



UNIVERSIDADE DO MINHO
ESCOLA DE ENGENHARIA

REDE DE EMPRESAS EM FORNECIMENTO JUST-IN-TIME

Maria Clara Rodrigues Bento Vaz Fernandes

Dissertação de Mestrado

1999

Dissertação submetida para satisfação parcial dos
requisitos para a obtenção do grau de Mestre em
Produção Integrada por Computador

Orientação científica de
Professor Doutor Sílvio do Carmo Silva

Departamento de Produção e Sistemas

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Abril de 1999

Ao meu marido

Aos meus pais

Agradecimentos

Este trabalho é o resultado de mais de um ano de investigação, sob orientação científica do Professor Doutor Sílvio do Carmo Silva, ao qual quero agradecer particularmente, pelo seu espírito científico, a sua dedicação e apoio, essenciais na realização deste trabalho.

O desenvolvimento desta Dissertação foi apoiado por uma bolsa de Mestrado pelo programa PRODEP, sem a qual a sua realização teria sido bem mais difícil, facto pelo qual manifesto o meu reconhecimento.

Desta forma agradeço a outras pessoas e entidades, que contribuindo directamente ou indirectamente para a execução desta Dissertação, proporcionaram condições sem as quais o levar a cabo esta tarefa teria sido bem mais árdua. A todas elas quero exprimir o meu agradecimento, em particular:

Ao Eng. Luís Dias pela colaboração prestada na fase inicial do trabalho relativa ao desenvolvimento do programa de simulação em ECSL.

À direcção da Escola de Tecnologia e de Gestão do Instituto Politécnico de Bragança, e respectivo departamento de Gestão Industrial pelas condições e facilidades concedidas.

Ao Eng. Alcínio Miguel, que infelizmente não pode assistir à obra final, e à D^a Luísa Miranda pelo incentivo e amizade que sempre manifestaram.

Aos meus pais, irmãs e marido, pelas condições e apoio prestados durante as várias fases deste trabalho.

Sumário

Este trabalho debruça-se sobre o estudo integrado de empresas funcionando em controle de produção Just-in-time (JIT).

É óbvio que uma empresa cliente tem vantagens em que os seus fornecedores façam as entregas de materiais ou componentes apenas no momento em que estes são necessários para a produção, isto é, "Just-in-time". No entanto, embora os fornecedores possam também beneficiar duma tal estratégia de fornecimento, muitos suspeitam que seja economicamente desvantajosa. Parece que a influência e interacção entre os membros ou entidades intervenientes no sistema integrado de produção e fornecimento JIT não é convenientemente compreendida.

Nesta dissertação estuda-se esta influência. Para tal é utilizada uma abordagem de estudo que utiliza modelos analíticos e de simulação por computador. A linguagem de simulação utilizada é o ECSL (Extended Control and Simulation Language).

Foi desenvolvido um modelo analítico representativo dos custos inerentes ao fornecimento JIT entre o cliente e um fornecedor. Este modelo, assim como o de simulação desenvolveram-se com base nos modelos de Golhar e Sarker (1992), Hahm e Yano (1992) e Burns et al (1985).

Os modelos desenvolvidos permitem analisar o comportamento dos custos do fornecedor, do cliente e do transporte no sistema de entrega JIT, face à variação dos factores que o influenciam. Estes incluem o número de fornecedores da rede de fornecimento, a frequência de fornecimento, distâncias percorridas, tipo de transporte, relacionamento entre a produção e a expedição e abordagem à produção do fornecedor. O modelo de simulação permite, ainda, avaliar o efeito de um conjunto de variações controladas, de factores de configuração e funcionamento do sistema integrado de produção e fornecimento.

Os modelos, analítico e de simulação, podem ser vistos, também, como instrumentos de apoio à decisão, porque permitem por um lado, verificar se o fornecimento JIT é vantajoso para os intervenientes e, por outro, estabelecer os valores apropriados dos parâmetros do sistema integrado de produção e de fornecimento em JIT.

Da análise dos resultados obtidos no estudo conclui-se que as vantagens dos fornecedores no fornecimento JIT dependem da configuração operacional e física do sistema de produção e distribuição traduzida, principalmente, em termos da frequência de fornecimento, da frota e estratégia de transporte, do relacionamento entre o ciclo de produção do fornecedor e o de expedição ditado pelo cliente, das distâncias a percorrer entre o cliente e os fornecedores e da abordagem à produção nos fornecedores, nomeadamente produção para stock ou Just-in-time.

Abstract

A study of an integrated network of enterprises in a Just-in-time (JIT) production and delivery system is presented in this work.

It is obvious that a client company has advantages in having suppliers to deliver components and materials in a Just-in-time manner. However, although suppliers may benefit from such a supplying mechanism, many believe that this is economically disadvantageous. It seems that the influence and interaction among the intervenient members or entities in the integrated Just-in-time production and delivery system is not fully understood.

In this dissertation such an influence is investigated. For this, a study approach using analytical models and computer simulation is used. The modelling simulation language is ECSL (Extended Control and Simulation Language).

In addition to analytical models presented by several authors, namely by Golhar and Sarker (1992), Hahm and Yano (1992) and Burns et al (1985), a new analytical model was developed which contemplates the influence of the delivery system.

Both, simulation e analytical models permit to evaluate the behaviour of the supplier, customer and transportation costs, in a JIT delivery system depending on a variety of factors. These include the number of suppliers in a network, delivery frequency, distances travelled, transportation strategies, and mode of production at suppliers, i.e., just-in-time or make-to-stock. The simulation model also allows evaluating the effect of variations on the level of factors on the performance of suppliers when required to deliver just-in-time.

The analytical and simulation models may be used as instruments of decision making because they can help to tune the operating parameters of the integrated production, and delivery system for the supplying of materials to a customer working in Just-in-time.

The results of this study show that the advantages of the supplier in JIT delivery are affected by the operation, geographical and physical and configuration of the integrated production and delivery system. This is characterised by factors such as type of production at supplier, delivery frequency, number of vehicles, distances travelled between supplier and customer, and transportation strategies, i.e direct shipping and “collecting”.

Índice

Capítulo 1

1 Introdução	1
1.1 Especificação do problema e conjecturas	3
1.2 Caracterização do sistema JIT	4
1.2.1 Definição	4
1.2.2 Comparação das abordagens do sistema JIT com a abordagem tradicional ...	6
1.2.3 Vantagens do JIT	8
1.2.4 Limitações do JIT	9
1.3 Fornecimento JIT	10
1.3.1 Compras JIT	10
1.3.2 Relações fornecedores-cliente	11
1.3.3 Factores que influenciam o fornecimento JIT	14
1.3.4 Modelos de entregas JIT	17
1.3.5 Finanças e sistema de entrega JIT	18
1.3.6 Factores que influenciam o cumprimento do plano de entrega	19
1.3.7 Literatura revista	20

Capítulo 2

2 Modelo analítico	25
2.1 Revisão da literatura	26
2.1.1 Modelo de Golhar e Sarker (1992)	26
2.1.2 Modelo de Hahm e Yano (1992)	31
2.1.3 Modelo de D. Burns, Randolph W. Hall e Dennis E. Blumenfeld, Carlos Daganzo (1985).....	33
2.2 Análise crítica do problema	39
2.3 Construção do modelo	41
2.3.1 Especificação detalhada do modelo	42
2.3.1.1 Análise e parâmetros da empresa-mãe JIT	43
2.3.1.2 Análise e parâmetros das relações fornecedor-cliente	43
2.3.1.3 Análise e parâmetros a considerar no fornecedor da empresa JIT	44
2.3.1.4 Custo global do sistema de entrega JIT	45
2.3.1.5 Afectação do custo de transporte do fornecimento JIT ao fornecedor e cliente	49
2.3.1.5.1 Variação do custo total mínimo incorrido pelo fornecedor com x	49
2.3.1.5.2 Variação do custo do fornecedor com p	50
2.3.1.5.2.1 O cliente assume a totalidade do custo de transporte: $p=0$	50
2.3.1.5.2.2 O fornecedor assume a totalidade do custo de transporte: $p=1$	51
2.3.2 Especificação geral do modelo analítico	52

