead Time" = 0 semanas

Resultados: Custos de gestão de materiais:

$$C = CH + CP \Rightarrow C = 0 + 11 * 300 \Rightarrow \mathbf{C = 3300 UM}$$

3.3.6.2.2. Quantidade Económica de Lançamento (QEL ou Lo)

Neste método o tamanho do lote ou da série, L , é determinado com base em modelos matemáticos de Gestão Económica de Stocks, tipicamente e simplificadamente como no modelo largamente conhecido dado pela expressão de Lo :

$$Lo = \sqrt{\frac{2C_p * A}{Ch}} \quad (1)$$

Onde:

C_p e C_h têm o significado acima referido e

A é a procura média por período.

Com este método estabelecem-se os tamanhos dos lotes, sendo o período de lançamento variável e dependente das necessidades periódicas do artigo. O valor Lo é utilizado para definir os lançamentos. Como se comprehende se a quantidade necessária para o próximo período for

maior que Lo o tamanho do lote é determinado pelas necessidades do período. Noutras circunstâncias é feito um lançamento de quantidade igual a Lo quando esta quantidade cobre as necessidades de um ou mais períodos futuros. Frequentemente, no entanto, tendo em conta que as variações de custo de gestão de materiais são pouco sensíveis a pequenas variações das quantidades nas imediações da Lo , é vulgar ajustar dinamicamente o tamanho do lote, acima ou abaixo de Lo , para coincidir com as necessidades de um ou mais períodos. O valor agregado é então lançado por forma a que as quantidades estejam disponíveis no primeiro período em que são necessárias. Desta forma, evita-se a aquisição de excesso de materiais, resultante da aquisição do valor exato de Lo , que teriam de permanecer em stock até ao próximo período em que fossem necessários. Esta adaptação do lote “ótimo” às necessidades periódicas é normal em sistemas MRP que implementam loteamento automático.

A validade de aplicação do método Lo é questionável em muitos casos uma vez que, assumindo procura médias e independentes entre artigos, contrariamente ao que acontece em ambientes MRP, apresenta valores de Lo grosseiros. Por outro lado os custos, C_p e C_h são difíceis de estabelecer com precisão, principalmente para produtos sujeitos a um complexo processo de produção através de diferentes unidades de transformação (Silva, 1993).

É importante perceber o impacto das variações das quantidades de lançamento face aos custos de encomenda ou de preparação para a produção, i.e., C_p . A constatação de que reduções pequenas em tais custos podem trazer reduções substanciais dos valores de Lo , aproximando-os ao teoricamente desejável, isto é à unidade, podem motivar esforços de melhoria dos processos de encomenda ou de preparação ou com vista à redução dos seus custos.

A impossibilidade de determinar, com rigor, o valor das variáveis utilizadas nos modelos matemáticos de gestão económica de stocks leva, por vezes, à adoção de processos heurísticos de determinação da quantidade “económica” de lançamento baseados em fatores diversos. Os fatores subjacentes à determinação de tal quantidade podem incluir aspectos de embalagem, transporte, custos de posse e de Lançamento, ou preparação, ou aspectos de movimentação e transporte no espaço fabril.

Outros modelos matemáticos podem ser utilizados para obter Lo que tomam em conta aspectos tais como o tamanho das embalagens ou da capacidade de veículos de transporte ou manuseamento, descontos de quantidade, os custos de roturas de stock e aspectos estocásticos das variáveis, entre outros.

Exemplificação: Quantidade Económica de Lançamento

Para o caso em estudo temos:

$$Lo = \sqrt{\frac{2Cp * \overline{NL}}{Ch}} \Rightarrow Lo = \sqrt{\frac{2 * 300 * 92,1}{2}} => Lo = 166 \text{ UA}$$

Onde: \overline{NL} é a procura media do artigo, i.e., as necessidades líquidas médias do artigo.

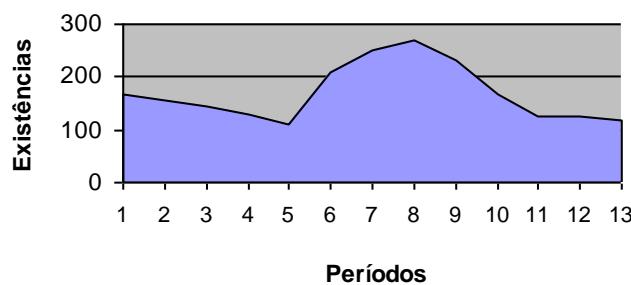
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Custos
Nec.Líqs NL	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10	
Lançamentos previstos ($QEL=166$)	166	0	0	0	0	166	223	270	230	166	0	0	
Existências no início do período, EI	166	156	146	131	111	207	250	270	230	166	126	126	
Existências no fim do período, EF	156	146	131	111	41	27	0	0	0	126	126	116	
Stock médio	161	151	138,5	121	76	117	125	135	115	146	126	121	
CH	322	302	277	242	152	234	250	270	230	292	252	242	3065
CP	300	0	0	0	0	300	300	300	300	300	0	0	1800
	622	302	277	242	152	534	550	570	530	592	252	242	4865

Custos de Gestão de materiais: $C = CH + CP =>$

$$CH = Ch \sum_{i=1}^n \left(\frac{EF + EI}{2} \right)_i = 2 \left(\left(\frac{166+156}{2} \right) + \dots + \left(\frac{126+116}{2} \right) \right) = 3065 \text{ UM}$$

$$CP = 6 * Cp \Rightarrow CP = 6 * 300 \text{ UM} \Rightarrow C = 3065 + 1800 = \mathbf{4865 \text{ UM}}$$

Existências previstas



3.3.6.2.3. Quantidade Económica de Lançamento Agregado (QEL-A)

Como QEL mas em que toda a quantidade de um período ou é agregada no lançamento que inclui os anteriores ou num novo que se inicia nesse período, conforme a agregação resulte num lançamento mais próximo de QEL.. Isto diminui os custos de posse em relação ao modelo QEL e pode diminuir, também, os de encomenda.

$$Lo = \sqrt{\frac{2C_p * \overline{NL}}{Ch}} \Rightarrow Lo = \sqrt{\frac{2 * 300 * 92,1}{2}} => Lo = 166 \text{ UA}$$

Onde: \overline{NL} é a procura media do artigo, i.e., as necessidades líquidas médias do artigo.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nec.Líqs \overline{NL}	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10

1º. Lançamento:

$$\text{Soma1_5} (10;10;15;20;70) = 125$$

$$\text{Dif1_5}(QEL; \text{Soma1_5}) = 166 - 125 = 41$$

$$\text{Soma1_6} = \text{soma1_5} + \text{NI6} = 305$$

$$\text{Dif1_6}(QEL; \text{Soma1_6}) = 305 - 166 = 139$$

Por ser $\text{Dif1_5} < \text{Dif1_6}$ o 1º lançamento deve ser igual a $\text{Soma1_5} = 125$

2ª. lançamento

... Por raciocínio análogo vem $\text{Dif5_5} < \text{Dif5_6}$ o 2º lançamento é $\text{Soma5_5} = 180$

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Custos
Nec.Líqs \overline{NL}	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10	
Lançamentos previstos (QEL=166)	125	0	0	0	0	180	223	270	230	50	0	0	
Existências no início do período, EI	125	115	105	90	70	180	250	270	230	50	10	10	
Existências no fim do período, EF	115	105	90	70	0	0	0	0	0	10	10	0	
CH	240	220	195	160	70	180	250	270	230	60	20	10	1905
CP	300	0	0	0	0	300	300	300	300	0	0	0	1800
C (total)	540	220	195	160	70	480	550	570	530	360	20	10	3705

Portanto, um custo de QEL-A de 3705 UM consideravelmente menor que o de QEL que é de 4865 UM.

3.3.6.2.4. Intervalo Periódico Económico de Lançamento (IEL)

Neste método os lançamentos fazem-se periodicamente a intervalos de tempo de Lançamento mais ou menos bem definidos. As quantidades de cada lançamento são iguais às quantidades necessárias acumuladas nos períodos respeitantes ao lançamento.

Para tal caso usam-se modelos matemáticos que permitem obter o período ótimo ou económico de lançamento IEL que define o intervalo entre lançamentos IL .

O intervalo entre lançamentos, IL , pode ser estabelecido de uma forma relacionada com o valor de Lo , acima referido, da seguinte forma:

$$IEL = \text{Inteiro arredondado}(\frac{Lo}{(Procura\ média/\período)}) \quad (2)$$

Podemos considerar ter o método duas variantes:

- Intervalo Invariável de Lançamento IIL
- Intervalo Variável de Lançamento IVL

No caso do *Intervalo Invariável de Lançamento*, o valor IEL é utilizado para definir o IL . Assim, são feitos lançamentos periódicos espaçados de um número de períodos de planeamento, por exemplo semanais.

No caso do *Intervalo Variável de Lançamento*, o valor IEL é utilizado apenas como referência para o estabelecimento do intervalo de lançamento IL . Assim, são feitos lançamentos periódicos espaçados de um número de períodos que é igual ou maior do que IEL , uma vez que os períodos em que as necessidades líquidas são nulas não são contados para efeitos da definição do intervalo de tempo entre lançamentos. Dentre as duas variantes do método, esta é, provavelmente, a mais adotada em sistemas de loteamento automático em MRP.

Exemplificação: Intervalo Económico de Lançamento

O intervalo entre lançamentos, IL , pode ser estabelecido de uma forma relacionada com o valor de Lo , acima referido, da seguinte forma:

$$IEL = \text{Arredondamento}(\frac{Lo}{\frac{N}{}})$$

$$IEL = \text{Arredondamento}(\frac{166}{92,1}) = \text{Arredondamento}(1,8) \Rightarrow IEL = 2\text{ semanas}$$

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nec.Líqs <i>NL</i>	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10
Lançamentos previstos	20		35		250		520		270			10
Existências no início do período, <i>EI</i>	20	10	35	20	250	180	520	270	270	40	0	10
Existências no fim do período, <i>EF</i>	10	0	20	0	180	0	270	0	40	0	0	0

Custos de Gestão de materiais: $C = CH + CP$

$$CH = Ch \sum_{i=1}^n \left(\frac{EF + EI}{2} \right)_i = 2 \left(\left(\frac{20+10}{2} \right) + \dots + \left(\frac{10+0}{2} \right) \right) = 2145UM$$

$$CP = 6 * 300 \text{ UM} \Rightarrow C = 2145 + 1800 \quad \Rightarrow \quad C = 3945 \text{ UM}$$

3.3.6.2.5. Balanceamento das Peças-período (BPP)

Este método baseia-se no equilíbrio entre custos de posse CH e de preparação ou encomenda, CP , associados a cada lançamento.

Este método é derivado do facto de, em modelos simples de Gestão Económica de Stocks, os custos mínimos totais de aprovisionamento serem obtidos quando o custo de posse CH iguala o custo de lançamento ou preparação CP , Figura 3-50.

Neste método a quantidade a lançar de cada vez é aquela que aproxima mais os custos de posse dos custos de encomenda ou preparação para a produção em cada encomenda ou lançamento realizado.

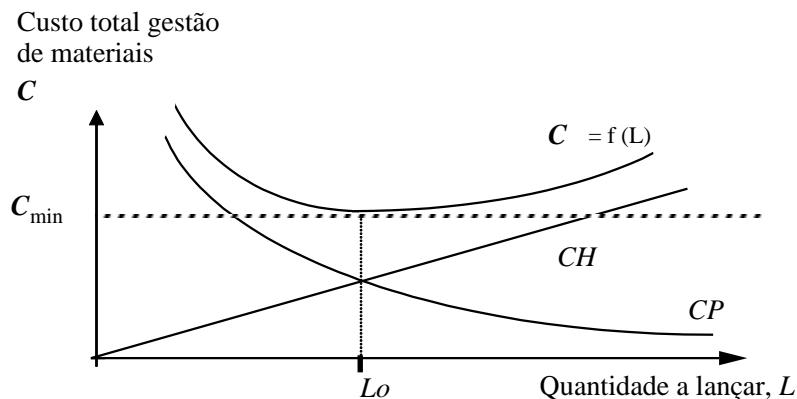


Figura 3-50 - Representação gráfica do comportamento dos custos num modelo simples de Gestão Económica de Stocks.

O método desenvolve-se com base no número de peças período. Isto não é mais do que o produto de uma quantidade existente de um dada peça ou artigo, em armazém, isto é, de posse, pelo número de períodos em que aí permanece sem ser consumida.

Uma vez que em cada período há normalmente diferentes quantidades existentes de um dado artigo, podemos sempre calcular o número de peças-período correspondente à posse dessas existências durante os períodos considerados. Assim, o número de peças-período, PP_k , para um intervalo de tempo de k períodos é dado pelas existências que em média se prevê existirem durante o período, i. e. para um lançamento que acumula as necessidades líquidas de k períodos:

$$PP_k = \sum_{t=1}^k \left[(t-1)NL_t + \frac{NL_t}{2} \right] \quad (3)$$

Onde, NL_t são as necessidades líquidas no período t .

Como se sabe, o custo das existências médias é igual ao custo de posse das existências variáveis.

Assim, o custo de posse correspondente a uma aquisição numa quantidade igual ao somatório das necessidades líquidas dos k períodos, pode portanto ser obtido de:

$$CH = PP_k \times C_h \quad (4)$$

Assim a quantidade L_k a lançar, que cobre as necessidades até ao período k , é obtida pelo método do balanceamento das peças-período, sendo dada por:

$$L_k = \sum_{t=1}^k NL_t \quad (5)$$

$$PP_k^+ = \frac{C_p}{C_h}$$

tal que , na situação ótima: $PP_k^* * Ch = Cp$ ou seja: (6)

Sendo PP_k , para um dado lançamento, obtido pela equação (3), conforme o caso. Este PP_k é então comparado com PP_k^* . O valor de PP_k que mais aproxima PP_k^* determina a quantidade a lançar.

A este método podem aplicar-se refinamentos que equacionam o impacto de uma determinada escolha de L_k face ao número de lançamentos com base em necessidades futuras previstas. O objetivo é evitar fazer uma escolha "localmente" vantajosa mas globalmente desvantajosa. Esta estratégia é designada de "*look ahead*". Quando aplicada conjuntamente com o método PPB, tende a melhorar os resultados.

Exemplificação: Balanceamento das Peças-período (BPP)

Considere o caso anterior em que:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nec.Líqs NL	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10

Custos de Gestão de materiais: $C = CH + CP$

$$Cp = 300 ; Ch = 2 \Rightarrow PP_k^* = \frac{300}{2} \Rightarrow PP_k^* = 150$$

Determinação de lançamentos

Análise de peças-período

O valor das peças-período PP_k incorridas num prazo correspondente a k períodos de procura, é correspondente ao total das existências médias incorridas em cada período de planeamento resultantes do lançamento a efetuar no primeiro dos k períodos, Figura 2.41.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PP_k^*
Nec.Líqs	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10	$- PP_k$
L	10												
Existências Início período	10												
Existências Fim período	0												
Existências Médias no período	5												
$PP_k (k=1)$	5												150
L	20												
Existências Início período	20	10											
Existências Fim período	10	0											
Existências Médias no período	15	5											
$PP_k (k=2)$		20											130
L	35												
Existências Início período	35	25	15										
Existências Fim período	25	15	0										
Existências Médias no período	30	20	7,5										
$PP_k (k=3)$			57,5										92,5
L	55												
Existências Início período	55	45	35	20									
Existências Fim período	45	35	20	0									
Existências Médias no período	50	40	27,5	10									
$PP_k (k=4)$				127,5									22,5
L	125												
Existências Início período	125	115	105	90	70								
Existências Fim período	115	105	90	70	0								
Existências Médias no período	120	110	97,5	80	35								
$PP_k (k=5)$					442,5								-292,5
$PP_k (\text{Sumário})$	0	20	57,5	127,5	442,5								

Figura 3-51 – Processo de estabelecimento do 1º. Lançamento ($L = 55$)

Esta figura mostra o processo de avaliação das Peças-Período para diferentes alternativas do primeiro lançamento, ao passo que a Figura 3-52 faz uma síntese deste processo apresentando os resultados de cálculo.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PP_k^*
Nec.Líqs	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10	- PP_k
L	10												
Existências Início período													
Existências Fim período													
Existências Médias no período													
PPk	5	20	57,5	127,5	442,5								

Figura 3-52 – Estabelecimento de lançamentos - Síntese do processo de cálculo de peças-período pelo método de balanceamento de peças-período: resultados de cálculo

Como se constata, um lançamento de 55 unidades origina uma diferença relativamente ao ótimo PP_k^* ($PP_k^* = 150$) de apenas 22,5 unidades, enquanto que no de 125 unidades essa diferença aumenta para 292,5. Desta forma a quantidade de 55 unidades deverá ser selecionada para o 1º. lançamento.

Aplicando a mesma metodologia, os lançamentos a seguir ao 1º. estão sumariados na tabela a seguir:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Nec.Líqs	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10	
L	55				70	180	250	270	270			10	
Existências Início período	55	45	35	20	70	180	250	270	270	40	0	10	
Existências Fim período	45	35	20	0	0	0	0	40	0	0	0	0	
Existências Médias no período	50	40	27,5	10	35	90	125	135	155	20	0	5	
PPk (k=4)				127,5	35	90	125	135		175		5	692,5

Cálculo dos Custos

Sendo:

vem:

$$CH = 2 * 692,5 \Rightarrow CH = 1385$$

E, uma vez que se fizeram 7 lançamentos vem:

$$CP = 7 * 300 \Rightarrow CP = 2100$$

Portanto o custo de gestão de materiais C é:

$$C = 1385 + 2100 \Rightarrow \mathbf{C = 3485}$$

"Look Ahead"

É evidente que a aplicação da estratégia “*Look Ahead*” acima referida, conta tida apenas das necessidades até ao período 12, teria como consequência a integração das 10 unidades necessárias para o período 12 no último lançamento, resultando daqui apenas 6 encomendas. Nestas circunstâncias o mecanismo normal baseado nas PPB é ligeiramente relaxado.

Neste caso os custos seriam apenas:

$$C = 2 * 722,5 + 6 * 300 \Rightarrow C = 1445 + 1800 \Rightarrow C = \mathbf{3245}$$

Na verdade, um valor inferior ao obtido anteriormente.

3.3.6.2.6. Método de Lançamento de “McLaren”

À semelhança dos anteriores este método é usado para a determinação das quantidades de encomenda ou fabrico em ambiente MRP com programação periódica das necessidades líquidas cujo artigo se pretende lançar.

O método, referido como “McLaren Order’s Moment” desenvolve-se em torno de um valor alvo, o “Order Moment Target”, *OMT*, expresso em peças-período.

O alvo *OMT* é dado por:

$$OMT = \overline{NL} \left[\sum_{t=1}^{T^*-1} t + (TBO - T^*)T^* \right] \quad (7)$$

Onde:

\overline{NL} são as necessidades líquidas médias do artigo por período. Calcula-se com base no intervalo de planeamento, por exemplo, um ano.

$$TBO = Lo / \overline{NL}$$

$$T^* = Int(IL) \text{ é o inteiro de } IL$$

O método desenvolve-se em duas fases:

Fase 1 - Primeiro calcula-se o período k até ao qual o número de peças-período PP_k é o mínimo superior ou igual ao *OMT*, isto é:

$$PP_k = \sum_{t=1}^k (t-1)NL_t \geq OMT \quad (8)$$

onde se pode identificar o período k .

Como se pode observar o PPk é obtido, neste caso, assumindo as existências no fim do período e não existências médias como calculado para o método PPB.

Fase 2 - Depois, verifica-se se é vantajoso incluir a quantidade necessária de artigos para o período k , isto é, NL_k , na ordem a lançar que agrupa as quantidades dos períodos até $k-1$.

Tal eventual vantagem reside no facto de o custo de posse devido a NL_k , i.e.

$$C_h * NL_k * (k-1)$$

poder ser menor, ou igual (caso em que não há vantagem mas também não há prejuízo), que o custo de encomenda C_p . No caso de tal custo de posse ser maior, então a quantidade deverá ser excluída da ordem de fabrico que, neste caso, incluirá, apenas as necessidades líquidas do período 1 ao período $k-1$. Na verdade, com esta decisão, mesmo que tivéssemos de fazer um novo lançamento, ficar-se-ia a ganhar por se evitar um custo de posse que seria maior.

Assim, sendo C_h o custo de posse por unidade de artigo por período, e C_p o custo de preparação de um lançamento, i.e. de preparação da produção ou de encomenda, é:

$$\text{Custo de posse} = C_h * NL_k * (k-1) \leq C_p = \text{Custo de uma encomenda} \quad (9)$$

então, a quantidade de lançamento, L inclui as necessidades até ao período k, isto é

(10)

Se por outro lado $C_h * NL_k * (k-1) \leq C_p$ não é verdadeira, então

$$L = L_{k-1} \quad \text{com} \quad L_{k-1} = \sum_{t=1}^{k-1} NL_t$$

Exemplificação: Método de Lançamento de "McLaren"

Para efeito de exemplificação considere as necessidades do exemplo anterior, abaixo transcritas.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nec. Líqs NL	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10

$$\overline{NL} = 92,1 ; QEL = 166,2 ; TBO = 166,2 / 92,1 = 1,8 ; T^* = \text{Int}(IL) = 1$$

O alvo OMT é:

$$OMT = \overline{NL} \left[\sum_{t=1}^{T^*-1} t + (IL - T^*)T^* \right] \quad \text{e, portanto: } OMT = 92,1 * (0 + (1,8 - 1) * 1) = 73,7$$

Portanto o objetivo é fazer um lançamento que considere o período em que

$$PP_k = \sum_{t=1}^k (t-1)NL_t \geq 73,7 = OMT$$

A figura mostra os cálculos baseados neste raciocínio, para o primeiro lançamento.

Seta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PP_k^*
Nec.Líqs	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10	$- PP_k$
L	10												
Existências Fim período	0												
PPk (k=1)	0												150
L	20												
Existências Fim período	10	0											
PPk (k=2)		10											140
L	35												
Existências Fim período	25	15	0										
PPk (k=3)			40										110
L	55												
Existências Fim período	45	35	20	0									
PPk (k=4)				100									50
PPk (Sumário)	0	10	40	100									

Figura 3-53 - cálculos para estabelecer a quantidade do 1º. Lançamento pelo método de McLaren.

Obtido o 1º PP_k maior que 73,7 é 100 i.e. $PP_k = 100$ para $k=4$, é agora necessário verificar se $C_h * NL_k * (k-1) \leq C_p$

Assim, sendo:

$C_h * NL_k * (k-1) = 2 * 20 * 3 = 120$ e $C_p = 300$ as necessidades líquidas do período 4 serão satisfeitas pelo 1º. Lançamento que é portanto de 55 unidades.

Podemos facilmente obter os outros lançamentos procedendo da mesma forma

Os PP_k para os diferentes períodos agregados, representado pela linha PP_k (Sumário) podem ser obtidos sucessivamente para os restantes períodos:

Seta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	PP_k^*
Nec.Líqs	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10	$- PP_k$
L	55												
PPk (Sumário)	0	10	40	100	0	180							

Vê-se agora que as NL do período 6 não podem ser agregadas às do período 5 por

$C_h * NL_k * (k - 1) = 2 * 180 * (2-1) = 360$ e portanto maior que $Cp=300$. Portanto o 2º lançamento é apenas de 70 unidades, sendo o próximo período k a considerar o período 7, conforme se pode deduzir da tabela seguinte.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nec.Líqs	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10
L	55				70							
PPk (Sumário)	0	10	40	100	0	0	250					

Verifica-se novamente, por razões semelhantes que as 250 unidades do período 7 não podem ser incluídas no 3º lançamento

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nec.Líqs	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10
L	55				70	180						
PPk (Sumário)	0	10	40	100	0	0	0	270				

Prolongando o raciocínio até ao período 12 obtemos os seguintes lançamentos e PPks

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nec.Líqs	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10
L	55				70	180	250	270	280			
PPk (Sumário)	0	10	40	100	0	0	0	0	0	50	60	70

Os encargos em PP resultantes dos lançamentos realizados são 170 conforme se pode verificar na tabela.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Nec.Líqs	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10	
L	55				70	180	250	270	280				
PPk				100	0	0	0	0	0			70	170

Custos de Gestão de Materiais

Os custos de gestão de materiais são dependentes do número de lançamentos e das existências, conforme se mostra na tabela seguinte.

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Nec.Líqs	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10	
L	55				70	180	250	270	280				
Existências no início <i>EI</i>	55	45	35	20	70	180	250	270	280	50	10	0	
Existências no fim, <i>EF</i>	45	35	20	0	0	0	0	50	10	0	0		
Existências Médias	50	40	27,5	10	35	90	125	135	165	30	10	5	
PP				127,5	35	90	125	135					210 722,5

Isto implica que o custo é:

$$C = 1445 + 1800 \Rightarrow C = \mathbf{3245}$$

Este valor é igual àquele obtido para o BPP com a estratégia do "Look Ahead"

3.3.6.2.7. Método de Lançamento de “Wagner-Whitin” (W-W)

Este método (Hopp,1996), originalmente pensado para estabelecer lotes económicos de produção, baseia-se na seguinte lógica: não é económico reter stock num período para satisfazer necessidades parciais do período seguinte, incorrendo para elas um custo de posse, e ao mesmo tempo incorrer custos de preparação para fabrico no mesmo período. Ou se incorre um custo ou outro no período, não os dois. Note, que o método W-W assume que a produção num período para satisfazer as necessidades nesse período resulta num custo de posse nulo para a quantidade desse período.

Portanto, toda a quantidade necessária para um dado período *i* ou é incluída numa lançamento feito num período anterior, ou é produzida toda num lançamento novo feito no período *i*, que pode incluir quantidades de outros períodos a seguir.

Adicionalmente a análise é feita para todo o horizonte de planeamento, i.e. é global, e não apenas para alguns períodos de planeamento como no caso dos métodos de McLaren ou Balanceamento de peças período, i.e. local.

Wagner-Whitin Property "under an optimal lot-sizing policy, either the inventory carried to period *i+1* will be zero, or the production quantity in period *i+1* will be zero". (Não faz sentido deixar stock para o período seguinte e produzir nele também).

Planning Horizon property: (ver exemplo da tabela a seguir) Se o último período de lançamento for *i*, num problema com horizonte de *t* períodos, então o último período em que um lançamento ocorre num problema de horizonte *t+1* está compreendido entre *i* e *t+1*, i.e. não é necessário alterar lançamentos em períodos anteriores a *i*. Ex. suppose *t=7*. In this case *i=4* and includes periods from 4 to 7. If the planning horizon is now 8, instead of 7, i.e.

$t+1=8$, then the last period for a planned order (lançamento) has to be between $i=4$ and 8. Applying the W-W algorithm we see that the minimum cost is 480 for a planned order in period 7 (actually between 4 and 8 according the property) which includes period 7 and 8 needs. In period 4 there will be an order including only periods 4, 5 and 6.

Aplicado o método W-W ao exemplo os resultados são:

WAGNER WHITIN

													TOTAL
Ch=2	2												L
CP=300	300												
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Nec.Líqs	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10	1105
	300	320	380	500		106							
	600	630	x	x	x								
	620	660	940		x								
	680	820		x									
	800		1160	x									
		1100	1600	x									
		1400	1940	x									
		1700	2160		x								
			2000		2080		2080	2140					
					2300		2300	2340					
										2600			
Lancs	55				70	180	250	270	280				1105
Ex inic	55	45	35	20	70	180	250	270	280		50	10	10
Exist fim	45	35	20	0	0	0	0	0	50		10	10	0
Exist.			27,										
Médias	50	40	5	10	35	90	125	135	165		30	10	5
Custo CH	100	80	55	20	70	180	250	270	330		60	20	10
CP	300	0	0	0	300	300	300	300	300		0	0	1800
True L	1	0	0	0	1	1	1	1	1		0	0	0
										TOTAL COST (CP+CH)			3245

Tabela: Exemplo de aplicação do método Wagner Whitin de loteamento. (fonte: Hopp and Spearman, 1996)

Ch =		Custo de posse unitário por período										
Cp =		Custo de lançamento ou set-up por lançamento										
Ch =	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Cp	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Período		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Necessidades (Dt)		20	50	10	50	50	10	20	40	20	30	300
1	100	100	150	170	320	Custos baseados no consumo instantâneo do período (custo posse=0)						
2		150	200	210	310							
3			170	250	300		400 seria o mínimo custo total se o horiz. fosse 7					
4				270	270	320	340	400	560			
5					320	370	380	420	540			
6						340	420	440	520			
7							400	440	480	520	610	
8								480	500	520	580	Min. Custo para horiz=10 per.
9									520	580	610	
10										580	620	
Min custo total para t períods		100	150	170	270	320	340	400	480	520	580	TOTAL
Lançamentos		1			2				3			3
Período de Lançamento		1	1	1	4	4	4	4	8	8	8	
Lançamentos		80			130				90			300
Custo set-up		100			100				100			300
Custo de posse		0	50	20	0	50	20	60	0	20	60	280
Custo total acumulado parcial		100	150	170	100	150	170	230	100	120	180	580
TOTAL ACUMULADO				170				400			580	580

Exercício:

Aplicar o método Wagner-witin ao problema resolvido pelo método de Wagner atrás referido.

Resolução:

A aplicação ao exemplo usado no método de McLaren resulta:

Ch	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Cp	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Nec.Líq S	10	10	15	20	70	180	250	270	230	40	0	10	
1	300	320	380	500	1060								
2		600	660										
3			620	740	1020								
4				680	820								
5					800	1160							
6						1100	1600						
7							1400	2940					
8								1700	2160				
9									2000	2080	2080	2140	
10									2300	2300	2320		
11										2380	2400		
12													
Li	55				70	180	250	270	280				

Que, por acaso, é coincidente com a solução obtida pelo método de McLaren.

Exemplo 3

Ch= [UM/(T*UA)]	2												
Cp= [UM/Lanç]	100												
NL ou Procura	D	20	30	10	50	20	50	20	60	10	50	CUSTO	CUSTO
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	POSSE	TOTAL
	1	100	160	200	500								
	2	160	200	220	420								
	3	200	260	360									
	4		300	300	340	540							
	5			340	400	500							
	6				440	440	480	720					
	7					480	540	660	700				
	8						580	580	600	800			
	9							600	680	780			
	10								700	700			
Lançamentos		1	1	1	2	2	3	3	4	4	5		
Quant. de LANÇAMENTOS	60			70		70		70		50			
Peças-Período				50		20		20		10	0	200	700

Tabela comparativa do desempenho dos métodos de loteamento aplicados ao exemplo 3.

Ch= [UM/(T*UA)]		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Cp=[UM/Lanc]		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Período			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
NL ou Procura	Total= 320	NLmed= 32	20	30	10	50	20	50	20	60	10	50	Custo TOTAL
Lançamentos Li													
Seguim da Procura	320		20	30	10	50	20	50	20	60	10	50	1000
Existências			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
C Posse			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C Lançamento			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1000
Wagner-Whitin	320		60			70		70		70		50	700
Exists ou PP			40	10	0	20	0	20	0	10	0	0	
C Posse			80	20	0	40	0	40	0	20	0	0	200
C Lançamento			100	0	0	100	0	100	0	100	0	100	500
QEL	342	57	57	0	57	0	57	57	0	57	0	57	1162
Existências			37	7	54	4	41	48	28	25	15	22	
C Posse			74	14	108	8	82	96	56	50	30	44	562
C Lançamento			100	0	100	0	100	100	0	100	0	100	600
IEL	320	2	50		60		70		80		60		980
Existências	1,781		30	0	50	0	50	0	60	0	50	0	
C Posse			60	0	100	0	100	0	120	0	100	0	480
C Lançamento			100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	500
PPB		0	60			70		70		70		50	700
Existências ou PP			40	10	0	20	0	20	0	10	0	0	
C Posse			80	20	0	40	0	40	0	20	0	0	200
C Lançamento			100	0	0	100	0	100	0	100	0	100	500
PP		Aprox=PPB ⇒ i	0	30	50	0	20	120		0	10	110	
									0	20	140	0	
Mclaren OMT		25	50		60		70		20	70		50	880
Existências			30	0	50	0	50	0	0	10	0	0	
C Posse			60	0	100	0	100	0	0	20	0	0	280
C Lançamento			100	0	100	0	100	0	100	100	0	100	600
PP			0	30	0	50	0	50	0	60	10	60	
CH de k	$OMT = \frac{NL}{T} \left[\sum_{t=1}^{T-1} (IL - T^*) T^* \right] \leq 120$			60		100		100		120		200	
										0	10	60	

3.3.6.2.8. Mínimo custo por Unidade (MCU) com descontos de quantidade

A filosofia deste mecanismo é fazer **cada** encomenda agregando as necessidades dos períodos que tornam o custo por unidade de artigo mínimo. Se o preço do artigo não variar com a quantidade, apenas os custos variáveis com os lançamentos necessitam se ser considerados, nomeadamente os custos de posse e de lançamento ou encomenda. No caso de haver desconto o custo a analisar é o custo total incluindo o de aquisição do artigo, já que depende da quantidade de lançamento. Neste caso o custo total de lançamento, C, a considerar, inclui o de gestão de materiais mais o dos materiais propriamente ditos.

Neste método, a quantidade a agregar para cada lançamento é aquela que, estabelece uma quantidade de lançamento que minimiza o custo total por unidade de artigo.

Havendo descontos ou reduções de custo face à quantidade é necessário que a análise considere este desconto no custo total de gestão de materiais. Portanto, tido o custo C em cada iteração do método é necessário dividi-lo pelo número de unidades do lançamento para se obter o custo por unidade. A agregação que origina o mínimo custo por unidade determina a quantidade a lançar.

Um exemplo permite compreender melhor o mecanismo.

Exemplificação: Mínimo custo por Unidade MCU

Considere existir a necessidade de preparar aquisição de materiais para satisfazer as necessidades líquidas expressas na tabela que inclui também o acumulado de peças*período associados a um lançamento igual às necessidades acumuladas:

Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Necs. NL	80	100	124	100	50	50	100	125	125	100	50	100	200	200	200	...
Necs. Acumuladas	80	180	304	404	454	504	604	729	854	954	1004	1104	1304	1504	1704	
Acum Peças*período (PP)	0	100	348	648	848	1098	1698	2573	3573	4473	4973	6073	...			

e que os custos de posse unitário Ch e de encomenda Cp, são os seguintes:

$$Ch = 2 \text{ UM/UA}*semana$$

$$Cp = 100 \text{ UM}$$

Descontos de quantidade com preços invariáveis

Considere a situação em que o artigo tem descontos de quantidade tal que a quantidade de todo o lançamento tem o mesmo preço. Considerando que o preço do artigo sem desconto é 500 UM/UA de artigo e que o preço com desconto, se a quantidade lançada for maior ou igual

a 350, é de 450 UM/UA artigo, então a tabela seguinte ilustra os custos totais e os custos por unidade de artigo.

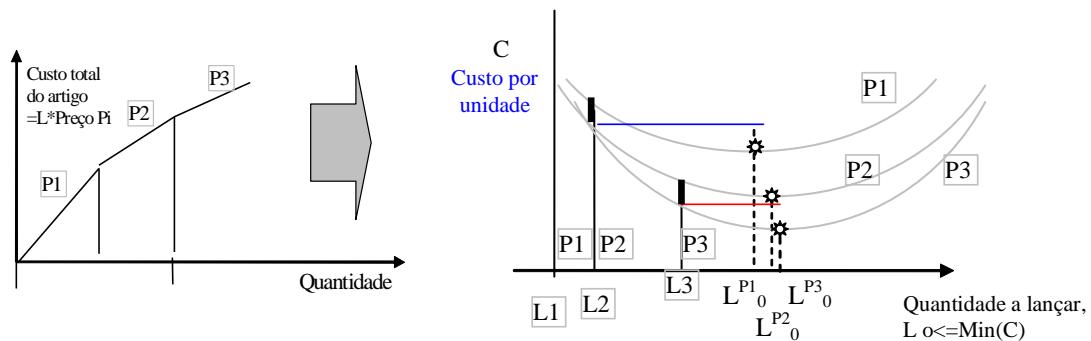
O modelo genérico representativo da situação com desconto de quantidade e a representação particular de preço único mostra-se na Figura 3-54. Nesta figura mostram-se os diferentes comportamentos da curva de custo por unidade dependente do custo total para a quantidade lançado L, correspondentes a cada escalão de preços P_i .

Para todas as transições de escalão, no horizonte de planeamento, deve-se fazer uma avaliação do custo mínimo. O mesmo será necessário depois, dentro do escalão de preços, se o custo mínimo começar a decrescer com o aumento da quantidade até atingir um mínimo. Só, depois desta análise será então possível estabelecer a quantidade do primeiro lançamento. Os outros lançamentos obter-se-iam da mesma maneira, depois de obter o primeiro.

Por exemplo, o valor 90300 resulta de: $100 + 200 + 180*500 = 90300$

O custo total do artigo, incluindo os de gestão de materiais são indicados na tabela da Figura 3-55 para sucessivas hipóteses para o 1º lançamento.

a) Modelo Geral-Preços variáveis



b) Modelo Geral- preços iguais ou preço único

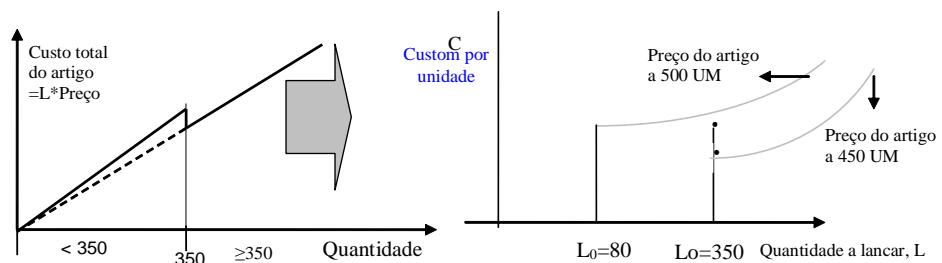


Figura 3-54 - Comportamento da curva C de custos por unidade com desconto de quantidade

Como se verifica o menor custo por unidade no 1.º Lançamento resulta para uma quantidade de lançamento de 350 unidades. Neste caso o desconto traduz-se numa efetiva vantagem.

Período	Necs. <i>NL</i>	Necs. Acum (ou quabtidade a lançar <i>L</i>)	<i>Pecas x período</i>	<i>CH</i>	<i>CP</i>	Preço/UA	CustoTotal= $CP+CH+L^*Preço$	<i>C= Custo/ artigo</i>
1	80	80	0	0	100	500	40100	501,25
2	100	180	0+100	200	100	500	90300	501,67
3	124	304	100+2*124 = 348	696	100	500	152796	502,62
3*	46	350	348+46*3 = 486	486*2 =972	100	450	158572	453,06
4	100	404	348+100*3 = 648	648*2 =1296	100	450	183196	453,46
...								...
12	100	1104	6073	12146	100	450	509046	461,1

* Quantidade encomendada no período 3 mas só consumida no período 4

Figura 3-55 - Mínimo custo por unidade com desconto e preços iguais por unidade

Os custos representados assumem, portanto que o preço de fornecimento por unidade de artigo é artigo é único para todo o artigo comprado e terá o desconto se a quantidade for maior que 350 unidades.

É pertinente observar que, neste exemplo, o custo por unidade de artigo cresce à medida que a quantidade cresce até à quantidade com desconto. Aqui obtém-se uma redução do custo. Seria portanto impróprio assumir que o menor custo seria 501,25 sem analisar o custo para a quantidade com desconto.

Como se comprehende, com base neste modelo de descontos de quantidade, dever-se-ia observar se para uma quantidade maior que 350 unidades de artigo se obteria o ótimo da curva. Com o preço de 450 UM/UA, neste escalão, isso não acontece, porque os custos por unidade começam a crescer a partir da transição de escalão, não havendo outro escalão para analisar.

Descontos de quantidade com preços variáveis

Neste caso assume-se que o preço do artigo varia em cada escalão, sendo a quantidade total dividida em quantidades diferenciadas de acordo com o escalão de preços. Assim, a primeira quantidade é paga ao preço do primeiro escalão, a segunda ao do segundo e assim sucessivamente, até à quantidade total de lançamento. Neste caso os custos da Figura 3-55 alterar-se-iam para os indicados na tabela da Figura 3-56.

