

SISTEMA MÚLTIPLO DE APOIO À DECISÃO PARA A PROGRAMAÇÃO DE SISTEMAS DO TIPO *JOB-SHOP*

Jorge Manuel Coelho Pinto Lopes



Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Sistemas e Planeamento Industrial

Departamento de Engenharia Electrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2010

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Disciplina de
Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de
Computadores

Candidato: Jorge Manuel Coelho Pinto Lopes, Nº 1030343, 1030343@isep.ipp.pt
Orientação científica: Manuel Pereira Lopes, mpl@isep.ipp.pt



Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Sistemas e Planeamento Industrial
Departamento de Engenharia Electrotécnica
Instituto Superior de Engenharia do Porto
26 de Julho de 2010

Dedico este trabalho aos meus pais, Jorge e Ana

Agradecimentos

Quero aqui expressar os meus agradecimentos a todas as pessoas que, directa ou indirectamente, contribuíram para a realização desta Tese de Mestrado e em especial:

Aos meus pais, por ao longo de toda a minha vida académica nunca se terem negado a qualquer apoio e por terem acreditado em mim ao longo dos anos.

Ao meu orientador Eng. Manuel Pereira Lopes por me ter permitido a realização desta tese de mestrado, por todo o apoio e motivação. Sem ele, teria sido muito mais difícil.

À Ana Quitério por toda a ajuda e motivação para terminar a tese e por ter compreendido a minha ausência nos momentos em que foi preciso dedicar exclusivamente à dissertação.

A todos os meus colegas que ofereceram o seu apoio durante todo o mestrado.

Resumo

O *job shop* é um sistema produtivo comum nas Pequenas e Médias Empresas (PMEs). Estas operam no sector da produção por encomenda. São sistemas que produzem uma grande variedade de produtos, em pequenas quantidades, de acordo com as especificidades de cada cliente. Num sistema produtivo tão dinâmico, é evidente a importância do controlo da actividade de produção. O controlo de carga é um conceito do controlo da actividade de produção e com origem no conceito controlo de entradas/saídas (I/OC).

O trabalho visa estudar um sistema múltiplo de apoio à decisão e tem como principais objectivos o planeamento e controlo de operações num sistema de produção do tipo *Job-Shop*. O esquema é assente em quatro etapas de decisão e a cada uma está associado uma decisão de controlo: aceitar, rejeitar ou negociar uma encomenda; definir a data de entrega da encomenda; dar a ordem de lançamento de uma encomenda para o *shop floor*; definir a sequência na qual as ordens serão processadas no *shop-floor*. A cada etapa de decisão são consideradas regras de *benchmark* (por exemplo, *total acceptance*, *immediate release*), assim como algumas regras consideradas noutros estudos (*backward infinite loading*, *total work content*, *earliest due date*). Estas regras tendem a garantir os prazos estabelecidos e uma situação estável e controlável no chão de fábrica. O sistema foi desenvolvido em VBA – Excel. A fim de avaliar o impacto das regras de decisão no desempenho do sistema foram seleccionados determinados critérios de optimalidade (por exemplo, atraso médio, tempo médio em sistema, utilização das máquinas).

Palavras-Chave

Job-Shop, Pequenas e Médias Empresas (PMEs), sector da produção por encomenda, controlo da actividade de produção, controlo de carga, *lead times*, sistema múltiplo de apoio à decisão, *shop floor*.

Abstract

Job shop is a common productive system in Small and Medium Enterprises (SMEs). These are make-to-order companies. They produce many different products, manufactured usually in small batches, according to specifications that are generally customer specific. In such dynamic productive system, is obvious the importance of the Production Planning and Control (PPC). Workload Control is a PPC concept, originates from the concept of input–output control that attempts to manage manufacturing lead times.

This report aims at studying a multiple decision-making scheme for planning and controlling operations in a general job-shop. The decision-making scheme includes four main decisions: accept, negotiate or reject an in-coming order; define the order's due date; release the accepted jobs to the shop floor or keep them in the pre-shop pool; dispatch the jobs at the shop floor. At each decision stage benchmark rules are considered (e.g. total acceptance, immediate release), as well as some rules proposed in previous studies (e.g. backward infinite loading, total work content, earliest due date). These rules tend to guarantee due dates and a steady and controllable situation in the shop floor. The system was developed in VBA – Excel. In order to judge the impact of these decision rules in the performance of the systems there has been selected performance measures (e.g. mean tardiness, mean total time in the system, machine utilization)

Keywords

Job-Shop, Small and Medium Enterprises (SMEs), make-to-order, Production Planning and Control (PPC), workload control, decision-making, shop floor.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
ÍNDICE EQUAÇÕES	XIII
ACRÓNIMOS	XV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJECTIVOS	2
1.2. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	3
2. JOB-SHOP	5
2.1. SCHEDULING	5
2.2. COMPLEXIDADE DO PROBLEMA <i>JOB-SHOP</i>	10
2.3. WORKLOAD CONTROL	11
2.4. CONTROLO HIERÁRQUICO	12
3. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO DE 4 NÍVEIS	19
3.1. REALIDADE EMPRESARIAL	19
3.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.3. ESQUEMA MÚLTIPLO DE TOMADA DE DECISÃO	22
3.4. FACTORES EXPERIMENTAIS.....	29
3.5. ESTATÍSTICAS DO DESEMPENHO.....	30
3.6. MODELO DE SIMULAÇÃO	30
3.7. MANUAL DO SOFTWARE.....	30
4. RESULTADOS	33
4.1. RECOLHA DE DADOS	33
4.2. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	33
5. CONCLUSÕES	43
5.1. DIRECÇÕES PARA PESQUISA FUTURA.....	44
BIBLIOGRAFIA	45
ANEXO A. ALGORITMO -VBA	49

Índice de Figuras

Figura 1	Diagrama do fluxo de informação num sistema de fabrico [29]	6
Figura 2	Modelo do funil [43].....	11
Figura 3	Níveis de decisão [19].....	12
Figura 4	Fluxograma de múltiplas tomadas de decisão [33].....	23
Figura 5	Interface da aplicação	31
Figura 6	Medidas de desempenho das regras de despacho (PFW + MIL).....	34
Figura 7	Medidas de desempenho na melhor combinação de regras de decisão.....	42

Índice de Tabelas

Tabela 1	Parâmetros DDN.....	25
Tabela 2	Atraso médio	34
Tabela 3	Percentagem trabalhos em atraso.....	35
Tabela 4	Proporção trabalhos rejeitados	36
Tabela 5	Desvio médio absoluto.....	37
Tabela 6	Tempo médio espera em <i>pre shop</i>	38
Tabela 7	Tempo médio espera em <i>shop floor</i>	38
Tabela 8	Tempo médio espera em produto pronto.....	39
Tabela 9	Tempo médio no sistema	40
Tabela 10	Utilização do sistema (máquinas)	41

Índice Equações

Equação 1	Makespan.....	9
Equação 2	Tempo de espera médio.....	9
Equação 3	Atraso relativo máximo	9
Equação 4	Atraso absoluto médio.....	9
Equação 5	Utilização média	10
Equação 6	Limite de carga de trabalho	25
Equação 7	Total Work Content (TWK).....	27
Equação 8	Backward Infinite Loading (BIL)	28
Equação 9	Modified Infinite Loading (MIL).....	28
Equação 10	Atraso médio.....	33
Equação 11	Trabalhos em atraso	36
Equação 12	Proporção de trabalhos rejeitados.....	36
Equação 13	Desvio médio absoluto	37
Equação 14	Tempo médio em pre-shop	37
Equação 15	Tempo médio espera em shop floor	39
Equação 16	Tempos médio espera produto pronto	39
Equação 17	Tempo médio total em sistema	40
Equação 18	Utilização máquinas	41

Acrónimos

- BIL – *Backward infinite loading*
- CON – *Constant Allowances*
- DDN – *Due Date Negotiation*
- EDD – *Earliest Due Date*
- FCFS – *First Come First Served*
- IMR – *Immediate release*
- JIS – *Jobs In the Shop*
- JIQ – *Jobs In the Queues*
- MIL – *Modified infinite loading*
- MTO – *Make-To-Order*
- NOP – *Number Of Operations*
- OA – *Order Acceptance*
- OR – *Order Release*
- PFW – *Present and Future Workload*
- PIOC – *Planned Input/Output Control*
- PMEs – *Pequenas e Médias Empresas*
- PPC – *Production Planning and Control*
- RAN – *Random Allowances*

- SPT – *Shortest Process Time*
- STR – *Slack Time Remaning*
- TA – *Total Acceptance*
- TWK – *Total Work Content*
- VBA – *Visual Basic for Applications*
- WIP – *Work In Progress*
- WLC – *Workload Control*

1. INTRODUÇÃO

O processo de globalização exige por parte das empresas, condições e vantagens específicas que justifiquem a sua permanência no mercado de trabalho, colocando sobretudo um desafio à sua capacidade em inovar e responder a especificidades do consumidor como o gosto e qualidade.

Segundo N.O. Fernandes [37], um dos principais factores de diferenciação é a inovação do produto. Apesar da sua importância no que respeita a competitividade de uma empresa, é algo facilmente reproduzido pela concorrência. A descoberta, ou a inclusão de uma nova característica num dado produto, a curto prazo, acabará por fazer parte integrante num produto da concorrência. Para garantir a sustentabilidade da empresa, a inovação terá de ser global. Um outro factor de grande importância é a inovação dos sistemas de produção. A satisfação do cliente e a utilização eficiente dos seus recursos são os principais objectivos dos sistemas. Assim, é essencial a procura continuada de novos conceitos, processos, soluções de controlo e planeamento da produção, de forma a garantir um sistema produtivo actual, eficiente e eficaz, sem comprometer os seus objectivos. Em ambientes complexos do tipo *job-shop*, onde são produzidos uma grande variedade de produtos e geralmente em pequenas quantidades, a inovação torna-se ainda mais exigente.

Este sistema produtivo é comum em Pequenas e Médias Empresas (PMEs). São empresas que operam no sector da produção por encomenda, produzindo apenas de acordo com as

necessidades do cliente. Estas encomendas podem divergir no número de produtos requisitados, nas características do processo (por exemplo, gama operatória, tempos de processamento, e tempos de *setup*), ou na urgência. Nestas condições dificilmente se consegue prever como é que futuras ordens de produção se irão distribuir pelas máquinas. Uma procura elevada dos recursos, juntamente com a variação das ordens da produção, causa tempos de espera elevados no *shop-floor*. Como consequência os prazos de execução serão longos e incertos, algo inaceitável nos dias de hoje em que são exigidos prazos curtos e de confiança.

Este trabalho visa estudar um esquema múltiplo da tomada de decisão para o planeamento e controlo de operações num sistema de fabrico do tipo *job-shop*. O esquema, tendo como base o sistema apresentado por Moreira e Alves [33], está subdividido em quatro etapas e a cada uma está associado uma decisão de controlo:

- Aceitar, rejeitar ou negociar uma encomenda;
- Definir a data de entrega da encomenda;
- Dar a ordem de lançamento de uma encomenda para o *shop-floor*;
- Definir a sequência na qual as ordens serão processadas no *shop-floor*.

Para cada etapa serão aplicados métodos de controlo de carga (*Workload Control* - WLC), regras que através de todas as informações inerentes às encomendas e/ou máquinas (data de entrega, gama operatória, tempos processamento), regem todo o sistema produtivo. Estas são responsáveis por um controlo do sistema que tenta garantir os prazos estabelecidos e uma situação estável e controlável no chão de fábrica.

1.1. OBJECTIVOS

O trabalho apresentado nesta dissertação consiste no desenvolvimento de um sistema múltiplo de apoio à decisão para a programação de sistemas de produção do tipo *job-shop*. O principal objectivo deste trabalho foi implementar novas regras de controlo ao nível do despacho. Optou-se por incluir regras que privilegiassem diferentes critérios, dos anteriormente usados, no cálculo do sistema de prioridades de modo a ser possível testar o sistema a novas condições de stress. Foram, assim, implementadas duas novas regras, em relação ao esquema proposto por Moreira e Alves [33]: *shortest processing time* (SPT) e *slack time remaining* (STR) e comparados os seus resultados com resultados obtidos em trabalhos anteriores de outros autores relativos a outras regras de despacho.

Toda a programação foi desenvolvida de raiz em *Visual Basic for Applications* (VBA) com o objectivo de tornar o sistema mais adaptável às necessidades do futuro utilizador. É um software muito mais acessível do que o usado por outros autores (software Arena) e com uma linguagem de programação mais susceptível a alterações. A reestruturação do sistema (inclusão de novas regras de decisão, alteração das características do sistema produção, acréscimo de estágios de produção) será facilitada.

1.2. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Este trabalho está segmentado em quatro Capítulos. No primeiro capítulo é feito um pequeno enquadramento da tese, assim como apresentados os seus objectivos.

No segundo Capítulo são apresentados conceitos teóricos que servem de base ao trabalho. É feita uma pequena introdução ao escalonamento (*scheduling*), com particular interesse nos sistemas de produção do tipo *job-shop*. É descrito o modelo clássico deste ambiente industrial, assim como toda a nomenclatura envolvente. Por fim, é feita uma revisão bibliográfica dos trabalhos de investigação desenvolvidos neste âmbito, dando particular realce aos métodos de WLC, nas quatro principais etapas de decisão num sistema de produção: aceitação/rejeição; atribuição da data de entrega; lançamento; e despacho.

No Capítulo três são explicadas as necessidades da implementação deste tipo de aplicações em ambientes do tipo *job-shop*, especificamente nas PMEs, assim como referenciadas as mais-valias do trabalho desenvolvido em relação a trabalhos anteriores. De uma forma mais pormenorizada, é descrito o sistema de múltipla decisão proposto e apresentados os resultados obtidos.

Por fim, no último capítulo são apresentadas todas as conclusões assim como indicadas algumas direcções que possam ser ponderadas no futuro.