Capítulo 3

3 Modelo de simulação	54
3.1 Modelo	55
3.1.1 Parametrização do modelo de simulação	58
3.1.1.1 Quadro de experimentação	58
3.1.1.1.1 Parâmetros de configuração do sistema a modelar.....	58
3.1.1.1.2 Objectivo e sub-objectivos do estudo.....	60
3.1.1.1.3 Factores variáveis de entrada ou independentes.....	62
3.1.1.1.4 Variáveis de saída ou dependentes	64
3.1.2 Modelo de simulação	65
3.1.2.1 Linguagem de simulação.....	66
3.1.2.2 Pressupostos do modelo	66
3.1.2.2.1 Procura.....	69
3.1.2.2.2 Sistema de produção dos fornecedores.....	72
3.1.2.2.2.1 Tipo de abordagem ao controlo e planeamento da produção do fornecedor (Spearman e Zazanis, 1992).....	73
3.1.2.2.3 Transporte.....	73
3.1.2.3 Descrição detalhada das actividades do modelo	74
3.1.2.3.1 Chegada.....	74
3.1.2.3.2 Produção.....	75
3.1.2.3.3 Viajar.....	78
3.1.2.3.3.1 Algoritmo de transporte.....	79
3.1.2.3.4 Carreg.....	81
3.1.2.3.5 Transp.....	82
3.1.2.3.6 Entrg.....	84
3.1.2.3.7 Contol.....	84

Capítulo 4

4 Experimentação e análise de resultados.....	85
4.1 Condições iniciais do modelo de simulação	86
4.2 Determinação do período de inicialização	86
4.3 Validação do modelo de simulação	87
4.4 Análise da sensibilidade do modelo de simulação.....	94
4.5 Plano de experimentação	95
4.5.1 Plano de experimentação 1	96
4.5.2 Plano de experimentação 2	99
4.5.3 Plano de experimentação 3	107
4.6 Análise dos sub-objectivos do estudo.....	115

Capítulo 5

5 Conclusões	122
--------------------	-----

Anexos

Anexo 1	127
Anexo 2	145
Anexo 3	147

Bibliografia	149
---------------------------	-----

1. INTRODUÇÃO

1 Introdução

O aumento da concorrência intensificou-se, levando à necessidade da produção ser mais eficiente. No entanto, a forma de levar a cabo esta tarefa tornou-se motivo de divergência. Segundo Spearman e al (1992), por um lado, a maioria da literatura da área sugere a implementação da Produção Integrada por Computador (CIM), no entanto outros autores citam os japoneses por terem uma posição extremamente competitiva enquanto empregam automação limitada e usando técnicas simples e descentralizadas.

Este debate tem duas visões opostas. Por um lado, o CIM representa um ambiente de produção integrada por computador com planeamento de necessidades de materiais (MRP). Na visão oposta, as técnicas de produção japonesas tal como o JIT ou stocks zero (ZI), fazem reduzido uso de computadores em substituição de uma grande responsabilidade e qualidade na produção do trabalhador, registando-se uma redução no custo de processamento da informação (Spearman e Zazanis, 1992).

Para ser competitivo no mercado global, muitas empresas industriais implementam a filosofia de produção Just-in-time (JIT). A implementação do JIT requer mudanças fundamentais em todas as áreas funcionais da empresa, inclusive a área das compras.

A adopção da filosofia JIT tem implicações significativas na gestão de compras e de materiais, tal como nas funções de distribuição e logística. No ambiente das compras JIT, os fornecedores e clientes interagem desenvolvendo acções entre eles. Os fornecedores devem ser capazes de fazer entregas frequentes de pequenas quantidades de componentes de elevada qualidade. Assim a participação estreita dos fornecedores é essencial para implementação com sucesso da filosofia JIT (Mahmoodi e Martin, 1994).

A dificuldade do Just-in-time está na relação entre o fornecedor e o cliente, na sincronização entre a produção e as entregas. Apesar da quantidade considerável de trabalho que tem sido feito em sistemas de produção multi-estádios com procuras constantes conhecidas, pouca investigação tem sido feita relativa ao custo de acumulação de stock anterior à entrega e o custo de transporte na determinação da ligação óptima entre os planos de produção do fornecedor e os planos de entrega ao cliente. Uma razão porque o anterior tem sido ignorado é que muitos modelos assumem produções instantâneas. Outros modelos que incorporam restrições de capacidade, alguns ou mesmo todos ignoram os custos da acumulação de stock, ou tratam os custos de transporte como fixos. Regista-se alguma investigação na busca de políticas que incluem custos de transporte, incluindo quer descontos de quantidade, quer carga fixa por entrega (Hahm e Yano, 1992). Mas nenhum considera explicitamente o impacto dum plano de entrega nos níveis de stock e nos custos de setup do fornecedor, nos custos de encomenda do cliente JIT, e no custo de transporte do fornecimento JIT, equacionado nas várias estratégias de transporte.

Apenas poucos artigos se ocupam de todos os assuntos referidos. Será apresentada na secção 1.3.7. uma revisão literária dos modelos que vários autores consideram na área do fornecimento JIT.

1.1 Especificação do problema e conjecturas

Neste trabalho estuda-se o desempenho integrado de empresas funcionando em controle de produção Just-in-time. Ao considerar uma rede de empresas trabalhando como fabricantes e fornecedores em controlo de produção Just-in-time, pretende-se determinar se os benefícios apregoados por tal controlo, na perspectiva de uma única empresa, são também alcançados pela rede integrada e distribuída de empresas. Mais especificamente, pretende-se com o estudo verificar ou negar a hipótese: "As vantagens das empresas que implementam um sistema Just-in-time não resultam em desvantagens das empresas fornecedoras de materiais e de serviços subcontratados."

A empresa JIT responde a solicitações a jusante caracterizada por uma procura global estável em que a diversidade de produtos é conseguida através da combinação de um certo número de artigos de uma mesma família (GT) e opções. O subsistema a montante da empresa JIT, é caracterizado por relações de aquisição de materiais e serviços a fornecedores. Esta relação tem de obedecer aos princípios do fornecimento JIT, nomeadamente elevada frequência de entrega, de pequenas quantidades com elevada fiabilidade e qualidade.

No fornecimento JIT, o cliente e o fornecedor trabalham juntos, desenvolvendo uma confiança mútua e estabelecendo um fluxo de informação. Ambos beneficiam destas acções. Os benefícios para o comprador JIT abrangem o custo razoável dos componentes comprados, as entregas frequentes e fiáveis em pequenas quantidades que asseguram um fluxo estável quase contínuo, diminuindo a quantidade em stock, o lead time de entrega reduzido e a elevada qualidade dos componentes entregues em quantidades exactas. A recepção de componentes de elevada qualidade, elimina a necessidade de inspecção na recepção. Os benefícios do fornecedor na participação nas compras JIT incluem o estabelecimento de contratos de longo termo aumentando o volume de produção e o preço razoável pelas mercadorias vendidas. Como resultado da sua participação nos programas de compra JIT, as empresas fornecedoras adquirem flexibilidade e conhecimentos técnicos para produzir componentes de melhor qualidade. Isto aumenta a produtividade dos fornecedores e torna-os mais competitivos no mercado global (Golhar e Stamm, 1993). No entanto apesar destes benefícios, será que as compras JIT constituem um negócio economicamente vantajoso para o fornecedor? Há a percepção entre os fornecedores, que a participação no sistema de entrega JIT é economicamente desvantajosa para eles. O objectivo deste estudo é responder a esta questão testando esta conjectura.

A literatura JIT admite que os fornecedores enfrentam o desafio das entregas JIT suportando um stock excessivo, no entanto poucos autores têm examinado o impacto económico dessa estratégia dos fornecedores.

Inicia-se o estudo com uma descrição sumária do sistema Just-in-time, comparando-a com a tradicional abordagem de produção, e salientando as suas principais vantagens e limitações.

1.2 Caracterização do sistema JIT

1.2.1 Definição

A filosofia JIT pode traduzir-se num sistema de manufactura onde o objectivo é otimizar e integrar os processos e procedimentos através da redução contínua de desperdícios de sobreprodução, produção em curso de fabrico, de transporte, de processamento, de movimento, de stocks e de produtos não conformes as especificações. As metas colocadas pelo JIT, naturalmente inatingíveis, e por isso frequentemente referidas como metas filosóficas, são nada menos que:

Zero defeitos;

Tempo de preparação zero;

Stocks zero;

Movimentação zero;

Avárias zero;

Lead time zero

Lote unitário.

Além do esforço de eliminação dos desperdícios, JIT tem a característica da não aceitação da situação vigente ou mesmo de padrões arbitrários de desempenho. As metas funcionam como referências, com base nas quais é exercida a actividade de controle que procura minimizar os afastamentos que ocorrem em relação a estas.