Período	Necs. NL	Necs. Acum (L)	Pecas x período	CH	CP	Preço/UA	CustoTotal= CP+CH+L*Preço	Custo/ artigo
1	80	80	0	0	100	500	40100	501,25
2	100	180	0+100	200	100	500	90300	501,67
3	124	304	100+2*124 = 348	696	100	500	152796	502,62
3,46	46	350	348+46*3 = 486	972	100	500	176072	503,06
4	100	404	348+100*3 = 648	1296	100	450	$100+1296+350*500+54*450=200696$	496,8
5	50	454	648+4*50 = 848	1696	100	450	$100+1696+350*500 + 104*450 =223596$	492,5
6	50	504	848+50*5 =1098	2196	100	450	$100+2196+350*500 + 154*450 =246596$	489,3
...						450	...	
12	100	1104	6073	12146	100	450	$100+12146+350*500 + 754*450 = 526546$	476,9
13	200	1304		16946	100	450		476,5
14	200	1504		22146	100	450		476,4
15	200	1704		27746	100	450		476,6
...								

Figura 3-56 - Mínimo custo por unidade com desconto e preços variáveis por unidade

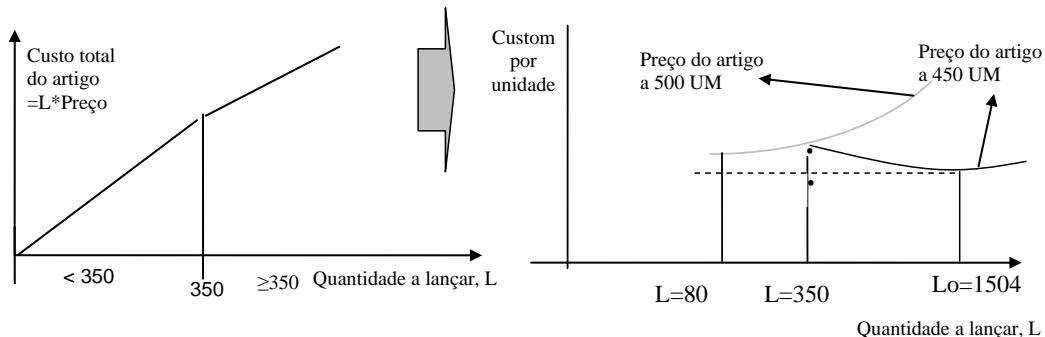


Figura 3-57 - Caso em estudo - Comportamento da curva C de custos por unidade com desconto de quantidade a preços variáveis

Como se vê, considerando apenas as necessidades líquidas até ao período 12, o lançamento ótimo nestas condições seria uma quantidade superior a 350, , i.e. 1504 unidades.

3.3.6.2.9. Mínimo Custo por Período (MCP)

Este mecanismo é similar ao anterior e tem a mesma índole aplicacional. A diferença reside no facto de em vez do mínimo custo por unidade, determina-se o lançamento agregando as necessidades de períodos subsequentes que minimiza o custo médio por período agregado.

Assim, o custo, obtido da mesma forma que no mecanismo MCU é dividido pelo número de períodos relativos ao lançamento em estudo, obtendo-se assim o custo médio por período. As

necessidades agregadas que originam o mínimo custo médio por período determina a quantidade a lançar em aquisição.

Exemplificação - Mínimo Custo por Período MCP

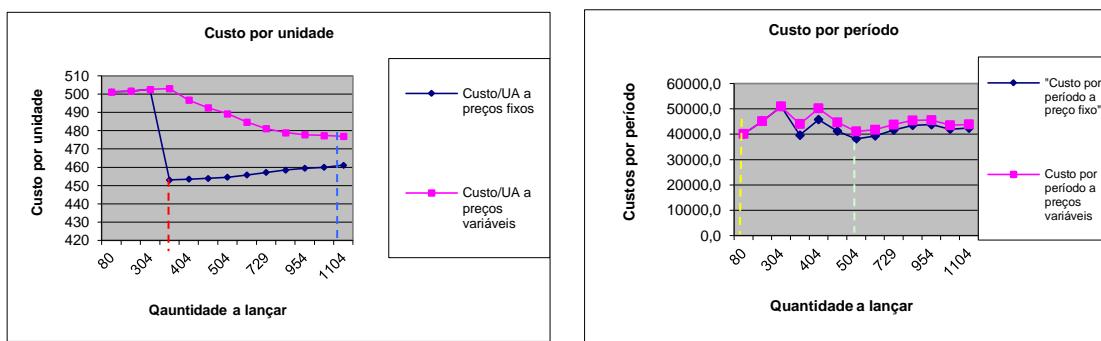
Descontos de quantidade com preços invariáveis

Neste caso o custo mínimo por período obtém-se para a quantidade de 504 unidades. Portanto tomando o desconto mas estendendo a encomenda para além da quantidade com desconto.

O número de períodos para a quantidade de 350 unidades deverá ser 3 períodos mais uma parte de período correspondente a 46 das 100 unidades do período 4. Ou seja 0,46 períodos.

Assim o valor 45830 do custo por período obtém-se pela divisão de 158572 por 3,46 períodos

Período	Necs. NL	Necs. Acum (L)	CP	CH	Preço/UA	CustoTotal= CP+CH+L*Preço	Custo/ período	Custo/ artigo
1	80	80	100	0	500	40100	40100,0	501,3
2	100	180	100	200	500	90300	45150,0	501,7
3	124	304	100	696	500	152796	50932,0	502,6
3,46	46	350	100	972	450	158572	45830,1	453,1
4	100	404	100	1296	450	183196	45799,0	453,5
5	50	454	100	1696	450	206096	41219,2	454,0
6	50	504	100	2196	450	229096	38182,7	454,6
7	100	604	100	3396	450	275296	39328,0	455,8



A tabela da Figura 3-58 sumariza os cálculos incluindo nas duas últimas colunas, o custo por período para os dois casos, i.e. preços invariáveis e preços variáveis.

O método do custo mínimo por unidade sugere o lançamento de 350 unidades artigo adquirido a preço único, e 1504 unidades se o desconto de quantidade é aplicável apenas aos artigos do escalão, i.e. o preço do artigo é variável com o escalão.

Período	Necs. NL	Necs. Acum (L)	Peças* período	CH	CP	Preço (fixo)/ UA	Preço (variável) /UA	CustoTotal = CP+CH+L * Preço (a preço único)	CustoTotal= CP+CH+L * Preço (preços varáveis	Custo/ artigo (preço único)	Custo/ artigo (preços variáveis)	Custo/ período (preço único)	Custo/ período (preços variáveis)
		0	0	0	0	500	500	0	0				
1	80	80	0	0	100	500	500	40100	40100	501,3	501,3	40100	40100
2	100	180	100	200	100	500	500	90300	90300	501,7	501,7	45150	45150
3	124	304	348	696	100	500	500	152796	152796	502,6	502,6	50932	50932
3,45	45	349	483	966	100	500	500	175566	175566	503,1	503,1	50888,7	50888,7
3,46	46	350	486	972	100	450	450	158572	176022	453,1	502,9	45830,1	50873,4
4	54	404	648	1296	100	450	450	183196	200646	453,5	496,6	45799,0	50161,5
5	50	454	848	1696	100	450	450	206096	223546	454,0	492,4	41219,2	44709,2
6	50	504	1098	2196	100	450	450	229096	246546	454,6	489,2	38182,7	41091,0
7	100	604	1698	3396	100	450	450	275296	292746	455,8	484,7	39328,0	41820,9
8	125	729	2573	5146	100	450	450	333296	350746	457,2	481,1	41662,0	43843,3
9	125	854	3573	7146	100	450	450	391546	408996	458,5	478,9	43505,1	45444,0
10	100	954	4473	8946	100	450	450	438346	455796	459,5	477,8	43834,6	45579,6
11	50	1004	4973	9946	100	450	450	461846	479296	460,0	477,4	41986,0	43572,4
12	100	1104	6073	12146	100	450	450	509046	526496	461,1	476,9	42420,5	43874,7
13	200	1304	8473	16946	100	450	450	603846	621296	463,1	476,5	46449,7	47792,0
14	200	1504	11073	22146	100	450	450	699046	716496	464,8	476,4	49931,9	51178,3
15	200	1704	13873	27746	100	450	450	794646	812096	466,3	476,6	52976,4	54139,7
...													
17	200	2104	20073	40146	100	450	450	987046	1004496	469,1	477,4	58061,5	59088,0

Figura 3-58 – Sumário dos cálculos

O método do mínimo custo por período (MCP) indica que o 1º lançamento deve ser de 80 unidades a preço variável e de 504 se a preço único de 450 UM/UA

Exercício

Considere a necessidades líquidas de artigo cujo preço por unidade é de 50 € não havendo qualquer desconto de quantidade:

Período	1	2	3	4	4	5	6
Necs. Líqs NL	10	110	160	180	280	310	311

Calcule a quantidade do 1.º lançamento usando o método do Mínimo Custo por Unidade (MCU) sabendo ser o custo de posse por unidade de artigo de 2 € por período e o de um lançamento de 300 €

3.3.6.2.10. Estratégia "LOOK AHEAD"

Alguns métodos poderão ser aplicados numa perspetiva alargada de prazo de planeamento, podendo resultar em alternativas de aquisição ou produção mais vantajosas do que se um prazo restrito fosse tomado para decisão. Esta estratégia designa-se normalmente de "Look Ahead". Em particular, os métodos de McLaren, Balanceamento de Peças-Período, Mínimo Custo por Unidade e Mínimo Custo por Período, podem beneficiar desta estratégia. Assim, quando a quantidade a lançar num ou mais períodos futuros, i.e. "ahead", é pequena, quando comparada com a dos períodos anteriores na base dos quais se determina a quantidade de lançamento, pode haver vantagem em adicioná-la à quantidade a encomendar.

Este procedimento de “look ahead” permite normalmente obter soluções de loteamento mais vantajosas. No entanto a qualidade das soluções é também muito dependente dos dados do problema.

3.3.6.3. Utilidade dos Modelos de Lotes Económicos

A utilidade dos modelos de lotes económicos referidos é condicionada por vários aspetos, como a seguir se refere.

1 - Dificuldade em estabelecer o custo de posse, C_h , por unidade de artigo.

De facto tal custo não é apenas dependente da taxa de juro e do valor do material empataido. É, também variável, entre outros aspetos, pela variação do valor do artigo ou material à medida que o artigo é processado. Isto complica consideravelmente a aplicabilidade rigorosa dos modelos.

2 - Impossibilidade de utilizar os lotes ótimos dos produtos para estabelecer programas de produção. Na verdade, se tal fosse utilizado seria de esperar a rotura do stock do artigo e/ou períodos mortos das unidades de produção, isto é sem carga.

3 - Há ainda o facto do lote ótimo de um artigo variar com a unidade de produção onde é produzido, quer por haver processadores alternativos quer por o lote ter de ser submetido a um conjunto de operações sequenciais em diferentes processadores, sendo portanto que, se o artigo fosse processado em quaisquer dois processadores diferentes o lote ótimo para uma não o seria para o outro.

Poderá, apesar das dificuldades referidas haver casos na prática onde a aplicação dos modelos de lotes económicos poderá ter viabilidade. Em particular, no caso de se pretender produzir artigos numa única unidade de produção, por exemplo máquina ou linha de fabrico, a sua aplicação poderá ser viável.

3.3.7. Aspectos Complementares de MRP

1. Atualização de Registros ou Frequência de Processamento

Podemos identificar duas abordagens à atualização de registo de dados:

Periódica, apresentando-se em duas formas ou versões:

Regeneração

Mudança líquida

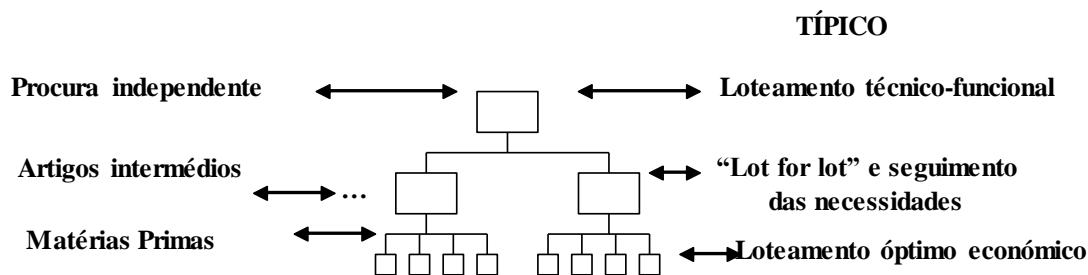
e **contínua** ou em tempo real por mudança líquida

2. Escala de Tempos

Periódica

Contínua

3. Loteamento – “Lot Sizing”



4. Existências (stocks) e prazos (lead times) de segurança

PROBLEMA	MEDIDA
Quantidades infiáveis	Existências de segurança
Prazos infiáveis	Prazos de segurança

5. Código de nível inferior – “low level code”

Ver texto anterior

6. Explosão

Ver texto anterior

7. Rastreabilidade dos lançamentos - “pegging”

Os lançamentos de uns artigos dão origem a necessidades brutas de outros que, por sua vez, descontando as existências geram necessidades líquidas que, de acordo com a política de loteamento ou abordagem aos lançamentos determinam os lançamentos, i.e. aquisições ou produções, a efetuar e respetivos períodos em que devem ser iniciados. Pelo processo pegging estes lançamentos, podem ser rastreados à origem, i.e. aos produtos que lhe deram imediatamente origem ou por interpostos artigos, aos artigos em níveis anteriores, até ao artigo independente, i.e. aquele que é vendido ao cliente.

Pegging é, portanto um processo extensível a todos os níveis das estruturas dos artigos envolvidos e no essencial é um processo de rastreabilidade de lançamentos que permite determinar que necessidades a satisfazer de artigo com as quantidades lançadas dos diferentes artigos.

É um processo estendido a todos os níveis das estruturas dos artigos envolvidos.

“Pegging” pode ser visto como o inverso da explosão.

8. Where used data

Indica quais os artigos onde um dado artigo é usado. Isto é diferente de “pegging” uma vez que “pegging” mostra que necessidades de artigos pai deram origem às necessidades de cada artigo filho, relacionando os diferentes lançamentos e consumos de todos os artigos envolvidos na fabricação de um artigo final

9. Lançamentos ou ordens planeadas firmes - “firm planned order (fpo)

É um lançamento planeado que não é alterado automaticamente quando perturbações ocorrem que podem comprometer a sua implementação no prazo disponível. A sua alteração requer autorização e o envolvimento dos gestores (pessoas) que avaliam os correspondente benefícios e/ou perdas resultantes e atuam em conformidade. Assim, um artigo cujo prazo de fabrico planeado fosse, por exemplo 3 períodos, poderá ser forçado o seu fabrico no prazo de dois ou um, se tecnologicamente tal for viável.

10. stock de artigos de substituição ou sobressalentes

Os artigos de substituição ou sobressalentes são normalmente tratados, para efeitos de PDP como se de um artigo final se tratasse. Na realidade, tais artigos são de fato artigos finais, não dependentes que devem ser fabricados e tratados como tal.

11. Horizonte de planeamento

O Horizonte de planeamento da produção numa empresa abrange normalmente um prazo alargado que deve ser superior ao prazo de fabrico do artigo mais demorado. Como se comprehende, não se pode planear a entrega de um artigo para dentro de um prazo de seis meses, por exemplo, se esse artigo, por norma, demorar mais a fabricar, isto é, desde o começo da procura de matérias-primas à sua conclusão para entrega ao cliente. Isto significa, que o horizonte de planeamento nos diferentes níveis de planeamento, nomeadamente agregado, diretor e detalhado, varia com o prazo de fabrico dos artigos. Claramente, este prazo é influenciado pela estratégia de produção adotada para satisfazer a procura incluindo as medidas de encurtamento de prazos associadas à produção modular ou à armazenagem de artigos intermédios, por exemplo.

12. Lançamentos previstos ou planeados versus recebimentos programados

Como se sabe um Programa de Produção, i.e. os lançamentos planeados ou previstos, é uma "declaração" de intenções do que fazer no futuro, quanto e quando. Portanto antes de chegado o momento de lançar o processo de produção, incluindo a aquisição de matérias primas, relativamente a qualquer lançamento previsto, é sempre possível cancelá-lo. No entanto, uma vez iniciado o processo de produção ou aquisição de materiais, o lançamento previsto deixa de existir, dando lugar a uma entrada equivalente nos registo de recebimentos programados, de produção ou de aquisição, convenientemente desfasado do prazo de entrega ou "lead time". Podemos dizer que o lançamento está confirmado.

13. Utilização do Sistema MRP

Preparação dos lançamentos (ordens) de fabrico ou aquisição

Afetações e verificação de existências disponíveis e emissão das requisições de levantamento.

Disponível ou existências reais = disponível não afetado + disponível afetado

"Exception codes or messages"

Número dos artigos para o próximo período de planeamento

Lançamentos (efetivados) (open orders) - (recebimentos programados) - não concluídas em tempo quantidade

Áreas problemáticas

prazo de entrega ou fabrico

...

Replaneamento "bottom.up"

Usando "pegging"

...

14. Closed Loop MRP

Compreende a Planeamento e Controlo da Produção com realimentação em todas as fases incluindo as de Controlo da Atividade da Produção.

Os recursos planeados ou controlados podem ser quaisquer, materiais, ou outros, embora, tipicamente esta forma de controlo se exerça principalmente sobre materiais e capacidade produtiva.

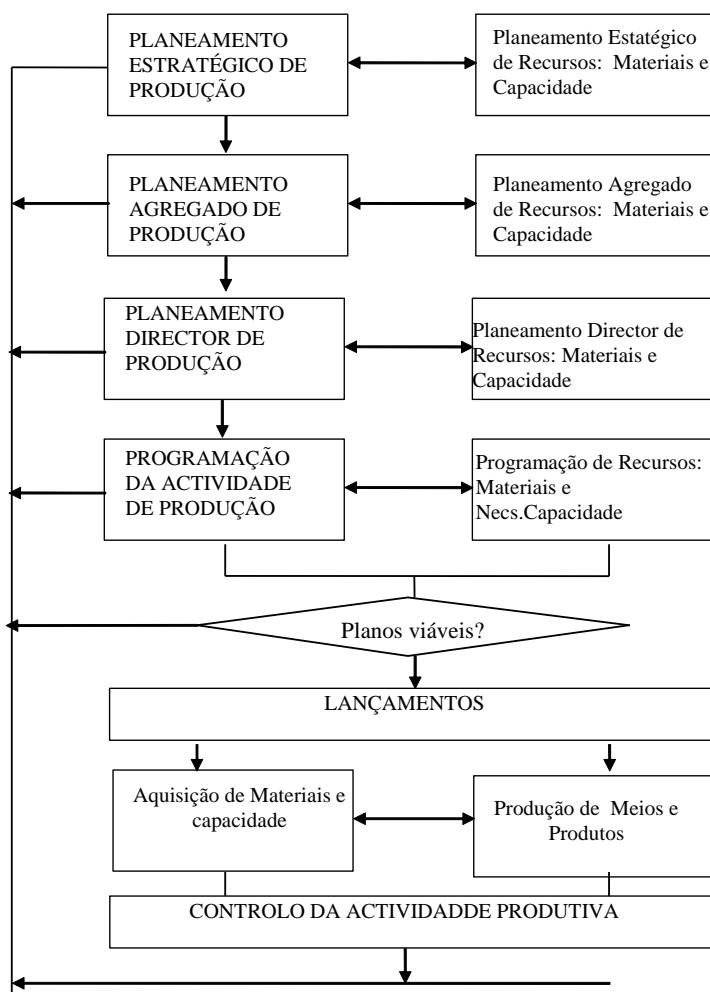


Figura 3-59 -Closed Loop MRP (CL-MRP)

15. MRP II

De uma forma simplista podemos dizer que o MRP-II é o alargamento de CL-MRP para poder incluir planeamento de outros recursos de produção além dos materiais a transformar, nomeadamente pessoal, máquinas e recursos financeiros, entre outros recursos.

Sistemas MRP - Base de Dados de Produção - Informação Fundamental

A implementação de sistemas de informação para gestão da produção, nomeadamente do tipo MRP, exige que seja disponibilizada informação relativa a (Browne, J., 1988):

- Caracterização dos artigos
 - produtos finais, independentes ou primários (artigos do PDP)
 - Produtos intermédios ou dependentes
 - Matérias primas
- Listas ou estruturas de materiais dos artigos
- Gamas operatórias ou roteiros de fabrico
- Informação sobre os centros de trabalho
- Informação sobre ferramentas
- Gestão de artigos

Cada uma destas classes de dados é abaixo sumariamente desenvolvida

Caracterização dos Artigos

- Número (um distinto para cada artigo)
- Descrição
- Unidade de medida
- Estratégia para tamanho do lote
- Tamanho do lote
- Stock de segurança (se necessário)
- Fator de perdas (se necessário)
- Prazo de fabrico/entrega (Lead time)

- Prazo de segurança (Safety lead time)
- Código: compra ou fabrico próprio
- Código do fornecedor
- Localização da armazenagem
- Código de artigo principal ou dependente
- Código de nível inferior
- Custo padrão
- Custo de Material
- Custo máquina
- Custo m-d-o direta
- Imputação de despesas Gerais de Fabrico

Listas ou Estruturas ou Nomenclaturas de Materiais dos Artigos (Bill of Materials - BOM)

Para cada artigo final

- a identificação /número de artigo
- a nomenclatura ou BOM

Para cada artigo filho:

- a identificação /número de artigo
- a nomenclatura
- a quantidade requerida por unidade do artigo pai

Informação sobre Ferramentas

- Número
- Nome
- Descrição
- Desenho

- Armazém
- Estado ou situação
- Ferramenta substituta
- Vida da ferramenta
- Vida acumulada
- Unidades de medida de vida

Gamas operatórias ou roteiros de fabrico

- Número do Artigo

Para cada operação:

- número
- descrição
- centro de trabalho
- operação alternativa
- precedência operatória
- referência a documentação relacionada
- ferramentas
- tempo de preparação do posto de trabalho
- tempo de processamento no posto
- tempo de m-d-o
- tempo de transporte
- prazo de fabrico (lead time)

Informação sobre os Centros de Trabalho

- Número
- Descrição
- Capacidade disponível

- Unidades de capacidade
- Tempo de espera médio por lote
- Custos unitários
- m-d-o
- máquina
- despesas gerais

Gestão de Artigos

- Existências por armazém
- Reservas ou afetações e,
- Em cada período, no horizonte de planeamento:
 - Necessidades brutas por período
 - Existências previstas
 - Necessidades líquidas
 - Lançamentos previstos ou planeados
 - Ordens firmes
 - Lançamentos efetivados - *open orders* - e respetivos recebimentos programados
- ...

3.4. CONTROLO DA ATIVIDADE DE PRODUÇÃO

O Controlo da Atividade de Produção ou produtiva (CAP) ocupa-se do controlo e supervisão da produção no espaço fabril, iniciando-se com o lançamento dos trabalhos em fabrico .

Neste controlo pode distinguir-se quatro fases:

1. Lançamento dos trabalhos
2. Afetação ou distribuição de carga pelos centros de trabalho
3. Sequenciamento ou despacho dos trabalhos em cada centro e
4. Supervisão e controlo da progressão dos trabalhos ou seguimento.

Esta última função está associada ou é também referida com a monitorização da produção.

As funções e o fluxo informativo fundamental no Controlo da Atividade de Produção são ilustradas na Figura 3-60.

O lançamento é a função de libertação dos trabalhos para o espaço fabril para que sejam processados. Só se pode realizar quando as condições de produção estão garantidas incluindo a especificação da data autorizada para se iniciarem os trabalhos.

Ao lançamento estão associadas tarefas tais como:

- Recolha dos "dossiers" de fabrico e programas de produção incluindo toda a documentação auxiliar necessária;
- Certificação de que os materiais, ferramentas e dispositivos auxiliares estão disponíveis;
- Recolha ou levantamento do armazém as matérias-primas a processar ou transformar;
- Recolha das ferramentas e dispositivos auxiliares com preparação ou aquisição dos meios auxiliares não existentes;
- Obtenção dos programas de CN, quando necessário, para comando das máquinas;
- Obtenção planos e programas de inspeção de qualidade;
- Possibilitar o inicio de fabrico fazendo acompanhar os materiais e meios auxiliares da respetiva documentação necessária, nomeadamente instruções de trabalho, documentos de registo de custos, tempos, quantidades, etc.;

A afetação ou distribuição de carga, dentro do contexto do controlo da atividade de produção, é uma ação que consiste em distribuir ou afetar, às diferentes unidades e/ou secções de

produção e, de forma detalhada, a cada posto de trabalho, os trabalhos lançados em fabrico por forma a satisfazer o programa de produção.

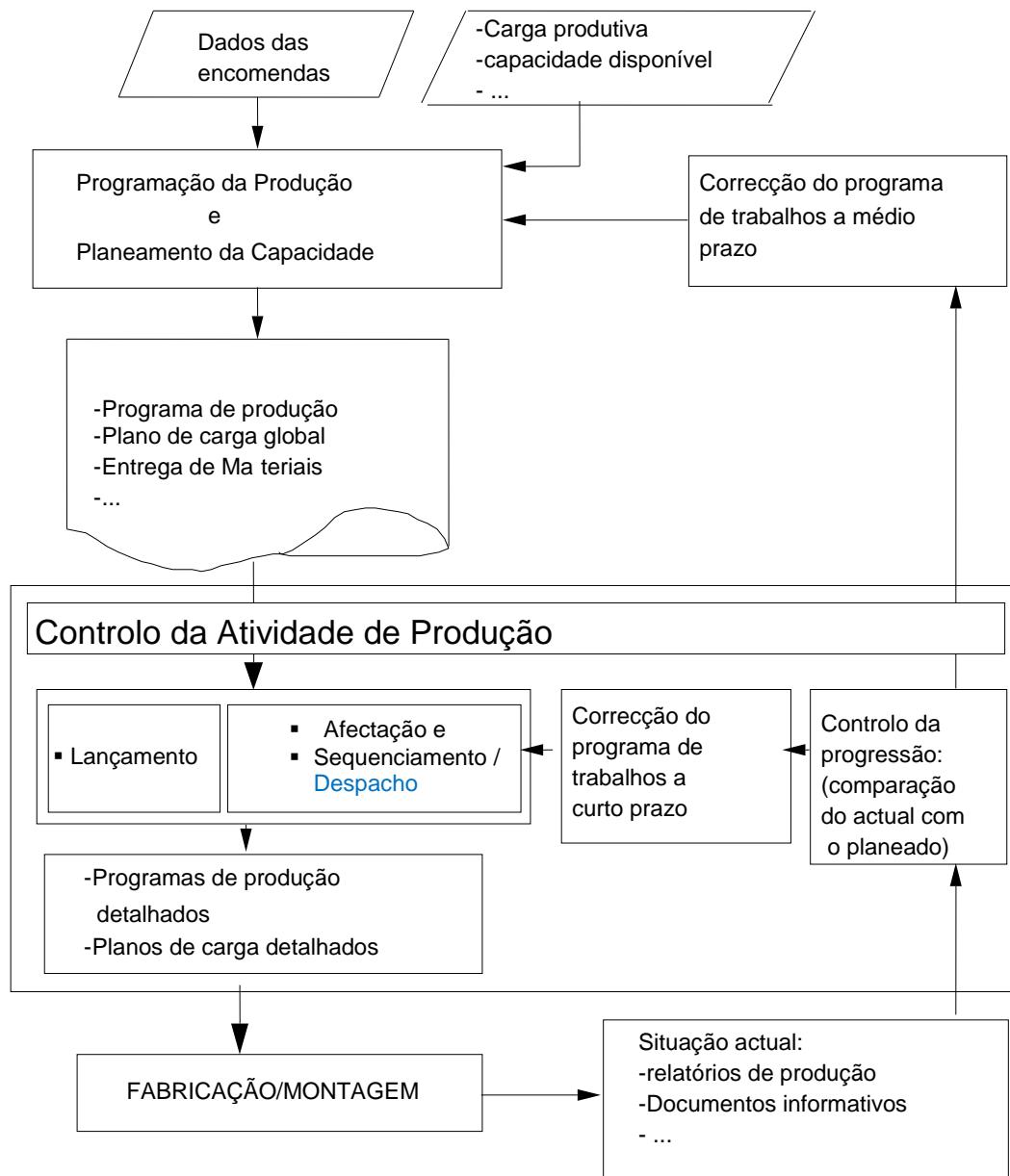


Figura 3-60 -. Funções e fluxo informativo no Controlo da Atividade de Produção

Subsequentemente a esta afetação há necessidade de definir a ordem de execução de cada trabalho existente nas filas de espera. Isto pode fazer-se segundo duas alternativas: sequenciamento ou despacho.

No sequenciamento, por vezes também referido como sequenciação ou mesmo programação sequencial, define-se a sequência de fabricação dos trabalhos a executar em cada posto do sistema por forma a otimizar um dado critério de desempenho, e.g. minimizar o número de trabalhos atrasados. O sequenciamento aparece frequentemente em situações estáticas

associadas ao “congelamento” do programa de produção, i.e., considera-se que só os trabalhos que estão na fila do posto da unidade de produção são sequenciados ou ordenados para processamento, os que entretanto chegam serão considerados na próxima revisão do programa. Se admitirmos a chegada permanente de novos trabalhos o programa sequencial perde depressa validade por não atender a esta dinâmica de chegada, ou então seria necessário um permanente e contínuo processo de resequenciamento, situação de facto impraticável.

No despacho, os trabalhos das filas não são previamente ordenados para processamento como se faz no sequenciamento: apenas um único trabalho é escolhido com base em critérios de otimização, para ser executado a seguir, perante a disponibilização da unidade de produção ou posto de trabalho. Portanto o dinamismo associado à permanente chegada dos trabalhos pode ser tomado em conta com total facilidade de forma a obtermos uma boa solução de controlo da atividade produtiva

Tanto o sequenciamento como o despacho regem-se por questões de otimização procurando alcançar os objetivos de produção. Estes por vezes traduzem-se em procurar atingir certas metas que para eles contribuem, por vezes em conflito, tais como:

- necessidade de se manter o perfil de carga estabelecido,
- garantia que os prazos de entrega definidos num programa sejam cumpridos,
- níveis elevados de utilização do sistema,
- custos totais de produção reduzidos,
- trabalhos em curso mínimos,
- tempos de espera reduzidos,
- datas de entrega cumpridas sem grandes antecipações,

Por razões de complexidade e variabilidade das condições ou estado de produção, é frequente usar na prática industrial o despacho e muito pouco o sequenciamento. O despacho, i.e. a escolha do trabalho a executar a seguir, é normalmente executado recorrendo a regras de prioridade por vezes também referidas como regras de despacho – “dispatching rules”. Exemplo de algumas mostram-se na Figura 3-61 .

A aplicação de uma ou outra regra de sequenciamento, é essencialmente dependente dos objetivos a atingir tendo em conta também as características predominantemente organizacionais dos sistemas de produção e dos trabalhos a executar. A qualidade dos

resultados é assim não só dependente da regra aplicada mas também de outros aspetos tais como:

- a variância dos tempos das operações,
- tamanho dos lotes,
- quantidade de diferentes operações por lote,
- semelhança entre requisitos de processamento, quer entre operações quer entre lotes.

Regras de prioridade de despacho	
Regras simples	<p>1 - Factor de urgência do trabalho</p> <p>2 - Data devida mais próxima de conclusão do trabalho</p> <p>3 - "First Come First Served- FCFS" ou "First in First out-FIFO"</p> <p>4 - "Last Come First Served- LCFS" ou LIFO</p> <p>5 - Menor tempo da operação seguinte</p> <p>6 - Maior tempo da operação seguinte</p> <p>7 - Menor número de operações</p> <p>8 - Maior número de operações</p> <p>9 - Menor tempo operatório</p> <p>10 - Maior tempo operatório</p> <p>11 - Diferença entre o prazo remanescente e o tempo de operação remanescente "SLACK"</p> <p>12 - Menor tempo operatório remanescente(Work Content Remaining - "MWR")</p> <p>13 - Maior tempo operatório remanescente</p> <p>...</p>
Regras combinadas	<p>14 - Cociente do tempo operatório remanescente pelo número de operações remanescentes</p> <p>15 - Alternância entre regra 9 e regra 11</p> <p>...</p>

Figura 3-61 - Amostra de regras de prioridade de despacho

Estas regras, são por vezes aplicadas no situação de sequenciamento, resultando em alguns casos ou problemas típicos na obtenção de soluções ótimas. Exemplo disso é a ordenação dos trabalhos com base no menor tempo operatório, a regra 9 , que minimiza a média do tempo em curso de fabrico por trabalho no caso de um sistema de produção com uma única máquina e trabalhos independentes. Como é lógico, trabalhos com tempos de operação longos ficam retidos por tempo considerável. Para compensar inconvenientes de algumas regras pode haver um controlo que combina regras diferentes.

O objetivo principal da *Supervisão e Controlo da Progressão dos Trabalhos*, este também conhecido como *Seguimento* ou acompanhamento dos trabalhos, é verificar o andamento destes procurando garantir o cumprimento dos prazos de fabrico dos trabalhos lançados assim como a qualidade de produção.

Para atingir os seus objetivos são funções do controlo da progressão, entre outras, as seguintes:

- Zelar para que os programas de produção se cumpram
- Fazer relatórios e notas de situação relativas a alterações ou anomalias que possam afetar significativamente, a médio prazo, os trabalhos lançados ou a lançar em fabrico.
- Remeter os relatórios acima referidos ao Planeamento e Programação da Produção de forma a que as anomalias possam ser retificadas e os programas de produção alterados de acordo.
- Eliminar anomalias organizacionais de pequena monta na progressão dos trabalhos.
- Providenciar para a correção de deficiente ou exagerada qualidade dos produtos;
- Corrigir programas de produção face a pequenas perturbações do processo produtivo

Portanto o controlo da progressão deverá, perante pequenas perturbações de funcionamento, adaptar os programas de trabalho por forma a minimizar os efeitos negativos de tais perturbações. No entanto, no caso de necessidade de grandes alterações aos programa e plano de trabalhos, deverá participar acima, isto é, ao lançamento ou à programação da produção, tais anomalias por forma a que eventual replaneamento de parte ou do total dos trabalhos se faça tendo em conta as novas circunstâncias.

Exemplos de causas que podem justificar a alteração do programa de trabalhos são:

- Atrasos na disponibilidade de matérias primas;
- Atrasos motivados por falta de meios auxiliares de fabricação;
- Absentismo imprevisto;
- Acidentes;
- Greves;
- Avarias prolongadas do equipamento;
- Redução imprevista dos prazos de entrega por imposição da Direção

- Erros de projeto ou de preparação do trabalho
- ...

3.4.1. Controlo da atividade de produção em diferentes sistemas produtivos

Convém realçar que a dificuldade e importância do controlo da atividade de produção depende bastante da natureza e características do sistema de produção a controlar. Assim no caso da produção em pequenos lotes o sistema de produção deve ser altamente flexível geralmente com implantação funcional, capaz de se adaptar com rapidez à fabricação de lotes variados. Compreende-se assim que o controlo da atividade de produção seja geralmente de grande complexidade e importância obrigando, muitas vezes, a metodologias flexíveis, práticas e heurísticas , para a resolução de problemas e adaptação a perturbações frequentes no fluxo produtivo planeado.

Em oposição, a fabricação em massa, apresenta um esquema produtivo consideravelmente simples e rígido, num tipo de implantação em linha, em que os trabalhos seguem um número de passos bem determinado e invariável, numa sequência operatória também invariável. Neste caso o controlo oficial é bastante simplificado porque as opções, quanto a caminhos alternativos de ação, são mínimas. O programa de produção é também praticamente invariável ao longo de várias semanas ou meses. A distribuição de cargas e programação detalhada é, geralmente, resolvida na fase de conceção da linha por balanceamento do sistema que, geralmente se faz quando se muda de para cada artigo ou de mistura de artigos fabricados conjuntamente na linha.

Com o uso de sistemas de fabricação computadorizada, geralmente designados de Sistemas de Fabricação Flexível, todo o processo de planeamento é levado a grande detalhe e cuidadosamente preparado e estudado, mesmo no fabrico de pequenas séries. Garante-se assim um elevado desempenho destes sistemas. A grande parte do controlo existente é levado a cabo por meios automáticos computadorizados pelo que a intervenção humana ao nível oficial é principalmente de supervisão, reposição do funcionamento do sistema face a grandes perturbações, asseguração da integridade do equipamento e "software" de controlo de produção e de controlo de processos. É claro que, face a perturbações do sistema, trabalhos poderão ficar interrompidos pelo que haverá então necessidade de os relançar no sistema, em momento e condições oportunas. Disto se assegurará o responsável pelo controlo oficial de produção recorrendo se for caso disso a meios de ajuda computadorizada.

Duma forma sumariada representa-se na Figura 3-62 as exigências de controlo oficial ou da atividade da produção face aos diferentes tipos de sistema de produção.

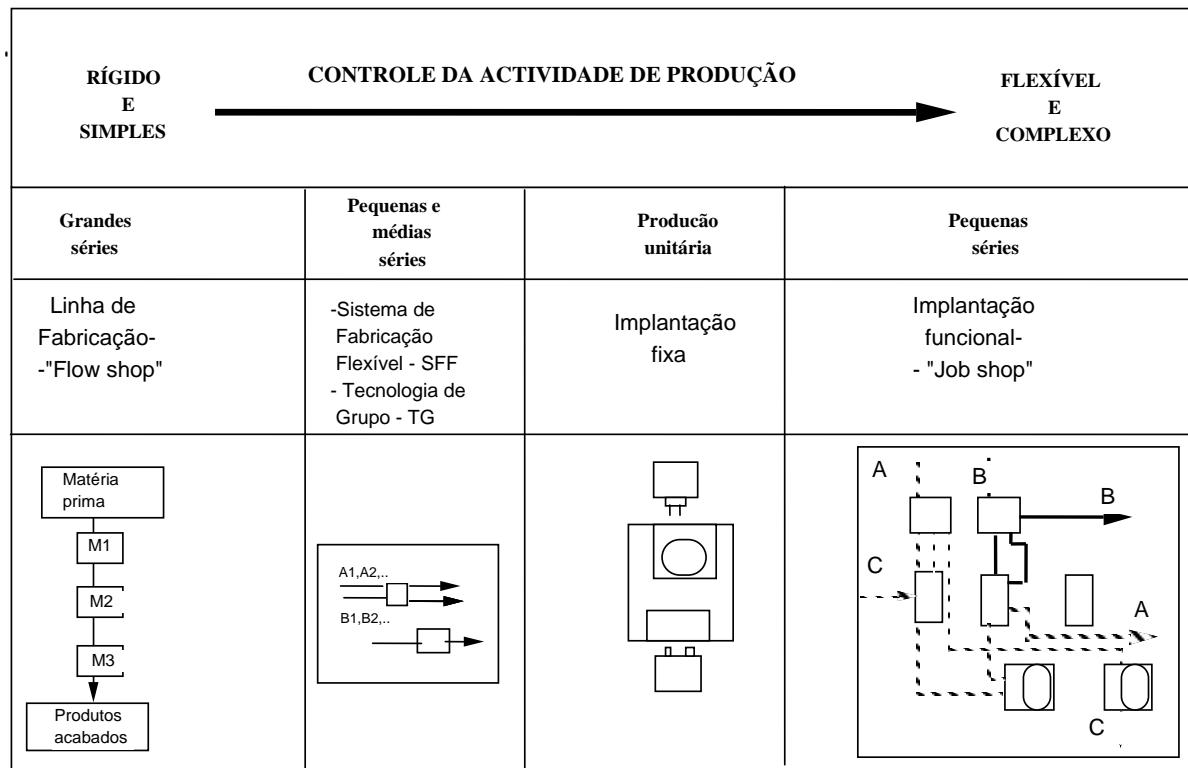


Figura 3-62 - Características do Controlo da Atividade de Produção em diferentes ambientes produtivos

4. Fundamentos de Produção Just-in-Time (JIT) e de controlo da atividade de produção (CAP)

(Em preparação)

Ver Slides

5. ESCALONAMENTO/PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO DE CURTA DURAÇÃO

5.1. Introdução

Neste texto incide-se principalmente sobre a problemática de programação detalhada da produção, típica do espaço fabril, tratando-se simultaneamente os problemas ou funções de *programação* sequencial, também conhecida como *sequenciamento* e a *afetação* também conhecido como "*allocation*". No seu conjunto estas duas funções inserem-se no contexto da função *escalonamento*. Embora não tão frequente, a designação de *escalamento* é também usada para significar escalonamento. Não é invulgar dizer-se que determinado recurso, por exemplo, um operador, está escalado para iniciar uma tarefa num determinado instante.