2. JOB-SHOP

Neste capítulo é feita uma introdução ao escalonamento, em particular no ambiente industrial do tipo *job-shop*. É descrita a nomenclatura envolvente, assim como os tipos de investigação sobre o tema, dando particular realce aos métodos de controlo de carga.

2.1. SCHEDULING

Segundo Michael Pinedo [29], o escalonamento (*Scheduling*) é o processo de submeter os recursos limitados às tarefas ao longo do tempo. Existem assim quatro conceitos fundamentais no escalonamento: tempo, recursos, tarefas e objectivos. O tempo pode ser especificado (programação de um voo a sair às 8h00) ou flutuante, como parte de uma sequência de eventos. Os recursos e as tarefas podem tomar muitas formas. Os recursos poderão ser máquinas numa oficina, pistas de aterragem num aeroporto, recursos humanos numa área de construção. As tarefas poderão ser operações num sistema de produção, descolagens e aterragens num aeroporto, fases de construção. A cada tarefa poderá estar associado um nível de prioridade, um tempo de inicialização e uma data de conclusão. Os objectivos, de igual forma, são variados. Reduzir o número total de tarefas em atraso, ou o tempo total de execução, são exemplos de objectivos.

O escalonamento é um processo de tomada de decisão que existe na maioria dos sistemas de produção. Neste ambiente as encomendas terão de ser lançadas para fabrico, convertidas

em tarefas e deverão respeitar a sua data de entrega. Estas tarefas ou trabalhos são processadas por máquinas nos vários estágios de produção, segundo uma sequência pré-estabelecida. Se a este trabalho estiver associado um nível de prioridade, não será necessário esperar pela conclusão de outros trabalhos para iniciar o processamento deste.

Para manter a eficiência e o controlo das operações, é essencial um escalonamento detalhado, onde é necessário existir grande interação entre esta função e outras, de igual forma importantes, numa organização. O escalonamento poderá ser afectado pelo planeamento da produção, responsável por decisões referentes a níveis de inventário, previsões, e recursos necessários para a produção, por eventos inesperados no *shop-floor*, tais como avarias nas máquinas ou processos mais demorados. Na Figura 1 é possível verificar o fluxo de informação num sistema de fabrico.

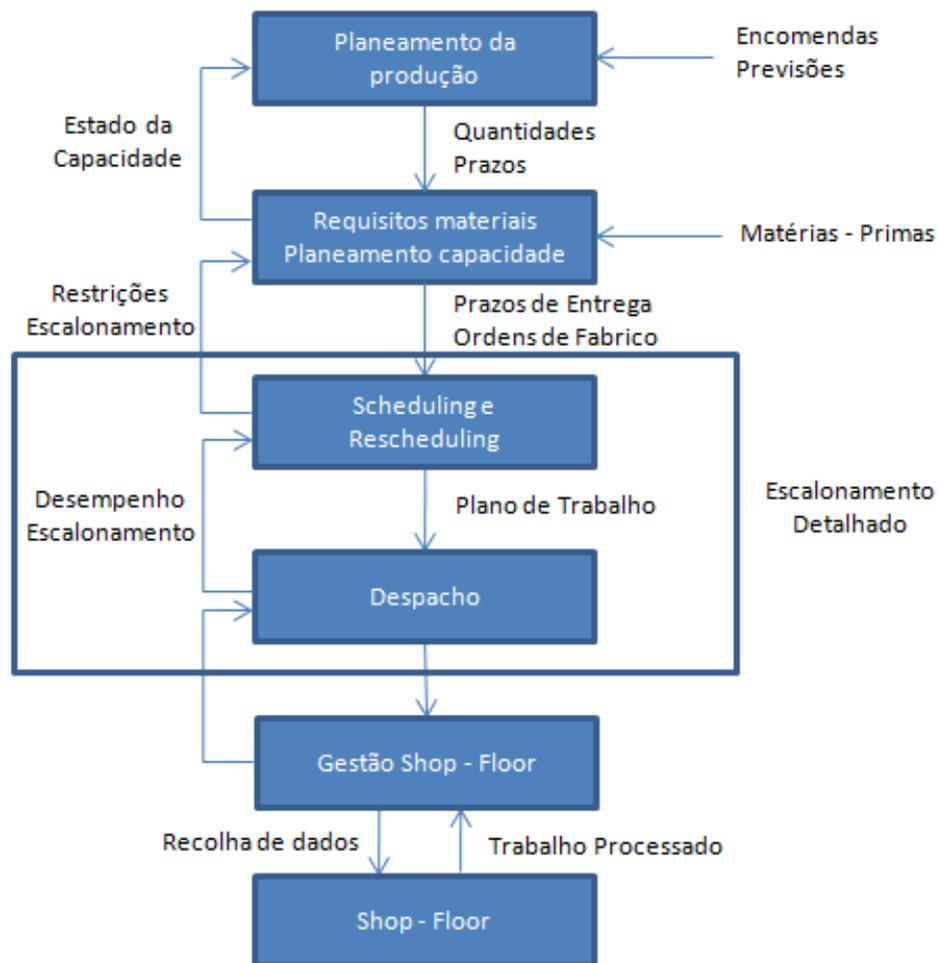


Figura 1 Diagrama do fluxo de informação num sistema de fabrico [29]

A investigação sobre escalonamento tem evoluído ao longo dos últimos sessenta anos e tem sido objecto de muita literatura significativa com técnicas que vão desde regras de despacho (*dispatching rules*) não refinadas, a técnicas altamente sofisticadas de algoritmos de partição e avaliação (*branch and bound*) e heurísticas baseadas em estrangulamentos (*bottleneck*). As abordagens foram formuladas a partir de um vasto espectro de investigadores desde cientistas a simples trabalhadores. Contudo, com o advento das novas metodologias, tais como redes neurais e computação evolutiva, investigadores de áreas como a biologia, informática, matemática, da genética e da neurofisiologia, também contribuem regularmente para o desenvolvimento da investigação, sublinhando o carácter multidisciplinar deste domínio.

Seguindo a nomenclatura de Pinedo [29], ao longo deste projecto iremos designar o número total de trabalhos pela letra n , o número total de máquinas por m . Para um dado trabalho iremos designar por j e uma dada máquina por i . Se um trabalho necessitar de várias etapas de transformação ou operações, o par (i, j) representa, desta forma, a etapa de transformação do trabalho j na máquina i . A cada trabalho j poderá estar associada a seguinte informação:

- Tempo de processamento (p_{ij}), p_{ij} representa o tempo de processamento do trabalho j na máquina i .
- Data de lançamento (r_j), esta representa a data em que dada a ordem de iniciar o processamento do trabalho j .
- Data de entrega (d_j), data em que o trabalho j foi prometido ao cliente.

Segundo Pinedo [29], para definir um dado problema de escalonamento existem três variáveis que serão necessárias identificar previamente: α ; β ; e γ . A variável α identifica o ambiente industrial. O β fornece detalhes das características e restrições do processamento e poderá assumir múltiplas entradas. O campo γ representa o objectivo proposto.

Tendo em conta os objectivos deste trabalho, o ambiente industrial (α) proposto é designado por *job-shop*. Neste ambiente com m máquinas, cada trabalho tem a sua própria rota e poderá passar apenas uma vez por qualquer máquina.

O campo β poderá assumir as seguintes entradas:

- Data lançamento (r_j), se este campo for referenciado, o trabalho j não pode ser iniciado antes da mesma. Em caso contrário, o seu processamento poderá ser iniciado a qualquer altura.
- Tempos de preparação dependentes da sequência (*Sequence dependent setup times* - s_{jk}). O s_{jk} representa tempos de preparação entre os trabalhos j e k ; sendo s_{0k} o tempo de setup para o trabalho k , se este for o primeiro na sequência; e s_{j0} o tempo de limpeza (*clean up time*) depois do trabalho j , sendo este o último da sequência.
- Interrupções (*Preemptions* - $prmp$), implica que não é necessário manter um trabalho numa máquina até à sua conclusão. É possível interromper o processamento de um trabalho a qualquer altura e colocar outro para iniciar o processamento.
- Restrições de precedência (*Precedence constrains* - $prec$), indicia que é necessário acabar um dado trabalho j , para iniciar outro. A esta sequência é dada o nome de *chains* (*intree* | *outtree*). Se cada trabalho tem, no máximo, um sucessor, as restrições são referidas como *intree*. Se cada trabalho tem, no máximo, um antecessor, as restrições são referidas como *outtree*.
- Paragens (*Breakdowns* - $brkdwn$), representa que uma das máquinas não está constantemente disponível. São períodos fixos (tempos de manutenção, mudança de turnos).
- Restrições das Máquinas (*Machine eligibilite restrictions* - Mj): este parâmetro é referenciado quando nem todas as máquinas são capazes de processar o trabalho j .
- Recirculação (*Recirculation* - $recrc$), ocorre quando um trabalho necessita de passar mais do que uma vez pela mesma máquina.

Segundo Reis [48], os objectivos (γ) são alcançados segundo determinados critérios, designados por critérios de optimalidade. O problema é assim traduzido num problema de optimização. Num sistema produtivo é considerado um objectivo se este manifestar a necessidade de [49]:

- Cumprir ou minimizar o atraso relativamente a prazos de entrega;
- Reduzir os trabalhos em curso;
- Melhorar a eficiência de utilização dos recursos;
- Reduzir tempos de fluxo.

A cada critério está associado uma função objectivo que terá um valor, para cada programa. O melhor programa será o que tem o melhor valor da função objectivo.

Segundo Kan [20] os critérios podem ter a seguinte classificação:

- Critérios baseados nos tempos de fim, o objectivo a minimizar vem em função do tempo de conclusão do trabalho. Por exemplo:

Makespan – Tempo de conclusão do trabalho (C_{max})

$$C_{max} = \max\{C_j\} \quad (1)$$

Tempo médio de espera (W_{med})

$$W_{med} = \frac{(\sum_{j=1,n} w_j)}{n} \quad (2)$$

- Critérios baseados nas datas limite, baseiam-se nas datas entrega e são medidas de atrasos, a minimizar. Seguem-se alguns exemplos:

Atraso relativo máximo – O maior atraso relativo (L_{max})

$$L_{max} = \max\{L_j\} \quad (3)$$

Atraso absoluto médio – Média dos atrasos absolutos (T_{med})

$$T_{med} = \frac{(\sum_{j=1,n} T_j)}{n} \quad (4)$$

- Critérios baseados em custo e utilização. Estes têm em conta custos de posse (existências) e a utilização dos recursos. Por exemplo:

Número médio de processos em curso (N_p), em espera (N_e) ou acabados (N_f)

Utilização média (U_{med})

$$U_{med} = \frac{(\sum_{j=1,n} \sum_{i=1,k_j} p_i^j)}{(m * C_{max})} \quad (5)$$

2.2. COMPLEXIDADE DO PROBLEMA *JOB-SHOP*

O problema *Job-Shop* ganhou uma reputação de ser notoriamente difícil de resolver (*NP-hard*), tornando-se desta forma alvo de numerosos estudos. Este facto deve-se às características do ambiente produtivo. A elevada variabilidade de processos, produtos com diferentes gamas operatórias e tempos de processamento, e a incerteza relativamente à chegada das encomendas, são as principais razões para esta designação. Estes aspectos, de igual forma, evidenciam a importância do controlo da actividade de produção em *Job-Shop*.

Segundo N.O. Fernandes [37], os numerosos estudos sobre *Job-shop* enquadram-se em duas perspectivas: a estática e a dinâmica.

Numa perspectiva estática, os trabalhos que chegam ao sistema são conhecidos previamente. O escalonamento é determinado em função de um critério de desempenho. O programa de produção especifica todos os tempos de início e fim de processamento, de cada trabalho, nas diferentes máquinas do sistema.

Numa perspectiva dinâmica, os trabalhos chegam continuamente ao sistema, em intervalos de tempo irregulares. Neste ambiente incerto e mais realista, torna-se muito difícil determinar os tempos de início e fim de processamento de cada trabalho. Com a chegada contínua de encomendas o escalonamento rapidamente fica desactualizado. Além destas contrariedades, existem outros problemas impossíveis de prever, tais como avarias de equipamentos, desvios nos tempos de preparação (*set up*), etc. Uma possível solução é a reprogramação da produção, no entanto implica uma alteração contínua dos planos de produção o que pode resultar em menor eficiência. Assim, para minimizar o efeito negativo destas perturbações, sem pôr em causa a utilização eficiente dos recursos, recorre-se à criação de zonas de armazenamento temporário de trabalho em processamento (*Work in Process - WIP*), designados por *buffers*. Nestas condições, as regras de prioridade tem sido alvo de grande atenção. Estas definem um sistema de prioridade, segundo um determinado critério, definindo assim a ordem pela qual os trabalhos devem ser

processados. Os trabalhos ficam armazenados em filas de espera, onde aguardam o início de processamento. Este procedimento, no entanto pode conduzir ao aumento dos tempos de espera nas filas e conseqüentemente ao aumento dos tempos de percurso (*flow time*). Dada à sua simplicidade e aceitação por parte da indústria foram desenvolvidas centenas de regras.

2.3. WORKLOAD CONTROL

O WLC é um conceito *Production Planning and Control* (PPC) projectado para ambientes de produção complexos, tais como *Job-Shop* e a indústria *Make-To-Order* (MTO) e com origem no conceito controlo de entradas/saídas (I/OC) [44] [61]. Em termos gerais, a carga do sistema (taxa entrada) é controlada através do controlo das filas de espera em *pre-shop* e dos mecanismos de lançamento, em função da capacidade dos estágios de produção (taxa de saída). Com o controlo das entradas e das saídas é possível controlar o WIP, que por sua vez, influencia os tempos de percurso e os *lead time* de produção dos trabalhos. O modelo do funil (Figura 2) evidencia a importância deste conceito.