Procura

O JIT requer uma procura estável do “mix” de produtos, não se adaptando perfeitamente à produção de muitos produtos diferentes. Tal requereria extrema flexibilidade do sistema de produção (por exemplo lote unitário) em dimensões que não seriam, nesta situação conseguidas com a filosofia JIT. O sistema JIT controla eficientemente ambientes de produção repetitiva.

Variiedade

Normalmente a variedade de produtos é alcançada pelo fabrico de produtos através da combinação e montagem de vários componentes modulares. Por sua vez para cada

componente haverá um número restrito de opções modulares, que proporcionarão uma grande variedade no produto final.

Em JIT production tem-se procurado, através do projecto para a produção de equipamentos flexíveis, além do uso de dispositivos que diminuem o tempo de preparação de máquinas, reduzir a variedade e a complexidade do processo, mantendo a elevada variedade de produtos oferecidos ao mercado.

Qualidade

A responsabilidade pela qualidade é transferida para a produção e é dado ênfase ao controle da qualidade nos fornecedores, adoptando-se os princípios do Controle da Qualidade Total. A redução de stocks, favorecendo a consciência dos problemas de qualidade, e a resolução dos problemas de qualidade, reduzindo a necessidade da manutenção de stocks, formam um ciclo de melhoria contínua.

Produção

O layout do processo de produção deve ser celular, organizando os componentes em famílias de artigos; dessa forma, podem-se formar pequenas linhas de produção ou células dedicadas ao produto, de modo a tornar o processo mais eficiente, e reduzir o movimento e o tempo gasto com preparação de equipamentos e da produção.

É importante a redução dos tempos do processo e, principalmente, os tempos de preparação, como forma de conseguir flexibilidade. Os tempos despendidos em actividades que não acrescentam valor ao produto (tempo em fila de espera, tempo de preparação de máquinas e tempos de movimentação) devem ser eliminados, enquanto os tempos despendidos com actividades que agregam valor (tempo de processamento) devem ser utilizados de forma a maximizar a qualidade dos produtos produzidos. Em JIT production a normalização das tarefas e melhoria dos processos e actividades são muito importantes.

O planeamento da produção em ambiente JIT deve garantir uma carga de trabalho diária estável, que possibilite o estabelecimento de um fluxo contínuo de material. O sistema de programação e controle da produção está baseado no uso de cartões para a transmissão de informação necessária entre os centros produtivos. Este sistema é conhecido como *Kanban*, e segue a lógica de "puxar" a produção, produzindo somente a quantidade necessária e quando necessário, de modo a atender a procura dos centros produtivos.

O sistema *Kanban* foi criado para indicar o que é necessário em cada posto de trabalho e para permitir que os vários postos comuniquem eficientemente entre si. O sistema *Kanban* é conhecido como um sistema "pull" no sentido em que a produção numa dada fase inicia-se pela procura das fases imediatamente subsequentes, isto é, o posto precedente deve produzir apenas a quantidade exacta retirada pelo posto de produção

seguinte. O objectivo chave do sistema *Kanban* é entregar o material “Just-in-time” aos postos de produção e passar a informação para o posto precedente, observando o que se vai produzir e como.

Fornecimento de materiais

O fornecimento de materiais no sistema JIT deve ser uma extensão dos princípios aplicados dentro da fábrica, tendo como principais objectivos os lotes de fornecimentos reduzidos, recebimentos frequentes e fiáveis, lead times de fornecimento reduzidos e elevados níveis de qualidade.

Envolvimento de todas as pessoas

O elemento humano tem uma participação fundamental no sistema JIT, sendo o envolvimento da mão de obra e o trabalho em equipa pré-requisitos para a implementação do JIT. A chefia da linha de produção coloca ênfase na autonomia dos responsáveis na equilibragem da linha, na não aceitação de má qualidade, paralisando-se a linha até que os erros sejam eliminados, se for necessário.

1.2.2 Comparação das abordagens do sistema JIT com a abordagem tradicional

O termos *push* e *pull* referem-se ao modo como se planeia as ordens de fabrico na produção (Spearman e Zazanis, 1992). No sistema *push*, o trabalho começa na data de início que é calculada pela subtracção do lead time estabelecido à data em que o material é requisitado, quer para a montagem ou para a expedição. O sistema *pull* é caracterizado pelo facto das operações realizarem o trabalho apenas para abastecer o stock que sai, sendo coordenado através do uso de algum tipo de sinal representado por um cartão.

A filosofia JIT diferencia-se da abordagem tradicional de gestão da produção em aspectos como:

- O sistema Kanban tem a característica de “puxar” a produção ao longo do processo de acordo com a procura, enquanto que os sistemas tradicionais são sistemas que empurram a produção, desde a compra de matérias-primas e componentes até aos stocks de produtos acabados. Neste caso as operações são disparadas pela disponibilidade do material a processar. Uma vez completada a primeira operação, o lote é empurrado para a operação seguinte, esperando a sua vez na fila de espera dos lotes a serem processados, de acordo com o seu nível de prioridade.
- Dá ênfase ao fluxo de materiais e não à maximização da utilização da capacidade, de modo que os produtos fluam de forma suave e contínua através das várias fases do processo produtivo. Consequentemente há menos congestionamento nos sistemas *pull* e menores tempos de percurso.

-
- O sistema JIT é classificado como um sistema activo enquanto que os sistemas tradicionais são sistemas passivos. A classificação resulta do facto de os primeiros não aceitarem passivamente os problemas do processo. Os stocks são considerados nocivos por ocuparem espaço e representarem altos investimentos de capital mas também e principalmente por esconderem ineficiências do processo produtivo, como problemas de qualidade, elevados tempos de preparação de máquina para troca de produtos e falta de fiabilidade dos equipamentos.

A existência de stocks protege os problemas das pessoas que os poderiam resolver. Criou-se uma forma institucionalizada na vida tradicional dos fabricantes, que usam os stocks em vez de resolver os problemas. Em sistemas tradicionais, existe muitas vezes uma necessidade artificial de elevados inventários para fazer face a problemas de produtividade. Frequentemente as empresas aumentam os stocks cada vez que têm problemas.

- Facilita a redução dos lotes de fabricação através da redução dos tempos de preparação de equipamentos;
- Assume a meta de eliminação das não conformidades, enquanto que os sistemas tradicionais encaram-nas como inevitáveis sendo contabilizadas no planeamento da produção.
- Transfere a responsabilidade de funções como a equilibragem das linhas, o controle da qualidade e a manutenção preventiva para a mão-de-obra directa, deixando à mão-de-obra indirecta as funções de staff e auditoria. No caso dos sistemas tradicionais a responsabilidade pela manutenção preventiva e correctiva é de uma equipa especializada que está na fábrica apenas para executar tais funções.
- Dá ênfase à ordem e limpeza da fábrica como pré-requisitos fundamentais para o alcance dos objectivos pretendidos, enquanto que o sistema tradicional aceita a desordem, a sujidade como o preço que se paga por manter a produção dentro dos prazos. Em geral a pressão para reduzir os atrasos faz com que as actividades ligadas à organização e limpeza da fábrica fiquem relegadas para segundo plano até que a pressão diminua.
- A forma tradicional de organizar a unidade de transformação é por departamentos funcionais. Ao contrário em JIT requer-se antes de mais que a unidade seja implantada por produto, em vez de por funções. O equipamento é dedicado a uma família de produtos e organizado pela ordem pela qual as operações devem ser executadas naquela família de produtos.
- Segundo Dion et al (1992), Rosenberger et al, (1985) considera o JIT como um sistema logístico que minimiza as existências ao permitir que estas cheguem à produção e pontos de distribuição quando necessário.

-
- Um sistema pull é aquele que substitui os stocks por um canal de cooperação entre os membros intervenientes. O fornecimento JIT reduz o stock pela substituição do stock pela coordenação logística fornecedor-comprador (Dion et al, 1992). O objectivo é deslocar o material através do sistema de produção e distribuição quando necessário, preferível ao fluxo forçado conduzido pela quantidade encomendada, no sistema tradicional.

1.2.3 Vantagens do JIT

Custo

Dados os preços já pagos pelos equipamentos, materiais e mão-de-obra, o JIT procura que os custos de cada um desses factores seja reduzido ao essencial. As características do sistema JIT, incluindo o planeamento e a responsabilidade das chefias pelo refinamento do processo produtivo, favorecem a redução dos desperdícios. Adicionalmente a estes esforços de tornar eficiente o tempo em que é acrescentado valor ao produto, são também gastos esforços no sentido de eliminar o tempo gasto com actividades que não acrescentam valor. A redução dos tempos de setup, além da redução dos tempos de movimentação dentro da empresa são exemplos claros disso. Esforços importantes têm sido feitos para reduzir os custos de distribuição no abastecimento de materiais. No presente trabalho este aspecto é analisado em profundidade.