Embora o termo *Escalonamento da Produção* – "Scheduling" – se possa estender à programação de longo prazo, usá-lo-emos aqui para referir a programação detalhada da produção, também vulgarmente conhecida como programação da produção de curta-duração.

O problema de *sequenciamento* consiste, essencialmente, em encontrar a ordem pela qual os trabalhos, ou lotes, devem ser processados em cada processador do sistema de produção. O problema da *afetação* tem o objetivo de determinar em que processador, entre vários disponíveis e possíveis, se vai realizar cada uma das operações ou fases de fabrico do trabalho, ou lote.

Utilizamos neste texto de forma indistinta as designações de *programação da produção* e *escalonamento da produção* para referir o problema conjunto de programação sequencial ou sequenciamento e o de afetação.

Usa-se, aqui a designação de *trabalho* para designar qualquer *tarefa* que é necessário realizar no sistema, que em produção discreta, é equivalente ao conceito de lote de produção. Genericamente, um *lote de produção* é um trabalho constituído por uma dada quantidade de artigo, que é processado num ou mais processadores do sistema de produção, sendo tratado com uma única entidade.

O resultado do processo de escalonamento da produção (EP) é um programa de produção que, na sua representação mais genérica, indica ou representa a informação que responde às questões referidas no parágrafo anterior.

O estabelecimento do momento de execução dos trabalhos depende da sequência pela qual são ordenados em cada processador ou máquina estabelecida pelo sequenciamento. A

transposição do programa de produção para uma escala de tempos, definindo claramente o momento de execução dos diferentes trabalhos pelos diferentes recursos ou meios de produção principais de um sistema, por exemplo, operador, processador ou máquina, é uma função que se pode designar por calendarização dos trabalhos ou tarefas. Por vezes esta função confunde-se com o próprio processo de escalonamento.

Diagrama de Gantt

O Diagrama de Gantt é uma das formas, talvez a mais representativa e expressiva, de representação de um programa de produção, Figura 1 .

O andamento real dos trabalhos pode ser comparado com o programa de produção de forma a alertar para atrasos merecedores de ação corretiva com vista a aumentar a eficiência da produção. Esta informação pode também ser contida no diagrama de Gantt.

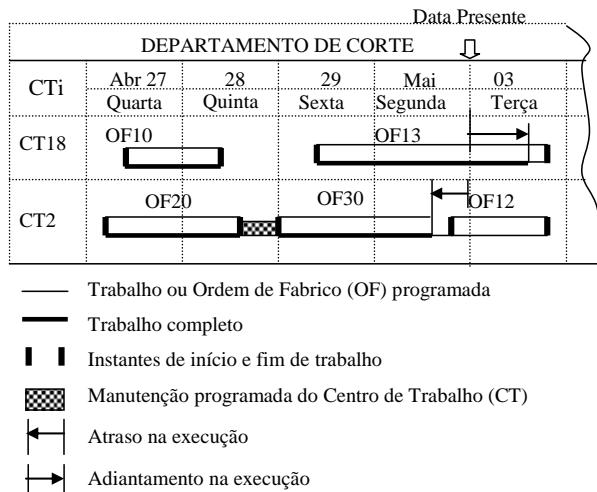


Figura 5-1 - Diagrama de Gantt: a forma de representação mais paradigmática de um programa de produção.

5.2. Uma classificação dos problemas de programação da produção

Podemos distinguir dois tipos de programação detalhada da produção:

a programação de vários trabalhos a produzir simultaneamente num sistema de produção, também designada de *programação de curta duração* e a

programação de um único trabalho de longa duração, designada de *programação de projetos* ou de *programação de longa duração*.

O trabalho em causa, neste último caso, designado também de projeto, é constituído por uma série de atividades ou tarefas para a execução das quais se tem de reunir os meios de produção necessários.

Podemos, portanto identificar duas classes genéricas de problemas de programação: a programação de curta duração e a programação de projetos ou de longa duração.

Na primeira classe os lotes ou trabalhos, a processar numa ou mais máquinas ou processadores, são independentes uns dos outros, ou são normalmente tratados como tal, pretendendo-se, basicamente, determinar em que processadores e por que sequência devem os trabalhos ser processados.

No segunda classe trata-se de programar atividades de trabalhos únicos de longo prazo (dias, semanas, meses e anos), com são exemplos a construção de uma fábrica, de um barco, ou edifício, estrada etc.. Os trabalhos são normalmente constituídos por atividades que são então programadas. Neste caso pretende-se primeiramente determinar os meios necessários para num prazo estipulado se execute o trabalho ou projeto. Neste processo determina-se o começo e fim de cada atividade e as folgas de tempo existente, face ao número de recursos que se podem disponibilizar. Nesta programação é vulgar utilizar-se os métodos CPM e PERT e uma variedade de algoritmos heurísticos de afetação de recursos.

Portanto, a *programação de curta duração* dirige-se mais à escolha dos trabalhos para os processadores disponíveis no sistema de produção, e seu sequenciamento para processamento, ao passo que *programação de projetos* equaciona mais a escolha dos processadores ou recursos, em cada instante, para executar cada atividade de um trabalho, ou projeto, complexo.

A programação de projetos não é objeto de estudo neste texto. Por este facto a referência a problemas programação detalhada da produção refere-se ao que designamos de programação da produção de curta duração.

Uma classificação dos problemas de programação da produção que interessa aqui realçar é baseado no número de fases de produção ou complexidade e divide-os em problemas de:

- Processador ou Máquina Única
- Processadores ou Máquinas Paralelas
- Linha de Produção
- Oficina de Produção
- Outros

A Figura 5-2 ilustra os quatro tipo de sistemas de produção relacionados com os problemas.

Tanto os problemas de máquina única como os de máquina paralelas são problemas de fase única, i.e. são processados num único estádio ou fase de processamento, por exemplo numa única máquina ou posto de trabalho. A designação de máquinas paralelas é apenas para referir que para cada trabalho há máquinas semelhantes que o podem processar, numa única fase, pelo que uma escolha tem de ser feita para afetação do trabalho.

Os problemas de linhas de produção e de oficinas de produção são problemas de fases múltiplas, i.e. os trabalhos só terminam o processamento depois de processados em duas ou mais fases de produção. A distinção entre eles é que nos primeiros todos os trabalhos seguem a mesma sequência operatória em relação às máquinas existentes no sistema de produção. Desta forma, se as máquinas forem dispostas no espaço segundo essa sequência, não encontramos fluxos inversos, ou regressivos, dos trabalhos.

No caso das oficinas de produção, os trabalhos têm um número de operações ou fases também de dois ou mais, com uma sequência da sua execução também inequivocamente definida, como nas linhas de produção, mas pode ser diferente de trabalho para trabalho em relação às máquinas existentes no sistema. Desta forma, estando as máquinas dispostas no espaço numa dada sequência, é de prever existirem fluxos inversos ou regressivos dos trabalhos no sistema.

A Figura 5-2 claramente identifica os dois conceitos.

Como se vê a linha de produção pura é caracterizada por roteiro ou sequência de fabrico fixa, isto é, a $j^{\text{ésima}}$ fase ou operação é executada num processador da $j^{\text{ésima}}$ fase de processamento da linha. Por outro lado a oficina de produção não tem essa restrição, i.e. a $j^{\text{ésima}}$ operação pode ser executável em qualquer máquina ou processador da oficina, dependendo dos requisitos de processamento do trabalho. No limite podemos dizer que a linha de produção é um caso particular da oficina de produção. Apesar disso, por existirem algoritmos especificamente desenvolvidos para as linhas que, por sua vez, são objeto de estudo diferenciado, é normal distinguir estes dois conceitos, i.e. linha e oficina de produção.

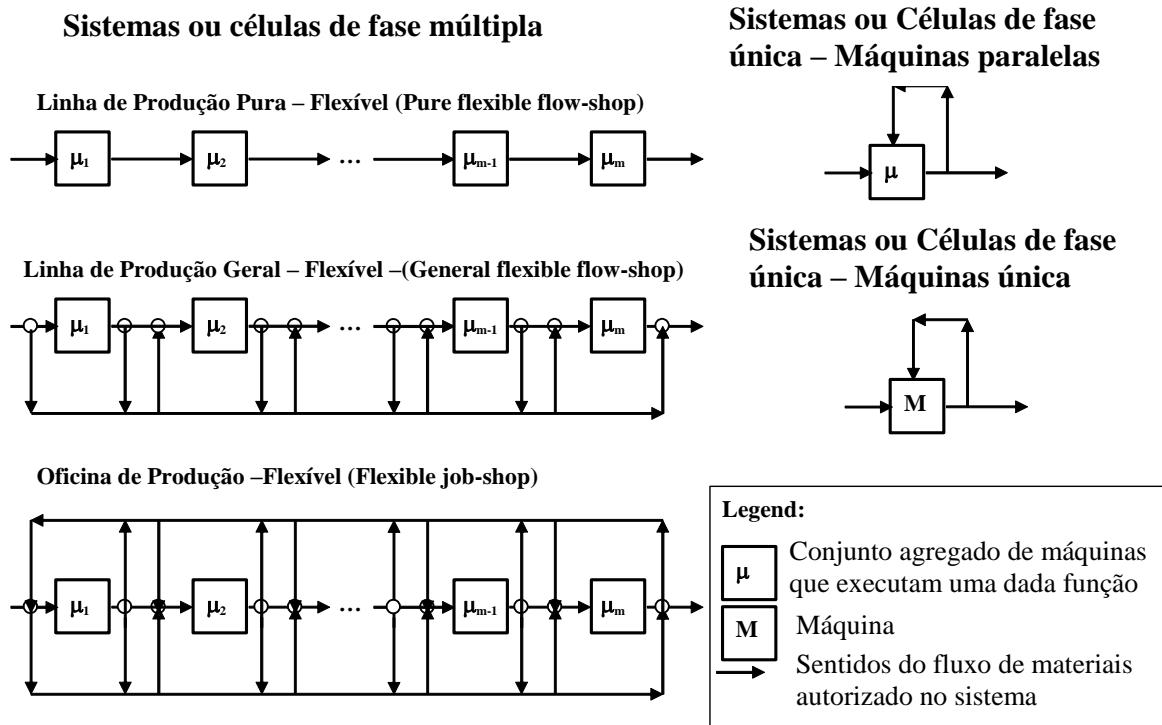


Figura 5-2 – Tipos de sistemas de produção

A designação *flexível* está associada ao facto de haver, para o processamento de cada operação de um trabalho pelo menos duas ou mais máquinas semelhantes para a realizar. Alguns autores, na vez de referirem os conceitos como flexíveis chamam-lhe híbridos, pelo que designações como *linha ou oficina híbrida* de produção ("hybrid flow shop"), como alternativas a linha ou oficina flexível de fabricação, não são invulgares.

Uma outra classificação importante dos problemas de programação da produção baseada no estado do sistema divide-os em:

- Estáticos e
- Dinâmicos

Nos problemas estáticos assume-se que não há alterações ao estado de funcionamento do sistema nem há chegada de novos trabalhos ao sistema a partir do instante inicial de execução dos trabalhos. Estabelece-se assim, um *escalonamento estático*, i.e ou não considerando eventos aleatórios que possam acontecer entre o instante inicial e final de execução do programa. Como se comprehende, esta é uma situação, aparentemente, irrealista, mas é, provavelmente, a mais vulgarmente estudada e encontrada na bibliografia. Apesar disso é incontestável que casos práticos podem ser resolvidos com base nesta real ou aparente simplificação da realidade.

Provavelmente o caso mais vulgar na prática é aquele em que se assume existirem trabalhos a chegar durante o processamento de outros chegados anteriormente e, ainda, haver perturbações de funcionamento, programadas ou inesperadas. Assim, qualquer programa estático, para ser validado ou atualizado, deveria ser revisto perante quaisquer acontecimentos destes, aleatórios ou não.

Quando as perturbações normais ou imprevistas de funcionamento são equacionadas no processo de na programação da produção diz-se que se está a resolver um problema de *escalonamento dinâmico*.

Métodos para problemas dinâmicos, quando apresentados, são referidos como tal. A omissão de qualquer referência a este tipo de problemas significa que o método é aplicado a problemas estáticos.

Há ainda outros critérios usados na classificação dos problemas de programação da produção ou escalonamento dentre os quais podemos referir:

Quanto à natureza das variáveis

O destino dos produtos ou modo de satisfação da procura

Natureza do critério de otimização

Natureza das variáveis

Quanto à natureza das variáveis estas podem ser:

Determinísticas e

Estocásticas

Exemplos de variáveis: tempo de processamento e procura

O destino dos produtos ou modo de satisfação da procura

- Produção **por/para encomenda**

Neste problemas a questão principal a resolver é de programação da produção, i.e. estabelecer o programa de produção para satisfazer as datas de entrega assumidas.

- Produção para **aprovisionamento ou “stock”**

Neste caso, tanto o problema de

programação da produção, como o do

estabelecimento do tamanho dos lotes de produção
são igualmente importantes e, aliás, inter-relacionados.

Aqui, o tamanho dos lotes não é dependente das encomendas, mas sim de uma estratégia de loteamento que tenha vantagens económicas em termos dos custos de apropriação ou gestão de materiais, tendo subjacente a necessidade de satisfazer a procura a partir de stock.

Natureza do critério de otimização

A natureza do critério pode ser diversa, mas podemos identificar duas classes distintas:

O critério **é uma função de custo** do programa da produção

O critério **não é uma função de custo**,

Exemplos de critérios de desempenho deste tipo incluem: cumprimento das datas de entrega acordadas, número de trabalhos atrasados, tempo em curso de fabrico e utilização do sistema.

5.3. Técnicas e Complexidade da Programação da Produção

Uma sequência ótima de execução de trabalhos pode ser obtida por seleção da melhor sequência de entre todas as possíveis obtidas por enumeração completa. Este procedimento, mesmo para situações de dimensão reduzida pode-se tornar impraticável. Assim, a título de exemplo, programar, sem restrições, n trabalhos em m máquinas numa linha (geral) ou oficina de fabricação equivale a ter, no limite, $(n!)^m$, sequências possíveis para avaliar. Assim se $m = 2$ e $n = 5$ o número de sequências S possíveis seria:

$$S = (n!)^m \quad (1)$$

$$S = (5!)^2 \quad \text{ou seja:} \quad S = 14\,400$$

e se $m = 3$

$$S = (5!)^3 \quad \text{ou seja:} \quad S = 1\,728\,000$$

Se a sequência em qualquer das máquinas for invariável e aquela adotada na 1ª máquina isto é, se se tratar de sequências ou programas ordenados, o que acontece na linha pura, então:

$$S = n! \quad (2)$$

Outras formas determinar uma solução de um problema de programação da produção, por vezes muito menos laboriosas do que a enumeração completa das soluções possíveis, é através

da utilização de métodos matemáticos ou métodos heurísticos, referidos genericamente como algoritmos.

A melhor solução é determinada na base de um critério de eficiência ou desempenho, o critério de otimização, direta ou indiretamente relacionado com variáveis tais como prazo de fabricação, nível de trabalho em curso, utilização do equipamento, urgência e outras. A este critério está associada a função objetivo que exprime o que se pretende alcançar com um método de escalonamento, que pode ser, por exemplo, a minimização do tempo total de produção dos trabalhos.

Geralmente na resolução de problemas de programação da produção através de algoritmos, está implícita a representação da realidade através de um modelo que, de alguma forma assume simplificações da realidade, consideradas aceitáveis face ao objetivo a alcançar

Uns métodos podem, em alguns casos, gerar soluções ótimas, relativamente a um dado critério e perante simplificações da realidade assumidas, por isso se referem como de otimização, outros, porém, apenas geram soluções geralmente consideradas boas. Esta situação é típica dos métodos heurísticos.

O uso de regras de prioridade de sequenciamento ou despacho dos trabalhos nos diferentes processadores de um sistema de produção, é frequentemente na prática, pela sua simplicidade. Claro que correta aplicação das regras de prioridade exige o conhecimento do seu comportamento que deverá ser tomado em conta para atingir os objetivos de desempenho pretendidos..

Portanto, devido ao elevadíssimo número de sequências alternativas de ordenação de n trabalhos ou lotes de fabrico, mesmo para casos simples de uma ou duas máquinas, é normal evitar a enumeração completa das sequências possíveis, gerando, outro sim, soluções por outros métodos ou técnicas mais eficazes, tais como:

- Uso de Regras de Prioridade
- Programador experiente - Método Manual empírico
- Seleção aleatória de um número reduzido de sequências
- Métodos Heurísticos baseados na Técnica Ramificação e Limite - "Branch and Bound"
- Métodos de Otimização baseados na Técnica Ramificação e Limite - "Branch and Bound" de
- Modelos Matemáticos de otimização

- Pesquisa local
- Meta-Heurísticas, i.e. métodos heurísticos de geração e avaliação de programas na vizinhança de um programa ou de populações de programas, de que são exemplos a pesquisa tabu e os algoritmos genéticos.

5.4. Tipos de Programas de Produção

No contexto de produção em fase múltipla podem-se identificar os seguintes tipos de programas de produção relacionados (Baker, 1974):

- *Sequência ou Programa Ordenado* é um programa de execução dos trabalhos em que a ordem de execução dos trabalhos é a mesma em todas as "máquinas" do sistema. Esta é uma situação típica de linhas de fabrico embora se possam obter programas ordenados, ou não ordenados, tanto em linhas como oficinas de fabrico. No máximo, havendo n trabalhos para programar num dado instante, há $n!$ programas ordenados possíveis.
- *Sequência ou Programa Não Ordenado* é aquele em que a ordem dos n trabalhos nas m máquinas de um sistema pode variar em cada máquina. No máximo há $(n!)^m$ programas não ordenados.
- *Sequência ou Programa Possível - "feasible" – ou válido* é aquele que é realizável na base dos requisitos tecnológicos e de capacidade produtiva existente.
- *Sequência ou Programa Ativo* é aquele em que as operações numa máquina não podem começar mais cedo sem atrasarem outras operações nessa ou noutras máquinas.

5.4.1. Programas Semi-Ativos e Ativos

Tempo morto supérfluo existe quando existe pelo menos uma operação que pode começar mais cedo sem alterar a sequência de operações em qualquer máquina.

"*Local left shift*"- *deslocamento à esquerda limitado* é o ajustamento de um programa por deslocamento, para a esquerda, de qualquer operação que possa começar mais cedo anulando o tempo morto supérfluo, sem alterar a sequência de execução dos trabalhos em qualquer máquina.

Para uma dada sequência de operações por cada máquina existe um e apenas um programa de execução em que, mantendo as sequências operatórias em cada máquina, não se pode

realizar qualquer deslocamento local para a esquerda . Este programa diz-se ser um *programa semi-ativo* (PSA). O conjunto de todos os programas em que não se pode fazer qualquer deslocamento local para a esquerda é o conjunto de programas semi-ativos. Portanto, a cada programa semi-ativo está associada uma dada sequência operatória em cada uma das máquinas. A Figura 5-3 ilustra este conceito.

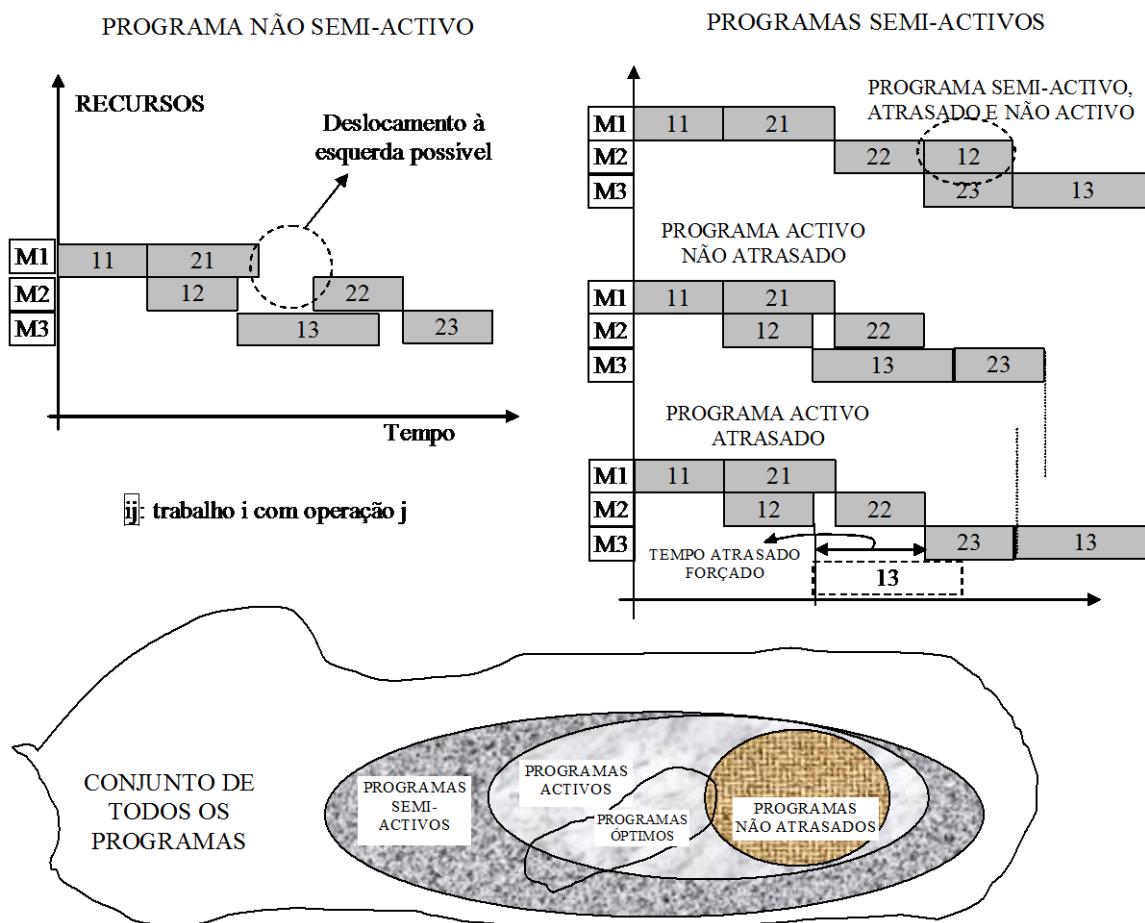


Figura 5-3 - Representação de tipos de programas: não semi-ativos, semi-ativos, ativos e não-atrasados.

Dos programas *semi-ativos* alguns têm a propriedade de permitirem um deslocamento à esquerda por antecipação da execução, devido a uma troca de posição relativa de um trabalho numa máquina em relação a outros, i.e. alterando portanto a sequência dos trabalhos numa máquina, sem atrasar a execução de quaisquer outros do programa. Por cada tal antecipação diz-se que se realiza um *deslocamento à esquerda global* – “*global left shift*”- ou simplesmente, *deslocamento à esquerda*. Quaisquer programas semi-ativos que não possam sofrer deslocamento à esquerda são *programas ativos*. Pode-se portanto concluir que o conjunto de programas semi-ativos contém o conjunto de programas ativos.

Podemos ainda identificar os programas *não-atrasados*. Nestes nenhuma máquina fica parada se puder começar o processamento de uma operação, ou nenhuma operação é atrasada se puder começar em alguma máquina. Pode-se portanto concluir que o conjunto de programas não atrasados são um subconjunto dos programas ativos.

5.5. Medidas de eficiência ou desempenho

Qualquer programa de produção deve ser avaliado relativamente aos seus méritos para atingir objetivos. Desta forma os objetivos são por vezes equacionados em termos de medidas de desempenho da atividade de produção ou do serviço prestado.

Algumas medidas típicas que empresas normalmente equacionam estão relacionadas com os atrasos nas entregas, com número de encomendas entregues dentro do prazo, com rácios que relacionam devoluções ou custos de produção por unidade, etc..

A seguir apresentam-se algumas medidas clássicas largamente utilizadas na prática e na teoria para avaliar a qualidade de programas de produção e que, de alguma forma se relacionam com, ou implementam, medidas do tipo das que se referiu acima.

Média do tempo em curso ou do percurso de produção -"flow time"- por trabalho, *Fmed*

$$F_{med} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F_j \quad (3)$$

Sendo:

F_j o tempo de percurso do trabalho j

n o número de lotes ou trabalhos que estão disponíveis juntamente para iniciarem o processamento na máquina.

Tempo em curso ou de percurso é o tempo de permanência ou em curso, do trabalho no sistema de produção. O tempo de percurso em relação ao processo produtivo de um produto poderá também designar-se por tempo ou prazo de produção ou "lead time" de produção. Este é, naturalmente, composto de pelos tempos necessários a várias funções, nomeadamente os transporte, esperas e manuseamento e, evidentemente a transformação ou processamento no local ou posto de trabalho. Desta forma se comprehende que o *Fmed* seja o tempo que em média cada trabalho despende ou permanece no sistema de produção.

Esta medida é de grande importância. Primeiro porque um bom desempenho à luz desta medida tende a favorecer o bom desempenho nas entregas de encomendas e nos custos de

produção. Estes, principalmente influenciados pela rapidez com que o investimento em produção pode ser recuperado, pelo pagamento dos produtos vendidos, e pelos baixos custos de posse do artigo decorrente de valores baixos de *Fmed*.

Máximo tempo de percurso *Fmax* e *Makespan*, *M*

$$F_{max} = \max \{ F_j \} \quad \text{tal que:} \quad 1 \leq j \leq n \quad (5)$$

Esta medida é também importante mas é principalmente utilizada no âmbito da programação estática da produção. Exprime o tempo de percurso do último trabalho a ser produzido, de um leque deles lançados em produção ao mesmo tempo. Neste ambiente de programação esta medida é equivalente ao *Makespan*, *M*, que é o intervalo de tempo necessário para produzir todos os trabalhos simultaneamente lançados no sistema.

Média do tempo de atraso na entrega dos trabalhos, *Amed*

$$A_{med} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_j \quad (6)$$

A_j é o atraso - “lateness”- relativamente à data de entrega do trabalho j . Quando o valor deste atraso não é superior a zero, dizemos que não há atraso. Designa-se a medida deste tipo de atraso por “earliness” exprimindo portanto a situação de não atraso ou de adianto relativamente à data de entrega. Designa-se a medida do atraso quando seja maior que zero por “tardiness”, portanto exprimindo um atraso de facto relativamente à data de entrega. Se este atraso não existir diz-se que a tardiness é nula, isto é $T=0$. Uma representação formal destas medidas é:

$$\text{Atraso ou "Lateness": } L_j = C_j - d_j \quad (7)$$

$$\text{Earliness: } E = \max \{ 0, d_j - C_j \} \quad (7')$$

$$\text{Tardiness: } T = \max \{ 0, C_j - d_j \} \quad (7'')$$

Onde:

C_j é o instante de conclusão do trabalho j . Estando em presença de escalonamento estático representa o tempo de produção ou de percurso de trabalho.

d_j é a data de entrega planeada ou devida do trabalho j

O atraso é uma medida de desempenho importante mas, como se comprehende, é muito dependente da data de entrega devida. Se esta for mal estabelecida, poderá parecer que o sistema se comporta com mau desempenho, uma vez que o atraso será elevado. Apesar desta constatação esta medida e as suas derivadas “earliness” e “tardiness” são muito apelativas

não só a teóricos como a práticos, sendo vulgar considerá-la na avaliação de desempenho de programas de produção em diversos ambientes de programação e diferentes configurações de sistemas de produção. Em todo será talvez muito apropriado, na simples óptica de avaliação do desempenho do sistema de produção, centrar a análise de eficiência nas medidas do tempo de percurso. Estas, e as de atraso, estão de certa forma intimamente relacionadas

Atraso máximo, A_{max}

$$A_{max} = \max \{ A_j \} \quad \text{tal que: } 1 \leq j \leq n \quad (8)$$

Como se comprehende poderá haver limites para o atraso além dos quais não se pretenda ir, por exemplo atraso nulo, ou um pequeno atraso. O Atraso máximo permite avaliar se os programas se mantêm dentro do limite pretendido, o que para atraso nulo significa fazer as entregas dentro dos prazos ou datas devidas. Talvez, esta visão seja aquela que mais justifica o uso desta medida.

Número de trabalhos ou lotes atrasados, Na

$$Na = \sum_{j=1}^n d(A_j) \mid d(A_j) = 1 \text{ se } A_j > 0 ; d(A_j) = 0 \text{ se } A_j \leq 0 \quad (9)$$

Havendo programas com A_{max} superior a zero há trabalhos atrasados. A definição formal de Na , tem subjacente esta interpretação.

O número de encomendas ou trabalhos atrasados é uma medida importante de desempenho, como é evidente.

Média pesada do tempo do percurso por trabalho, ou $Fwmed$

$$Fwmed = \frac{\sum_{j=1}^n w_j F_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (10)$$

Onde:

w_j é o fator que "pesa" o tempo de percurso do trabalho.

Esta medida é importante por considerar que, como é natural, o peso, i.e., a importância dos trabalhos é diferente devendo essa diferente entrar no processo de decisão e ou avaliação do desempenho da produção. Assim por exemplo, o valor de um par de sandálias é diferente do

valor, não só monetário, mas também do esforço de fabrico, do que um par de botas de cano alto.

Relações fundamentais entre medidas de eficiência ou desempenho

$$F_{med} * n = J_{med} * F_{max} \quad (a)$$

Onde:

J_{med} é a média do número de trabalhos em curso no tempo total de percurso ou fabricação dos n trabalhos, que é igual a F_{max} . Portanto tem o mesmo impacto em termos dos em curso que o número variável de trabalhos em curso ao longo do tempo de fabrico (F_{max})

F_{med} é o tempo médio de percurso por trabalho . É o tempo fictício em que se todos os trabalhos permanecem em curso ocasionaria o mesmo impacto em termos dos em curso que os tempos em curso variáveis de cada trabalho.

Podemos generalizar (a) escrevendo:

$$F_{wmed} * \sum_{j=1}^n w_j = V_{med} * F_{max} \quad (b)$$

Onde:

V_{med} é o valor (monetário, por exemplo) médio dos trabalhos ou lotes em curso durante o tempo total de percurso F_{max}

A relação (b) não é mais do que a generalização da relação (a) em que um fator w_j "pesa" cada trabalho j .

Uma representação gráfica da justificação da relação (a) é apresentadas na Figura 5-4 sendo a correspondente representação de (b) representada na Figura 5-5.

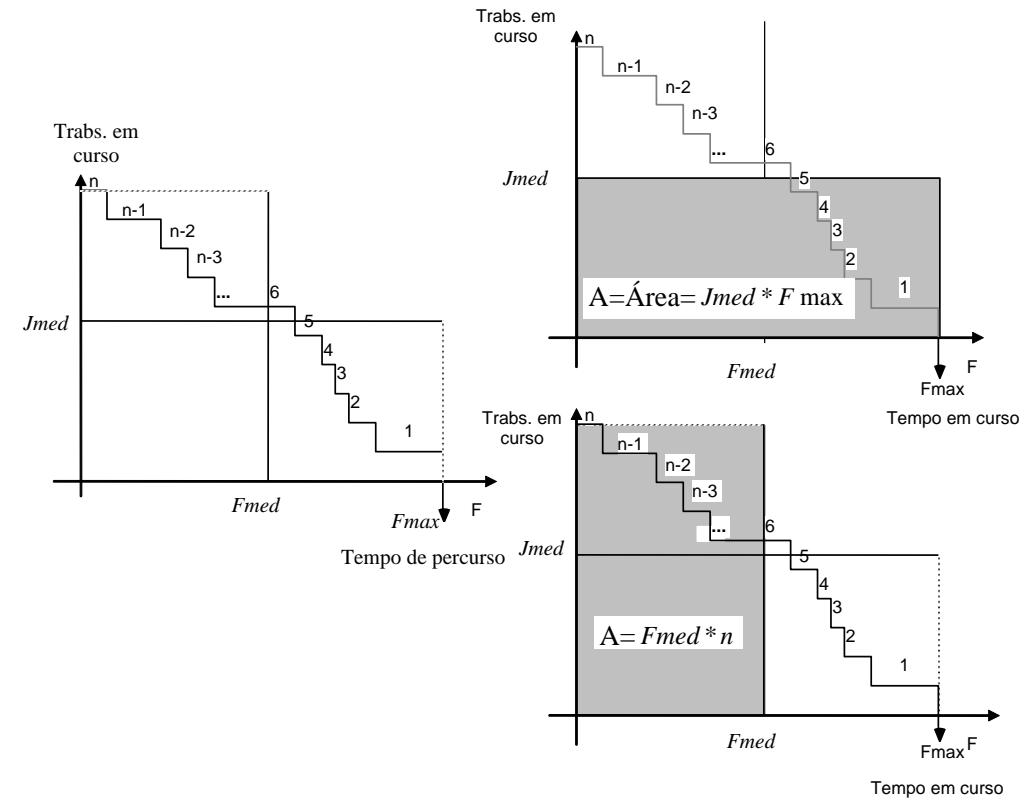


Figura 5-4 – Representação gráfica da demonstração da relação (a)

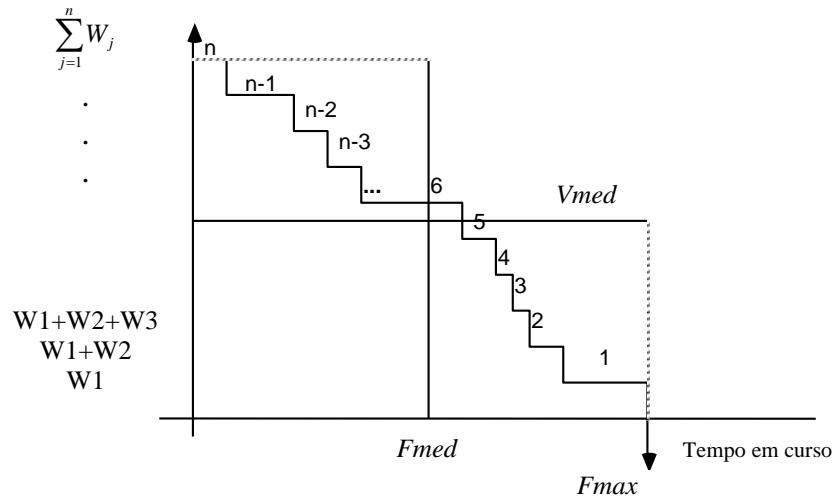


Figura 5-5 - Representação gráfica da demonstração da relação (b)

Medida regular de desempenho

Uma medida de "performance" Z diz-se regular se:

- a) o objetivo é minimizá-la

b) e é crescente com os tempos de conclusão dos trabalhos, isto é: Z cresce somente quando pelo menos um dos tempos de conclusão de processamento, C_j , de um dado trabalho j , cresce isto é:

se $Z = f(C_1, C_2, \dots, C_n)$ para uma sequência S

e $Z' = f(C'_1, C'_2, \dots, C'_n)$ para uma sequência S'

se Z é regular então será:

$Z' > Z$ somente quando $C'_j > C_j$ para pelo menos um trabalho j , com $1 \leq j \leq n$

Isto significa que a medida não pode melhorar (não pode ser minimizada) com o crescimento de C_j . Ou seja, se queremos reduzir o valor da medida de desempenho Z teremos de reduzir o instante de conclusão de pelo menos um dos trabalhos.

Na otimização de qualquer medida regular de "performance" é suficiente considerar os programas ou sequências ativas

5.6. Técnicas de Apoio ao Desenvolvimento de Métodos de Programação da Produção

5.6.1. Pesquisa local ou na vizinhança. – "Neighborhood search techniques" – NST,

Métodos ou procedimentos heurísticos são adequados para obtenção rápida de boas soluções para problemas de programação da produção. Nesta secção aborda-se a problemática da *pesquisa local* para resolver problemas de sequenciamento.

A pesquisa local está subjacente a vários métodos heurísticos ou meta-heurísticos. Destes são exemplos a pesquisa tabu, o arrefecimento simulado – "*simulated annealing*" – e, de certa forma os algoritmos evolucionários ou genéticos.

Métodos baseados em *pesquisa de local ou na vizinhança* permitem obter rapidamente, de forma simples e flexível, boas soluções.

Subjacente a tais métodos está :

- O uso de um método para seleção de uma semente inicial, *mss*
- O uso de um mecanismo de geração de vizinhanças, *mgv*
- A geração da *vizinhança* usando o mecanismo *mgv*

- A seleção do programa de produção de entre os programas da vizinhança, usando uma medida de avaliação. Normalmente o melhor programa é selecionado.
- O uso de um critério de paragem da pesquisa, cp .

O *mgv* traduz a maneira como, partindo de uma dada sequência, a semente ("seed"), se gera um conjunto de sequências ou programas de produção relacionados que constituem a *vizinhança*.

A escolha do *mgv* determina as sequências a obter e o tamanho da vizinhança

Exemplos de mecanismos de geração de vizinhanças.

Troca entre pares adjacentes, tpa

Exemplo de um *mgv* é a operação de troca entre pares adjacentes, *tpa*. Neste caso, se a sequência semente for

1, 2, 3, 4, ..., n-2, n-1, n,

a vizinhança, constituída pelas as sequências geradas por troca de pares adjacentes, seria:

Sequência	Quant. seqs
2, 1, 3, 4, ..., n-2, n-1, n	1
1, 3, 2, 4, ..., n-2, n-1, n	2
.	.
.	.
.	.
1, 2, 3, 4, ..., n-1, n-2, n	n-2
1, 2, 3, 4, ..., n-2, n, n-1	n-1

Diz-se que as $n-1$ sequências geradas são a vizinhança da sequência semente.

Como se verifica o número de pares adjacentes $Ntpa$ é

$$Ntpa = n-1$$

Troca entre Pares, tp

O número de sequências, Ntp , de cada vizinhança, gerados por troca entre pares, *tp*, adjacentes ou não, será o número de combinações possíveis de pares.

Inserção de um qualquer trabalho sucessivamente entre outros dois

Outro *mgv* seria inserir o último trabalho, *n*, sucessivamente noutras posições resultando para a vizinhança da semente 1, 2, 3, ..., *n*:

Sequência	Quant. seqs
n, 1, 2, 3, ..., n-1	1
1, n, 2, 3, ..., n-1	2
.	.
.	.
.	.
1, 2, 3, ..., n, n-1	n-1

Procedimento Básico de Pesquisa local

Passo 1

Definir a medida de desempenho para avaliação das soluções, i.e. sequências ou programas de produção.

Passo 2

Definir o mecanismo de geração de vizinhanças, mgv

Passo 3

Definir o critério de paragem da pesquisa

Passo 4

Gerar ou selecionar a sequência ou solução inicial que será a primeira semente do processo de pesquisa, avaliando-a em relação à medida de desempenho.

Passo 5

Gerar a vizinhança pelo mecanismo mgv, avaliando cada sequência em relação à medida de desempenho.

Passo 6

Comparar as soluções da vizinhança com a melhor solução até ao momento.

Passo 7

Aplicar o critério de paragem da pesquisa, cpp

Passo 8

Repetir o processo de pesquisa, definido pelos passos 4, 5 e 6, usando a melhor solução obtida até ao momento para comparar com as novas soluções da vizinhança seguinte que for gerada, até se atingir o critério de paragem.

O critério de paragem está normalmente associado ao esforço de pesquisa que se pretende impor, e pode ser, normalmente, representado em termos de *tempo limite de pesquisa* ou do *número ou conjunto de iterações* do processo de pesquisa.

Frequentemente, na pesquisa local a pesquisa é realizada até que se chegue a uma vizinhança em que não se melhora a solução tomada como base de comparação de desempenho.

O procedimento de pesquisa local pode apresentar várias facetas. No entanto, normalmente podemos identificar duas extremas. Uma em que todas as sequências da vizinhança são avaliadas e a melhor é comparada com a semente, substituindo-a na geração de nova vizinhança, se for melhor. E outra, em que a cada solução é avaliada à medida que vai sendo gerada a vizinhança, e que, sendo melhor que a semente, substitui-a de imediato na geração de nova vizinhança. Facetas intermédias do processo de pesquisa podem ser adotadas

Exemplo de aplicação

Considere a minimização de Na , número de trabalhos atrasados, no caso do seguinte problema de 5 trabalhos:

Trabalhos (j)	Tempo de processamento (t _j)	Data de entrega (d _i)
1	1	2
2	5	7
3	3	8
4	9	13
5	7	11

Passo 1: Critério de avaliação.