O WLC tem sido definido por vários autores, tais como Kingsman [21] e Kingsman e Hendry [22], como o controlo das filas de espera no espaço fabril. Se as filas de espera permanecerem relativamente pequenas e controladas, então os tempos de espera e conseqüentemente os tempos de percurso manter-se-ão, também, controlados [37].

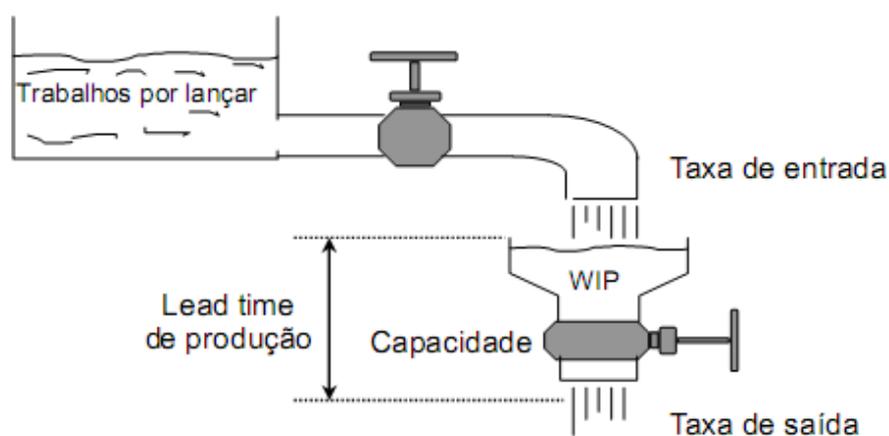


Figura 2 Modelo do funil [43].

2.4. CONTROLO HIERÁRQUICO

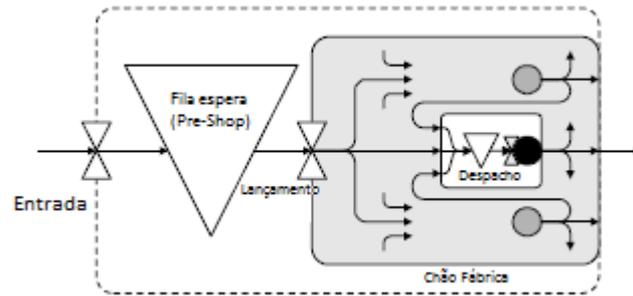


Figura 3 Níveis de decisão [19]

Bechte [5], Bertrand e Wortman [9], Tatsiopoulos [53], entre outros, e mais recentemente Stevenson e Hendry [51] estendem o estudo do controlo de entradas/saídas ao controlo hierárquico da capacidade da produção. Neste conceito hierárquico é possível identificar três níveis de decisão nos quais o controlo das filas de espera pode ser realizado: a entrada, o lançamento e o despacho (Ver figura 3).

2.4.1. ENTRADA

Numa empresa é usual aceitar todas as encomendas recebidas. As condições do sistema produtivo ou as características da própria encomenda, nunca são consideradas na decisão. Para Philipoom e Fry [41], num período de congestionamento elevado da fábrica, poderia ser melhor rejeitar uma ordem do que aceitar e entregar depois do prazo de entrega. Quando o *shop-floor* encontra-se excessivamente congestionado, aceitar mais ordens pode comprometer a capacidade da fábrica em cumprir as datas de entrega de outras ordens, o que levaria à insatisfação dos seus clientes. Esta condição não é favorável, uma vez que pode conduzir a penalizações, ou mesmo à perda de clientes. Soluções, tais como, aumentar a capacidade de produção através de horas extras ou subcontratação (*outsourcing*), mostram-se pouco viáveis, uma vez que incorpora custos mais elevados, podendo conduzir a lucros menores, ou mesmo a lucros negativos para a empresa. Uma boa estratégia de aceitação pode impedir estes problemas.

Segundo Ebben e outros [14], *Order Acceptance* (OA) é uma actividade administrativa responsável pela aceitação e rejeição de ordens do cliente, assim como decisões relacionadas com prazos de entrega e preços. Wester e outros [58], Wouters [62], Nandi e Rogers [35], Moreira e Alves [32] são alguns dos estudos onde a possibilidade de aceitação ou de rejeição é analisada. Na prática, a aceitação e o planeamento são práticas associadas

a diferentes departamentos. Por exemplo, um departamento de vendas é responsável pela aceitação, enquanto o departamento da produção é responsável pelo planeamento. Tendo como objectivo o retorno financeiro, o departamento de vendas tenderá a aceitar todas as ordens recebidas. Para o departamento da produção, o seu objectivo é maximizar a utilização dos recursos e minimizar o número de entregas tardias. Dado a este conflito de objectivos, decisões sobre aceitação são realizadas sem envolver o departamento da produção ou sem consultar a informação referente ao estado do sistema, nomeadamente a capacidade disponível para a produção. Para Zijm [64] é importante integrar estas decisões. Outras características das encomendas, tais como gama operatória, materiais e equipamentos necessários, são informações que não são inteiramente conhecidas no estágio de aceitação. Como consequência, é extremamente difícil avaliar o impacto da aceitação das novas encomendas, no desempenho operacional do sistema de produção. Idealmente, os métodos de OA tornam o sistema o mais eficaz possível e também o mais flexível, podendo permitir um reescalonamento de ordens já aceites.

A maioria dos artigos sobre OA considera sistemas com um único estágio de produção (*the single resource case*) e com tempos de processamento determinísticos. Slotnick e Morton [45] apresentam um algoritmo exacto para problemas estáticos, em que todas as chegadas são previamente conhecidas e o problema consiste seleccionar um subconjunto de ordens que sejam mais rentáveis. A suposição de que todas as chegadas são conhecidas previamente não é muito realista. Consequentemente, a maioria dos artigos focalizam o caso dinâmico, onde as datas de chegada são aleatórias. Neste caso, a decisão de aceitação é realizada à chegada de cada ordem ou sobre o número total de encomendas que chegam num determinado período de tempo. Wang e outros [55] propuseram uma rede neuronal (*neural network*) para o caso de revisão periódica, em que as ordens eram aceites de acordo com múltiplos critérios, tais como o lucro e a reputação do cliente. Mainegra e outros [25] e Snoek [50] propuseram redes neuronais para sistemas com um único e múltiplos estágios, respectivamente. A diferença entre estes últimos (política de aceitação) e os anteriores (algoritmo de aceitação) reside, que no caso da política, existe uma acção predeterminada de aceitação/rejeição fundamentada no estado do sistema. Num algoritmo de decisão, sempre que uma encomenda chega ao sistema, são realizadas novos cálculos, o que pode significar grandes perdas de tempo em computação.

Uma outra abordagem é baseada em métodos de escalonamento. Akkan [1], Wester [58] e Ten Kate [53] sugerem um sistema em que as ordens só são aceites se for cumprida a sua data entrega e não envolva uma alteração do planeamento para as restantes encomendas. Wester e outros [58] estudaram três algoritmos de aceitação; um algoritmo baseado num escalonamento detalhado (*monolithic approach*) e dois de controlo de carga baseados numa aproximação hierárquica (*hierarchical approach*). Os resultados da simulação mostram que o primeiro apresenta melhores resultados do que as aproximações hierárquicas para tempos de preparação elevados e prazos de entrega apertados. Para outros casos o desempenho é similar. Ten Kate [53] estuda um ambiente idêntico, uma aproximação hierárquica para uma única máquina, e conclui que as informações detalhadas sobre a programação da produção actual são somente relevantes quando os *lead times* são curtos.

2.4.2. ATRIBUIÇÃO DA DATA DE ENTREGA

Num sistema do tipo *job-shop* dinâmico, antes do lançamento de uma ordem para o *shop floor* é necessário atribuir a sua data de entrega. Diversos métodos de atribuição da data de entrega foram adoptados, por vários autores (Conway [12] Eilon e Hodgson [15], Weeks e Fryer [56], Weeks [57]), para ambientes do tipo *Job-Shop*.

A data de entrega de um trabalho pode ser escrita como a sua data de chegada mais uma margem. Esta margem poderá ser definida pela empresa, mantendo-se constante (*Constant Allowances* – CON), negociada com os clientes (por exemplo, *Random Allowances* - RAN), ou calculada em função das características do trabalho, por exemplo, o tempo total de processamento (*Total Work Content* - TWK) e o número de operações (*Number Of Operations* -NOP). Com o avanço das tecnologias de informação (por exemplo, recolha automática de dados, redes de computadores, base de dados), o estado actual do sistema pode ser obtido quase instantaneamente. Por este motivo, estudos mais recentes consideraram, além das anteriores, informações gerais do sistema, por exemplo, o número de trabalhos no sistema (*Jobs In the Shop* - JIS), número de trabalhos em filas de espera (*Jobs In the Queues* - JIQ). Bertrand [7], Ragatz e Mabert [46], Vig e Dcoley [54], Gee e Smith [17] são alguns autores que fazem revisões extensivas deste tema.

A maioria destes estudos comprova melhor desempenho em comparação com as regras em que apenas consideram informação referente aos trabalhos. No entanto, os valores de

desempenho avaliados estão maioritariamente relacionados com a previsibilidade das regras (por exemplo, a proximidade entre as datas de entrega e as datas de conclusão). Embora a capacidade de previsão das regras seja desejável, os erros da previsão são inevitáveis num ambiente real e dinâmico, onde os trabalhos de vários tipos entram e saem do sistema de produção continuamente e de maneira aleatória. Se as datas de entrega dos trabalhos forem definidas com base nas datas de conclusão previstas pelas regras de atribuição, que apresentam previsões sem perturbações, sem margens de segurança, a proporção de trabalhos em atraso pode atingir valores excessivamente altos.

Assim, segundo Chang [16], em vez de usar as datas de conclusão esperadas, para a atribuição da data de entrega, as empresas deverão determinar um nível de rigidez apropriado (por exemplo, acrescentar uma tolerância média do fluxo igual a duas semanas), depois de avaliar as expectativas do cliente, as estratégias de marketing da concorrência e a sua própria capacidade de produção. De seguida uma regra de atribuição pode ser seleccionada para ajustar as datas de entregas, em conjunto com uma regra de despacho e com nível de rigidez desejado (*due date tightness*) de modo a melhorar algumas medidas de desempenho (por exemplo, atraso médio, proporção de trabalhos em atrasos). Compreender as características de várias regras de atribuição da data de entrega assim como a escolha adequada do nível de rigidez é essencial para a selecção apropriada da regra de acordo com as suas condições.

Apenas alguns estudos, Conway [11], Baker [2], Baker e Bertrand [3] [4], compararam o desempenho de várias regras de atribuição da data entrega com níveis de rigidez. No entanto, estas regras foram sempre testadas incluindo somente informações referentes ao trabalho, nunca foram consideradas informações referentes ao sistema.

2.4.3. LANÇAMENTO

O papel das metodologias de ordens de lançamento (*Order Release - OR*) é controlar a transição das ordens da fase de planeamento para a fase de execução. As ordens de produção chegam continuamente ao sistema, no entanto, a sua chegada não obriga o lançamento imediato para o *shop floor*. As ordens são armazenadas numa fila de espera, designada por *pre-shop pool*, funcionando como separador entre o sistema de planeamento e o *shop floor* [26]. Neste sentido OR pode ser considerado como o elo ligação entre o planeamento da produção e o controlo da produção [63].

Apenas um subconjunto de ordens, presentes na fila de espera, será lançado a cada vez que a regra de lançamento é activada. Nestas alturas são realizadas pesquisas por toda a fila, determinando quais as ordens que têm permissão de lançamento para o *shop floor*. Os principais objectivos desta metodologia são controlar o WIP e a harmonia da carga de trabalho entre as máquinas e o tempo. Por sua vez, estes objectivos asseguram uma boa utilização do sistema de fabrico e uma melhoria no desempenho ao nível dos prazos de entrega.

Segundo D. Bergamaschi [13], as técnicas de lançamento podem ser classificadas em dois tipos, estando a classificação associada ao mecanismo que acciona o lançamento de uma ou mais ordens: em função da carga (*load limited methodologies*) ou em função do tempo (*time phased methodologies*).

O mecanismo de lançamento *Load limited* é executado a qualquer altura no tempo. Enquanto o limite de carga pré-definido do sistema não é atingido, processa-se o lançamento das ordens em *pre-shop* para execução, logo a questão principal é descobrir qual a sequência correcta de envio. Esta avaliação é feita de acordo com as características das ordens de trabalho e com a informação existente sobre a carga total no sistema produtivo.

Em contraste com a anterior, na abordagem de OR *time phased* é definido um determinado período de tempo para cada ordem e o lançamento é realizado quando esse tempo é atingido, sem considerar a carga existente no sistema. Como consequência estes métodos são baseados nas características dos trabalhos, tais como: datas de entrega, gama operatória.

Vários artigos tiveram como base o princípio de limitar a carga que entra no *shop-floor* (por exemplo, Bechte [5] [6] e Wiendahl [59] [60]). Bechte apresentou uma técnica de OR que visava controlar os *lead times* impondo limitações ao nível de WIP para cada máquina, a fim de controlar a carga de trabalho sem afectar a produtividade. O balanceamento da carga pelas diferentes máquinas, foi desde cedo reconhecido como um aspecto principal do WLC.

No entanto, Ragatz e Mabert [47], Park e Bobrowski [39] e Philipoom e outros [42] comprovaram que o processo de lançamento em função do tempo apresenta melhor desempenho em diversas situações, especialmente quando estão associados a estes

métodos regras de despacho não orientadas à data de entrega. Este resultado, em conjunto com a sua maior simplicidade de processo, sugere que estes sistemas ajustam-se bem a casos práticos.