A produção JIT busca reduzir os custos através da minimização das existências. Matérias-primas e componentes comprados são mantidos em volumes baixos, através de entregas frequentes de pequenas quantidades. O stock de produtos acabados representa apenas a quantidade planeada na programação periódica de muito curto prazo (dias ou horas). O sistema de controle *Kanban* favorece a redução de existências. O esforço para minimizar a dimensão dos lotes é, talvez o maior factor na redução do nível médio de existências.

Lotes pequenos e tempos curtos de preparação de máquina resultam também em menores “lead times” ou tempos de produção. A entrega rápida não só deixa os clientes satisfeitos, mas também previne contra a existência de stocks excessivos.

Tempos de produção curtos minimizam a ocorrência de rupturas, permitindo melhores previsões porque o grau de incerteza será menor, reduzindo a possibilidade de excessos ou falta de produtos.

O sistema *Kanban* de controle do fluxo de materiais também favorece a eficiência pois a redução das existências torna visível os problemas como a desequilibragem, descontinuidade e rupturas da produção fazendo com que o fluxo não possa continuar até que os problemas sejam corrigidos. O fluxo de produtos de qualidade não conforme as especificações, não é permitido, minimizando os custos com reprodução e evitando que o valor seja agregado a peças que não poderão ser utilizadas.

Finalmente, as políticas de automação previnem contra automatização de processos ineficientes.

Qualidade

O projecto do sistema evita que os defeitos fluam ao longo do fluxo de produção; o único nível aceitável de defeitos é zero. O prejuízo pela produção de itens defeituosos é alto, porque origina a paragem da produção. Esta situação motiva a procura das causas dos problemas e das soluções que eliminem as causas fundamentais destes problemas.

Os trabalhadores são treinados em todas as tarefas das suas respectivas áreas, incluindo a verificação da qualidade. A melhoria da qualidade faz parte da responsabilidade dos operadores da produção, estando incluída na descrição das suas funções.

Flexibilidade

O sistema JIT aumenta a flexibilidade de resposta do sistema pela redução dos tempos envolvidos no processo. Embora o sistema não seja muito flexível em relação à gama de produtos oferecidos ao mercado, a flexibilidade dos trabalhadores contribui para que o sistema produtivo seja mais flexível em relação às variações da mistura de produtos. Através da manutenção de stocks baixos, um modelo de produto pode ser mudado sem que haja muitos componentes obsoletos. Como o projecto dos componentes comprados é geralmente feito pelos próprios fornecedores a partir das especificações funcionais, em vez de especificações detalhadas e rígidas de projecto, estes podem ser desenvolvidos de modo consistente com o processo produtivo do fornecedor.

Rapidez

A flexibilidade, o baixo nível de stocks e a redução dos tempos permitem que o ciclo de produção seja curto e o fluxo rápido. A prática de diferenciar os produtos na montagem final, a partir de componentes padronizados, de acordo com as técnicas de projecto e manufactura adequadas à montagem, permite entregar os produtos em prazos mais curtos.

1.2.4 Limitações do JIT

As principais limitações do JIT estão ligadas à flexibilidade da gama do sistema produtivo, no que se refere à variedade de produtos oferecidos ao mercado e a variações da procura de curto prazo.

O sistema JIT requer que a procura seja no mínimo moderadamente estável para que se consiga uma equilibragem adequada dos recursos, possibilitando um fluxo de materiais suave e contínuo. Caso a procura seja muito instável, há a necessidade de manter stocks de produtos acabados a um nível elevado, de modo a prevenir alterações da procura. Esta situação vai contra o princípio JIT de redução de existências.

Como o sistema *Kanban* prevê a manutenção de um certo stock de componentes entre os centros de produção, se houver uma variedade muito grande de produtos e de componentes, o fluxo de cada um não será contínuo e sim intermitente, gerando elevados stocks em curso de fabrico. Isto contraria uma série de princípios da filosofia JIT, comprometendo a sua aplicação. Outro problema resultante da grande variedade de produtos seria a conseqüente complexidade das rotas de produção. O princípio geral de transformação do processo produtivo numa linha contínua de fabricação e montagem de produtos fica prejudicado se um conjunto de rotas preferenciais não puder ser estabelecido.

Finalmente, a redução de stocks do sistema pode aumentar o risco de interrupção da produção em função de problemas de administração de mão-de-obra, como greves, por exemplo, tanto na própria fábrica como na dos fornecedores. Da mesma forma, o risco de paralisação por avarias das máquinas também é aumentado.

1.3 Fornecimento JIT

1.3.1 Compras JIT

As compras JIT são tão diferentes das compras tradicionais, como a produção JIT o é da produção tradicional, apesar dos objectivos genéricos serem similares e assentarem principalmente na eliminação de desperdícios no processo de compra.

As metas das compras em JIT são as seguintes:

- Assegurar um fluxo estável de componentes de qualidade.
- Reduzir o tempo do ciclo necessário para pedir o produto.
- Reduzir a quantidade de todos os tipos de stock, quer no fornecedor como no comprador.
- Reduzir o custo de materiais comprados.

A responsabilidade da função compras é assegurar que os produtos e/ou serviços adquiridos tenham um nível aceitável de qualidade e sejam entregues no prazo a um custo razoável. O projecto em questão incide sobre o fornecimento JIT.

Os elementos mais importantes do fornecimento JIT de materiais segundo O'Neal e Bertrand, (1991) são:

- Elevada frequência das entregas. Devido ao facto do JIT minimizar as existências, os produtores compram aos fornecedores quando necessitam em vez de as armazenarem. Os fornecedores devem reduzir o lead time de entrega. O objectivo é sincronizar as operações de processamento dos fornecedores e dos clientes.

-
- Lotes de pequenas quantidades. O produto final é produzido em quantidades específicas necessárias. As empresas clientes querem que as quantidades entregues respondam às necessidades da produção, de modo a minimizar os stocks.
 - Recebimentos fiáveis. As encomendas JIT devem ser programadas para serem entregues em determinada hora do dia. Entregas adiantadas podem interferir com o uso das docas de recepção e com o espaço de armazenamento.
 - Quantidades exactas. A quantidade entregue deve ser exactamente a quantidade combinada necessária. Variações em qualquer sentido são prejudiciais.
 - Custo total de entrega. Quando se seleccionam os fornecedores, o custo do produto final produzido no sistema JIT deve reflectir as várias componentes do custo. O menor custo total de entrega, deve considerar todos os requisitos já referidos devendo estar incluído no custo por componente. Os fornecedores escolhidos devem ser aqueles que realizam o melhor trabalho na eliminação dos erros do processo.
 - Elevados níveis de qualidade. É necessário eliminar a necessidade de inspecção à chegada das encomendas, o que exige a resolução de problemas do fornecedor.
 - Relacionamento cooperativo com os fornecedores. O fornecedor deve sentir que o funcionamento da empresa cliente lhe diz respeito. Um bom método consiste em organizar encontros de fornecedores durante os quais os objectivos da empresa são tornados públicos.

Um sistema JIT somente pode funcionar com sucesso quando é alimentado por fornecimentos de materiais com qualidade e entregues na quantidade e prazo estabelecidos. O cliente necessita de entregas JIT de modo a nivelar a taxa de produção. Os pedidos dos clientes são os motores que puxam a produção JIT para uma direcção e removem as folgas que existem na forma de stocks e actividades produtivas.

O projecto em estudo, parte do pressuposto que se verificam elevados níveis de qualidade dos artigos fornecidos, e que existe um relacionamento cooperativo com os fornecedores. Este estudo determina os factores de que depende o custo total de entrega, e a influência de cada um neste custo.

De seguida iremos analisar as relações entre fornecedores e cliente, no âmbito do fornecimento JIT.

1.3.2 Relações fornecedores-cliente

Durante os últimos 50 anos, a complexidade tanto do projecto do produto, como da tecnologia de produção, aumentou consideravelmente. Com a economia e a tecnologia actuais, uma empresa não pode sustentar uma integração vertical completa. A complexidade e a sofisticação dos produtos actuais conduziram-nos da integração

vertical para a descentralização da tecnologia de produção. O resultado foi o desenvolvimento de muitos fornecedores de serviços e fabricantes. À medida que aumenta a complexidade tecnológica, as empresas tornaram-se cada vez mais dependentes dos fornecedores de serviços, tanto de natureza intensiva de capital ou de mão-de-obra. A melhoria das relações cliente-fornecedor, no entanto, não tem acompanhado o crescimento da dependência em relação a eles. Uma vez que uma empresa reconheça a necessidade de dependência de fornecedores, ela deve-se consciencializar de que o desenvolvimento de boas relações com os fornecedores é tão importante quanto o desenvolvimento de laços fortes entre os departamentos internos. Infelizmente, muitas negociações comerciais resultam em relações fornecedores-cliente que não são mutuamente benéficas e, a longo prazo, essas relações prejudicam ambos.