Na (número de trabalhos atrasados)

Passo 2: Mgv

Gerar todas as soluções possíveis por *troca entre pares* de trabalhos

Passo 3: Definir o critério de paragem

Parar o processo quando não for encontrada qualquer solução melhor que a semente.

Passo 4: Geração e avaliação da primeira semente.

Geração: *Ordenar os trabalhos pelo tempo de processamento menor*, i.e. através da regra: "Shortest Processing Time, first, SPT":

1 3 2 5 4

Avaliação:

2	8	7	11	13	d_j
1	4	9	16	23	F_j
-1	-4	2	5	10	A_j
		1	1	1	$Na = 3$ trabalhos atrasados

Passo 5: Geração da vizinhança aplicando o mgv.

Semente: 1 3 2 5 4 $Na = 3$ trabalhos atrasados

Mgv: troca entre pares adjacentes

Vizinhança:

Par 1, 3	3	1	2	5	4	$Na=4$
Par 3, 2	1	2	3	5	4	$Na=3$
Par 2, 5	1	3	5	2	4	$Na=2$ *
Par 5, 4	1	3	2	4	5	$Na=3$

Passo 6: Comparar soluções

O Par 2,5 tem um número de trabalhos atrasado $Na = 2$, melhor que o obtido pela semente da vizinhança.

Passo 7: Aplicar o critério de paragem

Exemplo: Parar quando não se melhore a solução, não se possa gerar mais vizinhanças, ou 10 minutos depois de iniciar a pesquisa.

Aplicar: O critério de paragem não foi atingido porque uma solução melhor foi encontrada, nomeadamente:

Par 2, 5 1 3 5 2 4 $Na=2$

Passo 8: Repetir passos 5, 6 e 7 se o critério de paragem não tiver sido atingido

Par 2, 5 1 3 5 2 4 $Na=2$

Passo 5:

Semente: 1 3 5 2 4 $Na=2$

Mgv: traca entre pares adjacentes

Vizinhança:

Geração da vizinhança

Par 1, 3 3 1 5 2 4 $Na=3$

Par 3, 5 1 5 3 2 4 $Na=3$

Par 5,2 1 3 2 5 4 $Na=3$

Par 2, 4 1 3 5 4 2 $Na=2 <=$

Passo 6: Comparar soluções

O par 2,4 origina uma solução que tem um número de trabalhos atrasado $Na = 2$, que, sendo o mínimo **não é melhor** que a obtida pela semente da vizinhança.

Passo 7: Aplicar o critério de paragem:

O critério de paragem foi atingido porque nenhuma solução melhor que a semente foi ser encontrada, por se ter gerado todas os vizinhos ou vizinhanças possíveis

O processo de pesquisa local termina.

A sequência gerada pela pesquisa local é um *ótimo local*, em relação à estrutura da vizinhança. Não há, em geral, forma de saber se o ótimo local é também o *ótimo global*, isto é, a melhor solução possível.

A menos que se conheça antecipadamente qual o ótimo global, a pesquisa local “é cega” relativamente ao ótimo global, i.e. não é capaz de comprovar a sua obtenção mesmo em presença dele. Esta é, aliás uma característica de todas as meta-heurísticas baseadas em pesquisa na vizinhança, ou pesquisa em populações de soluções como é o caso dos algoritmos genéticos

Pode-se melhorar a pesquisa local, com vista a aproximar melhor ao ótimo global, através de vários estratagemas que, de certa forma alargam as possibilidades de encontrar boas soluções. Alguns exemplos de estratagemas são:

- 1 - Geração de várias sementes para começar a busca ou pesquisa, aplicando o procedimento de pesquisa a cada semente selecionando a melhor sequência gerada. Esta terá maior probabilidade de ser um ótimo global;
- 2 - Para cada vizinhança guardar todas as sequências melhores que a semente. Usar cada uma destas sequências como semente de novas vizinhanças. A sequência ótima assim gerada terá maior probabilidade de ser o ótimo global que a gerada pelo procedimento básico acima representado;
- 3 - Da escolha de um mgv que gere grandes vizinhanças

5.6.2. Técnica de Ramificação e Limite - "Branch and Bound"

Muitos dos métodos para a resolução de problemas de programação da produção usam a técnica de ramificação e limite – “branch and Bound” (BB). Alguns são de otimização outros são heurísticos ou de aproximação. O conceito de métodos de aproximação está tradicionalmente associado a métodos que permitem determinar quão perto estão do ótimo do problema as soluções que podem obter. Atualmente é comum considerar os métodos heurísticos que não sejam de otimização, como métodos de aproximação apesar de nem sempre permitirem estabelecer aquela relação.

A técnica de BB consiste essencialmente em começar por soluções parciais do problema e ir sucessivamente pesquisando soluções completas através dos possíveis caminhos de uma árvore invertida representado as soluções, completas e parciais, do problema. Esta pesquisa, ou busca, faz-se, portanto, em passos sucessivos, obtendo em cada passo soluções mais completas até que, no extremo de uma ramificação de pesquisa uma solução completa, para o problema em questão, é encontrada. O processo de pesquisa termina quando depois de avaliar várias soluções completas, em diferentes ramificações, se obtém uma solução ótima ou aceitável para o problema.

O processo de busca de soluções tem algumas variantes conforme se apresenta a seguir.

Redução da Dimensão do Espaço de Pesquisa do Problema

O processo de pesquisa através da técnica de ramificação e limite pode ser de enumeração exaustiva, que no limite poderá ser completa e, portanto, inadequado às árvores de grande

dimensão. No sentido de se reduzir o espaço de busca usam-se métodos heurísticos de pesquisa que são normalmente baseados em:

1) Estratégias de ramificação

Podemos identificar, essencialmente duas estratégias, nomeadamente a *busca em largura* e a *busca em profundidade*, que abaixo se descrevem.

2) Funções avaliativas

Estas determinam o valor em cada nó do critério de decisão como base para escolha do ramo a prosseguir. Determinam, portanto, o potencial do nó na busca da solução ótima. Permitem assim implementar uma busca *em qualidade ou ordenada*.

Claramente, a eficiência do processo de pesquisa de boas ou ótimas soluções usando a técnica BB é muito dependente da qualidade da função avaliativa e da estratégia de ramificação usada. A qualidade da função avaliativa, assim como o esforço computacional para a obter poderão ditar a estratégia de ramificação a usar. O objetivo é sempre uma pesquisa eficiente de pelo menos uma solução ótima ou aceitável.

Se o método heurístico BB utilizado permite obter soluções ótimas diz-se ser a pesquisa ótima.

O processo de pesquisa é determinante na rapidez de obtenção da solução do problema. Diz-se que os heurísticos são mais eficazes na “poda” da árvore, isto é, na capacidade de excluir ou “podar”, certos nós, que não levam a boas soluções.

Há métodos heurísticos que no sentido reduzir o espaço de soluções a observar, deliberadamente não avaliam certas ramificações da árvore, contentando-se com a obtenção de soluções normalmente subótimas.

Considera-se, neste texto, que um ramo de árvore BB é o um caminho desde o nó inicial até a um nó final da árvore. Uma ramificação é um conjunto de ramos parciais que originam duas ou mais soluções potenciais.

Busca em profundidade (BP) e largura (BL)

Na busca em profundidade - “*bactracking branching*” - um ramo da árvore é selecionado e explorado até ao fim por forma a se obter rapidamente uma solução completa do problema. Esta solução é então avaliada e comparada com o valor da melhor solução potencial resultante da exploração de outros ramos ou ramificações. Se a solução ótima não for encontrada a busca retrocede, nessa via, até encontrar o primeiro ponto de ramificação e a opção ou ramo seguinte é investigado da mesma forma. Uma ilustração deste procedimento de ramificação mostra-se na Figura 5-6.

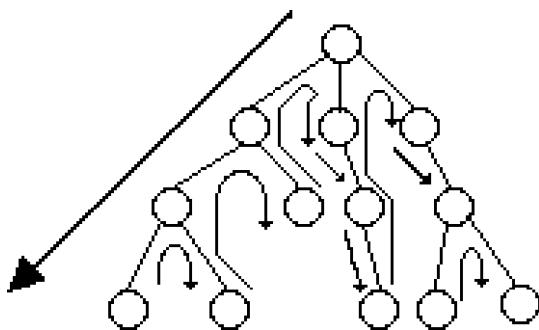


Figura 5-6 - Uma ilustração do procedimento de ramificação designado de busca em profundidade – “back tracking”.

Na busca em largura - “*jumptracking branching*” - todos os nós a um dado nível são avaliados por forma a encontrar a melhor solução parcial do problema a esse nível de ramificação, antes de prosseguir para o nível seguinte. A progressão faz-se desta forma, sucessivamente até ao último nível, altura em que uma solução ótima é obtida. Uma ilustração do procedimento é mostrada na Figura 5-7.

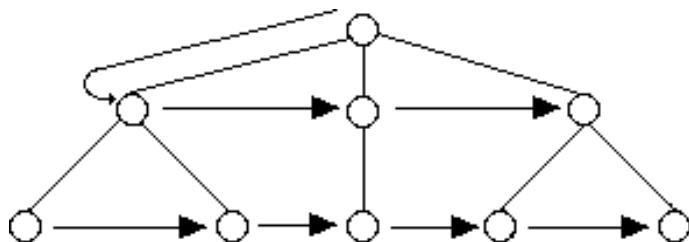


Figura 5-7 - Ilustração do procedimento de ramificação designado de busca em largura – “jump tracking”.

Os métodos heurísticos ou de otimização baseados na técnica “**branch and bound**” têm como objetivo resolver o problema reduzindo o espaço de pesquisa, através da enumeração parcial das soluções possíveis, baseando-se no processo de ramificação, “*branching*”, e poda dos ramos da árvore como base no limite – “*bound*” - de busca da solução. A poda assenta na constatação de que o ramo, que então se poda, não tem qualquer possibilidade de conduzir a uma solução ótima do problema.

“*Branching*” significa subdividir um problema em dois ou mais problemas de complexidade mais reduzida e “*bounding*” é o processo de calcular um limite, superior ou inferior dependendo do método, de um valor diretamente relacionado com a medida de desempenho ou de eficiência que se pretende otimizar.

5.7. Problemas de Máquina Única – Single Machine Problems

Nesta secção será feita uma breve apresentação do problema da programação da produção em sistemas de produção com um único processador. Como se comprehende, não tem, nesta programação, de se resolver o problema da afetação dos trabalhos, que por natureza estão afetados ao único processador em questão.

Processador ou máquina são usados neste texto como termos equivalentes.

O número de soluções ou sequências de n trabalhos é, neste caso, $n!$ o que significa, para um caso de 10 trabalhos, a título de exemplo, que se podem gerar 3628800 sequências diferentes. Se a avaliação de desempenho de cada sequência dos 10 trabalhos, face a um dado critério de desempenho, demorar 0,1 segundos seriam necessárias cerca 100 horas para selecionar a melhor.

A resolução de alguns problemas de programação sequencial da produção, para determinadas medidas de desempenho, pode fazer-se de forma eficiente recorrendo a algoritmos e/ou regras de otimização, não sendo portanto necessário avaliar todas as sequências enumeráveis possíveis de ordenação dos trabalhos para fabrico.

5.7.1. Trabalhos Dependentes e Independentes

No escalonamento de trabalhos para utilização dos recursos de produção os trabalhos são classificados geralmente como independentes ou dependentes. Assim são independentes se os trabalhos não exercem nenhuma forma de dependência entre si. Podemos identificar duas situações em que os trabalhos exercem alguma forma de dependência entre si:

Dependência do tipo 1. Trabalhos dependentes cuja realização depende da realização prévia de outros trabalhos. Isto é, há uma relação de precedência devido ao processo de trabalho, também referida por vezes como **dependência tecnológica** entre os trabalhos. Isto acontece quando os trabalhos são parte de um trabalho mais complexo constituído por trabalhos parciais, geralmente referidos como tarefas ou atividades do trabalho complexo

Quando $i < j$, diz-se que o trabalho i é precedente do j e que j é sucessor de i .

No caso de não existir outro trabalho k tal que: $i < k < j$, então i é o precedente direto de j representando-se tal facto por $i << j$

Dependência do tipo 2. Dependência dos trabalhos imposta pelo facto do tempo de preparação para a produção de cada um depender da ordem pela qual são processados. Pode-se refeirir esta como **dependência de preparação para a produção ou de set-up**

A dependência do tipo 1, i.e. dependência tecnológica, é típica da programação de trabalhos de longa duração do que são exemplo os projetos.

A dependência do tipo 2, dependência de set-up, é típica da produção discreta ou de processo em geralmente associada a ordens de fabrico ou lotes.

5.7.2. Problemas de Máquina Única - Trabalhos Independentes

Tratando-se de um problema estático, as restrições inerentes a este caso são:

n trabalhos ou lotes a processar encontram-se disponíveis no início da produção e nenhum outro entra no sistema de produção antes de todos eles serem completamente processados.
(ambiente estático)

A sequência pela qual os trabalhos são processados **não afeta** o seu tempo de processamento (**independência** dos trabalhos)

Algumas instâncias do problema podem ser equacionadas em termos do critério de otimização. Desta forma apresenta-se alguns problemas típicos

Minimização do atraso médio por trabalho, *Amed* (Lateness)

Minimiza-se o atraso médio dos trabalhos, *Amed*, para o programa de produção que se obtém ordenando os trabalhos pela regra *SPT – por ordem crescente dos tempo de processamento dos trabalhos*.

Exemplo:

Considere ser t_j o tempo de processamento do trabalho j e d_j a sua data de entrega.

j	1	2	3	4	5
t_j	1	5	3	9	7
d_j	2	7	8	13	11

j por ordem de tempos de processamento de j	1	3	2	5	4
t_j	1	3	5	7	9
d_j	2	8	7	11	13
$F_j = \sum t_j$	1	4	9	16	25
A_j	-1	-4	2	5	12
$\sum A_j$	-1	-5	-3	2	14
A_{med}	= 14/5				

F_j é o tempo de percurso de fabrico do trabalho j

A_j é o atraso do trabalho j

Minimização do tempo em curso ou de percurso médio de fabrico por trabalho, F_{med} - "Mean Flow Time"

Minimiza-se o F_{med} dos trabalhos, para o mesmo programa de produção que minimiza o A_{med} , i.e., processando os trabalhos por ordem crescente do tempo processamento na máquina ou processador. A regra SPT é portanto, também, aplicada.

Entenda-se por tempo de percurso ou de em curso de fabrico de um trabalho, F - "Flow Time" - o intervalo de tempo em que permanece no sistema, desde o momento em que está disponível até que se conclui o seu processamento. Este tempo pode também ser designado de prazo de fabrico. Este é, naturalmente, composto de vários tipos de tempo, nomeadamente os tempos de transporte, esperas e manuseamento e, evidentemente o tempo útil de processamento. Desta forma se comprehende que o F_{med} , é o tempo que em média cada trabalho despende no sistema de produção.

Exemplo:

j	1	2	3	4	5
t_j	1	5	3	9	7

j por ordem de tempos de processamento de j	1	3	2	5	4
t_j	1	3	5	7	9
F_j	1	4	9	16	25
$\sum F_j$	1	5	14	30	55
F_{med}	=				55/5=11

Minimização do Atraso máximo, A_{max}

Obtém-se processando os trabalhos por ordem não decrescente das datas de entrega.

j	1	2	3	4	5
t_j	1	5	3	9	7
d_j	2	7	8	13	11

j por ordem de datas de entrega d_j	1	2	3	5	4
t_j	1	5	3	7	9
d_j	2	7	8	11	13
F_j	1	6	9	16	25
A_j	-1	-1	1	5	12
$A_{max} =$					12

Minimização do F_{med} , em processador único, para o caso em que o atraso é nulo ou inferior a zero.

Neste problema há um objetivo que se submete a outro. De facto o objetivo de minimizar o F_{med} só é equacionado depois de se verificar existir uma sequência que garante que nenhum dos trabalhos é atrasado, i.e. o atraso ou é nulo ou inferior a zero.

Este problema tem uma resolução intuitiva que é

Tomar a sequência que minimiza o A_{max} , verificar que este é nulo ou inferior a zero.

Procurar trocar a ordem dos trabalhos tendo em conta que os mais demorados deverão ser feitos no fim desde que tal não ocasione trabalhos atrasados. Isto pode interpretar-se como

aplicar a regra SPT salvaguardando ao situação de não atrasar os trabalhos relativamente à data de entrega.

A ordem de processamento dos trabalhos poderá, também, ser obtida através do seguinte processo:

a) Será colocado no fim da ordenação da série de trabalhos para processamento o trabalho h , de maior tempo de processamento, cuja data de entrega é superior ao somatório dos tempos de processamento de todos os trabalhos da série.

b) Identificado o trabalho h , que será então o último a executar, este é removido da série de trabalhos a ordenar, sendo o penúltimo trabalho a executar aquele que se obtém da forma expressa em a), para os restantes trabalhos, e assim sucessivamente.

A formalização matemática deste procedimento apresenta-se da seguinte forma:

Primeira condição:

Verificar que não à trabalhos atrasados por determinação do mínimo Amax (ver problema anterior)

Segunda condição:

Determinar os trabalhos que satisfazem $d_h \geq \sum_{i=1}^{n'} t_i$

Se existir só um este será colocado no fim da série de trabalhos em análise.

No caso de haver mais que um trabalho satisfazendo a segunda condição, então o trabalho h será determinado pela terceira condição

Terceira condição:

h é o trabalho de maior duração , i.e.

$$t_h \geq t_j \quad \forall j \neq h \text{ satisfazendo a segunda condição, i.e.: } d_j \geq \sum_{i=1}^{n'} t_i$$

Sendo:

n' é o número de trabalhos ou lotes da série em análise, i.e., ainda não ordenados para processamento

d_h e d_j são as datas de entrega respetivamente do trabalho h e do trabalho j .

t_i é o tempo de processamento do trabalho i

É provável que em muitos problemas diferentes o tempo de percurso médio, assim obtido, seja superior ao F_{med} absoluto uma vez que se está a contemporizar uma otimização de multicritério, mas a possibilidade de ser igual também existe em alguns casos.

Exemplo

j	1	2	3	4	5
t_j	1	5	3	9	7
d_j	11	9	10	25	30

j por ordem de datas de entrega d_j	3	2	1	4	5
t_j	3	5	1	9	7
d_j	5	9	11	25	30
F_j	3	8	9	18	25
A_j	-2	-1	-2	-7	-5
$A_{max} =$		-1			

Como se vê da tabela, não há trabalhos atrasados. Portanto, a sequência que nas circunstâncias de trabalho não atrasados origina o menor F_{med} pode obter-se.

Assim, aplicando o algoritmo, a análise da tabela claramente mostra que há dois trabalhos para os quais $d_h \geq \sum_{i=1}^{n'} t_i = 25$ UT e que são respetivamente os trabalhos 4 e 5 que têm datas de entrega respetivamente de 25 e 30 UT.

Portanto, destes trabalhos deverão ficar no fim da sequência. Qual deles é o trabalho h, isto é, aquele que fica em último?. Para fazer a escolha o que fica em último é o que, dos candidatos, tiver o maior tempo de processamento, portanto de acordo com a condição 2 do algoritmo, i.e. $t_h \geq t_j$ com $d_j \geq \sum_{i=1}^{n'} t_i$, isto é, no exemplo, o trabalho 4.. De facto:

$$t_4 = 9 \geq 7 = t_5 \text{ e } 25 = d_4 \geq 25 = \sum_{i=1}^{n'} t_i$$

Aplicando o mesmo raciocínio à nova série que remove trabalho 4 e assim sucessivamente, obtém—se a sequência que minimiza F_{med} mantendo os trabalhos não atrasados:

j por ordem de datas de entrega d_j	3	2	1	4	5
t_j	3	5	1	9	7
d_j	5	9	11	25	30
$F_j = \sum t_j$	3	8	9	18	25
A_j	-2	-1	-2	-7	-5

j por ordem de t_j mantendo $A_{max} \leq 0$	3	1	2	5	4
t_j	3	1	5	7	9
d_j	5	11	9	30	25
F_j	3	4	9	16	25
A_j	-2	-7	0	-14	0
$A_{max} =$			0		0

Minimização do Número de Trabalhos Atrasados, Na

Algoritmo de Hodgson [Baker, 1974]

Passo 1 : Ordenar os trabalhos, numa sequência e conjunto E (*early*), por **ordem crescente de datas de entrega**, criando também o conjunto vazio L (*late*)

Passo 2 : Se nenhum dos trabalhos está atrasado a sequência E é ótima. Caso contrário identificar o primeiro trabalho atrasado e a sua posição k, i.e. [k].

Passo 3 : Identificar o trabalho de **maior duração** no conjunto dos primeiros k trabalhos. Removê-lo do conjunto E colocá-lo no conjunto L. Determinar os novos tempos de conclusão dos trabalhos restantes em E e voltar ao passo 2.

Exemplo de aplicação do Alg. De Hodgson:

Considere os trabalhos j , as suas durações t_j e as datas de entrega devidas d_j conforme a tabela.:

j	1	2	3	4	5
t_j	1	5	3	9	7
d_j	2	7	8	13	11

Passo 1: Ordenação dos trabalhos por datas de entrega e estabelecimento dos conjuntos E e L.

$$E = \{ 1 \quad 2 \quad 3 \quad 5 \quad 4 \} ; \quad L=\{ \}$$

Passo 2: Verificação se algum dos trabalhos de E está atrasado e qual a posição [k] do primeiro trabalho atrasado.

E =	{1	2	3	5	4}	L={ }
t_j	1	5	3	7	9	
d_j	2	7	8	11	13	
$Cj=Fj$	1	6	9	16	25	
$A_j = Cj-dj$	-11	-2	1	5	12	

O trabalho na posição k=3, i.e.[3], que por acaso é o trabalho número 3, é o primeiro trabalho atrasado. Por existirem trabalhos atrasados é necessário reaplicar o passo 2 e depois de aplicar o passo 3.

Passo 3: Remoção de E do trabalho de maior duração entre os primeiros k, sua colocação no conjunto dos trabalhos atrasados L (late) e reordenação dos trabalhos em E por datas de entrega.

Dos k, i.e. 3 primeiros trabalhos o de maior duração é o trabalho número 2. Este é removido de E e colocado em L:

$$E = \{1, \quad 3, \quad 5, \quad 4\} \quad L=\{2\}.$$

Passo 2:

E =	{1	3	5	4}	L={2}.
t_j	1	3	7	9	
$Cj = Fj$	1	4	11	20	
d_j	2	8	11	13	
$A_j = Cj-dj$	-1	-4	0	7	

O trabalho número 4 é o primeiro atrasado.

Passo 3:

O trabalho de maior duração até (inclusive) ao trabalho 4 é o próprio trabalho 4 pelo que é removido de E e colocado em L

$$E = \{1, 3, 5\}; L=\{2,4\}$$

Passo 2:

E =	{1}	3	5 }	L={2, 4}.
t_j	1	3	7	
$C_j \equiv F_j$	1	4	11	
d_j	2	8	11	
$A_j = C_j - d_j$	-1	-4	0	

Nenhum dos trabalhos em E está atrasado. Os únicos trabalhos atrasados estão no conjunto L, sendo o #L=2 então o mínimo, i.e. o ótimo número de trabalhos atrasados é 2, ou seja: $Na^*=2$.

Minimização da média pesada do tempo em curso ou de percurso por trabalho,
Fwmed - "Weighted Mean Flow Time"

$$Fwmed = \frac{\sum_{j=1}^n w_j F_j}{\sum_{j=1}^n w_j}$$

Minimiza-se o *Fwmed* dos trabalhos, para o programa de produção que se obtém processando os trabalhos por ordem crescente dos cocientes t_j / w_j , onde:

t_j é o tempo de processamento do trabalho j

w_j é o fator que "pesa" o tempo de percurso do trabalho.

Ou seja:

$$\frac{t_{1^\circ}}{w_{1^\circ}} \leq \frac{t_{2^\circ}}{w_{2^\circ}} \leq \dots \leq \frac{t_{n^\circ}}{w_{n^\circ}}$$

Esta regra generaliza a regra de minimização da média do tempo de percurso por trabalho. De facto quando $w_j = 1 \forall j = 1, \dots, n$, esta regra é equivalente à regra da minimização da média do tempo de percurso por trabalho.

Exemplo de aplicação

(Caso de máquina única com trabalhos independentes e de diferente importância ou peso w)

Um pequeno empreiteiro comprometeu-se a entregar prontas 5 vivendas, sujeitas ao trabalho de arranjos exteriores, dentro dos prazos de entrega referidos na tabela, aceitando receber um benefício pela antecipação na entrega ou pagar uma penalidade por atrasos, no montante semanal indicado. O tempo de execução para terminar as vivendas, segundo a estimativa do empreiteiro é também indicado na tabela.

Apresentando e justificando os passos de resolução:

- diga qual a sequência pela qual deverá o empreiteiro executar os arranjos exteriores de cada vivenda, admitindo não poder interromper o trabalho antes de o terminar em cada vivenda, altura em que dará, então, andamento ao trabalho na vivenda seguinte.
- determine se o empreiteiro terá de pagar alguma penalidade ou de receber algum benefício em quanto importará.
- se estivesse no lugar do empreiteiro deveria negociar, com alguns dos seus clientes, o adiamento da data de entrega por forma a evitar incorrer penalidades ?, Qual (quais)?
- diga se, no caso de as datas de entrega serem alteradas, deveria o empreiteiro alterar também a sua decisão no que respeita à sequência pela qual deveria acabar as vivendas.

Tab.-1 Dados de processo e compromissos

Vivendas	1	2	3	4	5	
Tempo de execução, t (semanas)	3	5	7	9	12	
Prazo de entrega (semanas)	8	6	17	26	30	
Penalidade/Benefício, w (UM/semana)	9	20	18	18	24	

Resolução do exercício 1

a)

O problema pode ser visto como um problema de ordenação dos trabalhos para execução em "máquina" única, isto é, a equipa de pessoal do empreiteiro que executa trabalhos com importância relativa diferente. Tal importância está associada à penalidade ou benefício associado a cada vivenda.

O problema resume-se portanto a minimizar a penalidade, o que equivale à maximização do benefício.

O problema é portanto um problema de minimização do tempo em curso pesado médio de fabrico, $Fwmed$, por vivenda. O fator de peso, w , é a penalidade.

A Aplicação do algoritmo de minimização de $Fwmed$ nas condições do problema aponta uma ordenação tal que o fator t_j / w_j associado a cada vivendas é ordenado por ordem crescente.

Assim:

Tab.-1 a Dados de processo, compromissos e t/w

Vivendas	1	2	3	4	5
Tempo de execução, t (Semanas)	3	5	7	9	12
Prazo de entrega	8	6	17	26	30
Penalidade/Benefício, w(UM/semana)	9	20	18	18	24
$\sum_{j=1}^n w_j$	9	29	47	65	89
t/w	1/3	1/4	7/8	1/2	1/2

Assim a ordenação que minimiza a penalidade é :

4 5 1^a. solução

2 1 3

5 4 2^a solução

b) Benefício ou penalidade?:

j (1 ^a solução)	2	1	3	4	5
Data de entrega	6	8	17	26	30
t	5	3	7	9	12
F	5	8	15	24	36
A	-1	0	-2	-2	+6
F^*w	100	72	270	432	864
$\sum F * w$	100	172	442	874	1738

$$Fwmed = \frac{\sum_{j=1}^n w_j F_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \Rightarrow MinFwmed = \frac{1738}{89} \Rightarrow *MinFwmed = 19,53$$

j (1ª solução)	2	1	3	4	5
A	-1	0	-2	-2	+6
(1ª. Solução) Penalidade =	- 1*20+0	+0*9	+-2*18	+-2*18	+6*24 = 52
(2ª. Solução) Penalidade	- 1*20+0	+0*9	+-2*18	+-3*24	+10*18 =52
A	-1	0	-2	-3	+10
2ª solução					

Portanto o empreiteiro teria de pagar uma penalidade de 52 UM.

c)

No caso em questão procuraria conseguir a entrega de uma das vivendas, a 4 ou 5 para a semana 36. Mais aceitável seria pedir ao cliente da vivenda 5 para aceitar a sua entrega não em 30 semanas mas em 36. Pedir ao cliente da vivenda 4 um atraso de 10 semanas em 24 seria provavelmente mais difícil.

d)

A resposta é não. A solução obtida continua a ser ótima para as penalidades dadas uma vez que a minimização de F_{wmed} não depende das datas de entrega.

A alteração das datas de entrega teria no entanto impacto na penalidade total a pagar pelo empreiteiro. Nesta base qualquer negociação de prazos deveria, nas condições das soluções dadas contrabalançar benefícios e penalidades totais por forma a não se incorrer qualquer penalidade no cômputo global.

Resolução por método alternativo:

Um raciocínio básico mostra ser possível, neste problema, encontrar a solução ideal através da maximização do benefício por unidade de tempo, isto é w/t, de trabalho da equipa do empreiteiro.

Assim vê-se que:

Vivendas	1	2	3	4	5
Tempo de execução, t (Semanas)	3	5	7	9	12
Prazo de entrega (Semanas)	8	6	17	26	30

Penalidade/Benefício, w (UM/semana)	9	20	18	18	24
w/t	3	4	18/7=2,57	2	2

Desta forma executar primeiro a vivenda que dá mais benefício origina que qualquer adiantamento na entrega se traduz num maior benefício e qualquer atraso inevitável nesta estratégia é por certo o menor atraso possível para a vivenda com maior penalidade por unidade de tempo, e desta forma se evitará pesadas penalidades.

Assim, com base nos valores de w/t , a sequência seria portanto:

2 1 3 4(ou 5) 5 (ou 4)

que é, afinal, a sequência já encontrada através do método anterior.

5.7.3. Problemas de Máquina Única - Trabalhos Dependentes

Este caso difere do anterior na medida em que

n trabalhos ou lotes a processar encontram-se disponíveis no início da produção e nenhum outro entra no sistema de produção antes de todos eles serem completamente processados.
(ambiente estático)

A sequência pela qual os n trabalhos são processados **afeta** o seu tempo ou o seu custo de processamento (**dependência** dos trabalhos)

O problema consiste em determinar a sequência de produção de n trabalhos num processador de forma a minimizar o custo, ou o tempo total, de preparação do processador para a produção dos n trabalhos sabendo serem o custo, ou tempo de preparação do processador, por trabalho, **dependentes** da sequência pela qual os trabalhos são produzidos.

Este é um problema de programação da produção que pode ser tratado como um problema do tipo "caixeiro viajante" ou "travelling salesman problem" que pode ser enunciado como:

"Um vendedor tem de visitar clientes em n cidades diferentes e quer encontrar o caminho que o leva a passar uma só vez por cada cidade e o faça retornar ao ponto de partida viajando a mínima distância possível".

No problema equivalente de sequenciamento a distância entre cidades; d_{ij} , pode ser entendida como o tempo ou custo de preparação t_{ij} da máquina para produzir o lote i depois de ter produzido o lote j .

O problema de otimização pode resolver-se através de diversos métodos ou mecanismos. Alguns destes recorrem ao uso da técnica de "Programação Dinâmica" e da técnica "Branch And Bound".

A dificuldade de resolução do problema quando a sua dimensão cresce sugere o uso de métodos expeditos heurísticos que permitem obter boas soluções, ainda que provavelmente não ótimas.

5.7.3.1. Programação dinâmica

A seguir ilustra-se um método (Baker, 1974) baseado na técnica de Programação Dinâmica, para a resolução do problema de minimização do *makespan* em máquina única. O método será ilustrado através de um exemplo.

Considere que um fabricante produz 4 tipos de gasolina, cujos tempos de preparação da unidade de produção são os indicados no quadro:

Quadro: Tempos de Preparação

De	Gasolina	Para	(1)	(2)	(3)	(4)
	De corrida (1)		-	30	50	90
95	(2)		40	-	20	80
98	(3)		30	30	-	60
100	(4)		20	15	10	-

Determinar a sequência que minimiza o tempo total de preparação sem fazer enumeração completa das alternativas.

A solução como um problema de Programação Dinâmica (PD) utiliza as seguintes fórmulas de recorrência:

$$f(i, J) = \min [T_{ij} + f(j, J - \{j\})] \quad (a)$$

$$i \in J \quad i = i_0 ; j \in J$$

onde

$$f(i, \{ \}) = T_{ii} \quad \text{onde } i_0 \text{ é o ponto de partida}$$

(b)

e

$$f(i_0, J) = \min [T_{i_0 j} + f(j, J - \{j\})] \quad (c)$$

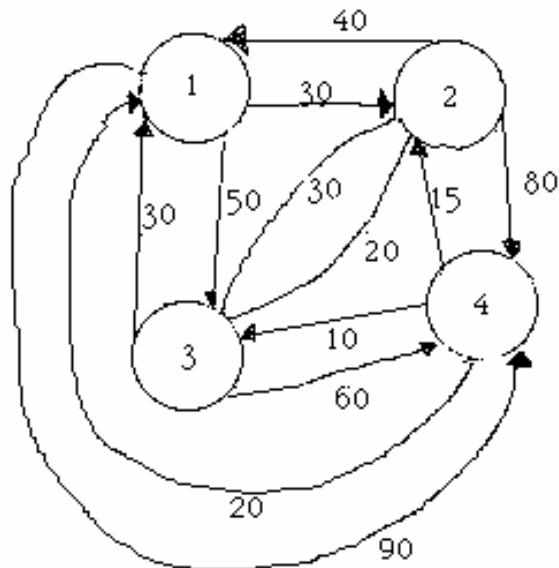
$$i \in J$$

Usando esta formulação recursiva pode determinar-se o caminho ótimo considerando sucessivamente conjuntos J de nós, com zero nós, 1 nó, depois com 2 nós, etc., até que todos os nós tenham sido considerados e o valor dado por (c) na base das premissas do "Travelling Salesman Problem", seja obtido. Ter-se-á então uma sequência que indica um ciclo fechado desde a origem à origem:

$$i_0, \{J\}, i_0 \quad \text{com:} \quad J = S - \{i\}$$

sendo S o conjunto de todos os nós.

A representação do quadro de dados por uma rede apresenta-se na figura abaixo



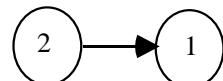
Considerar:

$$i_o = 1$$

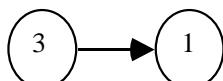
$$1^{\circ} \text{ PASSO} \quad \# J = 0; \quad J = \{ \}$$

$$i_o = 1 \quad f(2, \{ \ }) = T_{21} = 40$$

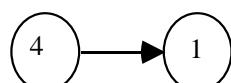
$$f(i; J)$$



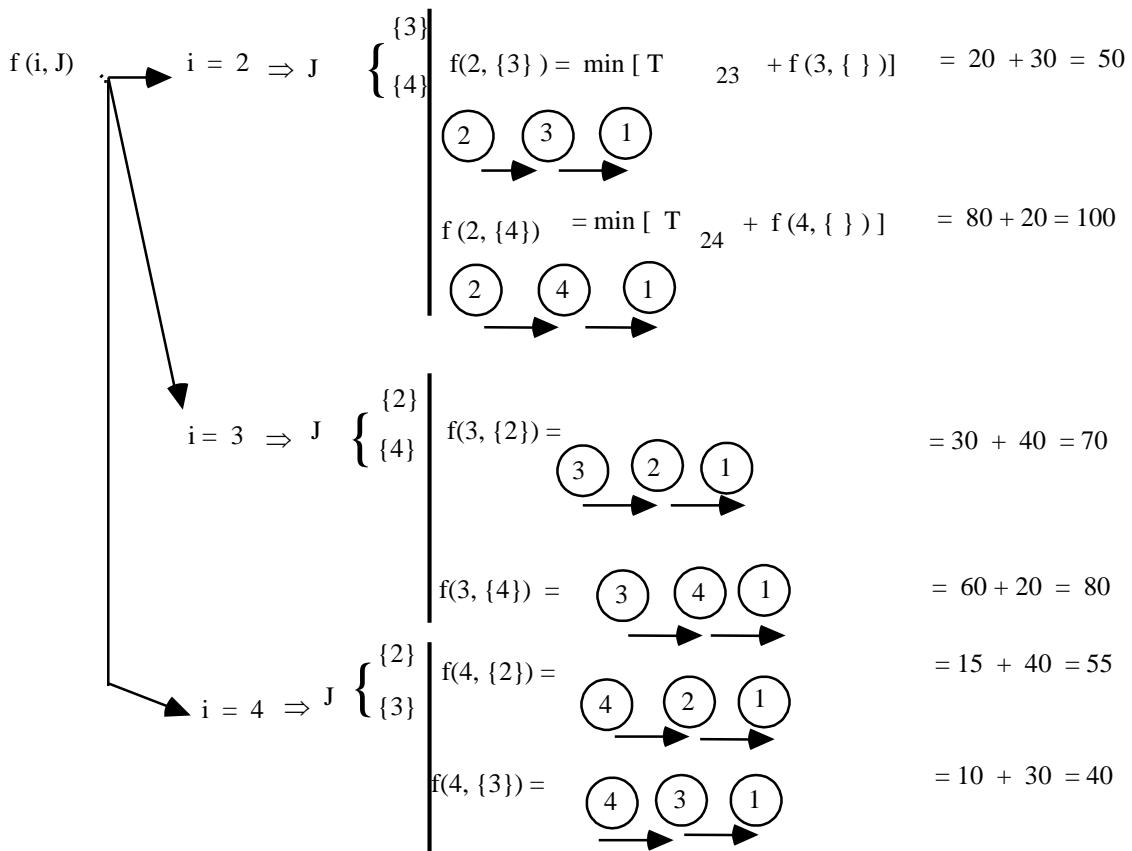
$$i \in J \quad f(3, \{ \ }) = T_{31} = 30$$



$$f(4, \{ \ }) = T_{41} = 20$$

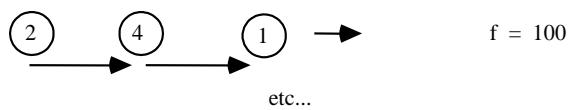


$$2^{\circ} \text{ PASSO} \quad \# J=1 \quad J = \begin{cases} \{2\} \\ \{3\} \\ \{4\} \end{cases}$$



Note-se que até este passo um conjunto de soluções parciais, de caminho ainda não fechado, estão obtidas.

Exs:



3º PASSO # $J = 2 \Rightarrow J = \{23\}; J = \{24\}; J = \{34\}$

$$i = 2 \quad f(2 \{3,4\}) = \min [T_{23} + f(3, \{4\}); T_{24} + f(4, \{3\})]$$

$$j \in \{3,4\}$$

$$= \min [20 + 80; 80 + 40] = 100 \quad | \quad \begin{matrix} 2 \\ \rightarrow \\ 3 \\ \rightarrow \\ 4 \\ \rightarrow \\ 1 \end{matrix}$$

$$i = 3 \quad f(3 \{2,4\}) = \min [T_{32} + f(2, \{4\}); T_{34} + f(4, \{2\})]$$

$$= \min [30 + 100 ; \underline{60+55}] = 155 \quad | \xrightarrow{3} \xrightarrow{4} \xrightarrow{2} \xrightarrow{1}$$

$$\mathbf{i = 4} \quad f(4, \{2,3\}) = \min [T42 + f(2, \{3\}); T43 + f(3, \{2\})]$$

$$= \min [\underline{15+50}; 10+70] = 65 \quad \xrightarrow{4} \xrightarrow{2} \xrightarrow{3} \xrightarrow{1}$$

4º PASSO # J = 3 $\Rightarrow J = \{2,3,4\}$

Uma vez que $J = S - \{i_o\}$ então a fórmula (c) deve ser aplicada :

$$f(i; J) \Rightarrow \begin{cases} i = i_o = 1 \\ J = S - \{i_o\} \end{cases}$$

Assim

$$\begin{aligned} f(i_o, J) &= f(i_o, \{2, 3, 4\}) \\ f(i_o, \{2, 3, 4\}) &= \min [T_{i_o, j} + f(j, J - \{j\})] \\ j \in J \\ &= \min [12 + f(2, \{3, 4\}); 3 + f(3, \{2, 4\}); 14 + f(4, \{2, 3\})] \\ &= \min [30 + 100; 50 + 115; 90 + 65] = 130 \end{aligned}$$

que é o valor óptimo da "distância" no "Travelling salesman problem" para o

qual a sequência óptima é portanto,



que é a ordem pela qual as gasolinhas devem ser produzidas. O custo mínimo

total de preparação é 130.