2.4.4. DESPACHO

O despacho é realizado ao nível do *shop-floor* e está encarregue de escolher por entre os trabalhos que se encontram em fila de espera, aquele que deve iniciar o processamento numa máquina que esteja livre [37]. O sistema de prioridades é assim calculado de acordo com uma regra pré-estabelecida, definindo assim uma sequência operatória. Conway e outros [11] foram os primeiros a estudar a sequenciação em ambiente *job-shop*. As regras abordadas nestes estudos originaram centenas de novas regras de prioridade. Panwalkar e Iskander [38], Blackstone e outros [10] dão revisões extensivas sobre este tema. Muitos investigadores mostraram interesse na interação entre as técnicas de OR e despacho. Nicholson e Pullen [36] e Melnyk e Ragatz [27] sugeriram nos seus estudos que com um controlo cuidado do lançamento, regras sofisticadas de despacho poderão ser substituídas por regras simples do tipo *First-Come-First-Served* (FCFS) sem comprometer o desempenho do sistema. Não obstante, outros autores, como Bertrand [8] mostraram que com a mesma técnica de OR, a regra despacho SPT pode alcançar melhores desempenhos do que a FCFS. Ragatz e Mabert [47] investigaram este tópico comparando cinco técnicas de lançamento em combinação com quatro regras de despacho. O estudo concluiu que a os melhores resultados são atingidos quando são usadas regras de despacho que não incorporam informação da data de entrega.

As regras de prioridade podem ser classificadas de acordo com a sua influência no desempenho do sistema: conservação do fluxo (*Conserving flow*), melhoria da produtividade (*Improving throughput*) e redução da dispersão de atrasos (*reducing lateness dispersion*) [19].

Uma regra típica de conservação do fluxo é a FCFS. Para a regra FCFS a prioridade é dada ao trabalho que chega primeiro à máquina. Deste modo, garante a menor variação entre os tempos de percurso dos trabalhos. Numa simulação, com a regra FCFS podemos identificar a influência no sistema de outras regras de decisão precedentes ao despacho. Usualmente a regra de FCFS é incluída apenas como regra de *benchmark*.

A melhoria da produtividade pode surgir com o aumento da saída por unidade de tempo, ou reduzindo-se os tempos de produção. Podemos distinguir duas maneiras de melhorar a produtividade por sequenciação dos trabalhos: escolher encomendas de acordo com as suas características de processamento, ou definir a sequenciação em função da carga de trabalho actual. Para uma única máquina pode-se facilmente mostrar que seleccionando da fila de espera o trabalho com o menor tempo de processamento obteremos a média de trabalhos com menor tempo de processamento. A eficácia da regra *Shortest Processing Time* (SPT) aumenta quando existe uma grande variedade de tempos de processamento e quando as filas de espera são longas, que por sua vez podem resultar, por exemplo, em altos níveis de utilização. Sendo a prioridade atribuída a trabalhos com o menor tempo de processamento, estes serão os primeiros a estarem disponíveis para outras máquinas, o que poderá diminuir o tempo de espera (*idle*) nessas máquinas, contribuindo para a produtividade.

A informação sobre datas de entrega pode ser usada para reduzir a dispersão de atrasos. Basicamente a ideia é dar prioridade a trabalhos que apontam para o maior desvio em relação à data de entrega. Muitas regras foram sugeridas com esta finalidade, no entanto, diferem fortemente no que diz respeito à complexidade. A regra mais simples é, provavelmente, a *Earliest Due Data* (EDD). Por si só esta regra é suficiente para determinar a prioridade de um trabalho, sendo a mesma prioridade inalterável ao longo do tempo. Noutras regras, usualmente mais complexas, o sistema de prioridade é designado em função da folga, por exemplo *Slack time Remaining* (STR). A folga de um trabalho é determinada pelo tempo restante até a sua data de entrega menos o seu tempo de processamento em falta. Este tempo de processamento diminui após cada operação. Com datas de entrega alargadas, em particular, regras orientadas à data de entrega, permitem aumentar a proporção de trabalhos terminados a tempo.

3. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO DE 4 NÍVEIS

Neste capítulo iremos referir a importância destes sistemas de decisão para a realidade empresarial em geral e em particular para o tecido industrial português constituído maioritariamente por PME's. É feita uma revisão bibliográfica sobre o esquema múltiplo de decisão proposto, assim como explicado o seu valor acrescentado. Por fim, iremos descrever o sistema implementado, apresentar e discutir os resultados obtidos.

3.1. REALIDADE EMPRESARIAL

À semelhança de outros países europeus, em Portugal a importância das PME's para a economia é grande. Segundo dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), relativos a 2005, as PME's representam 99,6% do tecido empresarial, geram 75,2% do emprego e realizam 56,4% do volume de negócios nacional. No que respeita à indústria transformadora, esta constitui uma parte significativa do tecido empresarial, cerca de 14%. Segundo Paulo Peixoto, vice-presidente da PME Portugal, este cenário não evita o principal problema das PME's, a cada vez mais falta de liquidez e de alavancagem financeira, que lhe permitam manter-se competitivas. Neste contexto, as empresas não tem

fundo de maneiio suficiente para implementar novas medidas de competitividade, tais como a inovação, a integração de sistema de informação, uma vez que significavam um enorme investimento financeiro.

A tecnologia da informação é uma importante ferramenta aplicada na dinamização, organização e na automação do fluxo de informação nas empresas. Este tipo de tecnologia permite às empresas obter e promover vantagens competitivas e um melhor serviço aos clientes. A velocidade de mudança, a dinâmica empresarial e o volume de informações são aspectos que necessitam de gestão e controlo aprimorado e, preferencialmente, automatizado. Os benefícios podem ser significativos quando a tecnologia de informação é aplicada correctamente e os sistemas de informação são efectivos, objectivos, modernos e direccionados a auxiliar o processo de tomada de decisão [40].

Uma alternativa aos altos preços das licenças de softwares proprietários, passa pela aquisição de pequenas aplicações as quais permitem estruturar, controlar e garantir o máximo desempenho das empresas. Softwares, tais como o proposto neste trabalho, para pequenas organizações, como as PME, mostram-se uma mais-valia para o seu sistema de produção. Problemas, tais como o controlo da quantidade de m teria-prima necessária para satisfazer as encomendas, o controlo de carga de trabalho existente para cada secção e por tipo de produto, a capacidade de gerir centenas de referências de produtos correctamente, a determinação do custo real de cada produto e metodologia de custo standard, e a facilidade na introdução de todos os dados, poderão ser minorados ou mesmo facilitados.

3.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O WLC tem atraído extrema atenção por parte dos investigadores. No entanto a maior parte dos estudos realizados centram-se no controlo da carga depois da aceitação das ordens. OR, tradicionalmente, é o método mais comum de controlo. Com o uso de uma regra de rejeição apropriada, poderá ser vantajoso para todo o sistema. Quando a capacidade é fixa e a procura   elevada, as empresas têm de decidir quais as ordens que devem aceitar e quais as que devem rejeitar. Rejeitar, por vezes, poderá ser a melhor opção tendo em conta as limitações da capacidade Wester e outros [58], Nandi and Rogers [35], Moreira e Alves [32] são alguns dos artigos onde é analisada a possibilidade de aceitar/rejeitar uma ordem.

Moreira e Alves [32] apresentam uma nova regra de aceitação/rejeição, onde é testada a importância de existir uma etapa de negociação antes da decisão definitiva de rejeitar uma ordem. A regra é designada por *Due Date Negotiation* (DDN). Esta toma em conta três tipos de informação: a carga total dos trabalhos em processamento mais os trabalhos à espera do seu lançamento (*pre shop*); uma tolerância pré-definida da carga (margem de negociação); e a data de entrega do trabalho. A ideia geral é permitir a aceitação de novas ordens quando o limite de carga definido é excedido apenas por uma pequena percentagem. Com esta regra o número de ordens rejeitadas diminui e o congestionamento da data de entrega é controlado através de uma negociação da data de entrega.

O sistema múltiplo de apoio à decisão é um conceito muito recente. Moreira e Alves [33] apresentaram um sistema apoiado em quatro níveis de decisão: aceitar, rejeitar ou negociar uma encomenda; definir a data entrega; dar a ordem de lançamento; definir a sequência de processamento. Moreira e Alves [33] afirmaram que num sistema do tipo *job-shop* era necessário um sistema global que permitisse o controlo das entradas, assim como o WIP, de forma a aumentar o desempenho do sistema. Consideraram que concentrando o escalonamento apenas em alguns mecanismos de decisão a solução final seria “sub-ótima”.

O sistema apresentado neste trabalho tem como referência o sistema múltiplo de decisão apresentado por Moreira e Alves [33]. Seguindo a linha de investigação do artigo fonte, e as recomendações de trabalho futuro aí sugeridas, foram incluídas e testadas diferentes regras de decisão. Optou-se por incluir, assim, duas regras de despacho: SPT e STR. Esta escolha teve como principal objectivo testar o sistema perante novos factores que influenciariam o seu desempenho. Assim, ao nível do despacho, o sistema de decisão é avaliada para as seguintes regras: FCFS, EDD, STR, SPT. Podemos então definir o sistema de prioridade em função da data de entrega (EDD), da folga (STR), e dos tempos de processamento (SPT).

Outro aspecto de diferenciação, em comparação com esquema proposto por Moreira e Alves [33], ao nível da estrutura do sistema de decisão, passa pela não inclusão da regra de lançamento *Planned Input/Output Control* (PIOC). Achamos que esta regra não é comparável com as restantes, uma vez que seria possível aumentar a capacidade do sistema de produção, de modo a melhorar o seu desempenho.

Por último referir ainda uma importante diferença na plataforma de programação do sistema. Este trabalho foi desenvolvido de raiz em VBA – Excel. Esta linguagem de programação, em comparação com o sistema anteriormente proposto (software Arena), permite reestruturar, adaptar o sistema muito mais facilmente, de acordo com as necessidades do utilizador, quer para fins académicos (ambientes de simulação) quer para empresas que o desejam implementar (ambiente reais). Será muito mais fácil, por exemplo, acrescentar uma nova regra de controlo de decisão, quer ao nível da aceitação/rejeição, do lançamento e do despacho, ou ajustar o sistema ao número de estágios de produção existentes numa fábrica. Simplifica ainda o processo de desenvolvimento futuro do sistema.

3.3. ESQUEMA MÚLTIPLO DE TOMADA DE DECISÃO

O sistema de controlo de produção, baseado no sistema apresentado por Moreira e Alves [33], esta assente em quatro decisões:

- Aceitar, rejeitar ou negociar uma encomenda;
- Definir a data de entrega da encomenda;
- Dar a ordem de lançamento de uma encomenda para o *shop-floor* (chão-de-fábrica);
- Definir a sequência na qual as ordens serão processadas no *shop-floor*.

Como podemos verificar na figura 4, assim que uma encomenda é recebida e são definidas as suas características (por exemplo, gama operatória, tempos processamento), a encomenda aguarda pela aceitação num arquivo de ordens pendentes. Ao analisar informações referentes ao sistema (por exemplo, capacidade) e à ordem (por exemplo, preço, data entrega), a primeira decisão a ser tomada é aceitar, rejeitar, ou negociar, dependendo da regra de decisão utilizada.

Ao mesmo tempo, é atribuída uma data de entrega. Nesta etapa pode ocorrer uma negociação com o cliente. Para o cálculo deste prazo, normalmente, são consideradas informações referentes sobre a própria encomenda (por exemplo, o número de operações, tempos de processamento) e sobre o estado do sistema (por exemplo, a carga de trabalho nas máquinas e nas filas).

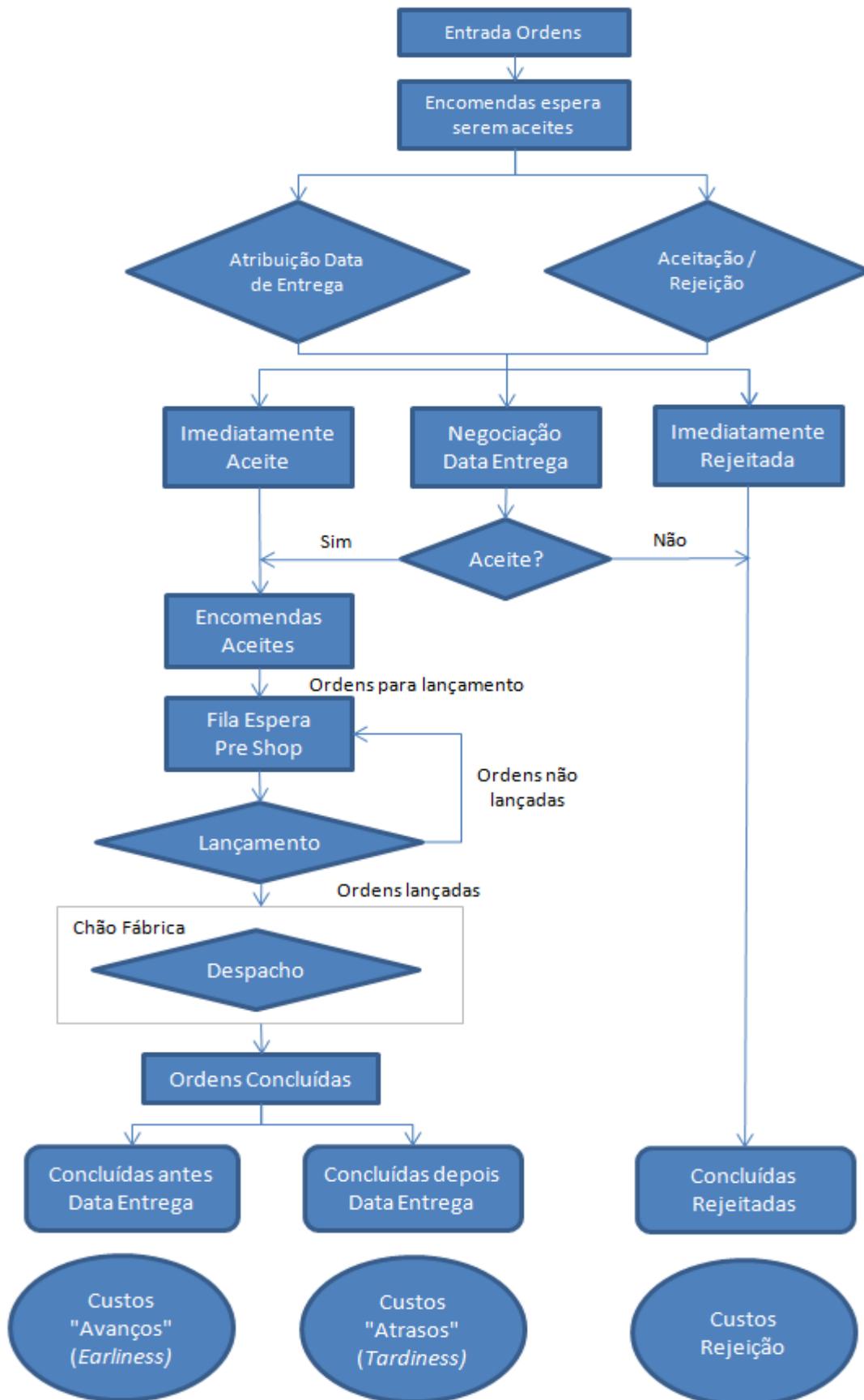


Figura 4 Fluxograma de múltiplas tomadas de decisão [33]

Caso a encomenda seja aceite, a ordem é colocada em fila de espera (*pre-shop pool*). Ao mesmo tempo, é atribuída a cada ordem uma data de lançamento (*release date*) e a encomenda só é enviada para processamento assim que este prazo é alcançado. A data de lançamento, da mesma forma que a data de entrega, considera informações referentes à própria encomenda assim como do congestionamento do *shop-floor*. Esta ordem tem como função o controlo do WIP.