É vantajoso que o início das compras JIT se desenvolva através de formas de relacionamento cooperante. As posições tradicionais de relacionamento têm sido de adversários. O relacionamento entre fabricante e fornecedores de materiais ou serviços, deve ter as seguintes características:

- Longo prazo, porque demora muito tempo a resolver os problemas;
- Ser mutuamente benéfico, porque esta é a única forma de se manterem a longo prazo;
- Envolver poucos fornecedores, porque nenhuma empresa tem recursos para manter relações de compra com muitos fornecedores;
- Envolver melhores fornecedores, porque todo o processo se baseia na qualidade.
- Basear-se na confiança mútua. Isto constitui a necessidade mais básica de um fornecedor, assegurando-se de que os clientes são justos e abertos nas suas relações comerciais. Tal mantém a confiança contínua para todas as relações fornecedor-cliente num sistema JIT.
- Tratar os fornecedores como uma extensão do processo interno de produção e cultivá-los como parceiros de longo prazo.
- Perceber ser a comunicação entre clientes e fornecedores crítica na operação eficiente de um sistema JIT. Os clientes esperam menores ciclos de produção e respostas mais rápidas para os problemas. Para tal é necessário assegurar, o contacto e encontros com os fornecedores.

O contacto com os fornecedores é assegurado por um canal de comunicação entre o fornecedor e cliente. Os elementos de comunicação incluem manter os fornecedores a par das decisões comerciais que irão afectar a sua capacidade de responder a mudanças nas necessidades de produção, avaliação de sugestões e solicitações do fornecedor. O cliente deve também fornecer informações sobre decisões comerciais

que irão ter um efeito sobre a capacidade de produção e planeamento do fornecedor. Tais informações incluem a situação das necessidades de curto prazo e previsões de longo prazo. As de curto prazo fornecem informações diárias necessárias para sincronizar o índice de produção com as necessidades do cliente, e no caso da linha parar. Fornecer previsões de longo prazo ajudam o fornecedor a planear os recursos de equipamento e mão-de-obra necessários para atender o cliente e manter a saúde da empresa fornecedora.

O encontro de fornecedores mantém-nos informados acerca dos tópicos de interesse mútuo e assegura-lhes o acesso a informações e pessoas que terão um impacto na produção do fornecedor. São exemplos as conferências, simpósios e workshops.

As empresas que usam o JIT fornecem forte evidência de que a melhoria das relações fornecedor-cliente irá promover altos níveis de eficiência.

Os fornecedores no Japão estão normalmente associados a um único cliente e são tratados como uma divisão do comprador (Richard Lubben, 1989). Este autor refere que muitas empresas como a Apple Computer e Hewlett-Packard têm os principais fornecedores intimamente integrados no sistema de produção. Esses fornecedores operam com pedidos de compra colectivos e estão em comunicação constante com a instalação de produção que fornecem. Na Apple Computer, as necessidades de produção são dadas diariamente ao fornecedor (via cartões kanban), e os materiais são entregues no dia seguinte. Tal situação permite que as comunicações entre o fornecedor e a produção sejam bem estabelecidas. Através de uma linha tripla de comunicação ligando compras, o fornecedor e a produção, a Xerox fornece comunicação directa entre a produção e o fornecedor. Essa comunicação permite que as mudanças de planeamento ocorram sem a intervenção de compras. Ela é informada através do sistema informático de qualquer alteração de planeamento que seja feita.

Quando se estabelecerem novas relações entre fornecedores e clientes, pode implementar-se o princípio da encomenda aberta. Este consiste no cliente não recorrer ao serviço de compras sempre que pretender colocar uma nova encomenda, mas sim considerar o fornecedor como um elemento da própria empresa. São portanto ordens de fabrico directamente enviadas ao fornecedor. O total de encomendas formaliza-se no final do exercício. Este método permite ao subcontratado ter acesso às previsões de venda do seu cliente e, assim, melhor ajustar o planeamento de produção. O circuito administrativo é mais curto, o que permite melhorar os prazos. (Pierre Béranger, 1987)

Quando os fornecedores se tornam uma extensão natural do processo de produção do cliente, os seus papéis como parceiros, tornam-se vitais para o sucesso de ambas as empresas.

Proximidade cliente-fornecedor

As associações clientes-fornecedores podem ser formadas, independentemente da distância física entre os dois. No entanto, existem boas razões para minimizar a distância entre o cliente e o fornecedor, como a maior economia e as melhores comunicações. A localização do fornecedor é um ponto muito importante na selecção de fornecedores.

As vantagens de se trabalhar com fornecedores locais podem ser somadas com as seguintes:

1. Encargos mínimos de transporte.
2. Minimização de materiais de embalagem.
3. Capacidade do fornecedor de entregar em contentores reutilizáveis projectados para uso na linha de produção.
4. Custo mínimo de visitas aos fornecedores.
5. Entregas diárias (ou mais frequentes) de materiais.
6. Melhores comunicações.
7. Resolução rápida de problemas.
8. Melhores contactos em termos de engenharia ao nível do produto e do processo.
9. Capacidade do fornecedor em manter a linha a funcionar através de entregas manuais de produtos, se ocorrer um problema de qualidade na linha de produção.
10. Stock mínimo no trajecto de entrega.

Número de fornecedores

As compras JIT caracterizam-se pela redução do número de fornecedores, isto é, idealmente deveria haver um fornecedor para cada componente ou grupo de componentes. Actualmente, muitas empresas dos Estados Unidos têm feito isso, estabelecendo relações benéficas com os seus fornecedores. Por exemplo, segundo Ansari e Modaress (1988), a HP, na década de 80, tinha cerca de 220 fornecedores, com 1 ou 2 fontes fornecedoras para cada tipo de produto, a Nissan 80 fornecedores, 40 dos quais forneciam componentes numa base de um único fornecedor, encomendendo grandes quantidades.

1.3.3 Factores que influenciam o fornecimento JIT

O fornecimento JIT tem como objectivo ter sempre a quantidade exacta de qualquer material requisitado para estar disponível na produção no exacto momento em que é necessário. Por isso, deve-se procurar minimizar o lead time da entrega e maximizar a fiabilidade de entrega.

No sentido estrito do termo, Just-in-time significa produção de materiais somente quando necessário para atender à procura do cliente. A realidade, no entanto, tende a ser um pouco diferente na maioria dos casos. Assim uma pequena quantidade de stock de segurança (em processo) é mantida para "dar tempo ao sistema" e para compensar o tempo de produção e transporte. Se o centro de trabalho que recebe, não pedir reposição antes que termine o material que tem, ele irá permanecer desocupado enquanto espera que os novos materiais cheguem. Entrega no prazo, então, implica que o posto de trabalho que consome receba o material exactamente antes de se tornar necessário. A entrega óptima de materiais para um sistema JIT é que todos os materiais sejam entregues na linha de produção pelo menos numa base diária. Na prática, até que o sistema JIT esteja implantado, o problema de entrega e stocks de materiais irá permanecer com uma mistura de soluções.

Devido à grande variação nas compras, transporte, recepção e armazenagem, e características do produto, o produtor deve agrupar os materiais e componentes comprados de acordo com as semelhanças das necessidades logísticas e de produção. Deve ser desenvolvido um método de fornecimento específico para satisfazer os requisitos de cada grupo de componentes (Ferrin, 1994).

As principais decisões no planeamento do processo logístico de fornecimento JIT são a escolha da estrutura de transporte; a determinação da dimensão da expedição e frequência de entrega; o estabelecimento de calendários de entrega; selecção de veículos; formulação de métodos de recepção e procedimentos técnicos, e o estabelecimento de processos de reabastecimento, e respectivas políticas e procedimentos. A implementação do fornecimento JIT é influenciada por factores como complexidade do produto, volume de produção, e diversidade de linhas do produto. A investigação sugere que a cultura organizacional, as características da estrutura da empresa e o seu sistema de avaliação e controlo influenciam os objectivos e a implementação do fornecimento JIT. Para ganhar rendimento e eficiência e responder rapidamente ao mercado são realizadas frequentemente modificações temporárias nas operações de fornecimento. Consequentemente, os mecanismos da logística de fornecimento não são fixos no tempo, sendo flexíveis e dinâmicos (Ferrin, 1994).