5.7.3.2. Método "branch and bound" de "Little et al"

A método a seguir apresentado Little et al, 1963) é relatado em Baker (1974) e resolve o problema da ordenação dos trabalhos máquina única com custos/tempos de preparação variáveis

Problema da produção repetitiva - "Closed tour"

Considere ter de se processar repetitivamente 5 trabalhos numa unidade de produção sendo o seu tempo de processamento dependente da sequência pela qual os trabalhos são realizados conforme se mostra na tabela 1.

Tabela : Custos (ou tempos) C_{ij} de “preparação” do sistema para processar o trabalho j depois de ter processado o i .

Para j De i	1	2	3	4	5
1	-	4	8	6	8
2	5	-	7	11	13
3	11	6	-	8	4
4	5	7	2	-	2
5	10	9	7	5	-

Pretende-se obter a sequência que permita executar continuamente os trabalhos de forma mais económica. Este sequência é portanto repetitiva ou cíclica.

Resolução:

O método começa por estabelecer um limite inferior da solução igual à soma dos valores u e v iniciais que originam a matriz reduzida

Para j De i	1	2	3	4	5	u
1	-	4	8	6	8	4
2	5	-	7	11	13	5
3	11	6	-	8	4	4
4	5	7	2	-	2	2
5	10	9	7	5	-	5
v	0	0	0	0	0	$\Sigma = 20$

Portanto:

$$LB = LB_{inicial} + \Sigma$$

$$LB = 0 + 20 \Rightarrow LB = 20 \text{ UT}$$

Progride-se, então, construindo a árvore de decisão através de soluções parciais sucessivas, constituídas por pares de trabalhos. Assim ou se inclui o par cuja penalidade R_{ij} , por não fazer parte da solução, **seja a maior**, justamente para a evitar, ou não se inclui. Neste caso ao

limite inferior inicial é somada a penalidade, que para o par (2,1) é 5, resultando um LB de 25 conforme se mostra na árvore de decisão.

Para j De i	1		2		3		4		5		u
1	-		0	4	4		2		4		
2	0	5	-		2		6		8		
3	7		2		-		4		0	2	
4	3		5		0	2	-		0		
5	5		4		2		0	4	-		
v											

↑

C_{ij}	R_{ij}
----------	----------

0	R_{ij}
---	----------

$$\forall R_{ij} = \min(C_i, *) + \min(*, C_j)$$

A opção pelo par evita a penalidade resultando num LB que é o inicial somado dos valores de u e v da nova redução da matriz, inicialmente por colunas e depois por linhas, ou vice-versa. Para o par em questão o somatório dos referidos valores, como se ilustra é 4, e portanto resulta num LB(2,1) de 24, (ver tabela 4).

R_{ij} representa a mínima penalidade que se evita incorrer ao fazer a opção pela sequência parcial. A exclusão de tal opção originaria uma situação em que o limite inferior resultante serio obtido, somando a penalidade ao limite inferior anterior, respeitante ao nó anterior na árvore de decisão, i.e. $20+5=25$, (tabela 3).

O processo desenrola-se, com pesquisa em profundidade, até se obter uma solução, sendo o passo seguinte sumariado na tabela 5. A comparação da solução obtida, com os valores dos limites inferiores nos nós livres de outras ramificações indica se a solução é ótima, isto é, mínima, ou se potencialmente existe outra melhor. Ela será ótima se qualquer limite inferior associado aos nós livres referidos, for maior ou igual ao valor da solução encontrada. No caso de ser igual outra solução ótima poderá existir.

Tabela 4 - Par 2,1 faz parte da sequencia

Para j De i	1	2	3	4	5	u
1	-	—	4	2	4	
2	0*	—	—	—	—	
3	—	2	-	4	0	
4	—	5	0	-	0	
5	—	4	2	0	-	
v						

ou

Tabela 3 - Par 2,1 não faz parte da sequencia

Para j De i	1	2	3	4	5	u
1	-	0	4	2	4	
2	—	-	0	4	6	
3	3	2	-	4	0	
4	0	5	0	-	0	
5	2	4	2	0	-	
v						

$$LB = LB + R_{ij} \\ = 20 + 5 \Rightarrow LB = 25$$

Para j De i	1	2	3	4	5	u
1	—	4	2	4	2	
2						
3	2	-	4	0	0	
4	5	0	-	0	0	
5	4	2	0	-	0	
v						

Para j De i	1	2	3	4	5	u
1	—	2	0	2	2	
2						
3	2	-	4	0	0	
4	5	0	-	0	0	
5	4	2	0	-	0	
v	2	0	0	0	$\Sigma=4$	

$$LB = LB + \sum (u+v) \\ = 20+4 \Rightarrow LB = 24$$

Neste exemplo utilizado para ilustrar o método a solução encontrada é 26 existindo potencialmente uma melhor solução rejeitando o par (2,1), de valor igual a 25. A confirmação desta solução exige o desenvolvimento do ramo com o LB=25.

Repetindo o processo para evoluir no ramo da árvore de pesquisa obtemos a tabela 6 e a correspondente árvore de pesquisa poderá agora sumariar-se na figura..

Tabela 6 : Determinação do Rij

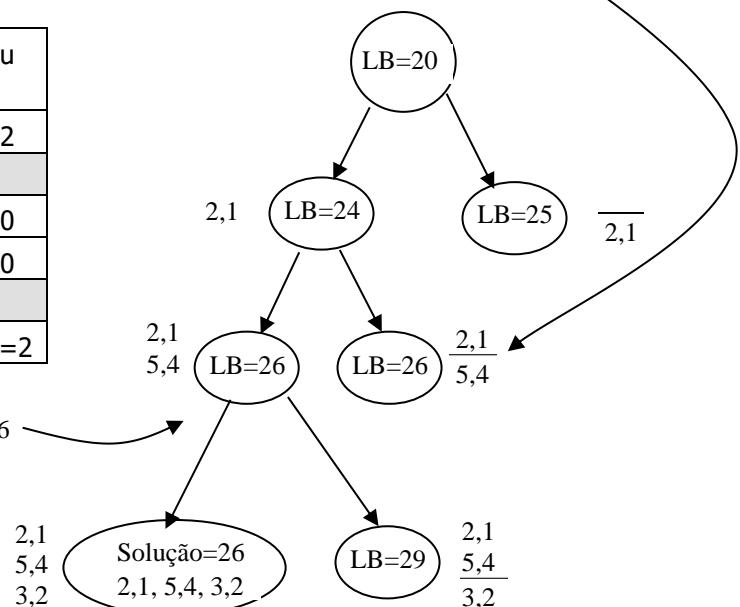
Para j De i	1	2	3	4	5	u
1		—	2	0 2	2	
2						
3		0 2	-	4	0 0	
4		3	0 2		0	
5		2	2	0 2	-	
v						

$$\forall Rij = \min(Ci, *) + \min(*, Cj)$$

Tabela 7 : par 5,4 faz parte da sequência: LB=24+2=26

Para j De i	1	2	3	4	5	u
1		—	2		2	2
2						
3		0	-		0	0
4		3	0		—	0
5						
v		0	0		0	$\sum=2$

$$LB = LB + \sum(u+v) \\ = 24+2 \Rightarrow LB = 26$$



$$LB = LB + ?(u+v) \\ = 26+0 \Rightarrow LB = 26$$

$$LB = LB + ?(u+v) \\ = 26+0 \Rightarrow LB = 26$$

Tabela 8 : Determinação do Rij

Para j De i	1	2	3	4	5	u
1		—	0 0		0 0	
2						
3		0 3	-		0 0	
4		3	0 3		—	
5						
v						

**Tabela9 : Par 3,2 faz parte da sequência:
LB=26+0=26**

Para j De i	1	2	3	4	5	u
1			0		0	0
2						
3						
4			0		—	0
5						
v			0		0	?=0

Problema da produção não repetitiva – “opened tour”

O método de “Little et al” acabado de descrever é ainda aplicável à resolução deste problema

Este problema apresenta-se na prática sob duas situações iniciais

Situação 1:

O equipamento encontra-se "em vazio" estado a partir do qual se processará os trabalhos na unidade de produção,

Situação 2:

O equipamento encontra-se preparado para iniciar trabalho idêntico ao último trabalho realizado.

Qualquer destas situações representará o início da sequência e um estado do qual se partirá para os outros sendo portanto indispensável saber os custos de preparação para tais estados.

Este estado inicial pode designar-se por estado zero e representar-se por 0.

Assim a matriz genérica do problema será:

Para j De i	0	1	2	3	...	n
0	∞	C_{01}	C_{02}	C_{03}	...	C_{0n}
1	C_{10}	∞	C_{12}	C_{13}	...	C_{1n}
2	C_{20}	C_{21}	∞	C_{23}	...	C_{2n}
3	C_{30}	C_{31}	C_{32}	∞	...	C_{3n}
...	∞	...
n	C_{n0}	C_{n1}	C_{n2}	C_{n3}	...	∞

Como se pretende a solução do problema "Opened Tour" tal significa que, na solução equivalente "Closed Tour", o custo de preparação para chegar ao estado inicial (0), zero, deverá ser considerado nulo uma vez que esse estado inicial não é para ser alcançado no problema "open tour". Só assim o valor total dos "custos" de preparação serão iguais quer para a solução "Opened Tour" quer para a equivalente "Closed Tour" determinada pelo método de Little et al acima descrito. A matriz genérica de custos será então:

Para j De i	0	1	2	3	...	n
0	∞	C_{01}	C_{02}	C_{03}	...	C_{0n}
1	0	∞	C_{12}	C_{13}	...	C_{1n}
2	0	C_{21}	∞	C_{23}	...	C_{2n}
3	0	C_{31}	C_{32}	∞	...	C_{3n}
...	∞	...
n	0	C_{n1}	C_{n2}	C_{n3}	...	∞

Exemplo.

Considere a matriz de custos de preparação de uma máquina de injeção:

Para j De i	0	1	2	3	4
0	∞	8	2	3	1
1	5	∞	7	7	10
2	7	4	∞	8	9
3	2	8	3	∞	6
4	2	7	5	2	∞

Calcule a sequência de Fabrico de 4 lotes de cadeiras de plástico sabendo que, máquina de injeção, no fim do processo será utilizada no fabrico de outras cadeiras sem necessitar de voltar ao estado inicial de limpeza traduzido pelo estado zero.

Para j De i	0	1	2	3	4	u		0	1	2	3	4	
0	-	8	2	3	1	1		0	-	7	1	2	0
1	0	-	7	4	10	0		1	0	-	7	4	10
2	0	4	-	8	9	0		2	0	4	-	8	9
3	0	8	3	-	6	0		3	0	8	3	-	6
4	0	7	5	2	-	0		4	0	7	5	2	-
v						1		v	0	4	1	2	0
				Σ	(u + v)		=	8					
LB	=	LB	+ Σ	(u + v)			\Rightarrow	LB	=	0	+ 8		



		C_{ij}					-	(ui)	+	$vj)$		R_{ij}					
Para j	De i	0	1	2	3	4						0	1	2	3	4	
0	-	3	0	0	0		⇒	0	-		2	0	6	(0,4)			
1	0	-	6	2	10			1	2	-							
2	0	0	-	6	9			2	0	3	-						
3	0	4	2	-	6			3	2								
4	0	3	4	0	-			4	0				2	-			

↓

Para j	De i	0	1	2	3	u			0	1	2	3	
1	-	0	-	6	2	0	⇒	1	0	-	6	2	
2	0	0	-	6	0			2	0	0	-	6	
3	0	4	2	-	0			3	0	4	2	-	
4	0	3	4	0	0			4	0	3	4	0	
v						0		v	0	0	2	0	2

Excluir par (0,4) LB = LB + R_{ij}

8 + 6 ⇒ LB = 14

Incluir para (0,4) LB = LB + (u + v)

LB = 8 + 2 ⇒ LB = 10

↓

		C_{ij}					-	(ui)	+	$vj)$		R_{ij}					
Para j	De i	0	1	2	3							0	1	2	3		
1	-	0	-	4	2		⇒	1	2	-							
2	0	0	-	6				2	0	3	-						
3	0	4	0	-				3	2			-					
4	—	3	2	0				4	0			4	(4,3)				

↓

Para j	De i	0	1	2	u				0	1	2	
1	-	0	-	4	0		⇒	1	0	-	4	
2	0	0	-	0				2	0	0	-	
3	0	4	0	0				3	0	4	0	
v					0			v	0	0	0	0

Excluir par (4,3) LB = LB + R_{ij}

10 + 4 ⇒ LB = 14

Incluir para (4,3) LB= LB + (u + v)

LB= 10 + 0 ⇒ LB = 10

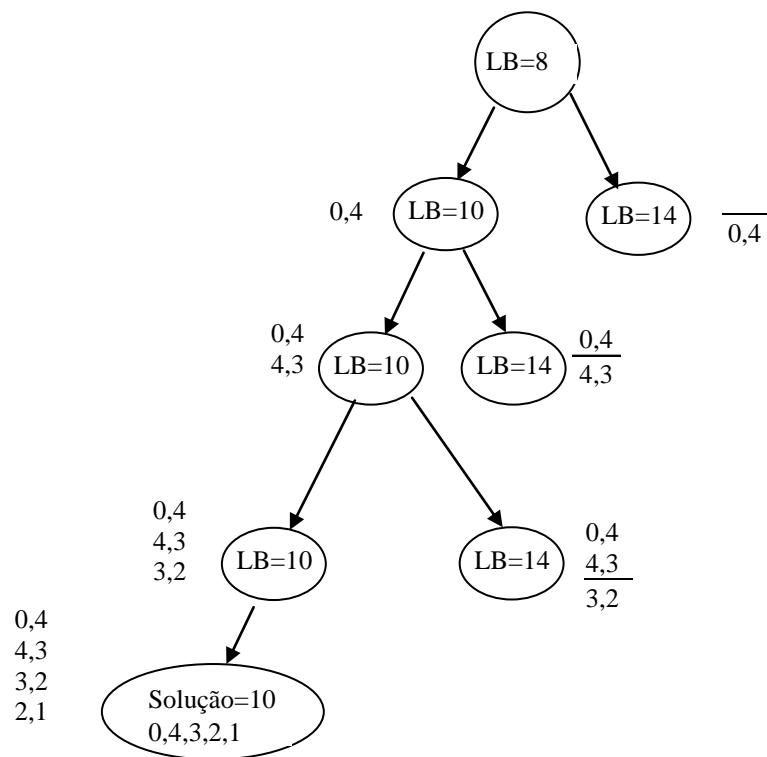
↓

	C_{ij}	-	$(u_i + v_j)$			R_{ij}		
Para j	0	1	2	u		0	1	2
De i								
1	0	-	4	0		1	4	-
2	0	0	-	0	\Rightarrow	2	0	4
3	0	4	0	0		3	0	
							4	(3,2)

↓

Para j	0	1	u			0	1	
De i								
1	0	-	0			1	0	-
2	0	0	0		\Rightarrow	2	0	0
v			0			v	0	0
Excluir par (4,3)			LB=	LB +	R_{ij}			
			10	10 +	4	\Rightarrow LB 14		
Incluir para (4,3)			LB=	LB +	(u + v)			
			10 +	0		\Rightarrow LB 10		

A árvore correspondente à resolução é a seguinte:



5.7.3.3. Heurísticas

Heurística da "cidade" mais próxima não visitada

- Selecionar uma cidade para origem de forma arbitrária.
- Determinar a cidade que lhe fica mais próxima que se considerará visitada.
- Das cidades não visitadas determinar a que fica mais próxima da determinada anteriormente.
- Repetir c) até que todas as cidades sejam visitadas.

Exemplo:

Considere os dados do exemplo usado na apresentação do método de "Little et al" Tabela1.

Tabela 1

Para j De i	1	2	3	4	5
1	-	4	8	6	8
2	5	-	7	11	13
3	11	6	-	8	4
4	5	7	2	-	2
5	10	9	7	5	-

Aplicando o heurístico vem:

- Selecionar 5 para a origem
 - De 5 a mais próxima é a cidade 4
 - De 4 a mais próxima é a cidade 3
 - De 3 a mais próxima é a cidade 2
- De 2 a mais próxima é a cidade 1

∴  Tempo = 26

Esta capacidade de gerar soluções boas de forma rápida torna este algoritmo atrativo para problemas cuja determinação da solução ótima implica custos proibitivos. Claro que o algoritmo heurístico pode ser aplicado selecionando qualquer das "cidades" para origem obtendo-se assim tantas soluções quantas as "cidades".

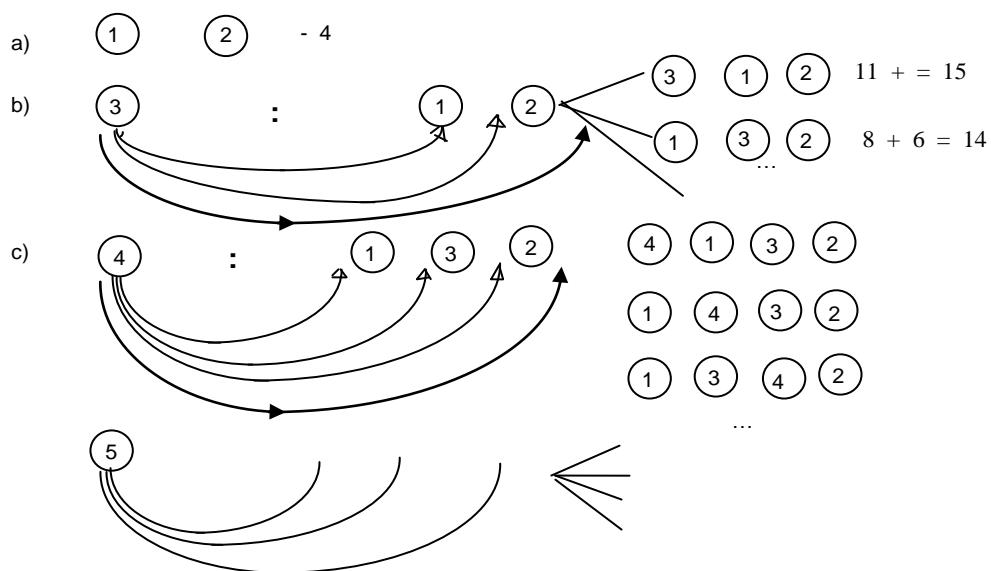
Naturalmente que a melhor de tais soluções poderá então ser adotada.

O algoritmo foi testado considerando também uma variação baseado no "look ahead" para duas cidades, isto é, determinar não uma mais próxima cidade, mas sim as duas cidades cuja distância total é mínima. Os resultados indicaram que as soluções estavam dentro de um erro máximo de 10% sobre a solução ótima quando o número de entidades a visitar, n, é menor ou igual 20. No entanto tal só se verificava para situações cuja distância entre cidades não tivesse grande variabilidade

Heurística de Karg and Thompson

- Seleção aleatória de 2 cidades formando uma sequência
- Inserir uma outra cidade, selecionada aleatoriamente, com vista a "melhorar" a medida de eficiência da rota parcial que inclui a nova cidade .
- Proceder como em b) até que todas as cidades tenham sido consideradas.

Exemplo: Usar os dados da tabela 1 acima apresentada.



A melhor das soluções encontrada será então adotada.

A eficiência de aplicação de métodos heurísticos para solução de problemas de produção ou de outros, poderá ser melhorada pelo uso repetitivo, quando o possível, do heurístico, no mesmo problema, de forma a encontrar diferentes soluções das quais se poderia escolher a melhor.

5.8. Problemas de Máquinas Paralelas

O conteúdo desta secção foi desenvolvido, principalmente a partir do trabalho publicado por Baker (1974).

Se na programação da produção em máquina ou processador único a programação da produção se resume a problemas de *sequenciamento*, perante a existência de processadores múltiplos, e neste caso de máquinas paralelas, surge primeiro e adicionalmente o problema de *afetação* dos trabalhos às máquinas ou processadores.

Assim, na programação da produção em sistemas de duas ou mais máquinas, além de se ter de determinar a sequência pela qual os trabalhos deverão ser realizados isto é, "**Quando**" serão os trabalhos realizados, o que equivale a resolver o problema de *sequenciamento* – "*sequencing problem*" - é ainda necessário definir "**Onde**" serão os trabalhos realizados, isto é, em que processadores devem os trabalhos serem processados. Isto equivale a resolver o problema de *afetação* – "*assignment problem*". Este problema é por vezes designado de problema de carregamento – "*loading problem*"- embora haja diferenças nos dois conceitos. De facto, em geral, o problema de carregamento, resolve-se quando há vários trabalhos a escalar de forma a equilibrar a carga em cada máquina ou processador. Isto não significa que a carga deva ser igual em cada um. De facto tal equilíbrio é influenciado pelo número de máquinas idênticas em cada grupo, se existirem, devendo, neste caso, afetar-se maior sobrecarga por máquina em grupos com maior número de máquinas idênticas (Stecke, 1983).

Por outro lado, o problema de afetação pode ser resolvido em modo de despacho, i.e., à medida que os recursos ficam disponíveis, ao passo que o problema de carregamento não, i.e. implica estabelecer previamente um esquema de afetação prévio, ou programa de produção que deve ser avaliado na base do critério de otimização.

5.8.1. Problemas de Máquinas Paralelas - Minimização do "makespan"

O "makespan" é o tempo total de produção de um dado número de trabalhos ou lotes e determina o intervalo de tempo desde o começo do primeiro trabalho até à conclusão do último.

O problema da minimização do "makespan" é o problema típico ou paradigmático da programação da produção.

A boa solução deste problema traduz-se na rápida execução dos trabalhos e também numa boa utilização do sistema de produção, isto é, dos processadores ou máquinas.

No caso de máquinas paralelas, minimizar o "makespan" é fundamentalmente resolver o problema da afetação dos trabalhos às máquinas e, portanto, encontrar uma afetação equilibrada da carga às máquinas -"Balancing".

Subsiste ainda por resolver o problema do sequenciamento dos trabalhos em cada máquina. Tal problema poderá ter em vista a obtenção de valores bons ou ótimos para outras medidas de desempenho tais como, por exemplo, minimizar o atraso máximo ou médio dos trabalhos ou ainda minimizar o tempo de fabrico médio por trabalho ou lote.

5.8.2. Problemas de Máquinas Paralelas - Trabalhos Independentes com Preempção

Considere um sistema de processadores paralelos com n trabalhos e m máquinas. É fácil demonstrar que:

O mínimo tempo total de produção, M^* , de n trabalhos independentes em m máquinas idênticas é dado por

$$M^* = \text{Max}\left\{ \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n t_j ; \max[t_j] \right\} \quad (20)$$

Sendo:

M^* o mínimo de tempo total de produção -"Makespan",

m o número de processadores ou máquinas,

t_j o tempo de processamento do trabalho j e

n o número de trabalhos.

Algoritmo de McNaughton

Obtém um programa que minimiza o tempo total de produção - "makespan" - M , num sistema com m máquinas paralelas idênticas e admitindo interrupção de execução.

Passo 1 :

Selecionar qualquer trabalho para começar na máquina m1.

Passo 2:

Fazer a afetação sucessiva de trabalhos escolhidos, ordenada ou aleatoriamente, a uma das máquinas até atingir o M^* .

Passo 3:

Reafectar a parte do trabalho para além de M^* à máquina seguinte.

A preempção - "preemption" - i.e. interrupção, de um trabalho pressupõe que será completado posteriormente no mesmo ou noutra processador.

Desta forma é fácil demonstrar que o algoritmo de McNaughton de facto permite encontrar um programa com o tempo total de fabrico M^* que verifica a expressão anterior (20).

De facto verifica-se que se

$$\max[t_j] < \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n t_j$$

então:

a1)

t_j pode ser processado num único processador sendo o restante tempo

$$\Delta t = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n t_j - \max[t_j]$$

ocupado por outro trabalho que, se necessário, poderá ser interrompido com uma parte realizada noutra processador.

a2)

t_j pode ser processado parte num processador e parte noutro(s) em momentos não simultâneos.

Por outro lado se

$$\frac{1}{m} \sum_{j=1}^n t_j < \max[t_j]$$

então o trabalho j , com o máximo tempo de processamento t_j , tem que ser processado:

b1)

num único processador (sendo $M^* = \max[t_j]$) ou

b2)

em mais do que um processador mas sem simultaneidade de processamento o que quer dizer que

$$\Delta t = \max[t_j] - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n t_j$$

terá sempre que ser processado para além do tempo

$$\frac{1}{m} \sum_{j=1}^n t_j$$

num dado processador.

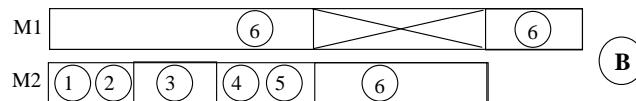
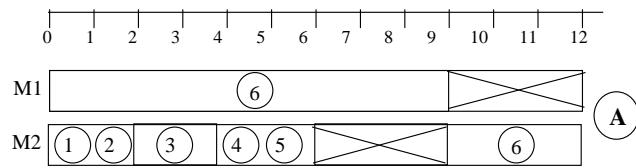
Vejamos exemplos para este caso. Considere os seguintes dados

t_j	1	1	2	1	1	12
j	1	2	3	4	5	6

1º exemplo:

a) $m = 2$

- $\max[t_j] = 12$
- $\frac{1}{m} \sum_{j=1}^n t_j = \frac{1}{2} (1+1+2+1+1+12) \Rightarrow M^*=12$
- $= 9$
- Algoritmo de McNaughton

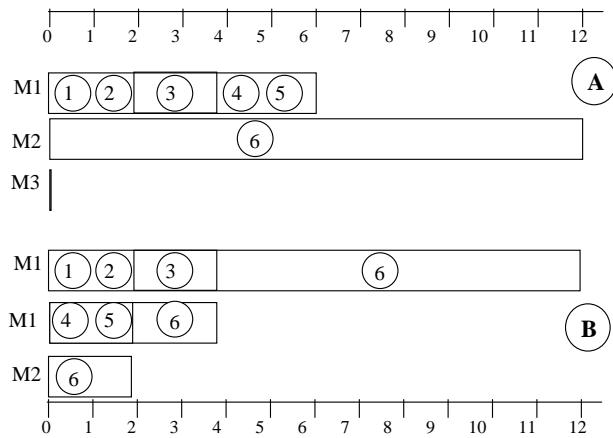


Tempo morto total:

$$A : (9 - 6) + (12 - 9) = 6 \quad B : (12 - 10) + (10 - 6) = 6$$

$m = 3$

$$\frac{1}{m} \sum_{j=1}^n t_j = 6$$



Tempo morto total

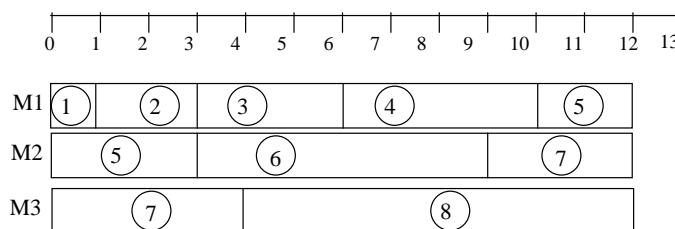
$$\textcircled{A} \quad (12 - 0) + (12 - 12) + (2 - 6) = 18 \quad \textcircled{B} \quad (12 - 12) + (12 - 4) + (12 - 2) = 18$$

2º. exemplo:

a) m=3

$j =$	1	2	3	4	5	6	7	8
$t_j =$	1	2	3	4	5	6	7	8
$m =$	3							

- $\max[t_j] = 8$
- $\frac{1}{m} \sum t_j = \frac{1}{3}(1+2+3+4+5+6+7+8) \Rightarrow M^*=12$
- $=12$
- Algoritmo de McNaughton

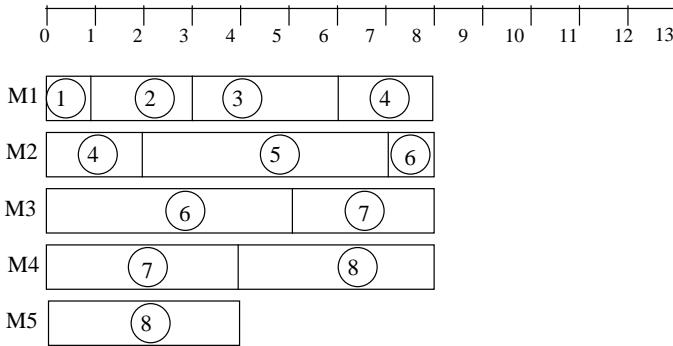


Utilização = 100%

b) m = 5

- $\max[t_j] = 8 \Rightarrow M^* = 8$

- $\frac{1}{m} \sum t_j = 7,2$
- Algoritmo de McNaughton



Utilização < 100%

A análise da resolução do 2º exemplo pelo algoritmo de McNaughton mostra facilmente que se podia evitar a interrupção do trabalho 8 se este fosse só processado na máquina 5.

De facto este algoritmo não minimiza o número de preempções mas somente o "Makespan", isto é o tempo total de fabrico dos trabalhos, M^* .

Vê-se também que a equação (20) que nos permite obter M^* tem subjacente o seguinte raciocínio: Ou os processadores são completamente utilizados, sendo neste caso

$$M^* = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n t_j$$

ou então o trabalho mais demorado determina o "Makespan" M^* , isto é

$$M^* = \max[t_j]$$

caso em que o equipamento não será totalmente utilizado, como se viu anteriormente

5.8.3. Problemas de Máquinas Paralelas - Trabalhos Independentes sem Preempção

5.8.3.1. Heurística de Kedia

Esta heurística procura minimizar o "Makespan" obtendo frequentemente bons resultados (Baker, 1974):

Passo 1

Ordenar os trabalhos por ordem decrescente do tempo de processamento - "*Longest Processing Time* - LPT

Passo 2

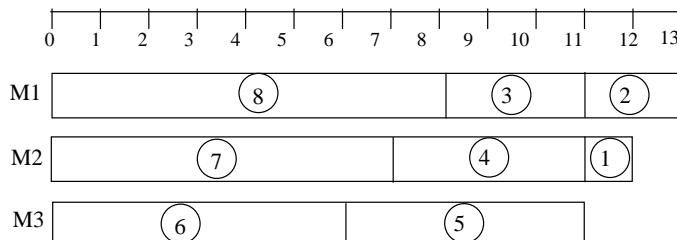
Afetar os trabalhos ordenadamente, começando pelo primeiro da lista, à máquina com a mínima carga já afetada.

O heurístico de Kedia é considerado muito eficiente. Frequentemente obtém a solução ótima do problema

Exemplo (ver dados do 2º. exemplo):

$j =$	1	2	3	4	5	6	7	8
$t_j =$	1	2	3	4	5	6	7	8
$m =$	3							

a) $m = 3$



O heurístico descrito usa a regra – “Longest Processing time”, LPT, como mecanismo de afetação dos trabalhos.

Este heurístico não garante a minimização do "makespan" M^* , mas é bastante eficiente, isto é, permite a minimização de M^* em muitos casos.

Em relação ao "makespan", "... a sound heuristic procedure for nonpreemption tasks is to solve the allocation problem first and then the sequencing problem" (Baker, 1974). Tal requer uma distribuição equilibrada da carga de trabalho pelas máquinas e depois a determinação da sequência ótima para cada máquina separadamente.

Assim a afetação é obtida pela regra LPT para afetar os trabalhos de 1 a 8.

Agora, se se pretender minimizar o prazo de produção médio para tal afetação deve ordenar-se, em cada máquina, os trabalhos por ordem crescente dos tempos de processamento. Assim o programa global que, para a afetação obtida, oferece o mínimo valor de F_{med} é:

$j =$	1	2	3	4	5	6	7	8
$tj =$	1	2	3	4	5	6	7	8
$m =$	3							
$j \text{ na Maq1}$	2	3	8					
tj	2	3	8					
Fj	2	5	13					
$\sum Fj$	2	7	20					
$j \text{ na Maq2}$	1	4	7					
tj	1	4	7					
Fj	1	5	12					
$\sum Fj$	1	6	18					
$j \text{ na Maq3}$	5	6						
tj	5	6						
Fj	5	11						
$\sum Fj$	5	16						

$$F_{med} = \sum_{j=1}^8 Fj = \frac{20+18+16}{8} \Rightarrow F_{med} = 6,75$$

Sendo F_{med} dado por:

5.8.3.2. Algoritmo para minimizar o tempo médio de percurso

A generalização das propriedades de sequenciamento em máquina única para os problemas de máquinas paralelas é relativamente fácil para F_{med} mas surpreendentemente difícil para F_{wmed} [Baker, 1974].

Pretendendo minimizar F_{med} devemos aplicar o seguinte procedimento:

Passo 1 -

Elaborar uma lista ordenada dos trabalhos na base da regra de prioridade SPT

Passo 2 -

Afetar os trabalhos ordenadamente começando pelo primeiro da lista, à máquina menos carregada.

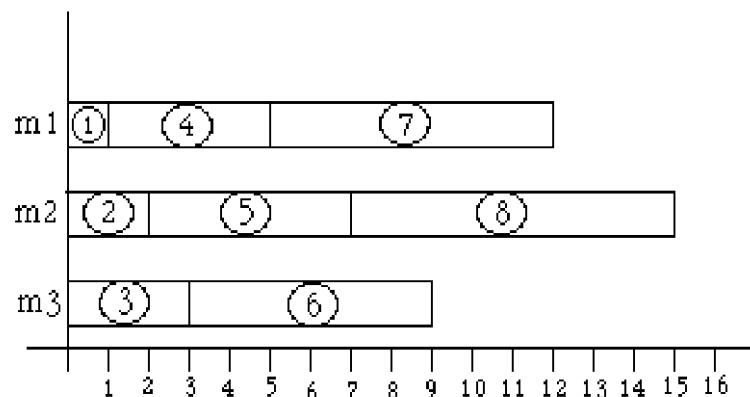
Exemplo: Considere a lista dos trabalhos ordenada pela regra SPT e aplique o algoritmo:

$j =$	1	2	3	4	5	6	7	8
$tj =$	1	2	3	4	5	6	7	8
$m =$	3							
$j \text{ na Maq1}$	1	4	7					
tj	1	4	7					
M	1	5	12					
ΣM	1	6	18					
$j \text{ na Maq2}$	2	5	8					
tj	2	5	8					
M	2	7	15					
ΣM	2	9	24					
$j \text{ na Maq3}$	3	6						
tj	3	6						
M	3	9						
ΣM	3	12						

$$M_{med} = \sum_{j=1}^8 M_j$$

Sendo $M_{med} = F_{med}$ vem:

$$= \frac{18 + 24 + 12}{8} \Rightarrow M_{med} = 6,75$$



5.9. Linhas de Produção

Linhas de produção são sistemas de produção com dois ou mais processadores em que as operações de cada trabalho são executadas em sequência, desde a primeira à última, correspondendo a cada operação um processador, como se referiu em secção anterior deste texto. Um corolário deste definição é que o fluxo de produção é procedente, num único sentido, sem haver lugar a qualquer fluxo inverso ou retrocedente (Silva, 1996).

Apesar das linhas serem sistemas de processadores múltiplos, geralmente o problema da afetação é resolvido na fase de conceção e balanceamento da linha de produção por estes sistemas serem orientados ao produto. Não há, no caso da linha pura, isto é, com um única máquina por estágio de produção, para cada operação requerida por todos e qualquer trabalho, alternativas no que se refere a resolver o problema de afetação. Tal não é o caso se estivermos perante o que vulgarmente se designa de *linha flexível ou linha híbrida*, i.e. uma linha em que pelo menos num dos seus estágios de produção existem duas ou mais máquinas para processar a operação correspondente. Como é lógico é preciso resolver o problema de afetação em tais estágios uma vez que existe mais que uma máquina.

5.9.1. Minimização do Tempo Total de Produção, "Makespan", em Linha de Produção

5.9.1.1. Algoritmo de Johnson

Este algoritmo permite obter o melhor programa ou sequência ordenada numa linha de fabricação com duas máquinas. O algoritmo não garante soluções ótimas (sequências ótimas) mas somente a melhor das sequências ordenadas ou dos chamados "*Permutation Schedules*" uma vez que o conjunto de todas as sequências ordenadas possíveis não constitui um conjunto dominante - "*dominant set*" - isto é não contém necessariamente (embora possa conter) a sequência para a qual o "*Makespan*" é ótimo

Uma sequência ordenada ou "*permutation schedule*" é aquela que é adotada em todas as máquinas do sistema de produção necessárias para processar cada lote ou trabalho.

Considere a linha de produção com duas máquinas diferentes, ilustrada na figura.

Lotes: 1 2 3 ... n



Descrição do Algoritmo de Johnson:

Passo 1:

Selecionar o tempo de processamento mínimo entre todos os t_{i1} e t_{i2} (no caso de empate selecionar qualquer um)

Passo 2

Se for necessária a máquina M1 pôr o lote correspondente no início da sequência logo após o(s) lote(s) já ali colocado(s); Se for necessária a máquina M2 pôr o lote correspondente no fim da sequência logo antes do(s) lote(s) já ali colocado(s).

Passo 3

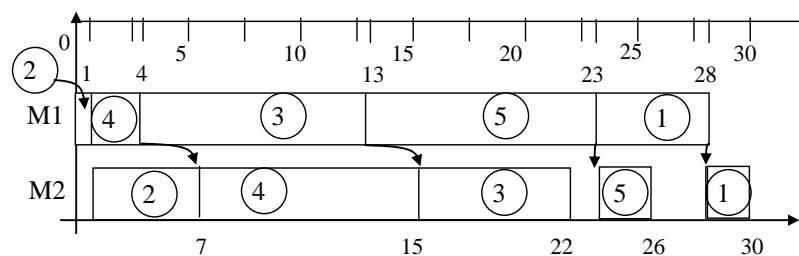
Remover o lote selecionado e voltar ao passo 1.

Exemplo de aplicação

Lote j	j	1	2	3	4	5
Tempo de processamento na máq.1	t_{j1}	5	1	9	3	10
Tempo de processamento na máq.2	t_{j2}	2	6	7	8	3

Sequência ótima : 2,4,3,5,1

O diagrama de Gantt da solução é apresentado na figura



$$\text{Mínimo "Makespan"} = F_{\max} \quad F_{\max} = 30$$

Convém ter presente que o "makespan" é o tempo total de produção dos trabalhos, isto é, o tempo de percurso, ou em curso, máximo que corresponde ao tempo de percurso do trabalho último trabalho a ser processado, uma vez que todos os trabalhos são lançados simultaneamente no sistema.

A apresentação do programa de produção pode também ser feita através duma matriz como a apresentada na figura.

Trabalhos ou lotes	M1	Operação 1	M2	Operação 2	Tempo morto Esperas das máquinas pelos trabalhos)		Tempo de espera (Esperas dos trabalhos pelas máquinas)		Fila de espera	
	t1	Fi1	t2	Fi2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
2	1	1	6	7	0	1	0	0	0	0
4	3	4	8	15	0	0	0	0	0	0
3	9	13	7	22	0	0	0	0	0	0
5	10	23	3	26	0	1	0	0		
1	5	28	2	30	0	2	0	0		
Espera das máquinas					0	4				

É de notar, que a solução do exemplo poderia ser obtida por escolha da melhor solução dentre todas as possíveis, obtidas por enumeração completa, que, neste simples caso de 5 lotes é $5! = 120$ uma vez que as sequências são ordenadas.

Quando o número de máquinas é maior que 2, isto é, o algoritmo de Johnson não pode ser aplicado e o problema tende a complicar-se consideravelmente. A sequência para mínimo Makespan de problemas mais complexos poderá então, ser eventualmente obtida por métodos "Branch and Bound" desenvolvidos para minimizar o "Makespan".

Um tal método, aqui designado de método de Ignall-Schrage, é ilustrado na secção seguinte.