Alcançada a data de lançamento, o trabalho é colocado numa fila de espera, caso a primeira máquina da sua gama operatória se encontre ocupada, se estiver livre (*idle*) é iniciado o processamento. Assim que a operação termina o trabalho volta para a fila de espera, onde aguarda a sua vez para iniciar processamento na segunda máquina da sua gama operatória. A decisão que define a ordem de processamento das encomendas em espera é designada por despacho (*dispatching*). O sistema de prioridades é definido segundo o critério privilegiado pela regra de despacho atribuída. Quando uma encomenda é concluída, e o prazo de entrega não foi alcançado, esta é colocada no inventário de encomendas prontas, uma vez que não são admitidas entregas adiantadas. Caso este prazo seja excedido a encomenda é imediatamente entregue.

3.3.1. ACEITAR, REJEITAR OU NEGOCIAR UMA ENCOMENDA

Associada à primeira decisão (aceitação/rejeição), são consideradas três regras:

- Aceitação total (*Total Acceptance*) (TA);
- Aceitação baseada na carga de trabalho presente e futura (*Acceptance based on the Present and Future Workload*) (PFW);
- Negociação da data entrega (*Due Date Negotiation*) (DDN).

O mecanismo de aceitação TA é usado como referência. Apresentado por Moreira e Alves [33], a regra DDN considera três tipos de informação:

- A carga total dos trabalhos em processamento mais os trabalhos em espera para lançamento (*pré-shop*).
- Uma tolerância predefinida do limite da carga de trabalho.
- Data de entrega das encomendas.

A principal condição de aceitação/rejeição é assente entre a carga total do sistema (*total workload*) e o limite de carga (*workload limit*). Caso a carga total não exceda o limite proposto, a encomenda é aceite, se isto não se verificar podem ocorrer duas situações: a encomenda é rejeitada, ou é negociada um novo prazo de entrega. A negociação é possível caso o excesso de carga seja permitido. Esta margem é definida por um parâmetro designado por margem de negociação. A probabilidade de um cliente aceitar esta negociação, aceitando uma extensão da data de entrega, é igualmente definida previamente. Este valor pretende ser baixo, de modo a tornar mais realista. Se o novo prazo de entrega não seja aceite a encomenda é rejeitada. Com esta regra, o número de encomendas rejeitadas diminui e o congestionamento é controlado. Na tabela 1 são enumerados todos os parâmetros a definir pela regra DDN.

O limite de carga de trabalho (*workload limit*) (L_{Max}) depende do número de operações necessárias para a conclusão da encomenda, que aguarda aceitação, e da sua data de entrega. A fórmula (6) mostra como é calculado.

$$L_{Max} = \frac{66*(data\ entrega - data\ actual)}{Numero\ operações\ da\ encomenda} \quad (6)$$

Quanto maior for a diferença entre a data actual e a data entrega, maior a possibilidade de entregar a ordem a tempo. No entanto, quanto maior for o número de máquinas que a ordem tem de visitar maior será a carga trabalho.

Tabela 1 Parâmetros DDN

Parâmetros	Descrição
L_{Max}	Limite carga trabalho para aceitação
Ddd	Atraso (percentagem) em relação a data de entrega original
Nm	Margem de negociação
Pa	Percentagem clientes que aceita a nova data entrega

O valor 66, presente na fórmula (6), seguindo o procedimento de Moreira e Alves [33], é definido de modo que a percentagem média de encomendas rejeitadas seja 5%, quando as regras DDN, IMR e FCFS são usadas. De modo a que seja possível uma validação dos resultados, os parâmetros DDN foram definidos de acordo com os valores presentes em Moreira e Alves [33]. Assim, atraso da data entrega original (*Ddd*) é igual a 5 %. A margem de negociação é igual a 10%. Como queremos controlar a carga de trabalho, esta percentagem deve ser pequena. O parâmetro *Pa* corresponde à percentagem de clientes que aceitam a extensão da data entrega original. O *Pa* é estabelecido para 70 %.

O algoritmo que implementa esta regra é o seguinte:

```

Case Is = "DDN"

    If total_workload <= workload_limit Then      'verificar Lmax

        accept_reject = 1

    Else

        If total_workload >= (workload_limit * 1.1) Then      'Margem negociação Nm = 10%

            accept_reject = 0

            numero_encomenda = numero_encomenda - 1

            num_encomendas_rejeitadas = num_encomendas_rejeitadas + 1

        Else

            aux2 = (data_entrega - data_chegada) * 1.05      ' Ddd = 5%

            data_entrega = data_entrega + aux2

            numero = Rnd()

            If numero >= 0.3 Then      'apenas 70% das negociações são aceites

                accept_reject = 1

                num_encomendas_negociadas_aceite = num_encomendas_negociadas_aceite + 1

            Else

                accept_reject = 0

                numero_encomenda = numero_encomenda - 1

                num_encomendas_negociadas_rejeitada = num_encomendas_negociadas_rejeitada + 1

            End If

        End If

    End If

```

A regra PFW, apresentado por Nandi [34] já só verifica uma condição: se a nova encomenda provocar um excesso de carga, face ao limite definido, a encomenda é aceite de outra forma é rejeitado. O único objectivo desta regra é manter a carga total controlada

(*total workload*), não permitindo ultrapassar o seu limite (*workload limit*). Ambos os conceitos aqui considerados, são calculados da mesma forma que para a regra DDN. O algoritmo que implementa esta regra é o seguinte:

```
Case Is = "PFW"
  If total_workload < workload_limit Then
    accept_reject = 1      'encomenda aceite
  Else
    accept_reject = 0
    num_encomendas_rejeitadas = num_encomendas_rejeitadas + 1
  End If
```

3.3.2. DEFINIÇÃO DA DATA DE ENTREGA

Como vimos anteriormente, a data de entrega pode ser escrita como a sua data de chegada mais uma margem. Esta data é atribuída ao mesmo tempo que se decide se uma encomenda é aceite ou não. Neste trabalho iremos considerar apenas a regra TWK, uma vez que ao variar o factor K_{TWK} é possível ir ao encontro de outras regras. Assim, a margem é calculada em função do tempo total de processamento de cada encomenda. A data de entrega é calculada da seguinte forma:

$$DD_j = AD_j + K_{TWK} * P_j \quad (7)$$

onde DD_j é a data entrega do trabalho j ; AD_j a data chegada; P_j o tempo de processamento do trabalho j ; e K_{TWK} o factor de planeamento.

3.3.3. DEFINIÇÃO DA DATA LANÇAMENTO

Assim que é aceite a encomenda é enviada para uma fila de espera, onde aguarda pelo seu lançamento. Esta decisão dá-se assim que a data de lançamento é atingida. À semelhança do artigo proposto por Moreira e Alves, consideramos três regras de OR:

- *Immediate release* (IMR);
- *Backward infinite loading* (BIL);
- *Modified infinite loading* (MIL).

Para a regra IMR, a encomenda não aguarda pelo lançamento. Assim que é aceite a encomenda é enviada para processamento. Esta regra é usada como referencia (*benchmark*). Na BIL a encomenda já necessita aguardar pela ordem de lançamento. A data de lançamento é calculada, deduzindo à data de entrega o tempo de fluxo esperado do trabalho.

$$RD_j = DD_j - K_{1BIL} * n_j \quad (8)$$

A regra MIL, à semelhança com a regra BIL, ignora a capacidade total do sistema, no entanto acrescenta um factor (Q_j) que pretende ser indicativo do tempo de fluxo do trabalho. A MIL determina a data de lançamento da seguinte forma:

$$RD_j = DD_j - K_{1MIL} * n_j - K_{2MIL} * Q_j \quad (9)$$

onde RD_j é a data de lançamento do trabalho j ; DD_j a data entrega do trabalho j ; n_j o número de operações do trabalho j ; Q_j o número de trabalhos em espera (*shop-floor*) que concorrem pelas mesmas máquinas que o trabalho j ; e K_{1MIL} , K_{2MIL} são factores de planeamento.

O algoritmo que implementa esta regra é o seguinte:

```

Case Is = "MIL"
  For i = 1 To num_operacao
    For j = 1 To num_fila_espera
      If gama_operatoria_prov(i) = fila_espera(j).processador Then
        Qi = Qi + 1
      End If
    Next
  Next
  release_date = Round(data_entrega - (K1MIL * num_operacao) - (K2MIL * Qi))
  If release_date < tempo_actual Then
    release_date = tempo_actual
  End If

```

3.3.4. DESPACHO

Após o lançamento, sempre que uma máquina esteja livre, é activado o sistema de despacho. As regras de despacho consideradas são:

- *First-come-first-served* (FCFS);
- *Earliest due date* (EDD);
- *Shortest processing time* (SPT);
- *Slack Time Remaining* (STR).

A regra FCFS não define um sistema de prioridade; a primeira ordem a chegar é a primeira a ser enviada para processamento. Esta é considerada uma regra de referência. Na regra EDD a prioridade é atribuída em função da sua data de entrega; o trabalho que apresente a data mais recente terá prioridade sobre os restantes. Para a regra SPT o escalonamento dos trabalhos é executado de acordo com o tempo de processamento; a operação que apresente o menor tempo de processamento será o primeiro a ser processado. A regra STR dá prioridade aos trabalhos que se encontrem mais próximos da sua data de entrega. É calculada a folga entre a data actual e a data de entrega para cada encomenda e a que for menor é a que é carregada na máquina.

3.4. FACTORES EXPERIMENTAIS

Neste trabalho é considerado um sistema do tipo 3 x 4 x 3 x 4. São consideradas:

- três regras de aceitação/rejeição;
- quatro níveis de flexibilidade no cálculo da data entrega;
- três regras de lançamento;
- quatro regras de despacho.

De modo a ser possível uma validação dos resultados, adoptamos as mesmas condições que foram apresentadas por Moreira e Alves [33], para o factor de planeamento k_{TWK} . Assim, encontramos os valores 6.9, 12.5, 22 e 33.8, de modo a atingir uma percentagem de 50%, 25%, 10% e 5%, respectivamente, para as condições de TA, IMR, FCFS.

Todos os outros factores de planeamento (k_{BIL} , k_{1MIL} , k_{2MIL}), usados no cálculo das datas de lançamento, são definidos para 90, sendo assim representativos do tempo médio (em minutos) de uma operação.

3.5. ESTATÍSTICAS DO DESEMPENHO

Uma vez mais foram, tendo como base o estudo desenvolvido por Moreira e Alves [33], foram considerados nove critérios de optimalidade:

- Atraso médio, percentagem de trabalhos tardios, proporção de ordens rejeitadas e desvio médio absoluto, indicativas da satisfação do cliente.
- Tempo médio espera em *pre shop*, tempo médio espera em *shop floor*, tempo médio espera em produto pronto, tempo médio total em sistema, utilização do sistema, indicativas do impacto da carga no *shop-floor*.

3.6. MODELO DE SIMULAÇÃO

Á semelhança do sistema apresentado por Moreira e Alves [33], cada estágio apresenta uma única máquina, correspondendo a uma única operação, e pode processar somente um trabalho de cada vez. As máquinas estão em funcionamento durante oito horas por dia e não são aceites reentradas. As encomendas chegam ao sistema de acordo com uma distribuição de *Poisson*, $\phi=1,5$ horas. A aplicação desenvolvida admite até 20 estágios de produção, no entanto para fins experimentais, e em comparação com o sistema anteriormente apresentado [33], iremos considerar seis estágios no máximo. Assim, o número de operações para cada encomenda é dado por uma distribuição uniforme de [1, 6]. A gama operatória é aleatória, tendo a primeira operação uma probabilidade igual de ser processada em qualquer máquina, até ao fim do seu processamento. O tempo de processamento de todas as operações é definido por uma distribuição exponencial negativa de $\lambda=1,5$ horas, uma vez ser mais representativa da vida útil do sistema.

3.7. MANUAL DO SOFTWARE

O sistema múltiplo de decisão foi desenvolvido em VBA – Excel.

4. RESULTADOS

4.1. RECOLHA DE DADOS

Seguindo o mesmo procedimento estudado por Moreira e Alves [33], foi considerado um período de aquecimento (*warm up*) de 10000 horas. No fim deste tempo, todas as estatísticas foram reiniciadas. As estatísticas foram recolhidas ao fim de 90000 horas de simulação. Para cada combinação das quatro regras de decisão, foram executadas dez réplicas.