De seguida descreve-se a influência dos factores de que depende o fornecimento JIT.

Tipo de produto

O tipo de produto usado pode ser tão diversificado que não exista um método melhor de entregas que administre todas as variações de custo, peso, quantidade, volume ou outras considerações de manipulação de materiais, como mostra a Figura 1.1 (Richard Lubben, 1989).

Plano de entregas	Tipos de materiais
1. Diário	Material volumoso Peças muito caras Fornecedores locais
2. A cada 2 a 5 dias	Fornecedores não locais Materiais de preço médio Usados em grandes quantidades
3. A cada 2 a 4 semanas	Materiais de baixo custo que ocupem pouco espaço

Figura 1.1

Nos estágios iniciais do JIT, um fabricante irá realizar combinações dos quatro seguintes métodos de entrega de materiais. O melhor método é que todos os materiais sejam entregues diariamente na produção. Quando isso não for possível, é preferível colocar pelos menos os materiais mais volumosos como peças muito grandes e material de embalagem para entrega diária. Esses produtos requerem um grande quantidade de espaço e a produção irá beneficiar de forma apreciável com as entregas diárias na linha de produção. A segunda prioridade é fazer com que os fornecedores mais distantes entreguem as peças caras diariamente na produção. A última prioridade é a entrega diária de materiais de baixo custo e de pouco volume.

Quando o valor do produto é muito elevado, o custo de transporte pode ser insignificante. Tal significa que os custos de stock sejam mais elevados do que os custos de transporte, havendo vantagens na elevada frequência de entrega (Ferrin, 1994).

Um método alternativo para os materiais que não podem ser recebidos diariamente é armazenar maiores quantidades de stock, ou seja, a procura de poucos dias ou semanas, na linha. Isso evita a necessidade de entregas diárias, mas reduz consideravelmente a manipulação de materiais, mantendo o nível de stock relativamente baixo na linha de produção. Os materiais com um valor muito baixo, como ferragens, podem ser adquiridos em quantidades mensais. Normalmente, esses materiais não representam uma quantidade significativa de espaço de armazenamento.

Qualidade e disponibilidade de materiais

Dois requisitos primários que influenciam a entrega e os stocks são a qualidade dos materiais e sua disponibilidade. Se a qualidade dos materiais fornecidos exigir um posto de inspeção na recepção, os níveis de stock devem ser mantidos para permitir o tempo de inspeção e de substituição das peças não conformes as especificações. A disponibilidade de materiais também influencia os níveis de existências. Caso não puder ser alcançado um fornecimento contínuo, serão necessários stocks. As entregas frequentes de produtos para a linha de produção é fundamental para a qualidade e

disponibilidade do produto. Se os materiais têm de ser inspeccionados, o nível de stock deve ser maior. Se o material puder ser entregue directamente na linha de produção, conforme as necessidades (JIT), os níveis de stock serão mínimos. A Figura 1.2 indica a influência do plano de entregas nos níveis de stock do cliente (Richard Lubben, 1989):

Programa de entrega de materiais	Níveis de stock necessários		
	Alto	Médio	Baixo
Inspeção na recepção	X		
Recepção para stock		X	
Recepção para a linha		X	
Linha para linha			X
	Baixa	Média	Alta
	Frequência de entregas		

Figura 1.2

Assumindo que a qualidade e a disponibilidade estejam resolvidas, o problema é determinar a frequência das entregas e a quantidade em stock a ser mantida. Os dois assuntos são tão interligados que qualquer decisão sobre um irá influenciar o outro. Quanto maior a frequência de entregas, menor a quantidade a manter em stock. Consequentemente, seria melhor que uma empresa iniciasse pela determinação de qual problema é menos flexível (entrega ou stocks) e então determinar que tipo de solução é necessário para o outro factor.

Este estudo parte do pressuposto que a qualidade e a disponibilidade estão resolvidas.

1.3.4 Modelos de entregas JIT

A entrega Just-in-time tem significados diferentes para empresas diferentes. À medida que a distância entre o fornecedor e o cliente aumenta, o significado da entrega JIT começa a mudar.

Muitos clientes dão aos fornecedores um intervalo de "entrega e quantidade" que permite uma margem especificada para entregas no prazo e quantidade de peças. A meta do JIT é a entrega no dia em que é necessário da quantidade exacta de peças.

Segundo Richard Lubben (1989), a **Hewlett-Packard** define a entrega JIT como sendo entre 3 dias antes e 0 depois e a **Apple Computer** como sendo ± 2 dias em relação à data planeada. Para os fornecedores que fazem entregas no sistema "Appleban" (kanban) da Apple, as entregas no prazo são esperadas diariamente. Apesar de cada empresa dever estabelecer uma faixa de acordo com as suas necessidades particulares, o objectivo é minimizar as entregas antes do prazo e eliminar as entregas com atraso.

O mesmo autor refere que diversos sistemas foram desenvolvidos para melhorar a eficiência das entregas de fornecedores localizados na vizinhança do cliente. A **Xerox**

Corporation em Webster, New York, instalou um sistema de rotas para administrar as entregas para uma linha que produz cerca de 90 fotocopiadoras por dia, com vista a melhorar o fluxo de tráfego de materiais que são entregues diariamente. Este sistema de rotas consiste em fornecedores localizados dentro de um raio de 40 milhas da fábrica da Xerox, visitados por um camião da Xerox que carrega as requisições diárias e regressa à linha de montagem antes de começar a produção. Na filosofia da Xerox, este esquema de rotas é um sistema integrado projectado para otimizar o processo de movimentação dos produtos do fornecedor directamente para a linha. Para otimizar o desempenho da entrega ao cliente, cada fornecedor embala os materiais em contentores especiais projectados de acordo com o posto de produção. Estes contentores são entregues ao fornecedor. Na doca de expedição do fornecedor, um quadro mostra o plano de entregas da semana. O uso desse quadro é o elemento chave para assegurar que as entregas diárias estejam no lugar na hora que o camião chegar. Após um ano de operação, este sistema demonstrou um impressionante desempenho com índices zero de atraso de entregas, índice zero de entregas cedo demais e índice de defeitos zero.

Num sistema JIT, as mudanças no planeamento são permitidas se houver tempo suficiente. O motorista é responsável por entregar as alterações do plano de produção a cada empresa visitada.

Os fornecedores de locais mais distantes podem ser capazes de melhorar a sua capacidade de entrega implementando um sistema de transporte similar. O objectivo é reduzir o custo global de entregas.

Um segundo conceito, que algumas vezes é usado pelas empresas para os seus fornecedores, é a implantação de um entreposto e pagar a alguém para fazer as entregas diárias a partir dele. A desvantagem está no facto de ao fazer-se stock, torna-se uma solução de alto risco e preço. Provavelmente, somente os maiores clientes precisarão de volume suficiente de produtos para justificar a implantação de um armazém caro.

1.3.5 Finanças e sistema de entrega JIT

Para que a produção JIT se torne uma realidade, os departamentos de compras e de logística devem desenvolver sistemas que possam suportar entregas frequentes. Existem soluções para manusear cargas elevadas de pedidos. Por exemplo, o sistema electrónico de pedidos irá funcionar se os fornecedores tiverem equipamentos compatíveis e possam transmitir directamente para o sistema do cliente. É necessário um sistema de verificação para provar que as peças foram recebidas. Outra solução é pagar os fornecedores baseado nos registos de compras e/ou unidades que completarem o processo de montagem.

1.3.6 Factores que influenciam o cumprimento do plano de entrega

A capacidade de um fornecedor entregar no prazo é uma combinação de factores, alguns dos quais são controlados por ele e outros pelo cliente.

O ideal para uma empresa que trabalha em JIT é colocar o fornecedor num sistema kanban e em comunicação directa com a produção. Nessa situação, ele recebe a informação a respeito das necessidades da produção seguinte cada vez que for feita uma entrega. Para ser eficaz, um fornecedor deve estar envolvido com o JIT e ter flexibilidade para responder às necessidades do cliente de acordo com a procura.