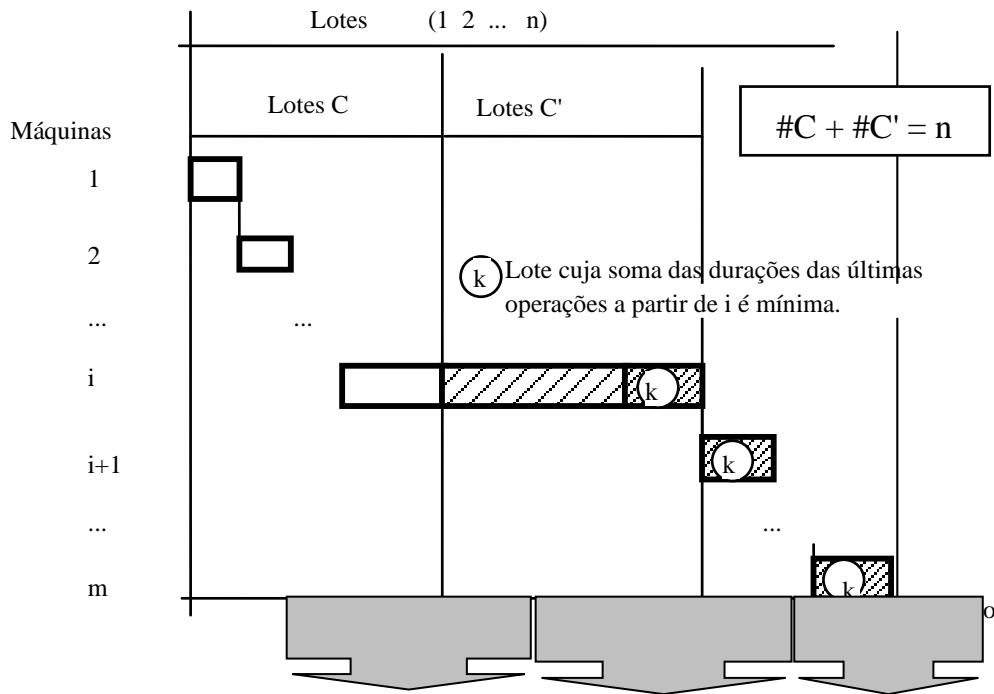
5.9.1.2. Método de Ignall-Schrage

Utilizado para determinar a sequência ordenada, ou programa ordenado, de n lotes numa linha de produção pura - "pure flow shop" - de m máquinas, que minimiza o tempo total de produção - "makespan".

O método, descrito em (Baker, (1974), não garante a melhor das sequências possíveis uma vez que pode existir uma sequência não ordenada que apresente o verdadeiro ótimo do problema global. No entanto permite obter um programa ordenado que minimiza o makespan.

Este método é baseado na técnica "**branch and bound**" e como tal tem como objetivo resolver o problema, através da redução da enumeração de todas as soluções possíveis baseando-se no processo de ramificação, "branching", e poda dos ramos da árvore como base no limite – "bound" - de busca da solução. Como se disse atrás a poda assenta na constatação de que o ramo, que então se poda, não tem qualquer possibilidade de conduzir a uma solução ótima do problema.

O método está apresentado com base na ilustração da figura:



$$b_i = q_i + \sum_{j \in C'} t_{ji} + \sum_{l=i+1}^m t_{kl} \quad (21)$$

$$\text{sendo: } \sum_{l=i+1}^m t_{kl} = \min_{j \in C'} \sum_{l=i+1}^m t_{jl} \quad (22)$$

b_i um limite inferior ou "lower bound" do valor mínimo do tempo de produção

De facto se :

q_i é tempo de conclusão dos lotes selecionados C (incluindo o lote em consideração) na máquina i , que representa o instante de início de processamento dos lotes restantes, C' , então, podemos determinar um limite inferior do *makespan* baseado na máquina i .

Assim, por exemplo:

Máquina 1

Considerando ser k o último lote na máquina 1, cujo tempo de conclusão nessa máquina seria

$$q_1 + \sum_{j \in C'} t_{j1}$$

então para finalizar o processamento de todos os lotes em todas as máquinas seria necessário pelo menos, i.e. no mínimo, o tempo adicional $t_{k2} + t_{k3} + \dots + t_{ki} + \dots + t_{km}$ ou seja:

$$\sum_{l=1+1}^m t_{kl} \text{ ou } \sum_{l=2}^m t_{kl} \quad \text{onde:}$$

t_{kl} é o tempo de processamento do lote k na máquina / ("él"), i.e., neste caso, máquina 1 (um))

Por outro lado pode-se verificar que admitindo a situação mais favorável o lote k não terá de esperar para ser processado nas máquinas seguintes e portanto o tempo de produção do lote

k nessas máquinas, seria $\sum_{l=2}^m t_{kl}$ e portanto. Se por outro lado este somatório for o menor, i.e.

o mínimo de quaisquer dos lotes ainda para escalar, isto é, pertencente a C' , então será o menor tempo de produção potencial para os lotes em C' nas máquinas depois da 1, i.e de 2 a m . Nestas condições b_1 é, de facto, um limite inferior do *makespan* da solução ótima, sendo dado por:

$$b_1 = q_1 + \sum_{j \in C'} t_{j1} + \sum_{l=2}^m t_{kl}$$

Por raciocínio análogo para as máquinas restantes pode-se concluir que outros limites inferiores possíveis dizem respeito às restantes máquinas havendo um para cada máquina da linha de produção

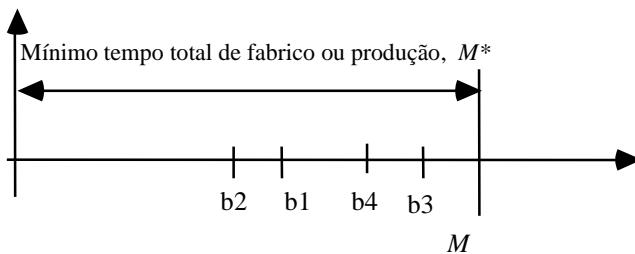
O interesse de usar vários limites inferiores, em vez de um só, como se fez no método de Little et al, tem a ver com a rapidez de convergência a partir do momento em que se conhecem os LBs. Aparentemente o método poderá parecer mais eficiente quando utiliza todos os LBs possíveis na decisão em vez de um só, por exemplo aquele para apenas uma das máquinas. Tal será efetivamente verdade, se o tempo despendido no cálculo de todos os LBs, considerando todos os níveis decisão na árvore de pesquisa, for suficientemente pequeno para que as poupanças obtidas no processo de convergência sejam efetivamente vantajosas.

Como se comprehende, tendo vários LBs para um dado nó da árvore, o maior LB está mais próximo da solução ótima do qualquer outro e por isso deve ser escolhido para progredir na pesquisa e acelerar a convergência

Portanto o LB escolhido será sempre:

$$B = \max \{ b_1, b_2, b_3, \dots, b_m \}$$

No exemplo da figura seguinte, vê-se que o valor de B é igual a b_3 uma vez que b_3 é o "lower bound" que mais próximo está da solução ótima, M^* .



Pode concluir-se que, segundo esta abordagem sugerida por Ignall e Schrage, é mais provável encontrar o valor de M^* partindo de LBs próximos do mínimo, isto é tão grandes quanto possível, do que de LBs afastados dele. Um raciocínio oposto conduziria à seleção do LB igual a zero, portanto muito afastado do real valor do mínimo Makespan M^* .

Exercício

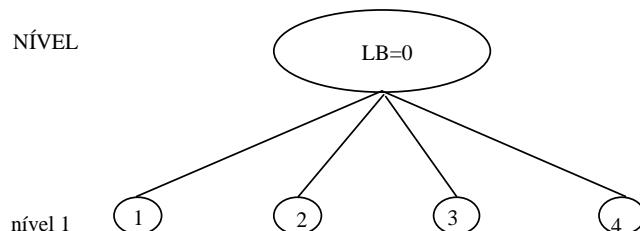
Calcule a sequência ordenada ótima para produção de 4 lotes numa linha de produção com duas máquinas, de forma a minimizar o tempo total de produção, considerando os tempos de processamento indicados na tabela:

Máquinas	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4
M1	10	7	4	12
M2	5	8	9	11

Resolução.

Podemos calcular os limites inferiores:

Inicialmente temos $LB=0$



Aplicando a equação

$$b_i = q_i + \sum_{j \in C'} t_{ji} + \sum_{l=i+1}^m t_{jl}$$

vem:

Nível 1

(1)

$$b_1 = 10 + 23 + 8 = 41$$

(2)

$$b_1 = 7 + 26 + 5 = 38$$

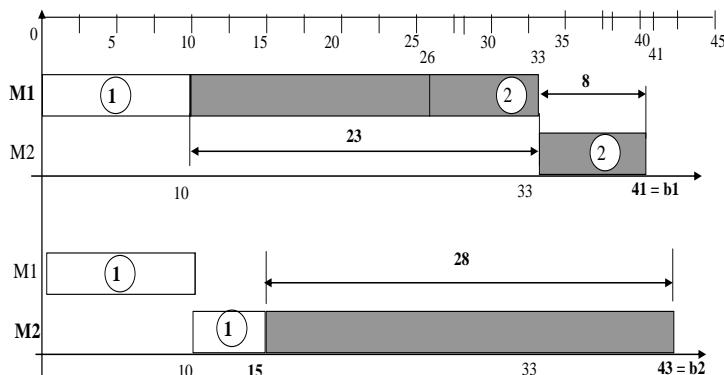
$$B_1 = \max \{41, 43\}$$

$$\Rightarrow B_2 = 40$$

$$\Rightarrow B_1 = 43$$

$$b_2 = 15 + 28 + 0 = 43$$

$$b_2 = 15 + 25 + 0 = 40$$



(3)

$$b_1 = 4 + 29 + 5 = 38$$

(4)

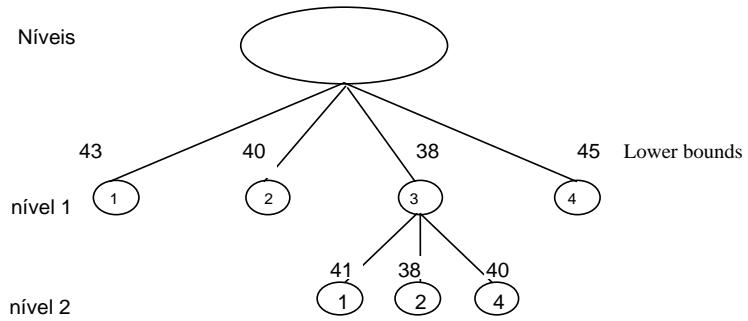
$$b_1 = 12 + 21 + 5 = 38$$

$$\Rightarrow B_3 = 37$$

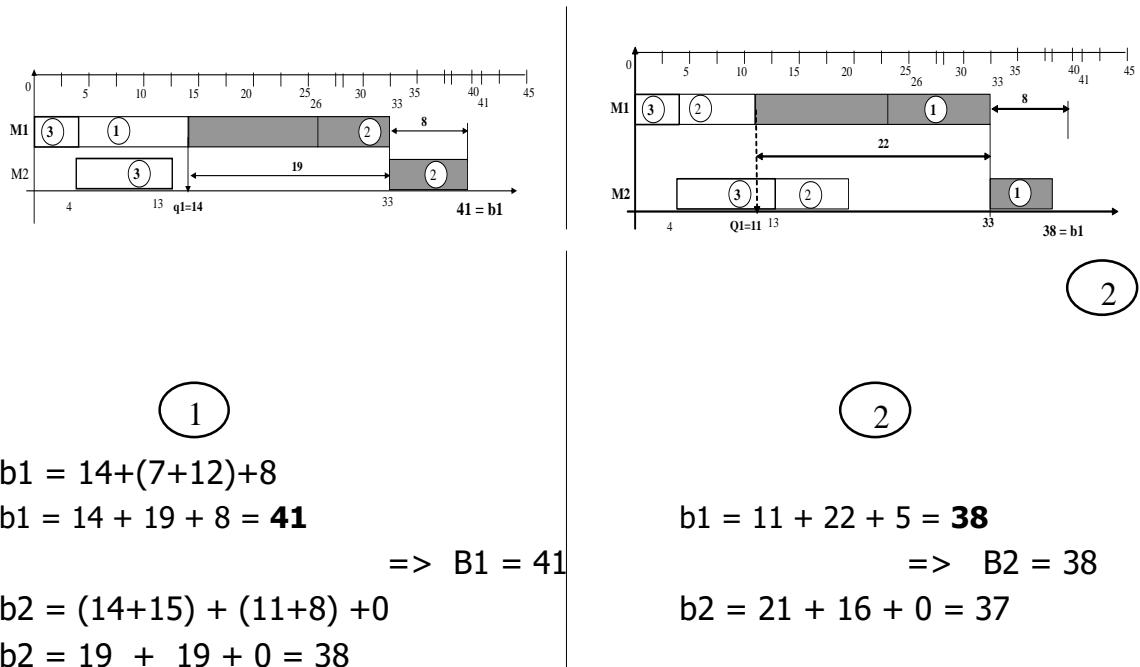
$$\Rightarrow B_4 = 45$$

$$b_2 = 13 + 24 + 0 = 37$$

$$b_2 = 23 + 21 + 0 = 44$$



Nível 2

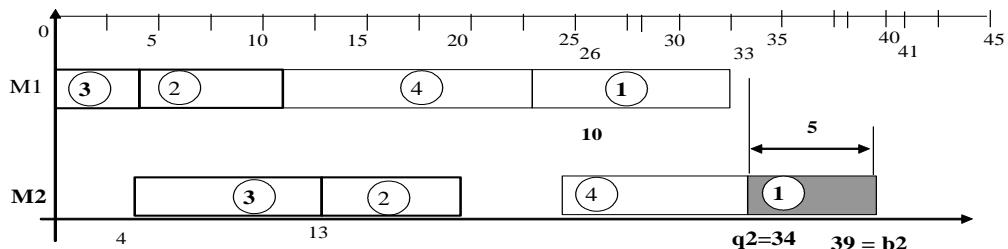
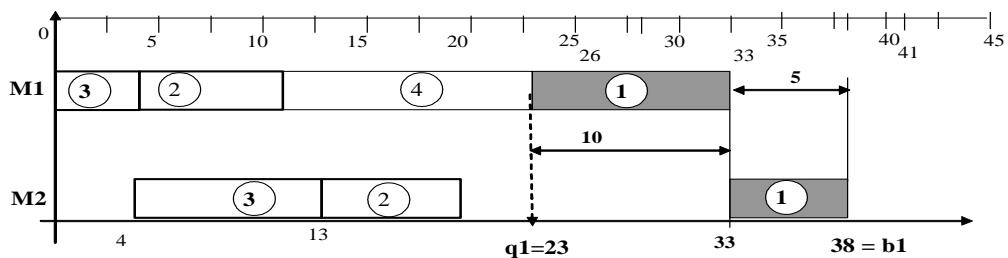


4

$$\begin{aligned} b_1 &= 16 + 17 + 5 = 38 \\ &\Rightarrow B_4 = 40 \\ b_2 &= 27 + 13 + 0 = \mathbf{40} \end{aligned}$$

Nível 3

4



$$b1 = 23 + 10 + 5 = 38 \\ \Rightarrow B4 = 39 \\ b2 = 34 + 5 + 0 = 39$$

1

$$b1 = 21 + 12 + 11 = 44$$

$$\Rightarrow B1 = 44$$

$$b2 = 26 + 11 + 0 = 37$$

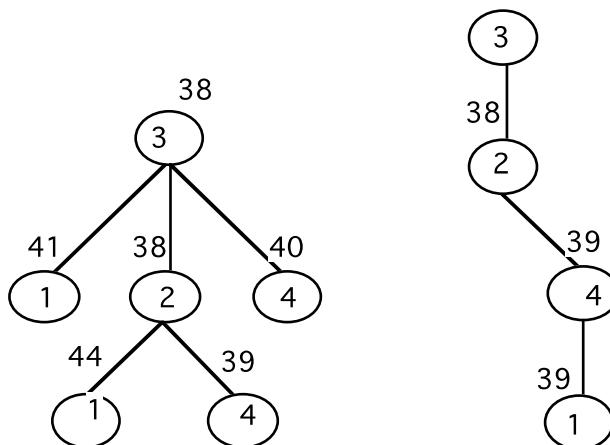
Nível 4

1

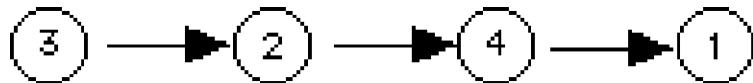
$$b1 = 33 + 5 + 0 = 38$$

$\Rightarrow B2 = 39$ é coincidente com o mínimo de $M = M^*$

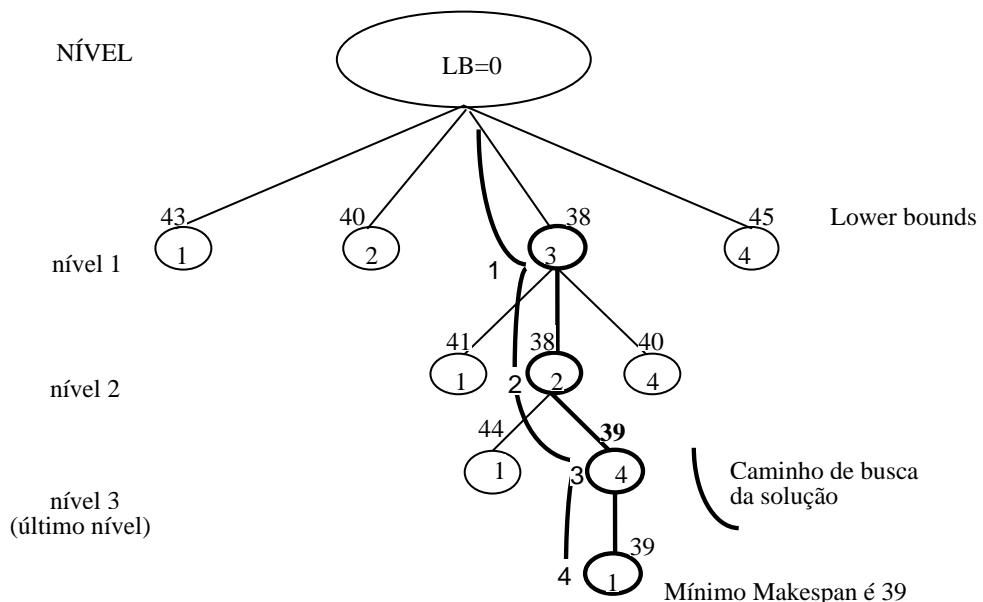
$$b2 = 34 + 5 + 0 = 39$$



Portanto o último “lower bound” é 39 e como não há nenhum na rede igual ou inferior, tal valor constitui o tempo total mínimo de fabrico ou “makespan”, sendo a sequência ótima dada por:



A rede de busca de tal solução foi portanto:



5.10. Programação da Produção em Oficinas

Como se definiu previamente, a oficina de produção, “job shop”, na sua aceção mais pura é caracterizada por roteiro variável tal que a jésima operação é, em termos probabilísticos, executável em qualquer máquina ou processador da oficina.

Ao contrário da linha de produção pura, onde à jésima operação corresponde, necessariamente, ao jésimo processador no caso de linha pura, na oficina de produção à jésima operação não está associado a nenhum processador em particular, razão pela qual, a caracterização de uma operação, num programa de produção, além do número de identificação do trabalho a que pertence, necessita da identificação do processador onde está afetada. A figura 7, aqui repetida apresenta um programa de produção numa oficina de fabricação de 3 máquinas

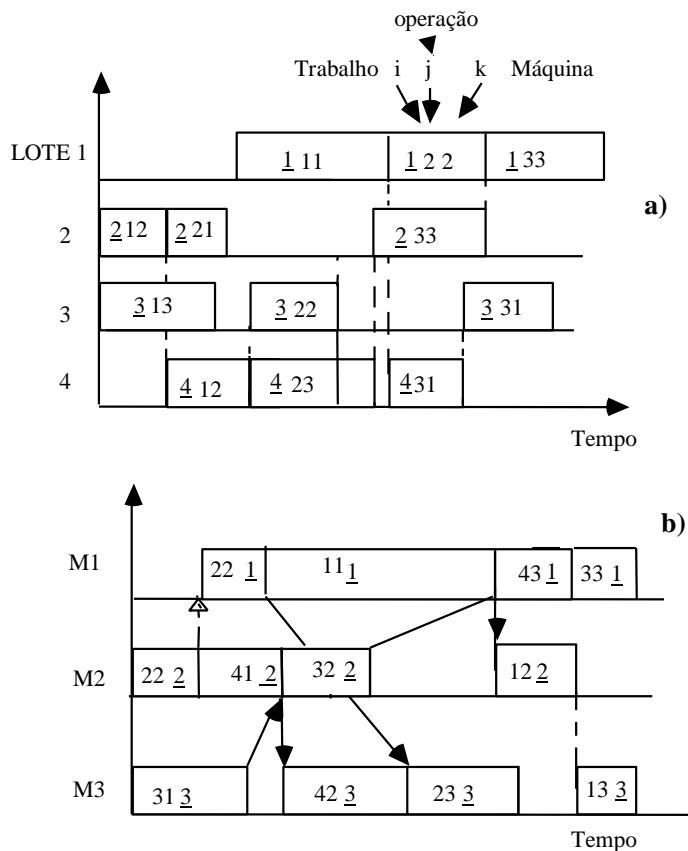


Figura 5-8 - Duas variantes do diagrama de Gantt para representar um programa de produção numa oficina de fabricação com três máquinas.

5.10.1. Programação da Produção de 2 Trabalhos em Oficina com m Máquinas

Minimização do tempo total de fabricação - "makespan", Fmax ou M (Ambiente estático)

Este é um caso muito particular da programação em oficinas de produção que tem uma solução gráfica que será apresentada através de dois exemplos.

Considere os dados, para dois exemplos, apresentados nas tabelas seguintes:

Exemplo 1

	Tempos de processamento		Máquinas usadas	
Operações	J1	J2	J1	J2
1	2	1	M1	M3
2	3	2	M2	M2
3	2	5	M4	M1
4	4	2	M3	M4

Exemplo 2

	Tempos de processamento		Máquinas usadas	
Operações	J1	J2	J1	J2
1	1	1	M1	M3
2	3	1	M2	M2
3	2	5	M4	M1
4	4	2	M7	M6

Resolução

Com base na representação cartesiana de quaisquer dois trabalhos ou lotes, i e j, conforme o gráfico da figura seguinte, podemos estabelecer que o Fmax é dado por:

$$F_{max} = V + T_{j1} \quad \text{ou}$$

$$F_{max} = H + T_{j2} \quad \text{ou}$$

$$F_{max} = D + V + H$$

Onde:

V é a duração do trabalho correspondente ao trajeto puramente vertical,

H é a duração das operações correspondentes ao trajeto puramente horizontal,

D é a duração das operações simultâneas dos trabalhos i e j, correspondentes ao trajeto na diagonal

T_{j*} é o tempo de processamento total do trabalho j^* , onde * é 1 ou 2.

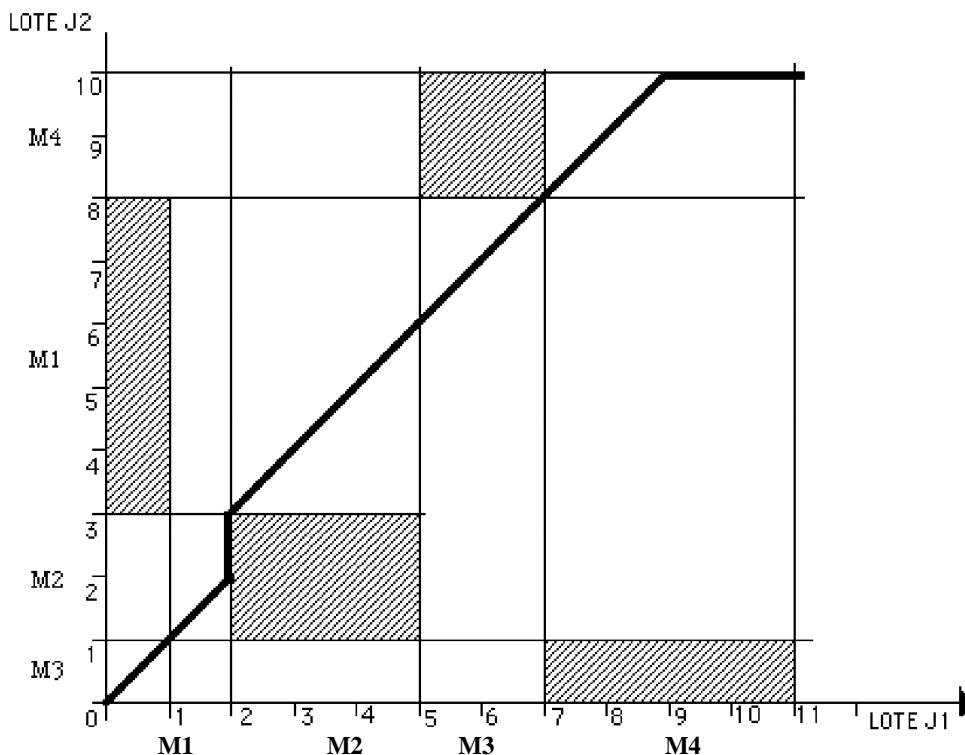
Para o exemplo 1 é:

$$F_{max} = V + T_j \quad \text{Portanto: } F_{max} = 1 + 11 = 12 \text{ ou}$$

$$F_{max} = H + T_{j2} \quad \text{Portanto: } F_{max} = 2 + 10 = 12 \text{ ou}$$

$$F_{max} = D + V + H$$

Portanto: $F_{max} = 9 + 1 + 2 = 12$



Programas óptimos são aqueles em que o percurso na diagonal é o mais longo

No exemplo 2 é de 8.

NOMENCLATURA:

V - Percurso vertical

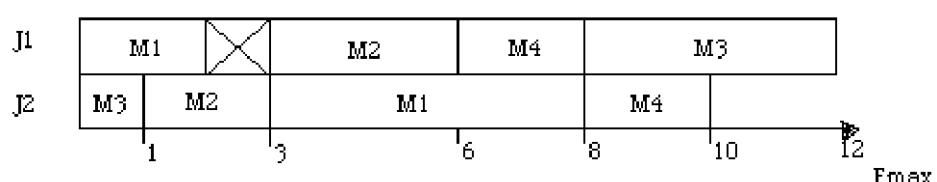
T_{J1} - Tempo útil J_1

H - Percurso horizontal

T_{J2} - Tempo útil de J_2

D - Percurso em Diagonal

Exemplo 1

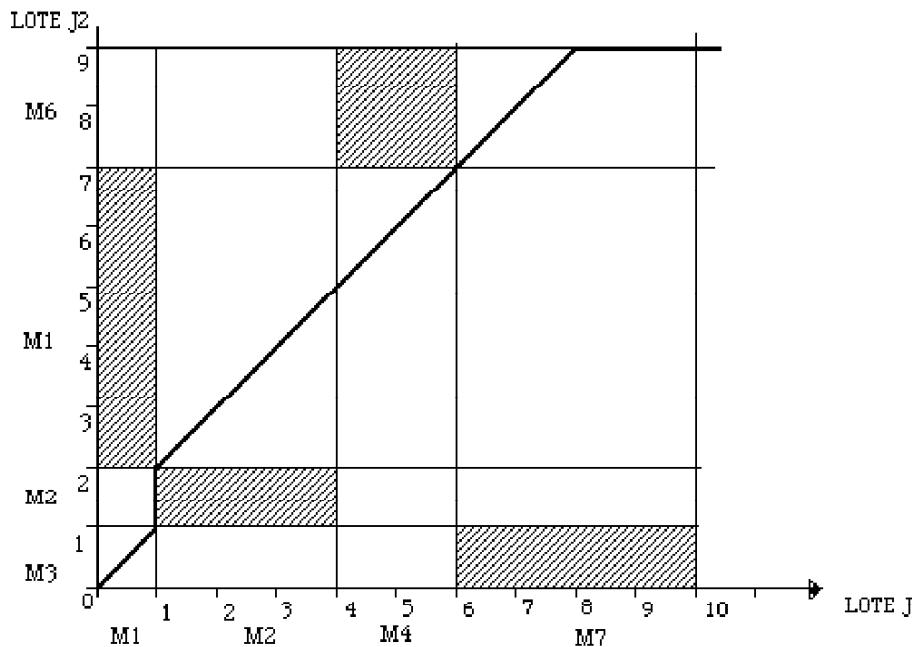


Exemplo 2

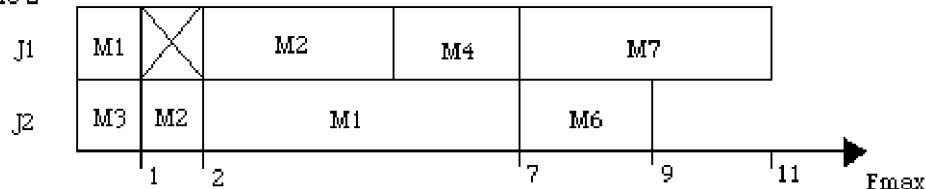
$$F_{max} = V + T_{J1} = 1 + 10 = 11$$

$$F_{max} = H + T_{J2} = 2 + 9 = 11$$

$$F_{max} = D + V + H = 8 + 12 = 11$$



Exemplo 2



5.10.2. Programação da Produção de n Trabalhos em Oficina com 2 Máquinas

5.10.2.1. Minimização do tempo total de fabricação -“makespan”, (ambiente estático)

A resolução do problema equacionado é possível pela aplicação do método de Jackson (Conway, 1967)

A sua descrição faz-se melhor através de um exemplo.

Assim, considere que se pretende processar 7 trabalhos ou lotes, L1 a L7, numa oficina com dois processadores/máquinas MA e MB, cujas sequências operatórias e tempos são dados na tabela:

Trabalhos/lotes	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
1 ^a . Operação	MB/5	MA/7	MB/5	MA/4	MB/6	MA/3	MB/5
2 ^o . Operação	-	-	-	MB/5	MA/2	MB/7	MA/3

Legenda: MB/5: Processador MB/Tempo de processamento 5

5.10.2.2. Algoritmo de Jackson

Passo 1

Listar todos os trabalhos que tenham processamento apenas numa das máquinas:

Máquina MA:

$$\{MA\} = \{L2\};$$

Máquina MB:

$$\{MB\} = \{L1, L3\}$$

Passo 2

Listar as duas sequências operatórias MA -> MB e MB -> MA

2.1) - Listar os restantes trabalhos com a sequência operatória MA -> MB

$$\{MA\ MB\} = \{L4, L6\}$$

2.2) - Listar os restantes trabalhos com a sequência operatórias MB -> MA

$$\{MB\ MA\} = \{L5, L7\}$$

Passo 3

Aplicar o Método de Johnson às sequências $\{MA\ MB\}$ e $\{MB\ MA\}$

$$S_{A,B} = L6\ L4$$

$$S_{B,A} = L7\ L5$$

Passo 4

Com base nos resultados obtidos no passo 3 estabelecer o programa para cada processador da seguinte forma:

4.1) - Em cada dos processadores será processado primeiro as primeiras operações dos trabalhos das sequências encontradas pelo método de Johnson, SA,B e SB,A

Isto é:

$$MA: L6, L4$$

MB: L7 , L5

4.2) - A seguir será processado em cada processador os trabalhos que não requerem o outro processador, resultando:

MA: L6 -> L4 -> L2

MB: L7 -> L5 -> L1 -> L3 ou MB: L7 -> L5 -> L3 -> L1

A ordem de execução em cada destas sequência parciais, {MA} e {MB}, é arbitrária uma vez que tal ordem não interfere no valor do "makespan"

4.3) Executar a segunda operação de cada trabalho depois de o processador requerido ter executado os trabalhos pela sequência definida em 4.2)

MA: L6 -> L4 -> L2 -> L7 -> L5

MB: L7 -> L5 -> L1 -> L3 -> L6 -> L4

ou

MB: L7 -> L5 -> L3 -> L1-> L6 -> L4

Cálculo do "makespan"

Máquina MA

MA: L6 -> L4 -> L2 -> L7 -> L5

F 3 7 14 17 19

Máquina MB

MB: L7 -> L5 -> L3 -> L1-> L6 -> L4

F 5 11 16 20 28 33 = mínimo "makespan"

5.10.3.Oficinas Genéricas

A dificuldades de tratar analiticamente o problema da programação da produção em oficinas de produção mais realistas, isto é de maior dimensão, com grupos de máquinas similares ou idênticas e em funcionamento dinâmico, levou a recorrer a estudos de simulação digital com vista a determinar a validade de utilização de regras de prioridade ou de sequenciamento ou despacho - "*dispatching or priority rules*" - para decidir qual dos trabalhos ou lotes à espera de serem processados numa máquina deve ser processado a seguir.

A utilização da simulação para resolver este problema passa pela realização de um modelo da oficina de produção, teórica ou efetivamente existente, no qual se simula o ambiente e as atividades de produção. A experimentação com o modelo simulará então diferentes condições de trabalho. Subjacente à criação de tais modelos estão geralmente um certo número de condições ou suposições:

As suposições incluídas nos modelos de simulação de oficinas de produção são:

normalmente:

o processamento de qualquer operação de um trabalho nunca é interrompido,

qualquer operação só pode ser processada se todas as operações precedentes estiverem concluídas,

cada máquina processa apenas uma operação de cada vez,

as máquinas estão continuamente disponíveis para processamento,

frequentemente:

a sequência de operação de cada trabalho não pode ser alterada;

uma operação só pode ser executada por um dado tipo de máquina;

tempos de processamento e datas de entrega são conhecidos antecipadamente,

o tempo de preparação de qualquer máquina não depende da sequência dos lotes processados na máquina.

Convém referir, ainda, que em modelos de oficinas dinâmicas, isto é, em que os trabalhos são lançados no sistema de forma contínua, por vezes se considera que os trabalhos ou lotes chegam à oficina aleatoriamente, segundo distribuições estatísticas teóricas ou empíricas de tal forma que a oficina se pode comparar a uma rede de filas de espera. As distribuições estatísticas refletem muito frequentemente chegadas de Poisson e tempos de processamento exponenciais,.

Modelos de simulação conhecidos tratam desde algumas poucas máquinas até 1000 ou mais máquinas. Não há no entanto evidência de que o número de máquinas, afete o desempenho das regras de prioridade.

Regras de Prioridade ou de Despacho

5.10.3.1. Regras locais "versus" globais

Nas regras locais a prioridade de afetação de um trabalho ou lote a uma máquina é dependente somente da informação ou dados dos trabalhos na fila da máquina em questão.

As regras locais são particularmente usadas nos modelos de simulação.

Exemplos de regras locais são:

- 1) SPT ("Shortest Processing Time") - dá prioridade ao trabalho à espera cuja operação iminente a executar na máquina tenha o menor tempo de processamento.
- 2) LWKR ("Least Work Remaining") - dá prioridade ao trabalho cujo tempo total de processamento das operações por executar seja o menor.

Nas regras de prioridade globais a prioridade é definida usando, além de informação local, a informação relativa a outras máquinas.

Exemplos de regras globais são:

AWINQ ("Antecipated Work in the Next Que") - prioridade é dada à operação cuja operação que se lhe segue (do mesmo lote) será executada na máquina menos carregada do sistema, i.e. na máquina onde o tempo total de processamento dos trabalhos em espera é mínimo. A lógica é não estar a dar prioridade a trabalho numa máquina que não pode ter andamento posterior na máquina seguinte por estar sobrecarregada.

Esta regra pressupõe que apenas uma máquina existe para realizar a operação seguinte do trabalho.

FOFO ("First Off First On) – prioridade, ("first on") é dada à operação, de todas as disponíveis no sistema, que possa ser concluída mais rapidamente na máquina, i.e. seja a "first off". Se o trabalho, para processar, não estiver na fila, a máquina espera parada até que o trabalho chegue à fila.

5.10.3.2. Regras estáticas "versus" dinâmicas

Nas regras estáticas a prioridade de afetação relativa dos trabalhos na oficina não varia ao longo do tempo.

Exemplos paradigmáticos de regras **estáticas** são:

"First Arrival at the Shop First Served, FCFS or FIFO (*First In First Out*) global.

TWORK ("Total Work"), em que a prioridade é dada no trabalho cujo tempo total, de todas as operações, de processamento seja o menor.

Menor Data de Entrega.

Nas regras dinâmicas a prioridade de afetação relativa dos trabalhos na oficina varia ao longo do tempo.

Exemplos típicos de regras **dinâmicas** são:

S/OPN("Slack per Operation"), em que prioridade é dada ao trabalho que tiver o menor cociente do "Slack Time" pelo número de operações que faltam processar. "Slack time" é a folga relativa à data de entrega, i.e. o tempo que sobra para a data de entrega depois de subtrair o tempo de processamento das operações ainda não processadas.

Exemplo de "slack time": Data de entrega = 20; Tempo que falta processar=15; Slack time, S=20 - 15= 5

TSPT ("Truncated SPT") em que a prioridade é dada na base da SPT até que pelo menos um dos trabalhos da fila atinja uma espera determinada, seja W. W pode variar entre zero e um tempo estipulado.

Algumas regras podem considerar-se simultaneamente dinâmicas e estáticas. Assim, por exemplo SPT e LWKR são, por um lado, estáticas relativamente a uma operação particular (por exemplo uma operação de 10 minutos de um dado trabalho terá sempre prioridade maior relativamente a uma outra particular operação, de um outro trabalho qualquer, que demore mais de 10 minutos). Por outro lado podem considerar-se dinâmicas relativamente a um trabalho particular na medida em que operações individuais de um mesmo trabalho adquirem prioridades relativas diferentes (por exemplo um trabalho poderá ser primeiro que outro numa dada máquina, situação que se poderá alterar em outras máquinas nas fases posteriores de processamento).

FCFS pode também considerar-se simultaneamente uma regra estática e dinâmica, dependendo se é tomada em relação a cada processador da oficina ou se é tomada em referência à oficina como um todo. Neste caso a prioridade relativa dos trabalhos não se altera. No primeiro, será dependente da ordem de chegada ao processador.

5.10.3.3. Utilização das regras de prioridade

Em algumas situações a razão da utilização de uma dada regra de prioridade pode ser simplesmente porque ela ajuda a aliviar o congestionamento dos trabalhos na oficina. Noutras

circunstâncias poderia pretender implementar-se uma regra de prioridade que permitisse satisfazer prazos de entrega. Noutras, ainda, regras diferentes deveriam possivelmente ser escolhidas para satisfazer objetivos diferentes.

Um dos grandes benefícios do uso da simulação digital tem sido possibilitar o estudo do comportamento de grande variedade de regras e identificar um número reduzido de regras simples mas eficazes para cada oficina particular e objetivo específico.

Os resultados podem ser aplicados para situações similares. A extrapolação dos resultados para situações diferentes não é apropriada. Por isso é necessário considerável cuidado quando se pretende aplicar as conclusões de um dado estudo de simulação a situações diferentes da que foi modelada.

5.10.3.4. Redução da média do tempo de percurso de fabrico por trabalho, F_{med} .

Esta medida de eficiência pode ser vista como equivalente à média do número de trabalhos em curso de fabrico no sistema.

SPT

Em geral a regra de prioridade SPT, quando comparada com outras regras simples, permite obter o menor tempo médio de percurso por lote, F_{med} .

Em alguns casos o uso combinado de regras combinadas simples pode satisfazer melhor objetivos operacionais traçados. Na prática, no entanto este uso é limitado. A razão principal é que para tal é necessária a especificação de um ou mais parâmetros para poder definir ou identificar o momento a partir do qual se deixa de usar uma regra e se passa a adotar outra. Ora, a determinação do valor certo desses parâmetros torna-se difícil perante cada situação oficinal particular.

A regra SPT tende a deixar para trás os trabalhos de maior duração, por isso há necessidade de corrigir tal situação em casos reais. Desta forma é frequente o uso da regra TSPT - "Truncated SPT"- em que se faz uso do SPT até que o tempo de espera de pelo menos um trabalho na fila atinja um dado valor. Se mais de um trabalho atingir tal tempo de espera então a regra FCFS é adotada para esses trabalhos.

5.10.3.5. Satisfazer a data de entrega

Uma medida de performance que permite avaliar tal objeto é o atraso, A.

A eficiência de uma regra para minimizar o atraso nos trabalhos é criticamente dependente da quantidade ou carga de trabalhos na oficina, da forma como as datas de entrega são estabelecidas e do tempo de folga realmente disponível para realizar os trabalhos.

A figura abaixo apresentada representa o comportamento de algumas regras face à data de entrega, para um caso particular estudado através de simulação digital.

Uma regra muito utilizada para satisfazer o objetivo em questão, é baseado num fator designado de COVERT.