4.2. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste ponto serão analisadas todas as estatísticas de desempenho, evidenciando as melhores combinações para cada uma.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados em relação ao atraso médio. O atraso médio representa o tempo médio de todas as encomendas que foram entregues depois da data de entrega.

$$Atraso = \text{Max}(\text{Data Entrega} - \text{Data Conclusão}, 0)$$

$$T_{med} = \frac{\sum Atraso}{\text{Numero Total Encomendas}}, \text{ para } Atraso < 0 \quad (10)$$

Tabela 2 Atraso médio

Atraso Médio (dias)																	
		Regras de despacho															
		FCFS				EDD				SPT				STR			
A/R	O/R	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8
	IMR	1,49	0,61	0,22	0,09	0,58	0,03	0,00	0,00	0,26	0,12	0,04	0,02	0,61	0,02	0,00	0,00
TA	BIL	4,74	4,75	4,73	4,80	4,54	4,57	4,61	4,54	1,77	1,79	1,77	1,78	4,75	4,75	4,68	4,73
	MIL	3,21	3,07	2,81	2,52	2,23	1,75	1,55	1,48	1,16	1,12	1,03	0,98	2,31	1,85	1,56	1,50
	IMR	0,93	0,48	0,17	0,08	0,26	0,01	0,00	0,00	0,23	0,12	0,04	0,01	0,30	0,02	0,00	0,00
PFW	BIL	2,80	3,24	3,60	3,79	2,81	3,21	3,51	3,67	1,50	1,62	1,68	1,71	2,94	3,32	3,59	3,81
	MIL	1,71	1,75	1,69	1,69	1,44	1,39	1,40	1,38	0,93	0,94	0,93	0,93	1,51	1,45	1,40	1,40
	IMR	0,99	0,49	0,18	0,08	0,29	0,01	0,00	0,00	0,23	0,12	0,05	0,01	0,33	0,02	0,00	0,00
DDN	BIL	2,91	3,39	3,76	3,94	2,93	3,38	3,65	3,80	1,53	1,65	1,71	1,73	3,08	3,45	3,73	3,94
	MIL	1,79	1,83	1,78	1,73	1,50	1,43	1,40	1,42	0,96	0,97	0,94	0,95	1,55	1,47	1,42	1,44

As regras aceitação/rejeição (A/R) PFW e DDN apresentam os melhores resultados. Este resultado deve-se ao volume de encomendas em sistema. Para estas regras existem rejeição, logo o número de encomendas em sistema será menor. Para as condições de TA, todas as encomendas que chegam ao sistema são aceites, sem restrições. A diferença de valores entre estas duas últimas regras (PFW e DDN) deve-se ao facto da possível negociação da data de entrega na regra DDN.

No que respeita as regras de lançamento (O/R), a regra que apresenta melhor desempenho é a regra IMR. A encomenda quando chega à fábrica, assim que é aceite, é enviada para produção, ao contrário das restantes (BIL e MIL).

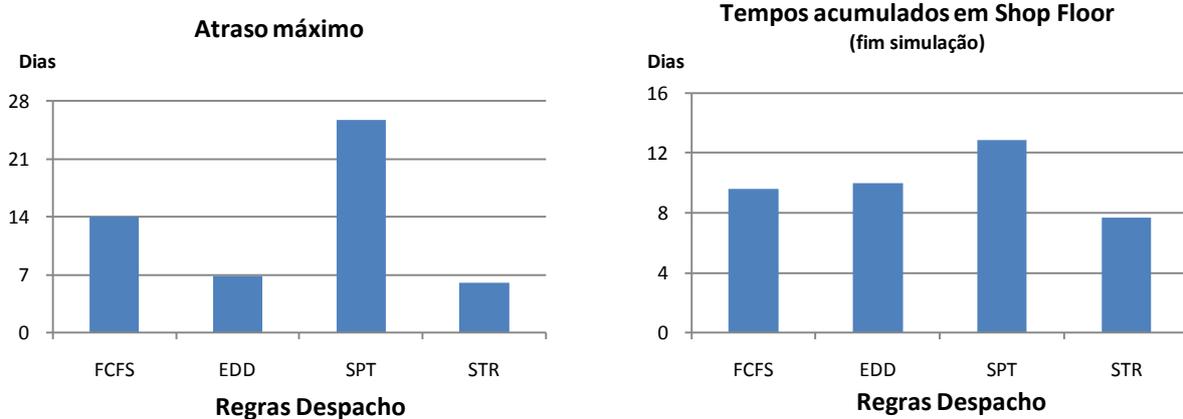


Figura 6 Medidas de desempenho das regras de despacho (PFW + MIL)

Nestas condições, a regra IMR proporciona uma janela temporal para produção maior, logo o seu processamento é finalizado mais cedo. Este resultado é beneficiado com o aumento do factor de planeamento k_{TWK} . Quanto maior for este factor, maior será o tempo de produção admissível, logo o atraso diminui substancialmente. As regras BIL e MIL tendem a compensar o cálculo da data de entrega, mantendo o tempo útil para produção, assim, independentemente do factor k_{TWK} , os resultados permanecem praticamente inalteráveis.

No que respeita as regras de despacho, a que apresenta melhor desempenho é a SPT. Os trabalhos com menores tempos de processamento “viajam” mais rapidamente através do sistema de produção, logo, há mais trabalhos a terminarem o seu processamento dentro do prazo. Por outro lado, os trabalhos com grandes tempos de processamento vão ficando para trás. Verifica-se assim, para a mesma regra, os maiores atrasos e o maior número de trabalhos pendentes em *shop floor*, para os mesmos instantes (ver Figura 7). As regras EDD e STR apresentam resultados semelhantes. No entanto, para a STR podemos verificar que, ao longo do tempo, o congestionamento em *shop floor* não é tão elevado.

A percentagem de trabalhos em atraso (Tabela 3), refere-se a todas as encomendas que foram entregues depois da sua data entrega prevista. Em comparação com a tabela 2 os melhores resultados já se verificam para as combinações TA, IMR, SPT.

Tabela 3 Percentagem trabalhos em atraso

		Trabalhos Atrasados (%)															
		Regras de Despacho															
		FCFS				EDD				SPT				STR			
A/R	O/R	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8
	IMR	0,50	0,24	0,10	0,05	0,29	0,02	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,32	0,02	0,00	0,00
TA	BIL	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,90	0,90	0,90	0,90	0,98	0,98	0,98	0,98
	MIL	0,83	0,75	0,68	0,64	0,82	0,73	0,66	0,61	0,36	0,36	0,36	0,37	0,84	0,75	0,67	0,62
PF	IMR	0,42	0,21	0,09	0,04	0,19	0,01	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,22	0,01	0,00	0,00
W	BIL	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98	0,98	0,98	0,93	0,94	0,94	0,95	0,97	0,98	0,98	0,98
	MIL	0,77	0,71	0,66	0,64	0,78	0,73	0,69	0,66	0,45	0,44	0,45	0,46	0,80	0,74	0,70	0,68
DDN	IMR	0,43	0,22	0,09	0,04	0,21	0,01	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,24	0,02	0,00	0,00
	BIL	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98	0,98	0,98	0,93	0,94	0,94	0,94	0,97	0,98	0,98	0,98
	MIL	0,78	0,71	0,66	0,64	0,78	0,72	0,68	0,66	0,43	0,43	0,44	0,44	0,80	0,74	0,69	0,67

Tabela 4 Proporção trabalhos rejeitados

Proporcao Trabalhos Rejeitados (%)																	
		Regras de despacho															
		FCFS				EDD				SPT				STR			
A/R	O/R	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8
	IMR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TA	BIL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	MIL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	IMR	0,05	0,02	0,01	0,01	0,05	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,05	0,03	0,01	0,01
PFW	BIL	0,19	0,18	0,17	0,16	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,19	0,17	0,16	0,16
	MIL	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,12	0,13	0,13	0,14	0,13	0,13	0,13	0,14
	IMR	0,05	0,02	0,01	0,00	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,05	0,02	0,01	0,01
DDN	BIL	0,18	0,16	0,15	0,15	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,17	0,16	0,15	0,14
	MIL	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,10	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12

$$N_T = \frac{\text{Número Encomendas em Atraso}}{\text{Número Total Encomendas}} \quad (11)$$

Na Tabela 4 são apresentados os resultados relativos à proporção de trabalhos que foram rejeitados durante o tempo de simulação. Como era de esperar para a regra TA não existe rejeição. Com é possível negociação das ordens na regra DDN, podemos ver que a rejeição é menor que em PFW. A regra DDN juntamente com a regra IMR e SPT apresenta as menores taxas de rejeição. A SPT apresenta os melhores resultados, o que é coerente com o que foi dito atrás. Como existem menos trabalhos em processamento no sistema, permite uma menor proporção de trabalhos rejeitados.

$$\text{Proporção} = \frac{\text{Número Encomendas Rejeitadas}}{\text{Número Total Encomendas}} \quad (12)$$

O desvio médio absoluto (Tabela 5) representa o desvio médio de tempo apresentado pelo conjunto total de encomendas aceites em relação à data de entrega. Para esta estatística, em comparação com o atraso médio, também são consideradas as encomendas que terminaram o seu processamento antes do prazo entrega. Para uma maior rigidez no cálculo da data de entrega ($k_{TWK} = 6,9$), verificamos um melhor desempenho para a regra IMR, no entanto com o aumento deste factor verificamos que a regra MIL apresenta valores mais favoráveis.

Tabela 5 Desvio médio absoluto

Desvio Médio Absoluto (dias)																	
		Regras de despacho															
		FCFS				EDD				SPT				STR			
A/R	O/R	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8
TA	IMR	0,3	3,3	9,5	17,4	0,7	4,6	11,1	19,0	2,6	6,3	12,6	20,4	0,6	4,6	11,0	19,0
	BIL	4,7	4,7	4,7	4,8	4,5	4,6	4,6	4,5	1,8	1,8	1,8	1,8	4,7	4,7	4,7	4,7
	MIL	3,1	2,8	2,2	1,7	2,1	1,5	1,2	1,0	0,4	0,3	0,2	0,2	2,2	1,7	1,2	1,0
PFW	IMR	0,5	3,7	9,8	17,5	1,2	4,8	11,2	19,1	2,7	6,4	12,6	20,4	1,1	4,8	11,2	19,1
	BIL	2,8	3,2	3,6	3,8	2,8	3,2	3,5	3,7	1,5	1,6	1,7	1,7	2,9	3,3	3,6	3,8
	MIL	1,6	1,5	1,2	1,1	1,3	1,2	1,1	1,0	0,5	0,4	0,4	0,4	1,4	1,2	1,1	1,0
DDN	IMR	0,4	3,6	9,7	17,4	1,2	4,8	11,2	19,1	2,7	6,4	12,6	20,4	1,1	4,7	11,2	19,1
	BIL	2,9	3,4	3,8	3,9	2,9	3,4	3,7	3,8	1,5	1,6	1,7	1,7	3,1	3,4	3,7	3,9
	MIL	1,6	1,5	1,3	1,1	1,4	1,2	1,1	1,0	0,4	0,4	0,4	0,4	1,4	1,3	1,1	1,0

Esta conclusão é verificável para as regras MIL e BIL. Para as condições IMR, com o aumento do factor de planeamento (k_{TWK}) o desvio médio aumenta consideravelmente. Os melhores resultados são atingidos pelas combinações das regras TA, MIL, SPT.

$$D_{Tmed} = \frac{\sum |Data Entrega - Data Conclusão|}{Número Total Encomendas} \quad (13)$$

Na Tabela 6 são apresentados o tempo médio de espera por encomenda em *pre shop*. Este tempo é a diferença entre a data de lançamento e a data de chegada ao sistema. Uma vez existir uma compensação no cálculo da data de lançamento, por parte da regra BIL, face ao aumento do factor de planeamento K_{TWK} , para estas condições, verificam-se os maiores tempos de espera. Como seria de esperar para a regra IMR não existem tempos de espera, já que as encomendas assim que são aceites, são enviadas para processamento.

$$Tempo Espera em Pre Shop = Data Lançamento - Data Chegada$$

$$Tempo Médio espera Pre Shop = \frac{\sum Tempo Espera em Pre Shop}{Número Total Encomendas} \quad (14)$$

Tabela 6 Tempo médio espera em *pre shop*

Tempo Médio em Pre-Shop (dias)																	
		Regras de despacho															
		FCFS				EDD				SPT				STR			
A/R	O/R	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8
	IMR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TA	BIL	4,4	8,1	14,4	22,1	4,4	8,1	14,4	22,2	4,4	8,1	14,4	22,1	4,4	8,1	14,4	22,1
	MIL	1,2	3,4	8,5	15,9	1,4	4,0	9,6	17,2	2,7	6,4	12,7	20,5	1,3	3,9	9,5	17,1
	IMR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PFW	BIL	5,1	9,3	16,5	25,4	5,1	9,3	16,5	25,4	4,9	9,1	16,3	25,1	5,1	9,3	16,5	25,4
	MIL	2,2	5,6	12,4	21,3	2,3	5,8	12,6	21,6	3,5	7,6	14,7	23,6	2,2	5,6	12,5	21,4
	IMR	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DDN	BIL	5,1	9,4	16,5	25,3	5,1	9,3	16,5	25,3	5,0	9,1	16,2	25,0	5,1	9,3	16,4	25,3
	MIL	2,1	5,3	12,0	20,9	2,2	5,6	12,3	21,1	3,5	7,5	14,6	23,4	2,1	5,4	12,2	21,0

Na Tabela 7 são apresentados os tempos médios de espera em *shop floor*. Como podemos verificar a regra de despacho mais eficaz é a SPT, coerente com o que foi referido atrás. Outro factor que influencia estes valores é a regra de A/R. Devido às suas taxas de rejeição, o congestionamento não será o mesmo, logo para as regras de PFW e DDN os tempos de espera são menores em comparação com a TA. O factor de planeamento k_{TWK} tem mais implicações na regra de IMR, o desempenho é melhor para prazos entrega alargados. Para as regras BIL e MIL verifica-se o oposto. Este comportamento pode ser explicado pelo congestionamento verificado em *shop floor*, após o lançamento de ordens em simultâneo, ordens estas que se encontravam retidas em *pre shop*.