Num sistema JIT, uma preocupação importante para o fornecedor é controlar as necessidades do cliente de perto. Para que isso ocorra, o fornecedor deve reduzir o ciclo de produção ao mínimo. O ciclo é a combinação do tempo que o fornecedor demora a iniciar a produção (tempo de espera) e o do ciclo de produção propriamente dito. A redução do tempo de produção é da responsabilidade do fornecedor e consiste largamente no isolamento dos gargalos nas operações, equilibragem do sistema de produção e redução do tempo de preparação. As compras têm a habilidade para influenciar o tempo de espera num sistema através dos contratos de longo prazo. Também pode aliviar o fornecedor de alguns dos gargalos internos e ao mesmo tempo nivelar a carga de trabalho do fornecedor solicitando entregas frequentes. Para tirar vantagem das entregas frequentes, o fornecedor deve produzir em lotes menores. O fornecedor deve reduzir os tempos internos de preparação.

O processo de nivelamento da linha (manter uma taxa constante de produção dia a dia e semana a semana) é crítico para suavizar o processo de produção. Alterações moderadas no planeamento podem ser toleradas pelos fornecedores com flexibilidade JIT. Entretanto, se as necessidades de produção de curto prazo flutuarem de forma substancial, será impossível que um fornecedor mantenha as entregas. Sendo assim, as empresas cliente e fornecedor, devem adoptar uma política de âmbito geral sobre alterações do planeamento, já que permitir frequentemente mudanças abruptas cria muitas condições negativas que geram stocks e baixa qualidade. A razão para fixar ou congelar o plano de produção, é que uma vez iniciada a produção, não há possibilidade para que sejam incluídas requisições adicionais.

A situação que todos os fabricantes JIT enfrentam é como receber pequenos lotes de materiais diariamente. Entregas diárias podem causar congestionamentos de tráfego na medida em que múltiplos fornecedores convergem ao mesmo tempo para entregar as suas mercadorias. Adicionalmente, existem os problemas de recepção de materiais, remoção da embalagem e manipulação para a linha de produção.

As entregas frequentes Just-in-time (JIT), difundidas actualmente por todas as indústrias de serviços e produção, são consideradas como a maior causa da situação de deterioração do tráfego (Peeschberger et al, 1994). Um relatório da comissão British Royal classifica a entrega JIT ineficiente e recomendou que o número e a frequência de

entregas seja diminuído drasticamente para reduzir a congestão do tráfego e a poluição do ar (Gooley Toby,1995)

1.3.7 Literatura revista

Segundo Golhar and Stamm (1991), os problemas das compras JIT são discutidos por Gupta (1990) e Schonberger e Gilbert (1983) e outros. Estes identificaram os tópicos relacionados com os fornecedores que incluem entregas fiáveis e frequentes de componentes de qualidade em pequenos lotes. Como compensação, na relação com o fornecedor, o comprador JIT espera conceder um contrato a longo prazo, e estabelecer uma comunicação estreita com os fornecedores.

A relação com o fornecedor no ambiente JIT tem também sido examinada extensivamente. Segundo Golhar e Stamm (1991), alguns dos problemas identificados em artigos conceptuais (Ansari e Modaress, 1986, e Balsmeier 1988), são a falta de suporte por parte dos fornecedores, qualidade dos produtos e falta de comunicação. As soluções recomendadas para estes problemas são o treino dos fornecedores, contratos a longo prazo, certificação dos fornecedores e programas de auditoria às fábricas. Além dos artigos conceptuais, muitos estudos empíricos das compras JIT têm sido publicados.

Segundo Golhar e Sarker (1992), para implementar a filosofia JIT com sucesso, a empresa JIT deve receber frequentes entregas de componentes de elevada qualidade em pequenos lotes (Gupta 1990, Lee and Ansari 1985, Jordan 1988, Newman 1988 e Ran and Liao 1989). De acordo com estes investigadores, a pequena dimensão da entrega resulta num baixo setup para o fornecedor, reduz o stock na produção e aumenta a produtividade do fornecedor, beneficiando ambos o fornecedor e o cliente.

Segundo Golhar e Sarker (1992), este tópico foi futuramente investigado por Chapman e Carter (1990) e Chapman (1989), que estabeleceram um modelo de regressão para empiricamente examinar a relação entre o stock do cliente (como variável dependente) e a dimensão da expedição (como variável independente). Estes autores determinaram que a contribuição da quantidade expedida é estatisticamente significativa para a redução de stock.

Muitos fornecedores das empresas JIT respondem a este desafio pela produção de elevados lotes, suportando o excesso de produtos acabados em stock nos seus armazéns e entregando em pequenos lotes como o desejado pelas empresas clientes (Newman 1988). Newman (1988), refere que as necessidades do cliente de ter fornecimentos JIT, podem não proporcionar economias de produção no fornecedor. Os fornecedores neste caso, podem estar a produzir em grandes lotes e suportar o stock, estritamente para criar a ilusão do ambiente JIT. Existe a percepção que os clientes estão meramente a empurrar o stock para os fornecedores, esperando injustamente, que os fornecedores suportem o stock em excesso sem custos extra. Consequentemente, numa primeira instância, os fornecedores têm razões para acreditar que a sua participação no sistema de entrega JIT é lhes economicamente desvantajosa. Para conseguir a participação dos

fornecedores no sistema de entrega JIT, Newman (1988) argumenta que "pode-se saber o lote económico de produção do fornecedor, e mandar-se comprar essa quantidade". Newman diz que uma pequena concessão de uma parte pode ser significativa para a outra parte. Para se estabelecer um ambiente vantajoso para ambos os intervenientes, é às vezes necessário fazer concessões razoáveis que preservam o objectivo principal do conceito Just-in-time.

Segundo Golhar e Stamm (1991), as variáveis críticas das compras JIT, são as entregas frequentes de componentes, em lotes de pequenas quantidades, de acordo com as especificações de qualidade previamente definidas, e a comunicação entre o cliente e as empresas fornecedoras. Além destas, a organização da produção das empresas fornecedoras é também importante. Este aspecto será alvo da análise neste trabalho.

Segundo Ansari e Modarress (1988), comprar em pequenos lotes com frequentes entregas origina, alguns potenciais problemas, relacionados com a desejável frequência de entregas tipicamente diária ou semanal para cada e todos os componentes. Não há regras seguras e rápidas que ditam entregas diárias para todas as peças. Na HP Greeley Division, por exemplo, mais de 4000 peças são compradas, mas apenas 45 são entregues numa base JIT. As razões para esta variação são: (a) é indesejável para as empresas desperdiçar o seu tempo em milhares de fornecedores e comprar milhares de componentes numa base diária ou semanal quando essas actividades não resultam em benefícios significativos, e (b) O senso comum pode ditar que as entregas semanais ou anuais pode ser uma boa solução só para algumas peças.

O aumento da frequência de entregas, será um método teoricamente fácil de implementar desde que os fornecedores não estejam muito longe da empresa. No entanto a frequência de entregas irá levar o fornecedor a expedir menores quantidades do produto.

Richard T. Lubben (1989) refere que, conforme o tipo de controle e programação da produção do fornecedor, os efeitos da frequência de entregas são diferentes:

- Um sistema de controle de produção puxado não se pode alimentar de um sistema de produção empurrado. O resultado de tentar fornecer um cliente com entregas JIT sem usar o JIT na produção é um excesso de stock que não é usado e uma falta de produtos não planeada. A possibilidade do fornecedor fazer entregas frequentes, de acordo com um sistema JIT, é dependente da sua capacidade de produzir de acordo com a quantidade a entregar ao cliente. Se um fornecedor produz em lotes, mas faz entregas frequentes, isso indica que o fornecedor está a manter stocks para o cliente. É necessário que o fornecedor empreenda um esforço para reduzir a dimensão dos lotes.

- Um fornecedor JIT será capaz de entregar o produto directamente na linha do cliente, evitando a recepção, inspecção e armazenamento, deduzindo significativamente os custos operacionais internos do cliente.

Este autor refere que um fornecedor JIT tem as seguintes vantagens:

- Custos reduzidos de produção.
- Altos níveis de qualidade.
- Elevada fiabilidade de entrega.
- Redução dos custos de manipulação pelo cliente.
- Relações de longo prazo com o cliente.
- Contratos de longo prazo.

Por outro lado, o aumento da frequência de entregas traduz-se num aumento dos custos de transporte, que é também uma variável crítica do sistema. Será necessário rever toda a logística de transporte, a fim de se criarem circuitos otimizados para a recolha de peças e locais de concentração, no caso de vários fornecedores de uma mesma região estarem afastados da empresa.