COVERT - Exprime vulgarmente um fator de prioridade que é função do cociente do "custo" do atraso pelo tempo de processamento da operação (c_i/t_i) e eventualmente de outros parâmetros. O "custo" do atraso tem uma relação direta com o peso ou importância que se dá a um trabalho que se atrasa.

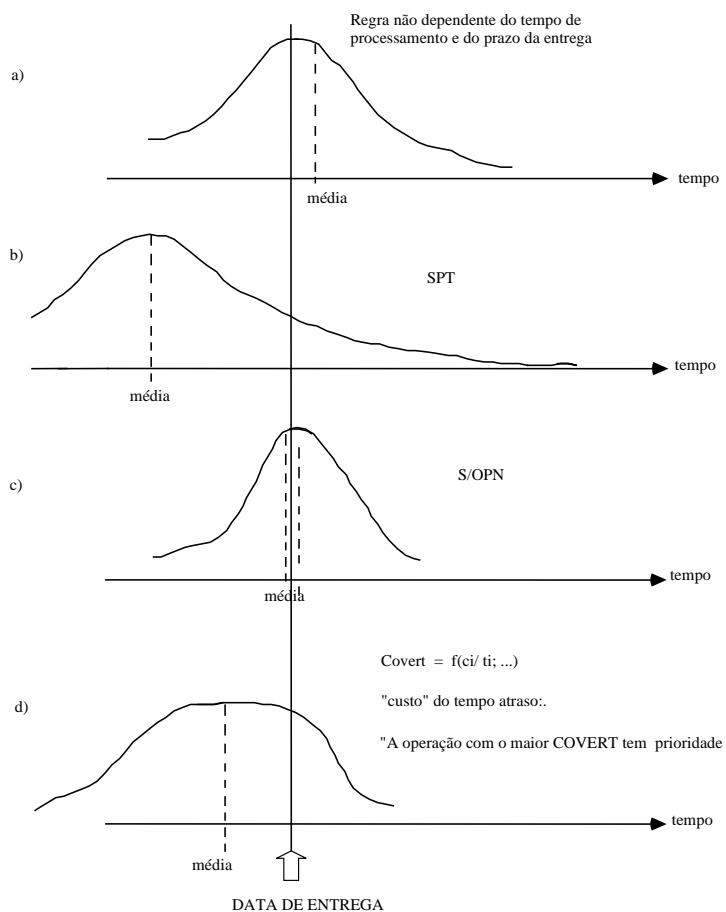


Figura 5-9 - Comportamento de 4 regras de prioridade face ao cumprimento dos prazos de entrega, testadas num modelo de simulação de oficinas de produção para (adaptado de Baker, 1974).

5.10.4. Giffler and Thompson Active Generation Schedule Procedure -

This is a constructive method for generation of active schedules in job-shop environment.

(Em desenvolvimento)

Capítulo 6

Gestão/Programação de Projetos

S. Carmo-Silva

6. GESTÃO/PROGRAMAÇÃO DE PROJETOS E FORMAS DE REPRESENTAÇÃO

Quando se fala em gestão de projetos fala-se fundamentalmente em planeamento e em controlo de projetos.

Sendo o planeamento de projetos uma atividade que procura responder às perguntas o que se tem de produzir, com quê, como e para quando ?, insere-se muito mais no contexto de competências tecnológicas do que de competências de gestão na acepção do uso eficiente de recursos para executar a atividade produtiva planeada. Assim as atividades, durações estimadas para a sua execução e os meios necessários para a construção de um edifício ou de um sistema informático, por exemplo, são domínio de conhecimento de especialistas de construção e de desenvolvimento de software respetivamente. No entanto, o uso dos meios disponibilizados, quer em fase de programação da produção quer em fase de controlo e acompanhamento de projetos, insere-se mais no domínio de conhecimento de especialistas em Engenharia Industrial e especificamente em gestão da atividade produtiva. A Figura 6-1 dá uma visão esquemática da problemática do planeamento e controlo de projetos como divisões complementares da Gestão de projetos.

Longo prazo		Curto prazo
Planeamento	Controlo	
<p>O quê, como, com quê e para quando? (O objecto, os métodos, os meios e os prazos)</p> <p>Output do planeamento: Actividades a executar Processos de produção Programação Recursos necessários - Duração - Momento - Afectação de recursos Nivelamento Recursos? => $T=T_1$ $T_1= ?$ Recursos: $R_1 = Q_1$ $R_2 = Q_2$... $R_n = Q_n$ Recursos disponibilizados</p>	<p>Quanto, quando, onde e quem? (Quantidade, o momento, o local / instalações e as pessoas)</p> <p>Output do Controlo: Re-Programação - Duração - Momento - Afectação de recursos Nivelamento Recursos? => $T=T_1$ $T_1= ?$ Recursos: $R_1 = Q_1$ $R_2 = Q_2$... $R_n = Q_n$ Controlo Tempos/Prazos Custos/economia Qualidade</p>	

Legenda:

T é a duração do projecto; R_i é a quantidade de recursos do tipo i .

Figura 6-1 Relação entre planeamento, controlo e programação de projetos

Neste texto faz-se uma apresentação sumária restrita de alguns aspetos de especial relevância na Programação e Controlo de Projetos como funções importantes da Gestão de Projetos.

A diferenciação e características da programação da execução de projetos relativamente à chamada programação da produção de produtos de curta duração é resumida na Tabela 6-1.

Tabela 6-1 Programação da execução de projetos e programação da produção produtos

PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO				
Características	Designação alternativa	Duração típica das operações ou atividades de processamento	Objetivo	Meios de apoio à Programação
Programação / Gestão de Projetos	Programação de longa duração	Dias a meses	Estabelecer um programa de produção, definindo datas de arranque e término do projeto e de cada uma das suas atividades, resultantes da afetação de recursos às diferentes atividades do projeto e do estabelecimento da sua sequência de execução com vista a atingir um dado objetivo, p.e. minimizar uma medida de desempenho baseada num ou vários critérios.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Algoritmos de afetação de recursos e de sequenciamento de atividades ▪ Diagramas de representação tais como diagramas de Gantt e Redes PERT/CPM ▪ Diagramas de perfil de recursos ▪ Método CPM ▪ Método PERT
Programação da produção de produtos	Programação de curta duração	Décimos de segundo a horas	Estabelecer um programa de produção, ou calendarização da produção, resultante da afetação de recursos às diferentes operações de cada trabalho e do estabelecimento da sua sequência de execução em cada recurso principal, i.e. máquina, com vista a atingir um dado objetivo, p.e. minimizar uma medida de desempenho baseada num ou vários critérios.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Métodos e algoritmos de programação da produção: exatos ou aproximados; analíticos ou baseados em regras; ou heurísticos ▪ Diagramas de representação tais como redes e diagrama de Gantt

6.1. Conceitos Chave e Formas de Representação

6.1.1. Formas de representação de projetos

Duas formas de representação de projetos são mostradas na Figura 6-2 focando aspectos relacionados com a resolução o problema exemplo de gestão de projetos a seguir descrito.

Problema exemplo de gestão de projetos

Sabendo serem as atividades, durações estimadas e relações de precedência de execução (precedência tecnológica) das atividades, as indicadas na Tabela 6-2 de dados para a execução de um tanque soldado de armazenamento de combustível, diga:

- a) - Qual a duração prevista do projeto
- b) - Quais as atividades que podem sofrer atrasos sem contudo provocar aumento da duração do projeto. (Tais atividades dizem-se *não críticas*)
- c) - Quais as atividades que sujeitas a atrasos originam o atraso do projeto. (Tais atividades dizem-se *críticas* e definem, em CPM – “Critical Path Method” - o chamado *caminho crítico* do projeto).
- d) - Determine instantes de começo e término de cada atividade e suas respetivas folgas totais.

Dados necessários

Para se poder programar um projeto é normalmente necessário conhecer além de outros dados os seguintes (ver Tabela 6-2):

- as atividades que o compõem,
- as relações de precedência entre atividades,
- as durações estimadas de cada atividade (para um dado método de execução estabelecido e uma combinação dada de diferentes tipos de recursos necessários),
- os recursos necessários para executar cada atividade e ainda
- a quantidade de recursos disponíveis de cada tipo para executar o projeto

Tabela 6-2: Dados do projeto

Representação da atividade	Designação/descrição da atividade	Ats. precedentes	Duração mais provável da ativ. k (M_k)	Duração optimista da ativ.k (A_k)	Duração pessimista da ativ. K (B_k)	Recursos /meios tipo R1	tipo R2
A	Desenho do tanque	-	5	5	5	2	-
B	Preparação de listas de peças	A	6	4	7	1	-
C	...	-	4	3	5	3	-
D		-	10	8	11	2	-
E		C	2	2	2	4	1
F		C	d^1	-	-	5	1
G		E, B	4	4	4	3	-

¹ d = duração da atividade F é Normal com média 5 e desvio padrão 1

Instrumentos de representação e resolução do problema

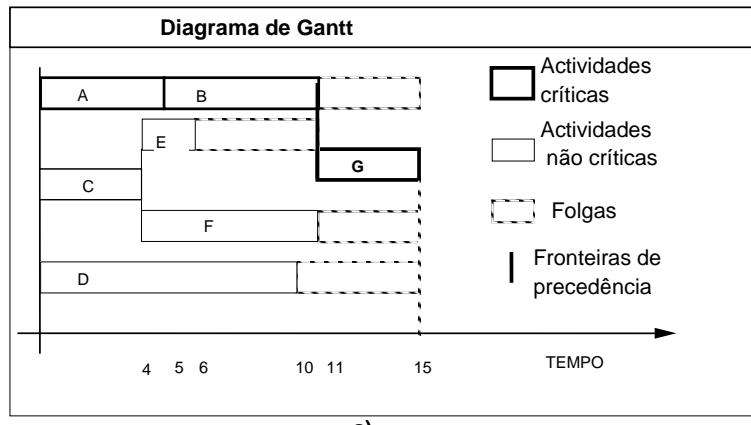
A resolução do problema, tratando-se de um trabalho de longa duração, i.e. um projeto, requer normalmente a ajuda de uma técnica de programação de projetos, normalmente PERT (Programme/Project Evaluation and Review Technique) ou CPM (Critical Path Method) – Método do Caminho Crítico - e, havendo recursos, i.e. meios de produção, limitados, alguma forma da sua eficiente afetação, no tempo, a cada um das atividades, dependente de quantos forem necessários para realizar cada atividade.

Para a representação do projeto as formas de representação usadas podem ser um diagrama de Gantt simplificado, representando cada barra a duração de cada atividade, uma rede PERT/CPM com atividades nos arcos (AOA) – *Activity on Arc* - ou uma rede PERT/CPM com atividades nos nós (AON) – *Activity on Node*, Figura 6-2.

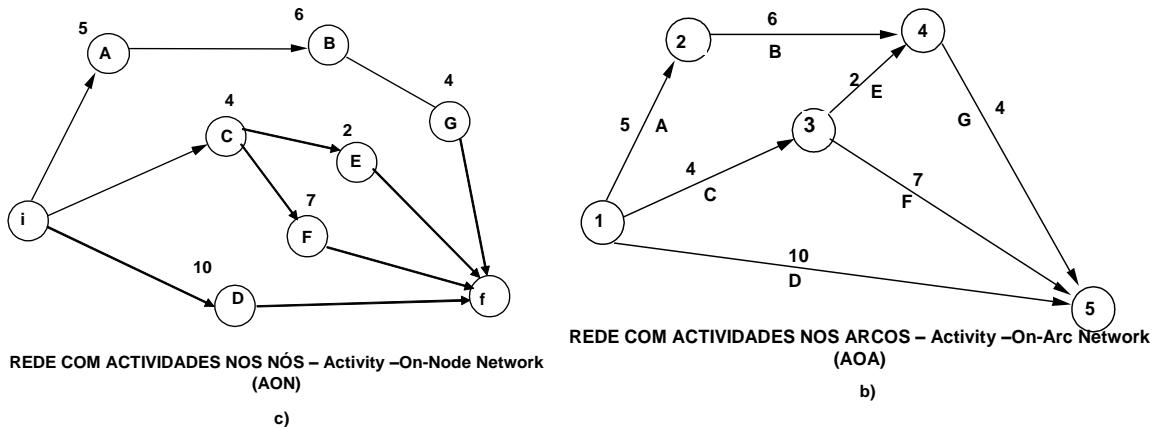
Neste exemplo, devido ao número limitado de atividades o programa de produção pode estabelecer-se manualmente recorrendo ao *diagrama de Gantt*.

Em geral o Diagrama de Gantt,(DG) é uma representação cartesiana da duração de tarefas em que o eixo das abcissas representa o tempo e o das ordenadas os recursos ou tarefas. As barras representam sempre as tarefas ou atividades a executar e o seu comprimento a duração delas. O DG é particularmente útil na fase de execução do trabalho para funções de controlo e principalmente acompanhamento do progresso da produção. Neste sentido a sua utilização estende-se também com elevada frequência a projetos com grande número de atividades.

Uma grande utilidade do Diagrama de Gantt é permitir uma visualização intuitiva do progresso do trabalho quando no diagrama se inclui informação sobre quais as atividades realizadas e as que faltam realizar à data de análise e outra informação de progresso, permitindo saber se há atrasos, adiantamentos ou se o programa se está a cumprir como o previsto



a)



c)

Figura 6-2 Formas de representação de projetos – caso do problema enunciado: a) Diagrama de Gantt, b) Rede de Atividades nos Arcos (AOA) c) rede de atividades nos Nós (AON).

Talvez um dos maiores inconvenientes do uso do diagrama de Gantt seja a sua dificuldade em representar as relações de precedência entre a atividades de um projeto, principalmente quando seu número é grande (mais de 20 atividades, por exemplo). De facto, num diagrama de Gantt a precedência relativa entre atividades sendo facilmente visível em projetos com um número de atividades reduzido não o é quando o número de atividades de um projeto é grande.

6.1.2. Regras Básicas de Construção de Redes PERT/CPM

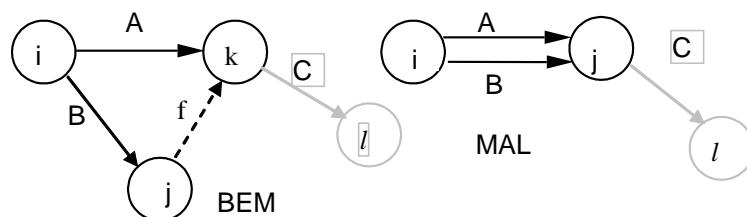
Atividades nos Arcos - AOA

1 - Uma rede PERT/CPM AOA só pode ter um nó inicial e um nó final. Estes representam respetivamente o começo do projeto e o seu término ver (Figura 6-2 b).

2 - Os nós são numerados sendo atribuído ao nó inicial o valor 0 (zero) ou 1 e ao final o número máximo que resulta da numeração dos nós de forma a que o nó de acontecimento inicial seja menor que o de acontecimento final do arco de uma e qualquer atividade, como se mostra a seguir.



3 - Os nós são ligados por arcos direcionados que representam as atividades de tal forma que os dois mesmos nós são ligados por um e um só arco representando, portanto, uma e uma só atividade.



4 - Quando por razões de precedência as três regras anteriores não permitem construir a rede AOA usam-se *atividades fictícias* *f*, como a representada na Figura 6-3. Estas são atividades não reais de duração nula a que se recorre para representar, de uma forma correta, na rede PERT/CPM AOA todas as relações de precedência entre atividades. Se, por exemplo, no exercício anterior a atividade F e E tivesse também A como precedente ter-se-ia de utilizar uma atividade fictícia conforme se indica na rede AOA da Figura 6-3.

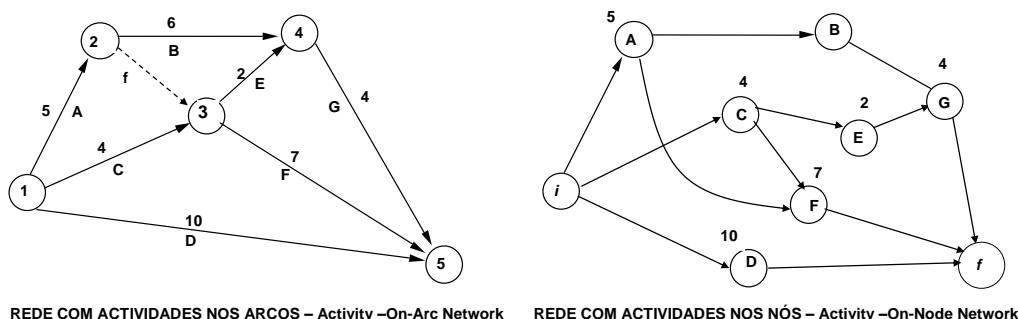


Figura 6-3 – Nova rede face à precedência A das atividades E e F

Atividades nos nós – AON

A construção de redes PERT/CPM AON torna-se mais fácil por as atividades serem representadas por nós. Geralmente a rede aparece com vários nós iniciais e finais que se ligam respetivamente a um nó inicial fictício *i*, e a um nó final também fictício *f*, Figura 6-3

6.1.3. Método CPM - Critical Path Method

6.1.3.1. Redes e Instantes dos Acontecimentos do Projeto

No essencial o CPM é um processo de estabelecimento dos caminhos críticos de um projeto, determinados pelas atividades que não têm folga, i.e. folga total, de tal forma que se uma atividade se atrasar então a duração do projeto alonga-se de um valor igual a esse atraso para além da sua duração mínima possível. Esta estabelece-se sem contar com restrições que a quantidade limitada de meios de produção disponíveis poderia impor. Assim, teoricamente, considera-se haver o número de recursos que for necessário parar minimizar a duração do projeto sujeita à duração planeada e inalterada das atividades.

Os autores do método CPM, Kelley, & Walker (1959), e no contexto deste, analisam também a duração do projeto como associada à variação permitida da duração das atividades em função do seu custo.

O CPM, desenvolve-se com base num processo para identificação das atividades críticas baseado nos conceitos de Early e Late Times (ET, LT) dos nós, numa rede AOA, ou alternativamente nos chamados Early e Late Start e Finish times (ES, LS, EF, LF) de cada atividade, quer numa rede AOA quer numa AON, como se ilustra na Figura 6-4, para o problema exemplo em estudo . A rede AOA é a rede inicialmente proposta e geralmente utilizada tanto pelo CPM como pelo PERT.

Os ET e LT de um nó indicam, numa rede AOA, respetivamente o tempo mais cedo e o tempo mais tardio em que o acontecimento complexo associado ao nó se pode dar. Por exemplo, o acontecimento associado ao nó 4 da rede AOA é o término das atividades B e E e o começo da G. A figura representa a rede PERT/CPM do projeto e respetivos instantes de programação do projeto e de cada uma das suas atividades.

Para poder programar um projeto usando uma rede AOA , é necessário o conhecimento dos ET (Early Time) e LT (Late Time) de cada nó. Isto, associado ao facto da rede AOA ter normalmente muito menos nós que atividades torna a rede AOA mais simples que a AON. De facto, para o mesmo projeto a rede AOA tende a necessitar de muitos menos nós e ainda menos informação para tratar e manipular que a AON. Por exemplo, com 10 atividades confluindo num nó seriam necessários 20 registos, quando os dois, ET e LT, seriam suficientes se usássemos redes AOA. As redes AON ao representarem cada atividade por um nó requerem a especificação dos tempos EST, EFT, LST e LFT para cada atividade, portanto, um número normalmente muito maior, de informação, por esta razão e por terem mais nós que a AOA, para a gestão de um projeto. Estas são razões importantes para preferir a rede AOA em vez da AON.

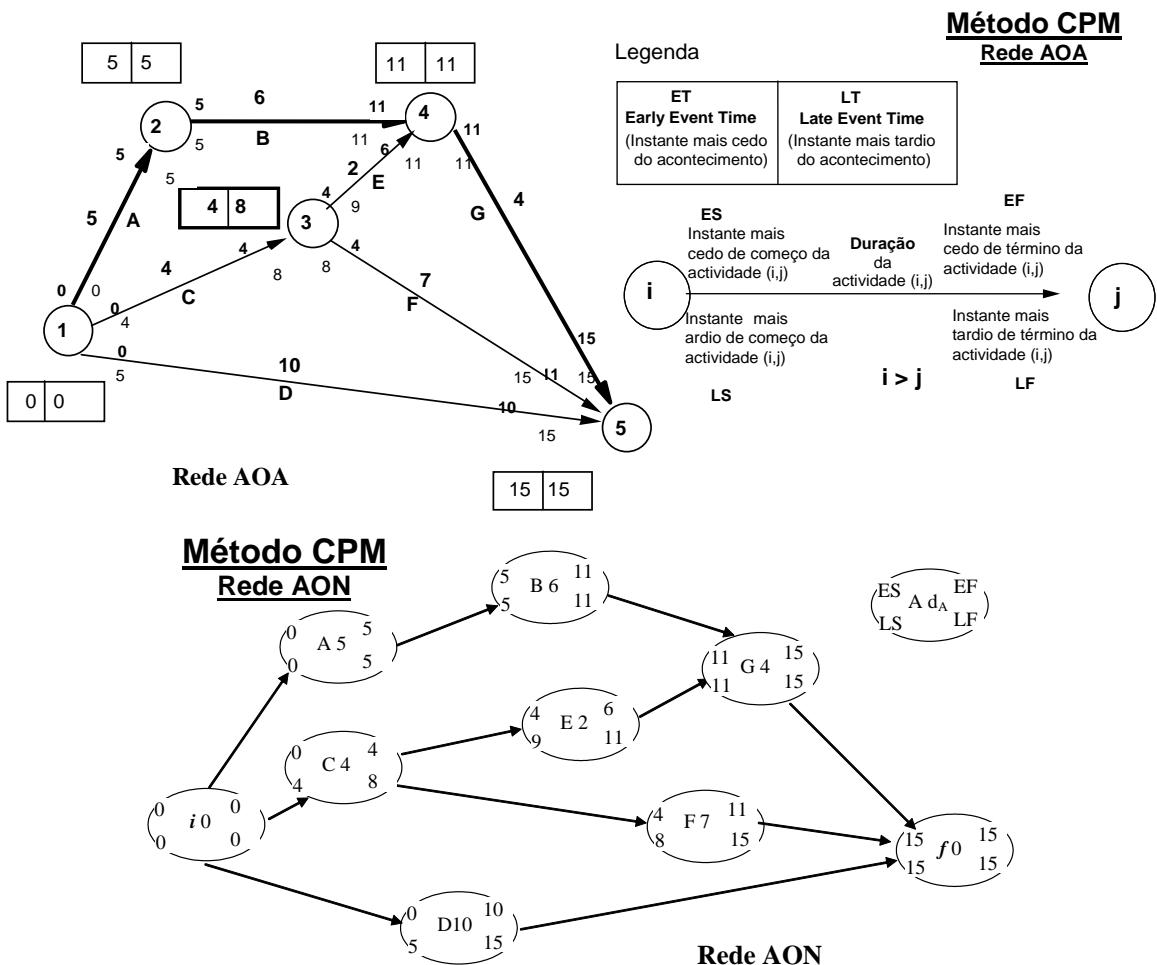


Figura 6-4 Redes AOA e AON PERT/CPM do Projeto e respetivos instantes de programação do projeto e de cada uma das suas atividades

6.1.3.2. Definição, formulação e interpretação das folgas das atividades

Embora vulgarmente possamos definir várias folgas, como abaixo se ilustra na

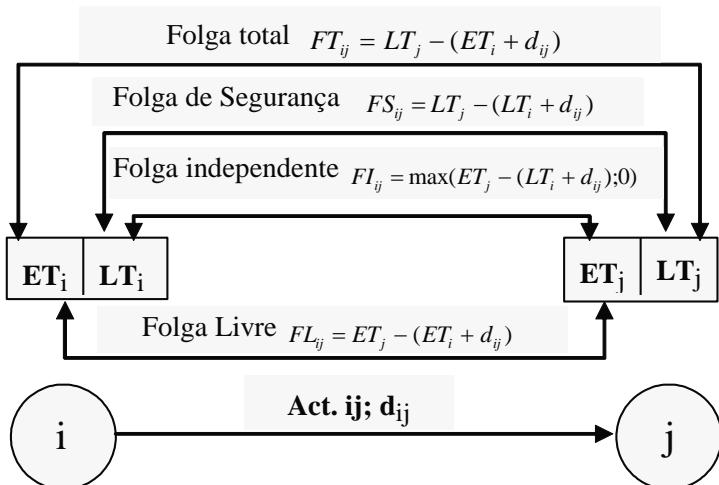


Figura 6-5 figura, é de particular importância a folga total de uma atividade. Esta folga, como se pode constatar pertence a um caminho onde a atividade se insere, pelo que atividades desse caminho que se atrasem ou se alonguem originam que outras atividades do mesmo caminho vejam a sua folga reduzida desse atraso ou alongamento, como seria fácil constatar por observação das folgas correspondentes à Figura 6-4 .

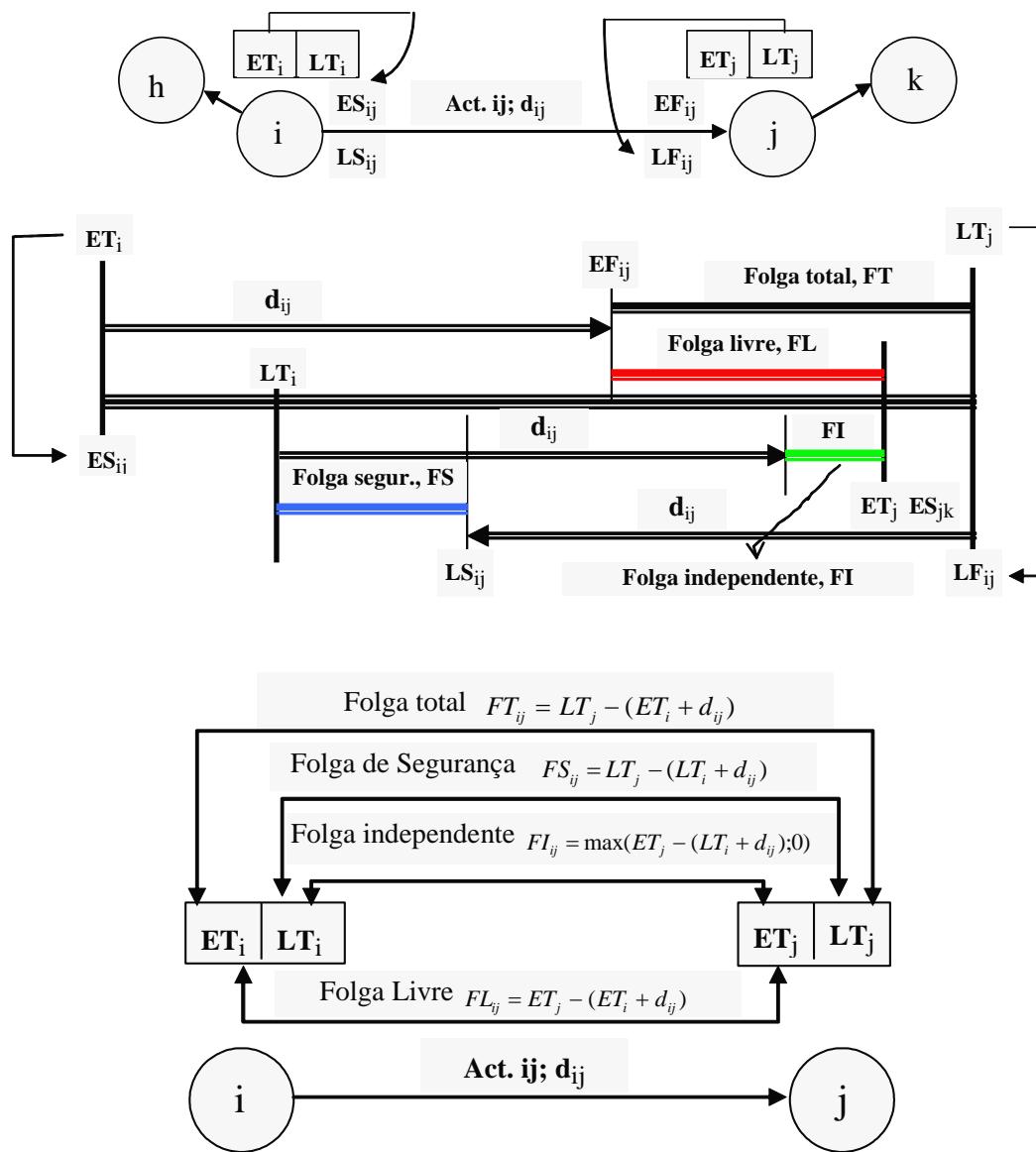


Figura 6-5 Ilustração e significado das folgas total, livre, segurança e independente.

Podemos identificar quatro tipos diferentes de folgas, nomeadamente:

Folga Total, FT

$$FT_{ij} = LT_j - (ET_i + d_{ij}) \quad \text{ou} \quad FT_{ij} = LF_{ij} - (ES_{ij} + d_{ij})$$

Folga de Segurança, FS

$$FS_{ij} = LT_j - (LT_i + d_{ij}) \quad ou \quad FS_{ij} = LF_{ij} - (LT_i + d_{ij})$$

Folga Livre, FL

$$FL_{ij} = ET_j - (ET_i + d_{ij}) \quad ou \quad FL_{ij} = ET_j - (ES_{ij} + d_{ij})$$

Folga Independente, FI

$$FI_{ij} = \max(ET_j - (LT_i + d_{ij}), 0) \quad ou \quad FI_{ij} = \max(ET_j - (LT_i + d_{ij}), 0)$$

Uma interpretação do significado das folgas é o seguinte:

FOLGA TOTAL, FT, de uma atividade é o máximo atraso que a atividade pode ter relativamente ao seu instante de começo mais cedo, sem comprometer a conclusão do projeto.

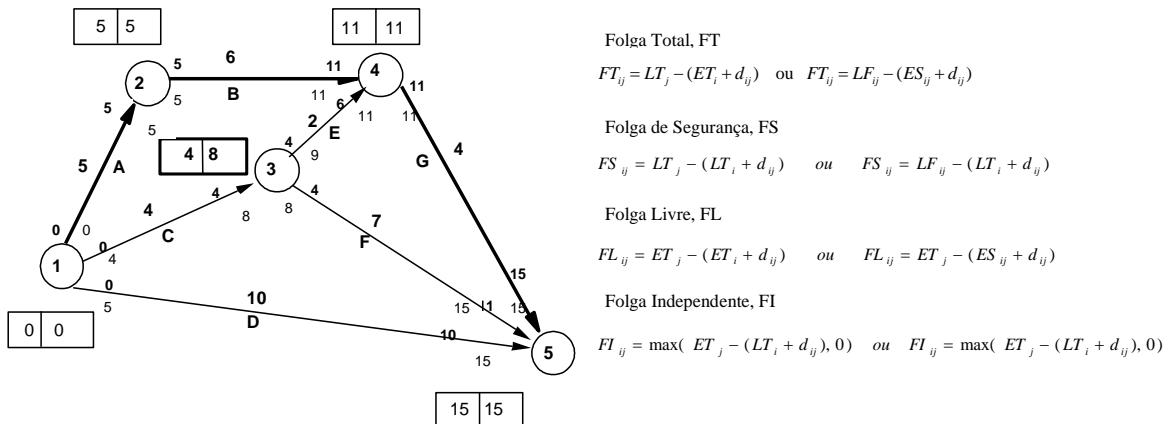
É importante notar que duas ou mais atividades pertencentes ao mesmo caminho partilham a mesma folga total. Isto significa que uma vez consumida a folga total, ou parte dela, por uma das atividades, não estará mais disponível para outras atividades do mesmo caminho.

FOLGA DE SEGURANÇA, FS de uma atividade tem um significado similar ao de FT, mas pressupondo-se que as atividades antecedentes diretas (que confluem no nó inicial da atividade) já se atrasaram tanto quanto podiam (eventualmente por atrasos provocados por simpatia, i.e. por transmissão sucessiva).

FOLGA LIVRE, FL de uma atividade é o máximo atraso admissível para a atividade, relativamente ao seu começo mais cedo, sem impedir que as atividades subsequentes no mesmo caminho possam ser iniciadas no seu instante de começo mais cedo.

FOLGA INDEPENDENTE, FI, de uma atividade é a margem de tempo disponível além da duração da atividade, quando as atividades precedentes se concluem no instante mais tardio possível e as atividades seguintes começam no seu instante mais cedo possível.

Os valores de cada uma para o problema exemplo são mostrados na figura



Activid.	Nó i	Nó j	Duraç d(i,j)	ET(i)	LT(i)	ET(j)	LT(j)	FT(i,j)	FS(i,j)	FL(i,j)	FI(i,j)	Acts Críticas
A	1	2	5	0	0	5	5	0	0	0	0	A
B	2	4	6	5	5	11	11	0	0	0	0	B
C	1	3	4	0	0	4	8	4	4	0	0	--
D	1	5	10	0	0	15	15	5	5	5	5	--
E	3	4	2	4	8	11	11	5	1	5	1	--
F	3	5	7	4	8	15	15	4	0	4	0	--
G	4	5	4	11	11	15	15	0	0	0	0	G

Figura 6-6 – Folgas das atividades do problema exemplo de programação de projetos

As *atividades críticas* não têm folga total. Estas atividades definem o *caminho crítico*, i.e. o conjunto de atividades que formam um caminho, deste o início até ao fim do projeto, cuja soma das suas atividades é o mais longo, determinando a duração mínima possível para o projeto com base na duração de cada atividade particular. Por vezes todas as atividades críticas formam mais que um caminho crítico, cada um, naturalmente com a mesma duração, i.e. a duração do projeto.

6.1.3.3. Como reduzir a duração de um projeto? - custos versus duração

O método CPM estende a sua análise à problemática de custos na óptica do que abaixo se expõe.

Perante atrasos ou renegociação para encurtamento de prazos qualquer gestor de um projeto procurará recuperar atrasos ou reprogramar atividades de forma a conseguir cumprir metas importantes, i.e. “milestones”, durante o projeto, ou a sua conclusão nos prazos estabelecidos.

Há, certamente, algumas abordagens à resolução do problema que podem passar por duas estratégias distintas. A primeira, procura uma reafetação mais eficiente dos recursos disponíveis através de métodos eficientes, normalmente expeditos, de afetação. A segunda, socorre-se do aumento dos

recursos, tipicamente meios de equipamento e meios humanos, para acelerar a execução. Recorrer à aquisição de serviços é também uma alternativa lógica e importante a explorar.

Com a estratégia de aumento dos recursos podemos equacionar duas variantes.

A primeira procura disponibilizar mais recursos, sem alteração do método de execução e portanto da duração planeada de qualquer atividade do projeto. Explora assim a realização de atividades em paralelo, que doutra forma poderiam teriam de ser realizadas uma a uma se não houvesse recursos disponíveis suficientes para total ou parcial execução simultânea de atividades.

A segunda variante desta estratégia de aumento de recursos assume que recursos adicionais são necessários para realizar algumas das atividades com vista à redução da sua duração por forma a reduzir a duração do projeto. É importante notar que só a redução da duração das atividades críticas pode contribuir para a redução da duração do projeto, sendo por isso estas a que ficam sujeitas a redução. De facto perante um projeto com apenas um caminho crítico bastará reduzir a duração de uma das suas atividades para reduzir a duração do projeto de igual montante. Naturalmente que isto assume que nenhum outro caminho se transformou, entretanto, em crítico devido a tal redução. De facto, se houver dois caminhos críticos, por exemplo, é preciso assegurar que a redução da duração dos dois caminhos em paralelo e do mesmo intervalo de tempo. Doutra forma a duração do projeto não se altera e o uso de recursos adicionais traduz-se simplesmente em encargos adicionais na realização do projeto, sem qualquer benefício na redução da sua duração.

Como se comprehende poderíamos identificar uma terceira variante resultante da combinação das duas referidas.

Consideremos para efeitos de exemplificação o diagrama de Gantt da Figura 6-7, em que se está a assumir ser F também precedente de G, temos dois caminhos críticos, C1={ABG} e C2={CFG}

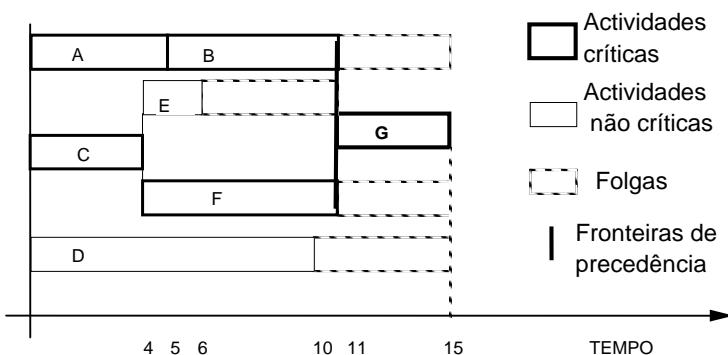


Figura 6-7 Diagrama de Gant correspondente ao projeto ilustrado na rede da figura 2.3

Neste exemplo, a redução da duração do projeto só é possível por redução simultânea da duração dos caminhos C1 e C2. Isto pode conseguir-se de várias formas, por exemplo reduzindo apenas G, ou reduzindo B e C ou ainda através de outras combinações.

Numa situação complexa várias alternativas podem existir de encurtamento da duração do projeto. Encontrar a melhor pode ser um processo laborioso requerendo algoritmos de optimização ou heurísticas eficientes.

A solução a adoptar depende das vantagens técnicas e económicas resultantes de alternativas possíveis de redução do prazo.

No exemplo, seria claro que se o custo de redução fosse igual para qualquer atividade seria vantajoso reduzir apenas a atividade G. No entanto se a redução desta implicasse um maior custo que o resultante de uma dada combinação de redução da duração de outras atividades, tendo o mesmo impacto na redução da duração do projeto, então a redução de G não seria vantajosa. Portanto a decisão depende da variação, ou função de custos de cada atividade face à sua duração.

É evidentemente lógico que o processo de redução da duração das atividades tem limites tecnológicos que condicionam as opções de gestão na redução da duração de um projeto. Adicionalmente, dentro dos limites tecnológicos poder-se-á chegar a uma redução da duração a partir da qual não há vantagem económica para a empresa, dependendo naturalmente da negociação estabelecida com o cliente.

Uma vez que a redução da duração das atividades tem um custo, a vantagem em a reduzir só existe se houver outros custos maiores que não se incorram. E, de facto, geralmente há custos que não se incorrem como resultado da redução da duração do projeto. Tipicamente estamos a falar, pelo menos de custos económicos fixos associados à “máquina administrativa” a instalar para gerir o projeto e ainda a outros custos fixos que se incorrem, por exemplo, devidos à infra-estrutura para executar o projeto, por cada dia em que o projeto está em curso de execução. Portanto é por redução dos custos fixos do projeto obtidos principalmente à custa do ajustamento da duração das atividades, tendo em conta não só a flexibilidade para as variar mas também a inter-relação entre atividades do projeto, que se pode justificar o aumento de custos de execução das atividades ocasionado por tal ajustamento.

Figura 6-8 . Portanto perde-se (ganha-se) no custo da execução das atividades por se encurtarem (alongarem) ganha-se (perde-se) nos custos dependentes da duração do projeto por esta se reduzir (aumentar). Neste ganhar ou perder está um ponto de duração T^* óptima do projeto a custo mínimo C^* , Figura 6-8.

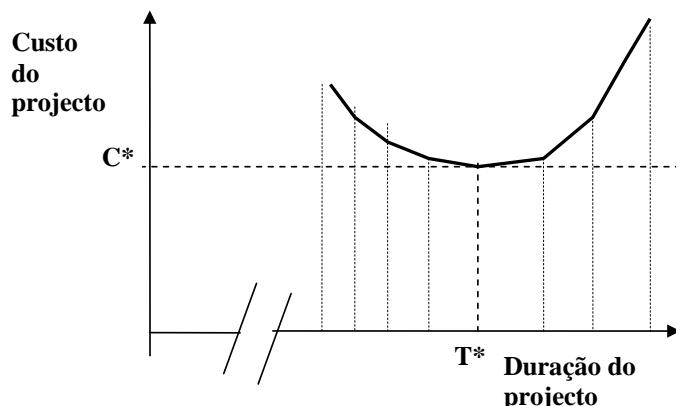


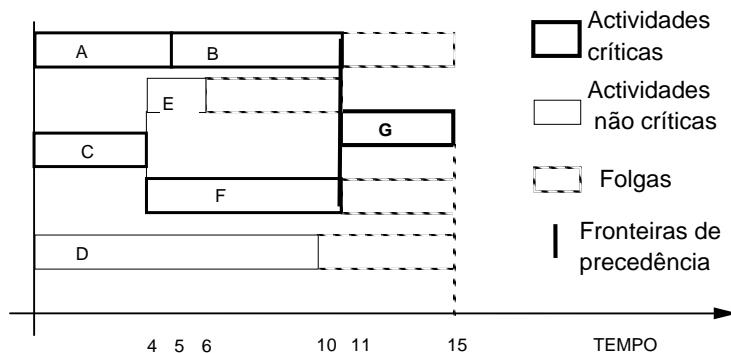
Figura 6-8 Duração versus custo do projeto como função da variação das durações das atividades.