Tabela 7 Tempo médio espera em *shop floor*

Tempo Médio de espera em Shop-Floor (dias)																	
		Regras de despacho															
		FCFS				EDD				SPT				STR			
A/R	O/R	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8
	IMR	4,7	4,8	4,8	4,7	3,7	3,5	3,3	3,2	1,8	1,8	1,8	1,8	3,8	3,5	3,3	3,2
TA	BIL	4,7	4,7	4,7	4,8	4,5	4,6	4,6	4,5	1,8	1,8	1,8	1,8	4,7	4,7	4,7	4,7
	MIL	6,3	7,4	8,1	7,9	5,2	5,6	6,0	5,9	2,1	2,0	1,9	1,8	5,3	5,8	6,0	6,0
	IMR	4,1	4,6	4,7	4,8	3,3	3,4	3,3	3,2	1,7	1,8	1,8	1,8	3,5	3,5	3,3	3,2
PFW	BIL	2,7	3,2	3,5	3,7	2,7	3,1	3,4	3,6	1,4	1,5	1,6	1,6	2,8	3,2	3,5	3,7
	MIL	4,1	4,9	4,9	4,7	3,8	4,4	4,5	4,3	1,7	1,7	1,7	1,7	4,0	4,6	4,6	4,5
	IMR	4,2	4,6	4,8	4,8	3,4	3,4	3,3	3,2	1,7	1,8	1,8	1,8	3,5	3,5	3,3	3,2
DDN	BIL	2,8	3,3	3,7	3,9	2,8	3,3	3,6	3,7	1,5	1,6	1,6	1,7	3,0	3,4	3,7	3,9
	MIL	4,4	5,2	5,3	5,0	4,1	4,6	4,8	4,7	1,8	1,8	1,7	1,7	4,2	4,8	4,9	4,8

Tabela 8 Tempo médio espera em produto pronto

Tempo Médio Espera - Produto Pronto (dias)																	
		Regras de despacho															
		FCFS				EDD				SPT				STR			
A/R	O/R	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8
TA	IMR	1,2	3,9	9,7	17,5	1,2	4,7	11,1	19,0	2,9	6,4	12,6	20,4	1,2	4,6	11,0	19,0
	BIL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	MIL	0,1	0,3	0,6	0,8	0,1	0,2	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	0,7	0,1	0,2	0,4	0,5
PFW	IMR	1,4	4,1	9,9	17,5	1,5	4,8	11,2	19,1	2,9	6,5	12,7	20,4	1,4	4,8	11,2	19,1
	BIL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	MIL	0,1	0,3	0,5	0,6	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4
DDN	IMR	1,4	4,1	9,9	17,5	1,5	4,8	11,2	19,1	2,9	6,5	12,7	20,4	1,4	4,8	11,2	19,1
	BIL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	MIL	0,2	0,3	0,5	0,6	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,1	0,2	0,3	0,4

$$Tempo\ Médio\ Espera\ em\ Shop\ Floor = \frac{\sum Tempos\ Espera\ em\ Shop\ Floor}{Número\ Total\ Encomendas} \quad (15)$$

Na Tabela 8 são consideradas todas as encomendas que terminam o seu processamento antes do prazo de entrega. Podemos verificar que as encomendas mantêm-se menos tempo no inventário de produtos prontos, quando a regra BIL é aplicada. Em comparação com a regra MIL, a regra BIL apresenta uma menor compensação no cálculo da data de lançamento. À data de entrega retira apenas uma porção de tempo indicativa do tempo total de processamento. Face aos resultados da Tabela 8, e os da Tabela 3, este tempo mostra-se insuficiente, já que são poucas as encomendas que terminam antes da sua data de entrega. A regra STR apresenta os melhores resultados.

$$Tempos\ Espera\ Produto\ Pronto = Max(Data\ entrega - Data\ Conclusão, 0)$$

$$Tempos\ Médio\ Espera\ Produto\ Pronto = \frac{\sum Tempos\ Espera\ Produto\ Pronto}{Número\ Total\ Encomendas}, Tempos > 0 \quad (16)$$

No que respeita à Tabela 9, à semelhança de resultados anteriores, os melhores desempenhos verificam-se com a regra de rejeição PFW. No entanto, quando é aplicada a regra SPT, o melhor desempenho verifica-se para a regra TA. Os resultados aqui apresentados são coerentes com o que se verificou em estatísticas anteriores.

Tabela 9 Tempo médio no sistema

Tempo Médio em Sistema (dias)																	
		Regras de despacho															
		FCFS				EDD				SPT				STR			
A/R	O/R	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8
	IMR	6,5	9,4	15,2	22,9	5,6	8,8	15,0	22,8	5,3	8,9	15,1	22,8	5,7	8,8	15,0	22,8
TA	BIL	9,8	13,5	19,7	27,6	9,6	13,3	19,6	27,4	6,8	10,5	16,8	24,6	9,8	13,5	19,7	27,5
	MIL	8,3	11,8	17,8	25,3	7,3	10,5	16,6	24,3	6,2	9,9	16,0	23,8	7,4	10,6	16,6	24,3
	IMR	6,2	9,4	15,3	23,0	5,5	9,0	15,2	23,0	5,3	8,9	15,1	22,8	5,6	9,0	15,2	22,9
PFW	BIL	8,5	13,3	20,8	29,9	8,5	13,2	20,7	29,7	7,1	11,4	18,6	27,5	8,7	13,3	20,7	29,9
	MIL	7,3	11,5	18,5	27,3	7,0	11,1	18,2	27,0	6,4	10,6	17,7	26,6	7,0	11,1	18,2	27,0
	IMR	6,2	9,4	15,3	23,0	5,6	8,9	15,2	22,9	5,3	8,9	15,1	22,8	5,6	8,9	15,2	22,9
DDN	BIL	8,7	13,4	21,0	30,0	8,7	13,4	20,8	29,8	7,2	11,5	18,6	27,4	8,9	13,4	20,9	29,9
	MIL	7,4	11,5	18,5	27,3	7,1	11,1	18,1	27,0	6,5	10,6	17,6	26,4	7,1	11,1	18,1	27,0

O tempo em sistema, para a regra IMR, deve-se aos tempos de espera em produto tempo, quanto as regras BIL e MIL estes tempos (Tabela 9) são explicados pelos tempos de espera em *pre-shop*.

Se Data Entrega > Data Conclusão

$$\text{Tempo Total em Sistema} = \text{Max}(\text{Data Entrega} - \text{Data Chegada}, 0)$$

Se Data Entrega < Data Conclusão

$$\text{Tempo Total em Sistema} = \text{Max}(\text{Data Conclusão} - \text{Data Chegada}, 0)$$

$$\text{Tempos Médio Total em Sistema} = \frac{\sum \text{Tempo Total em Sistema}}{\text{Número Total Encomendas}} \quad (17)$$

As taxas de utilização das máquinas (Tabela 10) são claramente afectadas pela regra de rejeição. A possibilidade de rejeição de encomendas (PFW e DDN), traduz-se num menor número de encomendas em sistema, o que certamente faz com que os tempos de espera (*idle*) das máquinas serão maiores. Os níveis inferiores de utilização ocorrem quando é aplicada a regra BIL, isto é coerente com o que foi verificado atrás. Para estas condições os tempos de espera em *pre shop* serão maiores, o que representam, de igual forma, maiores tempos de espera por parte das máquinas.

Tabela 10 Utilização do sistema (máquinas)

Utilização das Máquinas (%)																	
		Regras de despacho															
		FCFS				EDD				SPT				STR			
A/R	O/R	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8	6,9	12,5	22	33,8
TA	IMR	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
	BIL	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
	MIL	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
PFW	IMR	0,87	0,88	0,88	0,88	0,87	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,87	0,88	0,88	0,88
	BIL	0,81	0,83	0,84	0,85	0,82	0,83	0,84	0,85	0,83	0,84	0,85	0,85	0,82	0,83	0,84	0,85
	MIL	0,84	0,85	0,85	0,85	0,84	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84	0,85	0,85	0,85
DDN	IMR	0,87	0,88	0,88	0,88	0,87	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,87	0,88	0,88	0,88
	BIL	0,82	0,84	0,85	0,85	0,82	0,84	0,85	0,85	0,84	0,85	0,85	0,86	0,83	0,84	0,85	0,85
	MIL	0,84	0,85	0,86	0,86	0,85	0,85	0,86	0,86	0,85	0,86	0,86	0,86	0,85	0,86	0,86	0,86

$$\text{Tempo Utilização Médio Máquina} = \frac{\text{Tempo utilização Máquina}}{\text{Número Total Máquinas}}$$

$$U_{med}(\%) = \frac{\text{Tempo Utilização Médio Máquina}}{\text{Tempo Simulação} - \text{Tempo Warm Up}} \quad (18)$$

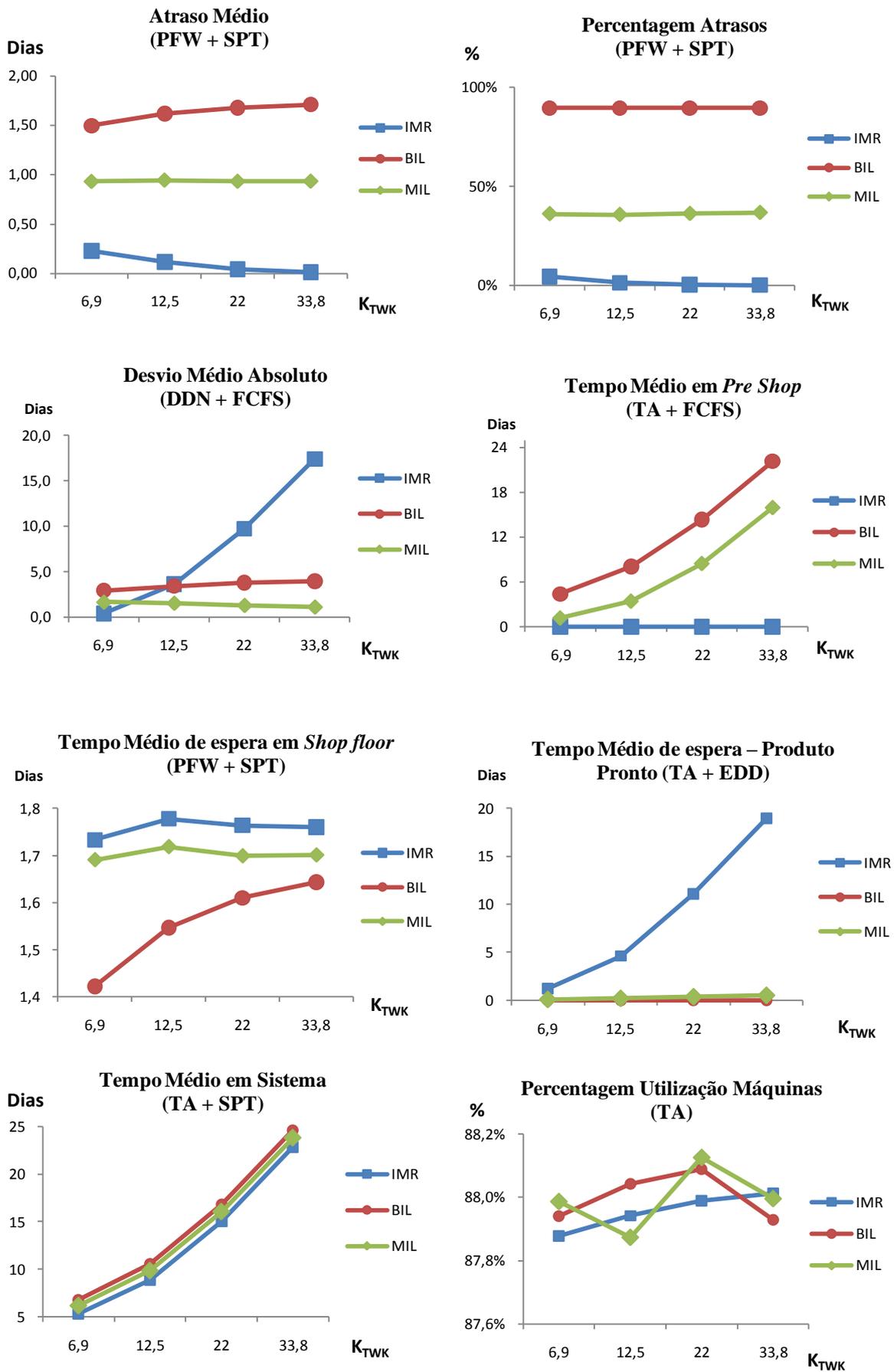


Figura 7 Medidas de desempenho na melhor combinação de regras de decisão

5. CONCLUSÕES

O *job shop* é um sistema produtivo comum nas PMEs. Estas operam no sector da produção por encomenda (MTO). Geralmente são sistemas onde são produzidos grandes variedades de produtos e a produção é orientada ao cliente, normalmente em pequenas quantidades e de acordo com os requisitos do cliente. Num sistema produtivo tão dinâmico, é evidente a importância do controlo da actividade de produção.

O principal objectivo deste trabalho foi implementar novas regras de decisão no esquema múltiplo de decisão apresentado por Moreira e Alves [33]. Optou-se por incluir duas diferentes regras, ao nível do despacho: SPT e STR. Com isto foi possível testar o sistema perante novos sistemas de prioridade.

Foram implementadas quatro diferentes níveis de decisão (aceitação/rejeição das encomendas, atribuição data de entrega, ordem de lançamento, e despacho), sendo avaliadas as interacções entre eles. Este estudo foi possível através dos resultados obtidos pelas estatísticas de desempenho. Assim, foi possível concluir que o atraso médio diminui sempre que é escolhida uma regra de rejeição, sendo a PFW que apresenta melhores resultados, ou a regra de despacho SPT. Os mesmos resultados são verificados na percentagem de ordens em atraso. Associados às mesmas combinações, verificam-se os menores tempos de espera em *shop floor* e os menores tempos em sistema. Para estas quatro estatísticas, não se verificam grandes alterações com a variação do factor de

planeamento k_{TWK} . Quando é possível a rejeição de uma encomenda, o desvio médio absoluto é inferior em conjunto com a regra de despacho FCFS. O factor de planeamento não confere alterações nos resultados para as regras BIL e MIL, sendo para estas condições os menores desvios apresentados. Já para a regra IMR verifica-se o oposto, os resultados são grandemente influenciados pelo factor de planeamento k_{TWK} . Para valores baixos deste factor verificam-se os melhores resultados, no entanto com o aumento do k_{TWK} os valores aumentam de igual forma. O aumento do factor k_{TWK} provoca um aumento da janela de produção, para a regra IMR, uma vez que esta não faz qualquer compensação face ao cálculo da data de entrega. Os valores dos tempos médios de espera produto pronto, mantêm-se inalteráveis para a regra de lançamento BIL, atingindo os melhores valores, independentemente de outras regras de decisão.

Em termos gerais, analisando os resultados das regras de despacho, com particular atenção nas regras SPT e STR, quando o sistema de prioridades favorece os menores tempos de processamento (regra SPT), verifica-se um aumento do desempenho do sistema. Nestas condições as ordens com menores tempos de processamento “voam” pelo sistema, no que contribui para menores tempos de espera em *shop floor*, assim como menos encomendas em atraso. Em contra partida, para estas condições verifica-se o atraso máximo. As encomendas com maiores tempos de processamento vão-se arrastando ao longo do tempo, o que levará as encomendas a incumprimentos face ao prazo de entrega. Ao longo da análise das várias estatísticas, verificamos um comportamento muito semelhante do sistema quando são seleccionadas as regra STR e a EDD, uma vez que ambas atribuem o sistema de prioridade em função dos prazos de entrega. No entanto, para a STR podemos verificar que ao longo do tempo o congestionamento em *shop floor* não é tão elevado.

5.1. DIRECÇÕES PARA PESQUISA FUTURA

Para investigações futuras podemos considerar os seguintes pontos:

- Implementação deste sistema em ambientes reais, ajustando o sistema às especificidades do cliente (empresa).
- Criar uma página online, tendo como plataforma o portal do Instituto Superior Engenharia do Porto, disponibilizando, assim, aos alunos a aplicação desenvolvida para fins académicos.

Bibliografia

- [1] AKKAN C (1997) - *Finite-capacity scheduling-based planning for revenue-based capacity management* - European Journal of Operational Research 100: 170–179.
- [2] BAKER, K. R. (1984) - *Sequencing rules and due-date assignments in a job shop* - Management Science, 30. 1093-1104.
- [3] BAKER, K. R. e J. W. M. BERTRAND (1981) - *An investigation of due-date assignment rules with constrained tightness* - J. Or. Management, 1, 109-120.
- [4] BAKER, K. R. e J. W. M. BERTRAND (1982) - *A dynamic priority rule for scheduling against due-dates* - J. OP.Management. 3, 37-42.
- [5] BECHTE, W. (1988) - *Theory and practice of load-oriented manufacturing control* - International Journal of Production Research. Vol. 26: n°3 p. 375-395.
- [6] BECHTE, W. (1994) - *Load-oriented manufacturing control just-in-time production for job shops* - Production Planning and Control, 5, 292-307.
- [7] BERTRAND, J. W. M. (1983) - *The effect of workload dependent due-dates on job shop performance* - Management Science, 29. 799-816.
- [8] BERTRAND, J. W. M. (1983a) - *The use of workload information to control job lateness in controlled and uncontrolled release production systems* - Journal of Operations Management, 3, 67-78.
- [9] BERTRAND, J. W. M.; WORTMAN, J. C. (1981) - *Production control and information systems for component-manufacturing shops* - North-Holland: Elsevier Science Publishers B.V.
- [10] BLACKSTONE, J. H., PHILLIPS, D. T. e HOGG, G. L. (1982) - *A state-of-the-art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operations* - International Journal of Production Research, 20, 27-45.
- [11] CONWAY, R. W. (1965) - *Priority dispatching and job lateness in a job shop* - J. Ind. Engineering 16. 228-237
- [12] CONWAY, R. W. (1976) - *Priority dispatching and job lateness in a job shop* - I. J. Ind. Engineering L 16. 228-237.
- [13] D. BERGAMASCHI, R. CIGOLINI, M. PERONA e A.PORTIOLI (1997) - *Order review and release strategies in a job shop environment: a review and a classification* - I. J. Prod. Res. VOL. 35, NO. 2, 399 – 420.
- [14] M.J.R. EBBEN1, E.W. HANS2, e F.M. OLDE WEGHUIS (2005) - *Workload based order acceptance in job shop environments* - OR Spectrum (2005) 27: 107–122
- [15] EILON, S. e R. M. HODGSON (1967) - *Job shop scheduling with due dates* - I. J. Prod. Research, 6, 1-13.
- [16] FENG-CHANG e R.CHANG (1996) – *A study of due-date assignment rules with constrained tightness in a dynamic job shop* – Elsevier Science Ltd.
- [17] GEE, E. S. e C. H. SMITH (1993) - *Selecting allowance policies for improved job shop performance* - I. J. Prod. Research. 31. 1839-1852
- [18] HENDRY, L.C. e WONG, S.K. (1994) - *Alternative order release mechanisms: a comparison by simulation* - International Journal of Production Research, 32 (12), 2827–2842.
- [19] Job shop performance

- [20] KAN, A.H.G. (1976) - *Machine Scheduling Problems, Classification, Complexity and Computations*, Martinus Nijhoff, The Hague.
- [21] KINGSMAN, B.G., (2000) - *Modelling input-output workload control for dynamic capacity planning in production planning systems* - *International Journal of Production Economics*.
- [22] KINGSMAN, B. G.; HENDRY, L (2002) - *The relative contributions of input and output controls on the performance of a workload control system in make to order companies* - *Production Planning and Control*. Vol. 13.
- [23] LAW, A.M. e KELTON, W.D. (2000) - *Simulation modeling and analysis* - New York: McGraw- Hill.
- [24] LEWIS HF, SLOTNICK SA (2002) - *Multi-period job selection: planning workloads to maximize profit* - *Computers & Operations Research* 29: 1081–1098.
- [25] MAINEGRA HING M, HARTEN A VAN, SCHUUR P (2002) - *Order acceptance with reinforcement learning* - Working paper WP-66, University of Twente, The Netherlands.
- [26] MARK STEVENSON (2006) - *Refining a Workload Control (WLC) concept: a case study* - *International Journal of Production Research*.
- [27] MELNYK, S. A. e RAGATZ, G. L. (1988) - *Order review/release and its impact on the shop-floor* - *Production and Inventory Management*, 29, 13-17.
- [28] MELNYK, S. e RAGATZ, G. (1989) - *Order review/release: research issues and perspectives* - *International Journal of Production Research*, 27 (7), 1081–1096.
- [29] MICHAEL PINEDO – *Scheduling Theory, Algorithms and Systems* – Columbia University
- [30] M.J.R. EBBEN, E.W. HANS, e F.M. OLDE WEGHUIS (2005) - *Workload based order acceptance in job shop environments* - *OR Spectrum*.
- [31] MOREIRA, M. R. A. e ALVES, R. A. F. S. (2006) – *A new input-output control order release mechanism: How workload control improves manufacturing operations in a job shop* – FEP Working papers.
- [32] MOREIRA, M. R. A. e ALVES, R. A. F. S. (2006) – *Does order negotiation improve the job-shop workload control?* – FEP Working papers.
- [33] MOREIRA, M. R. A. and ALVES, R. A. F. S. (2009) - *A methodology for planning and controlling workload in a job-shop: a four-way decision-making problem*- *International Journal of Production Research*.
- [34] NANDI, A. - *Input control strategies for make-to-order manufacturing systems via order acceptance/rejection* - Thesis (PhD). Calgary, Alberta: University of Calgary (2000)
- [35] NANDI e ROGERS. (2003) - *Behavior of an order release mechanism in a make-to-order manufacturing system with selected order acceptance* - *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, December 7-10, New Orleans, Louisiana (S. Chick, P.J. Sánchez, D. Ferrin and D. J. Morrice, eds).
- [36] NICHOLSON, T. A. J. e PULLEN, R. D. (1971) - *A practical control system for optimizing production schedules* - *International Journal of Production Research*, 9, 219-227.

- [37] N.O. FERNANDES (2007) – *Contribuições para o controlo da actividade de produção no sector de produção por encomenda* – Tese de Doutoramento, U. Minho.
- [38] PANWALKAR, S. e ISKANDER, W. (1977) - *A survey of scheduling rules* - *Operations Research*, 25 (1), 45–61.
- [39] PARK, P. S. e BOBROWSKI, P. M. (1989) - *Job release and labor flexibility in a dual resource constrained job shop* - *Journal of Operations Management*, 8, 230-249
- [40] PEREIRA A.M. (2005) – *Análise do software livre como alternative de TI para as PMEs* – XXV Encontro Nac. De Eng de Produção
- [41] PHILIPOOM, P. R.; FRY, T. D. (1992) - *Capacity-based order review/ release strategies to improve shop performance* - *International Journal of Production Research*. Vol. 30: nº1, p. 2559-2572.
- [42] PHILIPOOM, P. R., MALHOTRA, M. K. e JENSEN, J. B. (1993) - *An evaluation of capacity sensitive order review and release procedures in job shops* - *Decision Sciences*, 24, 1109-1133.
- [43] PLOSSL, G. W. (1985) - *Production and Inventory Control: principles and techniques* - 2nd New Jersey: Prentice-hall, Englewood Cliffs.
- [44] PLOSSL, G. W.; WIGHT, O. W. (1973) - *Capacity planning and control. Production and Inventory Management Journal* - Vol. 14: nº3 p. 31-67.
- [45] SLOTNICK S.A, MORTON T.E (1996) - *Selecting jobs for a heavily loaded shop with lateness penalties* - *Computers & Operations Research* 23: 131–140.
- [46] RAGATZ, G. L. e V. A. MABERT (1984) - *A simulation analysis of due date assignment rules* - *J. Or. Management*. 5, 27-39.
- [47] RAGATZ, G. L. e MABERT, V. A. (1988) - *An evaluation of order release mechanisms in a job-shop environment* - *Decision Sciences*, 19, 167-189.
- [48] REIS J. (1996) – *Uma introdução ao Scheduling* – Departamento de Ciências e Tecnologias de Informação do I.S.C.T.E
- [49] ROLDÃO, VICTOR SEQUEIRA (1995) - *Planeamento e Programação da Produção* - Ed. Monitor, Lisboa.
- [50] SNOEK M (2000) - *Neuro-genetic order acceptance in a job shop setting* - *Proceedings of the 7th International Conference on Neural Information Processing*, Taejon, Korea, pp 815–819.
- [51] STEVENSON, M.; HENDRY, L. (2006)- *Aggregated Load-oriented workload control: A review and re-classification of a key approach* - *International Journal of Production Economics*. Vol. 104: nº 2 p. 676-693.
- [52] TATSIPOULOS, I. P. (1983) - *A microcomputer-based interactive system for managing production and marketing in small component manufacturing firms using a hierarchical backlog control and lead time management technology* - UK: Lancaster University, Ph.D. Thesis.
- [53] TEN KATE H (1995) - *Order acceptance and production control* - Ph.D. thesis, University of Groningen, The Netherlands.
- [54] VIG, M. M. e K. J. DCOLEY (1993) - *Mixing static and dynamic flow time estimates for due-date assignment* - *J. Or. Management*. 1L1 67-79.
- [55] WANG J, YANG J-Q, LEE H. (1994) - *Multi order acceptance decision support in over-demanded job shops: A neural network approach* - *Mathematical Computed Modeling* 19: 1–19.
- [56] WEEKS, J. K. e J. S. FRYER (1976) - *A simulation study of operating policies in a hypothetical dual-constrained job shop* - *Management Science*. 22. 1362-1371.
- [57] WEEKS, J. K. (1979) - *A simulation study of predictable due-dates* - *Management Science*, 25. 363-373.

- [58] WESTER FAW, WIJNGAARD J, ZIJM WHM (1992) - *Order acceptance strategies in a production-to-order environment with setup times and due dates* - International Journal of Production Research 30: 1313–1326.
- [59] WIENDAHL, H. P. (1995)- *Load oriented manufacturing control* - Munich-Vienna: Hanser.
- [60] WIENDAHL, H. P. (1990) - *Fundamentals and experiences with load-oriented manufacturing control* - Proceedings of the 1990 Conference of the American Production and Inventory Control Society, 487-491.
- [61] WIGHT, O. W. (1970) - *Input/output control: a real handle on lead time* - Production and Inventory Management Journal. Vol. 11: n° 3 p. 9-31.
- [62] WOUTERS, M.J. (1997) - *Relevant cost information for order acceptance decisions* - Production Planning and Control, Vol.8, No.1, 2-9.
- [63] ZAÈ PFEL, G. e MISSBAUER, H. (1993) - *New concepts for production planning and control* - European Journal of Operational Research, 67, 297-320.
- [64] ZIJM WHM (2000) - *Towards intelligent manufacturing planning and control systems* - OR Spectrum 22: 313–345

Anexo A. Algoritmo -VBA

Neste anexo é apresentado todo o algoritmo desenvolvido. O trabalho foi desenvolvido na plataforma VBA- Excel.