Exercício

Com base nos dados da tabela, no pressuposto de que F precede G, determine a duração do projeto para a qual o seu custo de execução, dependente do custo de execução das atividades, é mínimo.

Representação da actividade	Designação/descrição da actividade	Acts. precedentes	Duração mais provável da activ. k (M_k)	Duração mínima da activ.k (A_k)	Duração Máxima da activ. K (B_k)	Custo para Dur. Mínima da activ. K (A_k)	Custo para Duração Máxima da activ. K (B_k)	Recursos /meios tipo R1 tipo R2
A	Desenho do tanque	-	5	5	5	-	-	2 -
B	Preparação de listas de peças	A	6	4	7	13	7	1 -
C	...	-	4	3	5	5	5	3 -
D		-	10	8	11	20	11	2 -
E		C	2	2	2	-	-	4 1
F		C	7 ¹	-	-	14	7	5 1
G		E, B, F	4	4	4	-	-	3 -

Desenvolva a resolução a partir do diagrama de Gantt para a duração mais provável abaixo apresentado.



Resolução

...

6.2. Controlo e Acompanhamento de Projetos

O diagrama de Gantt é um instrumento muito simples mas expressivo que permite uma visualização rica de um programa de execução de um projeto. Tal é particularmente verdade quando as barras do diagrama são enriquecidas com informação complementar de apoio à gestão, nomeadamente, por exemplo, com indicação da duração e dos recursos que usa. No entanto, talvez a sua maior utilidade esteja no processo de monitorização ou acompanhamento do projeto, durante a sua execução, por possibilitar uma comparação fácil do que está programado com o que está concluído até ao momento, Figura 6-9.

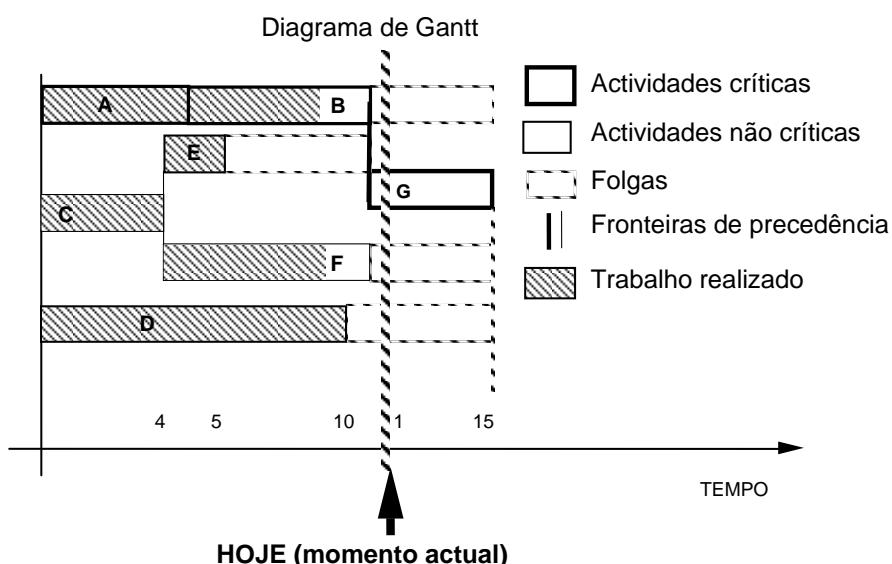


Figura 6-9 Ilustração de informação de acompanhamento de progresso da execução de um projeto usando um diagrama de Gantt

No diagrama da figura claramente se percebe existir um atraso, que pode ser medido, na realização das atividades B, F e G.

6.2.1. A necessidade de usar uma aplicação informática para programar e controlar um projeto

Normalmente é frequente ter de se refazer um programa depois da verificação de que, por razões várias o primeiro programa não pode ser cumprido. Tal pode ser constatado ainda em fase de planeamento ou já numa fase de execução e portanto num contexto de Controlo da Produção. Estas são duas razões importantes que justificam a aplicação de programação e controlo de produção de

projetos assistidos por computador. Adicionalmente o processo de acompanhamento, requerendo um manancial de informação a tratar e usar para efeitos de análise do progresso e medidas de controlo obriga ao uso de sistemas informatizados de apoio à gestão de projetos, tais como o MSPROJET , entre muitos disponíveis no mercado.

6.2.2. Estados de progresso dos trabalhos

A Figura 6-10 ilustra estados possíveis de progresso na realização de um projeto controlando as variáveis custo e prazo de execução. A situação A corresponde a total controlo do projeto em que o trabalhos e custos programados coincidem com o trabalhos e custos executados. A situação talvez mais indesejável do projeto seja a B correspondente de facto a um adianto do trabalho relativamente ao planeado mas a custos superiores aos planeados e maiores que o custo total estimado do projeto. Portanto uma situação de custos irrecuperável.

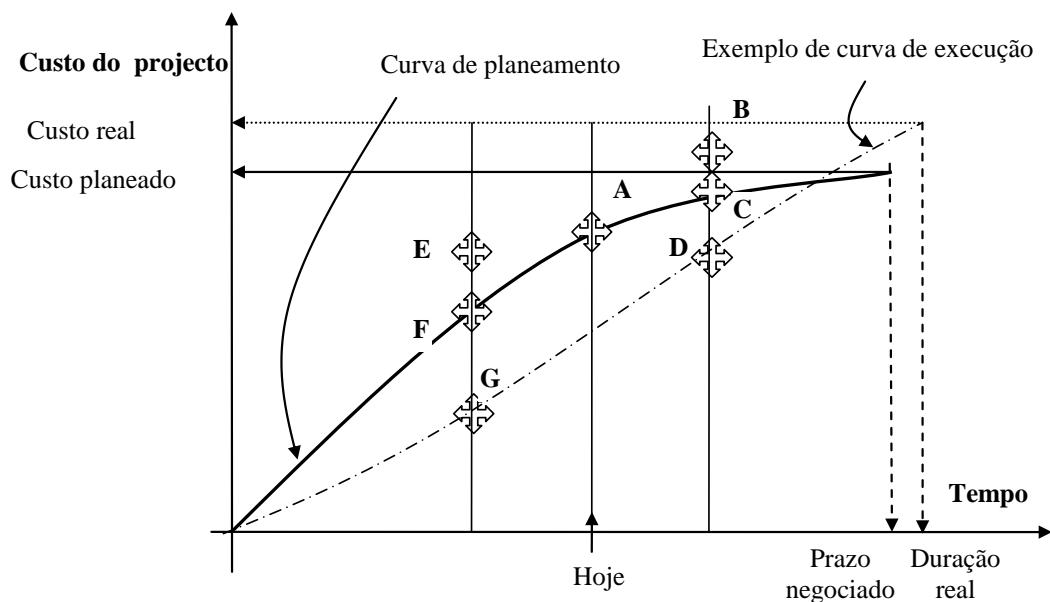


Figura 6-10 –Estados de progresso do projeto: relação custo quantidade executada e tempo decorrido

6.3. Tomando em Conta os Recursos

Até aqui foi feita uma abordagem simplificada à gestão de projetos, excluindo da análise a influência da restrição de recursos ou meios de produção. Numa situação real é necessário ter em conta os recursos existentes e a sua disponibilidade.

Nesta secção não consideramos os recursos associados a matérias primas mas somente os meios de produção. No problema exemplo de projeto estes meios são referidos por recursos do tipo R1 e R2, Tabela 6-2

Assim, nenhuma atividade de um projeto pode ser levada a cabo se no momento em que se pode iniciá-la os recursos necessários não estiverem disponíveis. Isto pode acontecer por diversas razões, incluindo avaria e naturalmente por estarem a ser usados na execução de outras atividades.

A programação planeada do projeto em estudo, realizada anteriormente e apresentada na Figura 6-11, mostra que o número de recursos necessários para o executar conforme está programado seria para R1 de treze e para R2 de dois.

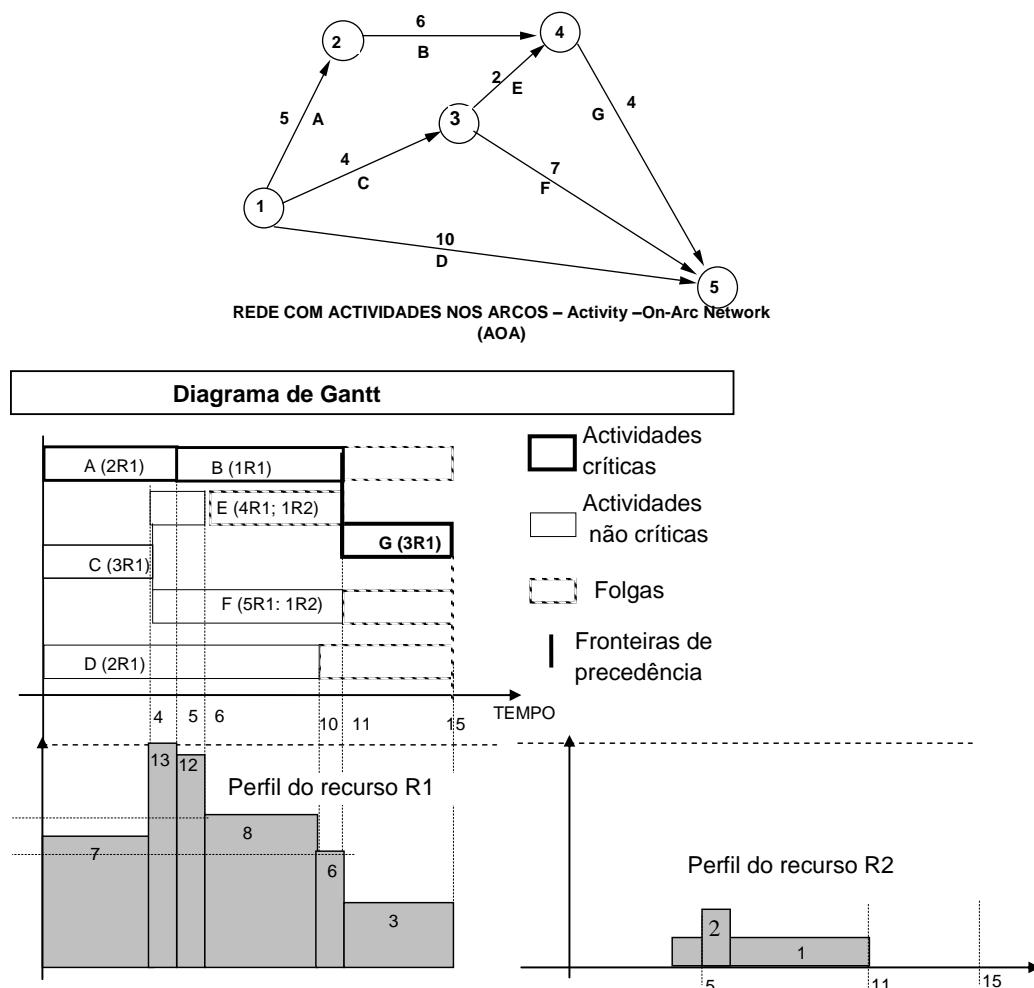


Figura 6-11 – Perfil de recursos para um dado programa de execução do projeto

Perante o elevado valor de 13 recursos, devido aos picos nos períodos 4 e 5 um gestor devia questionar se seria apropriado disponibilizar ou afetar 13 recursos R1 ou menos ao projeto.

A restrição de $R1 = 9$ recursos, originaria a solução seguinte, Figura 6-12.

Actividades Variáveis	A	B	C	D	E	F	G
Folga total	0	0	4	5	5	4	0
Duração	5	6	4	10	2	7	4
Recursos R1	2	1	3	2	4	5	3
Recursos R2					1	1	
Começo potencial	0	5	0	0	4	4	11
Instante de início	0	5	0	0	4	6	11
Instante de fim	5	11	4	10	6	13	15

Iteração Variáveis	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a	8. ^a
Relógio	0	4	5	6	10	11	13	15
Recs. Disponíveis	9/7/4,/ 2	5/1	3,/2	6/1	3	4/1	6	9
Acts. para começar	A,C,D	E, F	F,B	F	-	G	-	-
Acts. q. Começam	A, C,D	E	B	F	-	G	-	-
Acts que terminam	-	C	A	E	D	B	F	G

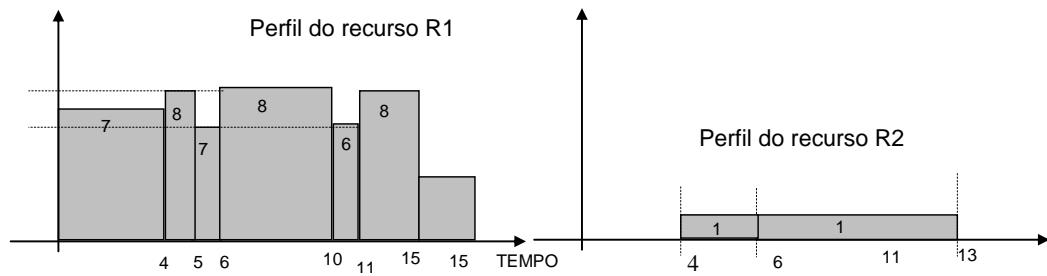


Figura 6-12 Perfil de recursos para um dado programa de execução do projeto – 1.^a alternativa para $R1 \leq 9$ recursos

Como se vê é possível concluir o projeto no mesmo tempo de 15 unidades afetando-lhe apenas 8 recursos do tipo R1, já que um dos nove não é utilizado, em vez de 13.

Note-se que esta solução resultou de uma escolha ad hoc da prioridade de afetação de recursos às atividades que podem ser executadas.

Suponhamos que na 2.^a iteração se afeta os recursos disponíveis primeiro à atividade F em vez de E. Neste caso o resultado da afetação seria tal que os 9 recursos seriam utilizados e, apesar disso, a duração do projeto seria 17 unidades de tempo em vez de 15 como na afetação anterior, como se vê na tabela e perfil de recursos correspondente, a seguir, Figura 6-13.

Actividades Variáveis	A	B	C	D	E	F	G					
Folga total												
Duração	5	6	4	10	2	7	4					
Recursos R1	2	1	3	2	4	5	3					
Recursos R2					1	1						
Começo potencial	0	5	0	0	4	4	11					
Instante de início	0	5	0	0	11	4	13					
Instante de fim	5	11	4	10	13	11	17					
Iteração Variáveis	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a				
Relógio	0	4	5	6		10	11	13	17			
Recs. disponíveis	9/7/4,/ 2	5/0	2/1	6/1		3	9/5	9/6	9			
Acts. para começar	A,C,D	E, F	E,B	F		-	E	G	-			
Acts. q. Começam	A, C,D	F	B	F		-	E	G	-			
Acts que terminam	-	C	A	E		D	B,F	E	G			

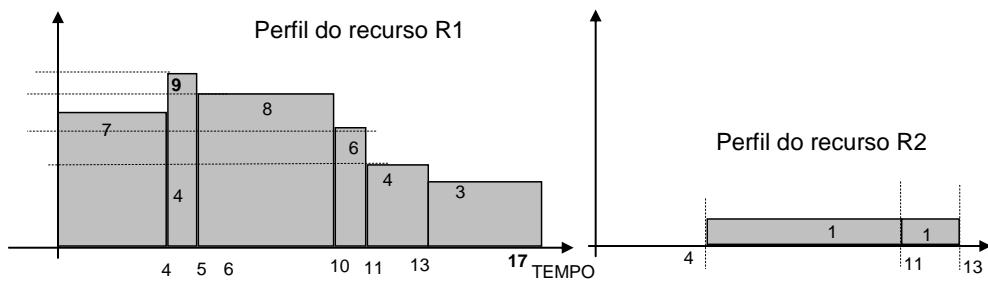


Figura 6-13 Perfil de recursos para um dado programa de execução do projeto – 2.ª alternativa para $R1 \leq 9$ recursos

Como se vê, é crítica a ordem de atribuição de recursos às atividades na eficácia de gestão do projeto afetando-o em várias dimensões, por exemplo e na rapidez da sua conclusão e na eficiência de utilização de recursos. Por isso, devem usar-se métodos ou algoritmos eficazes na afetação de recursos.

Exercício

Considere o projeto de tanque assumindo que a atividade A se pode agora realizar em 3 unidades de tempo e se pode utilizar um recurso adicional do tipo R1. Resolva o exercício determinando o menor tempo possível de conclusão do projeto se tiver apenas 8 recursos R1 e um recurso R2.

6.3.1. Métodos de afetação de recursos

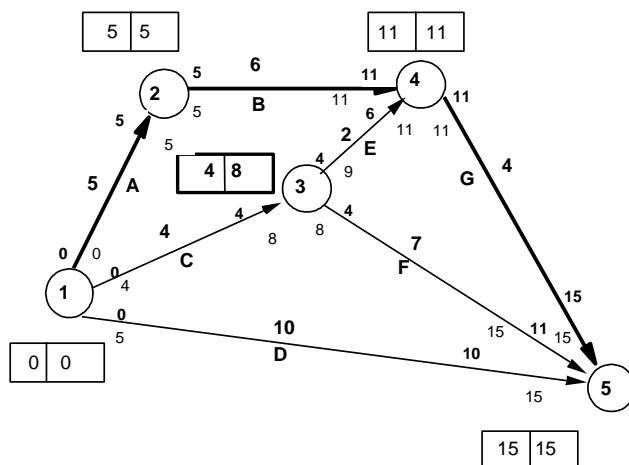
Podemos pensar em formulações matemáticas que equacionam a melhor forma de afetação de um dado número de recursos disponíveis baseada num dado critério de optimização. Um tal critério podia ser, por exemplo, minimizar o desvio entre máximo e o mínimo uso de recursos ao longo do tempo, sujeito a um limite do número recursos de cada tipo. Outro podia ser, minimizar o tempo de conclusão do projeto. Este é, talvez, um dos mais comuns critérios de optimização neste contexto.

6.3.1.1. Método de Lang

O método de Lang baseia a prioridade de afetação de recursos no menor começo mais tardio (LS) da atividade. Assim, das atividades que podem começar são afetados recursos primeiro àquela que tem o *começo mais tardio menor*. Como critérios de desempate, ou auxiliares, usa-se normalmente e pela ordem indicada, afetar primeiro os recursos às atividades que têm:

- Folga menor
- Duração maior
- Mais recursos
- Aleatoriamente

No exemplo que vimos a considerar os LS de cada atividade e a solução da aplicação do método de Lang são indicados na Figura 6-14:



Variáveis	A	B	C	D	E	F	G	Iteração	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a
LS	0	5	4	5	9	8	11	Relógio	0	4	5	10	11	13	17
Folga total	0	0	4	5	5	4	0	Recs. tipo R1 disponíveis	9/7/4,/2	5/0	2/1	3	9/5	9/6	9
Duração	5	6	4	10	2	7	4	Acts. para começar	A,C,D	E, F	E,B	-	E	G	-
Recursos R1	2	1	3	2	4	5	3	Acts. q. Começam	A, C,D	F	B	-	E	G	-
Recursos R2					1	1		Acts que terminam	-	C	A	D	B,F	E	G
Começo potencial	0	5	0	0	4	4	11								
Instante de início	0	5	0	0	11	4	13								
Instante de fim	5	11	4	10	13	11	17								

Figura 6-14 Perfil de recursos para um dado programa de execução do projeto – alternativa de Lang para $R1 \leq 9$ recursos

Neste caso, a solução, coincide com a pior solução anteriormente obtida ad hoc, i.e. a 2.ª alternativa, Figura 6-13.

A conclusão a tirar é que sendo o método de Lang heurístico, as soluções não são boas em todos os casos, tal como neste. Apesar disso, normalmente o método de Lang dá bons resultados.

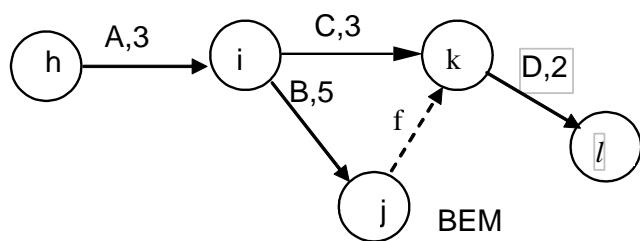
6.3.1.2. Método de Brooks

Segundo Bedworth and Bailey (1987) o método de Brooks (1963) baseia a prioridade de afetação de recursos no maior ACTIM – Activity Control Time – da atividade. O ACTIM de uma atividade é a duração do caminho crítico do subprojeto que começa com a atividade. Neste método podem usar-se, também como critérios de desempate, ou auxiliares, os sugeridos acima quando usámos o método de Lang.

Exemplo de calculo do ACTIM

Considere um projeto simples representado pela seguinte rede.

Calcule o ACTIM de cada atividade.



Resolução

$$\text{ActimD}=2 ; \text{ActimC}=5, \text{ActimB}=7; \text{ActimA}= \max\{8;10\}=10$$

Aplicando o método de Brooks ao problema exemplo usado obtém-se a solução ilustrada na figura Figura 6-15, que, neste caso, é igual à obtida pelo método de Lang. Portanto, também o método de Brooks desempenha mal neste caso.

As considerações feitas para o método de Lang, sobre a qualidade das soluções, são aplicáveis para o método de Brooks.

Actividades Variáveis	A	B	C	D	E	F	G	Iteração Variáveis	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a	7. ^a
ACTIM	15	9	10	10	6	7	4	Relógio	0	4	5	10	11	13	17
Folga total	0	0	4	5	5	4	0	Recs. disponíveis	9/7/4,/ 2	5/0	2/1	3	9/5	9/6	9
Duração	5	6	4	10	2	7	4	Acts. para começar	A,C,D	E, F	E,B	-	E	G	-
Recursos R1	2	1	3	2	4	5	3	Acts. q. Começam	A, C,D	F	B	-	E	G	-
Recursos R2					1	1		Acts que terminam	-	C	A	D	B,F	E	G
Começo potencial	0	5	0	0	4	4	11								
Instante de início	0	5	0	0	11	4	13								
Instante de fim	5	11	4	10	13	11	17								

Figura 6-15 Perfil de recursos para um dado programa de execução do projeto – alternativa de Lang para R1 ≤ 9 recursos

Exercício

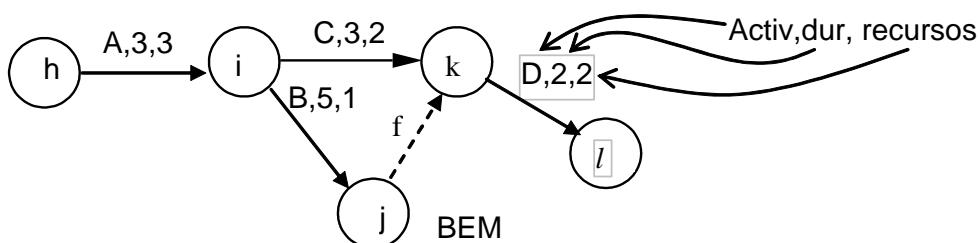
Aplique o método de Lang e o método de Brooks no caso da atividade A, do problema exemplo, ter uma duração de 3 unidades de tempo em vez de 5 e havendo apenas 8 recursos para executar o projeto.

6.3.1.3. Método TIMRES

O método de TIMRES Bedworth (1983) baseia a prioridade de afetação de recursos na Máxima SOMA(Dur da Ativ * Recursos da Ativ) de todas as atividades de cada caminho alternativo que começa na atividade e vai até ao fim do projeto.

Neste método podem usar-se, também como critérios de desempate, ou auxiliares, os usados pelo método de Lang.

Exemplo de calculo do TIMRES



$$\text{TimresD}=4; \text{ TimresC}=10; \text{ TimresB}=9; \text{ TimresA}=\max \{19;118\}=19$$

Como se comprehende, apenas um tipo de recurso pode ser considerado para calculo do TIMRES. Na prática tal recurso deve ser o mais crítico, i.e aquele que pode comprometer a duração do projeto.

6.3.1.4. Outros Métodos

...

6.4. PERT versus CPM

PERT, inicialmente significando Programme Evaluation Research Task é hoje referido como Project Evaluation and Review Technique. Trata-se de um método, publicado em 1959 (Malcolm 1959), desenvolvido no âmbito de um grupo de trabalho da Marinha Americana, o Program Evaluation Branch of Special Projects Office. É aplicado na gestão de projetos, com semelhanças importantes com o CPM, mas dirigido a situações em que há necessidade de estimar as durações das atividades e/ou as representar por distribuições estatísticas.

6.4.1. Durações das atividades em PERT

A característica fundamental de diferenciação entre o método CPM e o PERT é a forma como as durações das atividades são consideradas. O método CPM usa estimativas únicas e determinísticas das durações das atividades ao passo que o PERT usa as distribuições estatísticas dessas durações e, a partir daqui determina a duração do projeto em termos de probabilidades. Desta forma pode tanto determinar a probabilidade P de concluir o projeto para uma dada duração T , como a duração T que assegura uma dada probalidade P para a conclusão do projeto.

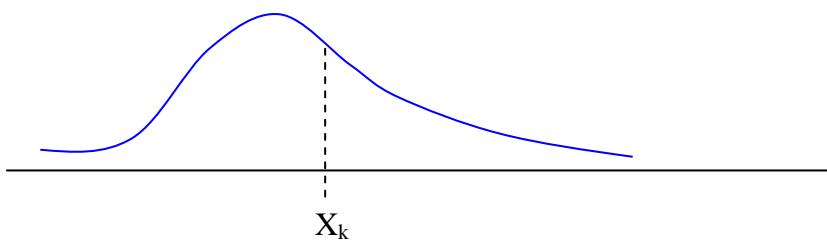
Quando a distribuição estatística da duração de uma atividade k não é conhecida, o método PERT assume que a sua distribuição é do tipo Beta. Os parâmetros, i.e. as média X_k e variância S_k^2 da atividade k , devem, segundo PERT, ser obtidos a partir de três estimativas das durações da atividade, ditas pessimista (B_k), mais provável (M_k) e optimista (A_k). Neste caso, é normal considerar que a distribuição Beta seja definida com a média da atividade k obtida a partir de tais estimativas por:

$$X_k = \frac{1}{6}(A_k + 4M_k + B_k) \quad (\text{E.1})$$

e a variância por:

$$S_k^2 = \left[\frac{1}{6}(B_k - A_k) \right]^2 \quad (\text{E.2})$$

Distribuição Beta:



É pertinente referir que alguns autores sugerem diferentes pesos daquelas estimativas na definição dos parâmetros da distribuição Beta.

Quando se pode estimar com rigor a duração de algumas das atividades estabelecendo um único valor diremos que a variância é nula e a média corresponde ao valor da estimativa. Eventualmente, conhecida a distribuição estatística mais rigorosa da duração de uma atividade, essa distribuição deve ser usada em vez da distribuição Beta estabelecida com sugerido acima.

No método CPM a duração do projeto é determinada por um conjunto de atividades que determinam o caminho mais longo, começando na primeira atividade e acabando na última. Sendo que algumas atividades se podem executar em simultâneo com outras, a duração deste caminho é geralmente inferior ao somatório das durações de todas as atividades do projeto.

No método CPM a tal caminho, como se referiu, chama-se *caminho crítico*, sendo as atividades que o compõem ditas críticas pelo facto das *folgas totais* em cada uma serem nulas. *Uma folga* é um tempo de atraso permitível de uma atividade sem que isso alongue a duração do projeto.

No método PERT o *caminho supostamente mais longo* é aquele de *média mais longa* e, embora possa não ser o mais crítico do projeto por razões que têm a ver com a variância da duração dos caminhos existentes, é considerado ser o caminho crítico no método PERT e aquele submetido à análise probabilística de duração do projeto.

6.4.2. Durações do projeto em PERT

Uma vez que a duração de todas ou algumas atividades de um projeto no método PERT seguem uma distribuição estatística, também a duração do projeto seguirá uma distribuição estatística. Quando o número de atividades no caminho crítico é suficientemente elevado (pelo menos cinco atividades, desejavelmente trinta) pode, com aceitável precisão, afirmar-se que a duração do projeto segue uma distribuição estatística Normal, mesmo quando a distribuição estatística da duração das atividades é diferente. Tal facto resulta do chamado Teorema do Limite Central (ver bibliografia). Assim a duração média de um caminho é dada por:

$$\bar{X} = \sum_{k=1}^n X_k \quad (\text{E.3})$$

e o desvio padrão, obtido a partir da variância das atividades por:

$$S = \sqrt{\sum_{k=1}^n s_k^2} \quad (\text{E.4})$$

sendo:

\bar{X} a duração média do caminho das atividades

S o desvio padrão da distribuição

$k = 1, \dots, n$ as atividades que fazem parte do mesmo caminho

X_k é a duração média da atividade k

Estes valores da distribuição são importantes para determinar a probabilidade de concluir o projeto num prazo estipulado, T , por exemplo, ou alternativamente perguntar qual a duração que permite ter uma probabilidade P de conclusão do projeto. Em qualquer caso o processo passa sempre pela determinação do valor da variável reduzida da distribuição normal dado por :

$$z = \frac{T - \bar{X}}{S} \quad (\text{E.5})$$

Exemplo 1 : Probabilidade P de concluir o projeto num prazo estipulado, T

Seja $T = 100$ dias e o \bar{X} já calculado, de 90 dias. Se, face à variância do caminho de média mais longa, i.e. o caminho crítico segundo PERT, for o desvio padrão da duração do projeto $S = 5$, vem:

$$z = \frac{100 - 90}{5} \Rightarrow z = 2$$

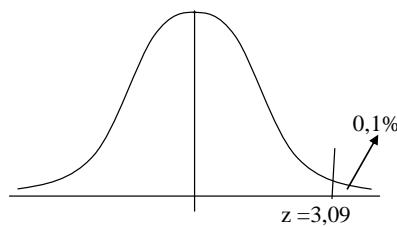
Consultada uma tabela da distribuição normal, vem:

$$z = 2 \Rightarrow P(\text{duração do projeto} \leq 100) = 0,97725$$

Portanto o projeto tem uma probabilidade de 0,97725 de terminar dentro do prazo de 100 dias.

Exemplo 2 : Duração T que permite ter uma probabilidade P de conclusão do projeto

Qual a duração T dentro da qual é possível ter uma probabilidade de 99,9% de concluir o projeto, na base dos dados do exemplo 1?



$P(\text{duração do projeto } T) = 0,999 \Rightarrow (\text{lida a tabela da distribuição normal}) z = 3,09$

Portanto:

$$3,09 = \frac{T - 90}{5} \Rightarrow T = 90 + 3,09 \cdot 5 \quad T = 105,225 \text{ dias}$$

Exercício

Qual a probabilidade de concluir o projeto em 90 dias?

A probabilidade é nula. Note que isto é realmente intuitivo. De facto, concluir o projeto até ao tempo 90 tem uma probabilidade 0,97725 como se determinou, mas entre 80 e 90 dias é muito menor e entre 90 e 100 dias é zero, como se compreende.

6.4.3. Exemplo de Aplicação do Método PERT

No caso do projeto exemplo dado na secção [2.1.1](#), com base nos dados da tabela 2.2, estabeleça a duração do projeto para as probabilidades de conclusão de

- a) 0,95 e de 0,40
- b) e as probabilidades de concluir o projeto em 14 dias e 15 dias

Resolução

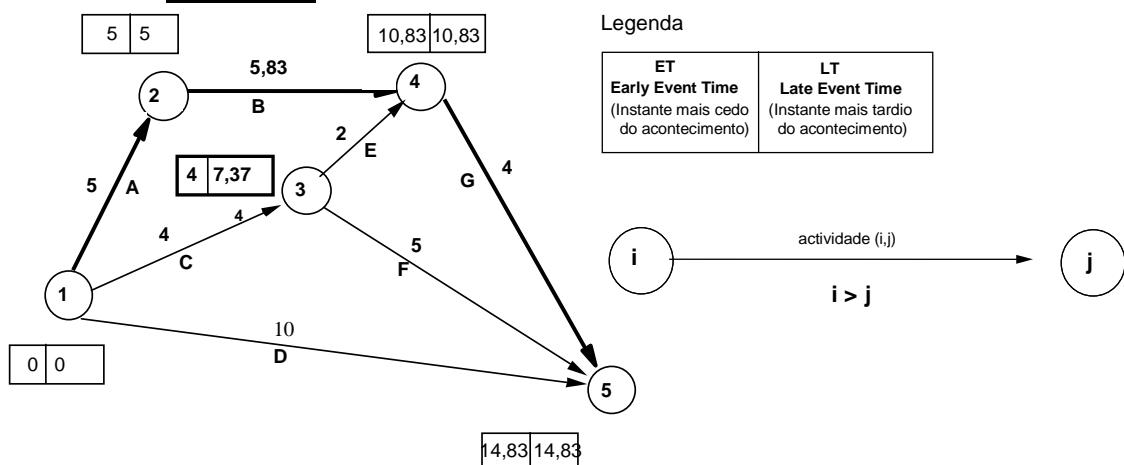
Calculo da média da distribuição beta:

$$X_k = \frac{1}{6}(A_k + 4M_k + B_k) \quad (\text{E.1})$$

$$S_k^2 = \left[\frac{1}{6}(B_k - A_k) \right]^2 \quad (\text{E.2})$$

Tabela 6-3: Dados do projeto

Representação da atividade	Ats. precedente s	Duração mais provável da ativ. k (M _k)	Duração optimista da ativ.k (A _k)	Duração pessimista da ativ. k (B _k)	Estimat média da ativ. k (X _k)	Estimat. variância da ativ. k (S _k)	Recursos /meios
							tipo R1 tipo R2
A	-	5	-	-	5,00	0,00	2 -
B	A	6	4	7	5,83	0,25	1 -
C	-	4	3	5	4,00	0,11	3 -
D	-	10	8	12	10	0,44	2 -
E	C	2	2	2	2,00	0,00	4 1
F	C	7	-	-	5,00	1,00	5 1
G	E, B	4	4	4	4,00	0,00	3 -

Método CPM


Atividades do caminho de média mais longa	Ats. precedentes	Duração mais provável da ativ. k (M _k)	Duração optimista da ativ.k (A _k)	Duração pessimista da ativ. k (B _k)	Estimat média da ativ. k (X _k)	Estimat. variância da ativ. k (S _k)
A	-	5	-	-	5,00	0,00
B	A	6	4	7	5,83	0,25
G	E, B	4	4	4	4,00	0,00
Total					14,83	0,25
					Estimat X.da média da duração	Estimat.S ² da variância da duração

a) Duração Ti do projeto com probabilidade Pi

$$T = z(Pi) \times S + \bar{X}$$

a) a duração do projeto com uma probabilidade de 0,95 seria:

$z(Pi) = z(0,95) \Rightarrow$ Distribuição Normal $z(0,95) \cong 1,65$

$$T = z(Pi) \times S - \bar{X}$$

$$T = 1,65 \times \sqrt{0,25} + 14,83$$

$$T = 0,825 + 14,83 \Rightarrow T = 15,655$$

b) a duração do projeto com uma probabilidade de 0,40 seria:

$z(Pi) = z(0,40) \Rightarrow$ Distribuição Normal $z(0,95) \cong -0,26$

$$T = z(Pi) \times S - \bar{X}$$

$$T = -0,26 \times \sqrt{0,25} + 14,83$$

$$T = -0,13 + 14,83 \Rightarrow T = 14,7$$

b) Probabilidade Pi do projeto para a duração Ti

$$z(Pi) = \frac{Ti - \bar{X}}{S} \Rightarrow z(Pi) \Rightarrow$$
 Distribuição Normal $\Rightarrow Pi$

c) A probabilidade de concluir o projeto em 15 unidades de tempo seria:

$$z(Pi) = \frac{15 - 14,83}{\sqrt{0,25}} = 0,34 \Rightarrow$$
 Distribuição Normal $= Pi = 0,633$ isto é 63,3%

d) A probabilidade de concluir o projeto em 14 unidades de tempo seria:

$$z(Pi) = \frac{14 - 14,83}{\sqrt{0,25}} = -1,66 \Rightarrow$$
 Distribuição Normal $= Pi = 0,0485$ isto é 4,85%

Bibliografia

1. (INE) Instituto Nacional de Estatística, (2007), Estrutura da Classificação Portuguesa das Atividades Económicas (CAE — Rev.3) - Deliberação n.º 786/2007, DR Série II, Maio 2007.
2. Adam, E. A. Jr, and Ebert, R. J., (1978). Production and Operations Management, Concepts, Models and Behavior. Prentice Hall International Editions.
3. Aneke, N. A. G. e Carrie, A. S. (1986) "A design technique for the layout of multi-product flowlines" International Journal of Production Research, vol. 24, pp. 471-481
4. Baker K.R. (1974), "Introduction to Sequencing and Scheduling" John wiley & Sons
5. Bedworth, David, D., Bailey, James E., (1983), "Integrated Production Control Systems-Management, Analysis, Design", John Wiley & Sons, New York
6. Brooks, G. H., (1963), "Algorithm for Activity Scheduling for Satisfying Constraints on Resource Availability" (unpublished paper), 1963-Set-17.
7. Conway, R. W., Maxwell, W. L. and Miller, L.W. (1967). Theory of Scheduling. Addison Wesley.
8. Gallagher, C. C. and Knight, W. A. (1973). Group Technology. Butterworths, London.
9. Halevi, G. (1980) "The Role of Computers in Manufacturing Processes", John Wiley & Sons, New York
10. Heizer J. e Render, B. (1988), Production and Operations Management. Allyn and Bacon, Boston
11. Hitomi, K. (1979), Manufacturing Systems Engineering. Taylor & Francis, Ltd, London
12. Kelley, James E. Jr. & Walker, Morgan R. (1959), "Critical Path Planning and Scheduling, Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference, 1959, USA
13. Kleiner, M. (1993), Modular System permits Optimum Turning Machines. European Production Engineering, 17 no. 3
14. Malcolm. D. G., Roseboom, J. H., Clark, C. E., (1959), "Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation", Operation Research, Vol 7, N.º 5 Sept-Oct. 1959.
15. Mitrofanov, S.P. , The Scientific Principles of Group Technology", Leningrad 1959 (translated by the National Lending Library, UK, 1966)

16. Monden, Y. (1983), Toyota production System. Industrial Engineering and Management Press, Institute of Industrial Engineers
17. Mynard, H. B. (1971), Industrial Engineering Handbook. McGraw-Hill, New York
18. Orlicky, J. A. (1975). Materials Requirement Planning. McGraw-Hill, New York
19. Samuelson, P. A. and Nordhaus, W. D. (2005), Economia. McGraw-Hill
20. Silva S. C., (1996), "Balanceamento de Linhas de Produção". Publicação interna, GIS-DPS/UM.
21. Silva, S. C. (1997 a). Textos e elementos de apoio à disciplina de Gestão e Controlo da Produção II. Publicação interna, GIS-DPS/UM.
22. Silva, S. C., (1993), "Modelos Económicos de Lotes de Produção. Publicação interna, GIS-DPS/UM.
23. Silva, S. C., (1993). Visão sintética da problemática do aprovisionamento", Publicação interna GIS-DPS/UM
24. Silva, S. C., (1995), "Determinação do Tamanho de Lotes para sistemas MRP". Publicação interna, GIS-DPS/UM.
25. Stecke, K., Solberg, J. J. (1981), "Loading and Control Policies for FMS", Internattional Journal of Production Research, Vol.19, No.5 pp481-490
26. Vollmann, T. E., Berry, W. L. and Whybark, D. C. , (1992). Manufacturing Planning and Control Systems. Irwin, Boston.
27. Womack, J.PO., Jones, D. T. (1996) "Lean thinking : banish waste and create wealth in your corporation", Simon & Schuster