Existe uma ideia errada em pensar que a entrega diária aumenta os custos de transporte mais do que a poupança verificada na redução do stock (Ansari e Modarress, 1988). Duas aproximações têm sido usadas pela Kawasaki, Nissan, HP e GM Buick division para reduzir os custos de transporte frequentemente associados às entregas diárias. A primeira desenvolve um programa de transporte consolidado com diferentes fornecedores. Um dos importantes benefícios deste programa é ajudar os fornecedores a partilhar os camiões de entrega. Outra forma de minimizar os custos de transporte é seleccionar fornecedores locais, quando for possível. Se uma fonte de abastecimento local não é possível, as empresas encorajam os potenciais fornecedores a deslocar as suas operações e instalações para perto de si através da oferta de contratos de longo prazo e relações estreitas. Por exemplo a Buick Division encorajou os seus fornecedores a localizar as suas instalações fabris na "Buick City" em Flint, Michigan. De facto, este é um dos importantes factores que aumenta as hipóteses dos fornecedores a ganharem contratos com a Buick.

Hahm e Yano (1992) afirmam que a dificuldade do JIT, está na relação entre o fornecedor e os clientes, em que o importante é a sincronização entre a produção do fornecedor e a expedição para o cliente. Uma questão chave é a frequência com que essas actividades devem ocorrer na presença de economias de escala de transporte e produção.

A frequência de entregas pode ser dependente de algumas necessidades de transporte. Desta forma, é do interesse dos fornecedores organizarem-se a fim de poderem entregar aos clientes pequenas quantidades, com prazos curtos e frequência elevada, pela:

1. Criação de um entreposto de agrupamento. Trata-se de um local onde cada fornecedor da região realiza diariamente as suas entregas, antes de uma hora determinada em função das necessidades que lhe foram confirmadas de véspera.

Todos os dias, a uma determinada hora um camião de grande capacidade deixa o entreposto com destino à fábrica, de tal modo que na manhã seguinte logo que o pessoal do 1º turno chega à fábrica, dispõe do que necessita para a produção do dia.

2. Utilização de um veículo proveniente de um fornecedor distante poderá por exemplo parar algumas vezes ao longo do seu percurso para efectuar cargas complementares noutros fornecedores.
3. Criação de um circuito de entregas efectuado por um veículo do fornecedor, compreendendo vários clientes.
4. Agrupamento de empresas que tenham idênticas necessidades de transporte e que assim ajudem a suportar os custos.
5. Utilização de outros meios de transporte, por exemplo veículos mais pequenos.
6. Em alguns casos, os fornecedores podem trabalhar juntos para combinar entregas num único camião, de modo que possam ser enviadas menores quantidades pelos fornecedores individuais.
7. Subcontratação de empresas cujos veículos efectuem determinados percursos sem carga completa.

Cada um destes métodos permite ao fornecedor aumentar a frequência de entrega. Uma vantagem adicional das entregas frequentes é que a perda de uma pequena remessa terá menos significado do que a perda de uma grande remessa.

Tendo em conta esta revisão literária, e com base nos modelos de Golhar e Sarker (1992), Hahm e Yano (1992) e de Burns et al (1985) apresentados no capítulo 2, é desenvolvido um novo modelo. O modelo de Golhar e Sarker (1992) estabeleceu uma relação analítica entre a quantidade expedida e o custo total de fornecimento que inclui os custos de encomenda de matérias primas, de posse de stocks de materiais e de produtos acabados, e de setup. Estes autores concluem que há vantagens para o fornecedor e cliente no fornecimento JIT. O custo total torna-se uma função linear da quantidade entregue, e assim a maior frequência de entrega resultará num custo menor incorrido para o fornecedor. No entanto a maior frequência de entrega resultará num aumento do custo de transporte, podendo contradizer a conclusão de Golhar e Sarker.

Baseado nos modelos referidos e na análise dos custos de transporte incorridos no fornecimento JIT, será construído um modelo analítico, que permite relacionar o custo global do fornecimento de um produto com a quantidade a expedir, num sistema integrado de produção e fornecimento JIT. Com base neste modelo foi construído um outro, de simulação, que permitiu analisar se as vantagens das empresas clientes no fornecimento JIT se tornam em desvantagens para os seus fornecedores. O modelo de simulação é apresentado no capítulo 3.

O modelo de simulação tem como objectivo principal estudar a influência da variabilidade de factores como:

- O relacionamento entre o ciclo de produção do fornecedor e o ciclo de expedição ao cliente;
- Tipo de abordagem ao planeamento e controle da produção do fornecedor, isto é, produção para stock ou produção just-in-time;
- Frequência de entregas;
- Tipo de transporte:
 - Usando o transporte primário;
 - Usando o transporte secundário;
- Número de fornecedores da rede de fornecimento, e conseqüentemente estuda-se o factor número de produtos fornecidos por cada fornecedor.

Os modelos de simulação e analítico devem ser instrumentos de análise e de apoio à decisão, permitindo, por um lado, verificar se o funcionamento em JIT é vantajoso para o fornecedor e cliente quando cada um deles tem de assumir os custos de transporte, e por outro lado, estabelecer os valores dos parâmetros do sistema de entrega JIT, ou seja, do fornecimento de um sistema integrado fornecedores-cliente em ambiente JIT.

Os modelos permitem analisar o comportamento dos custos do fornecedor, cliente e transporte no sistema de entrega JIT, face à variação da frequência de entregas; à influência das estratégias de transporte utilizadas, do tipo de planeamento e controle da produção do fornecedor, do nível de relacionamento entre o ciclo de produção do fornecedor e o ciclo de expedição ao cliente, do número de fornecedores da rede de fornecimento. Esta análise é realizada no capítulo 4.

No capítulo 5, expõe-se as conclusões do presente estudo, verificando-se que o sistema de entrega JIT só será vantajoso para o cliente e fornecedor, para determinados valores de parâmetros de funcionamento, dependendo da configuração operacional e física do sistema de produção e distribuição.

2. MODELO ANALÍTICO

2 Modelo analítico

2.1 Revisão da literatura

Apresentam-se detalhadamente, alguns estudos da literatura revista, que têm maior relevância para este projecto, e que servirão de base para construção do modelo analítico.

Idealmente, de um fornecedor e de um comprador JIT, pretende-se sincronizar a capacidade de produção do primeiro com a procura do comprador, então o stock no fornecedor é reduzido e eventualmente eliminado (Golhar and Sarker,1992).

Há a percepção entre os fornecedores que a participação no sistema de entrega JIT é economicamente desvantajosa para eles. Para testar esta conjuntura, Golhar e Sarker (1992) estudaram a problemática de como a implementação das entregas JIT afectará a economia do fornecedor respondendo a uma procura determinística em intervalos fixos. Do estudo concluíram que, em certas condições, o custo total do fornecedor, no fornecimento ao cliente, diminui linearmente com a redução da quantidade a expedir e que os fornecedores beneficiam com isso.

2.1.1 Modelo de Golhar e Sarker (1992)

Os referidos autores desenvolveram um modelo da quantidade económica de encomenda para um estágio simples da produção do fornecedor, para investigar qual a quantidade económica do escoamento, e mostrar que os fornecedores também beneficiam pelo facto de fornecerem em pequenos lotes.

Os pressupostos do modelo são:

1. No sistema de entrega JIT é assumido entregar mercadorias numa quantidade exacta em intervalos fixos, isto é, está-se perante um sistema de entrega de intervalos fixos segundo uma condição determinística.
2. É também claro que o custo total do fornecedor diminuirá com a dimensão da quantidade expedida. No entanto, não se estabeleceu ainda matematicamente quanto é que o custo total diminuirá. O artigo dos referidos autores coloca este problema e estabelece a relação entre quantidade expedida e o custo total.
3. Assume-se que o fornecedor encomenda matérias primas na quantidade Q_r e converte-as em produtos acabados a serem fornecidos ao comprador JIT.
4. A procura anual para um produto acabado, D , é conhecida e fixada.
5. A taxa de produção, P é assumida para ser maior que a taxa de procura D .
6. A expedição de x unidades cada, são para ser entregues ao comprador JIT em intervalos fixos de L unidades de tempo.
7. Tanto x e L são pré-especificados.

Para encontrar a quantidade económica de produção para o escoamento da produção do fornecedor são considerados os custos de encomenda e de posse de stock das MP, o custo de setup do processo de produção e os custos de posse dos produtos acabados no desenvolvimento da função de custo total do fornecedor.

Devido à procura discreta que ocorre em intervalos fixos, o comportamento do stock disponível neste problema é diferente do modelo tradicional de produção com procura contínua. Como se observa na Figura 2.1, durante T_1 , a procura discreta de x unidades ocorre em intervalos de L unidades de tempo, fazendo com que a flutuação do stock se assemelhe ao perfil de uma serra. Durante o restante tempo do ciclo T_2 , o stock disponível esgota-se em intervalos regulares.

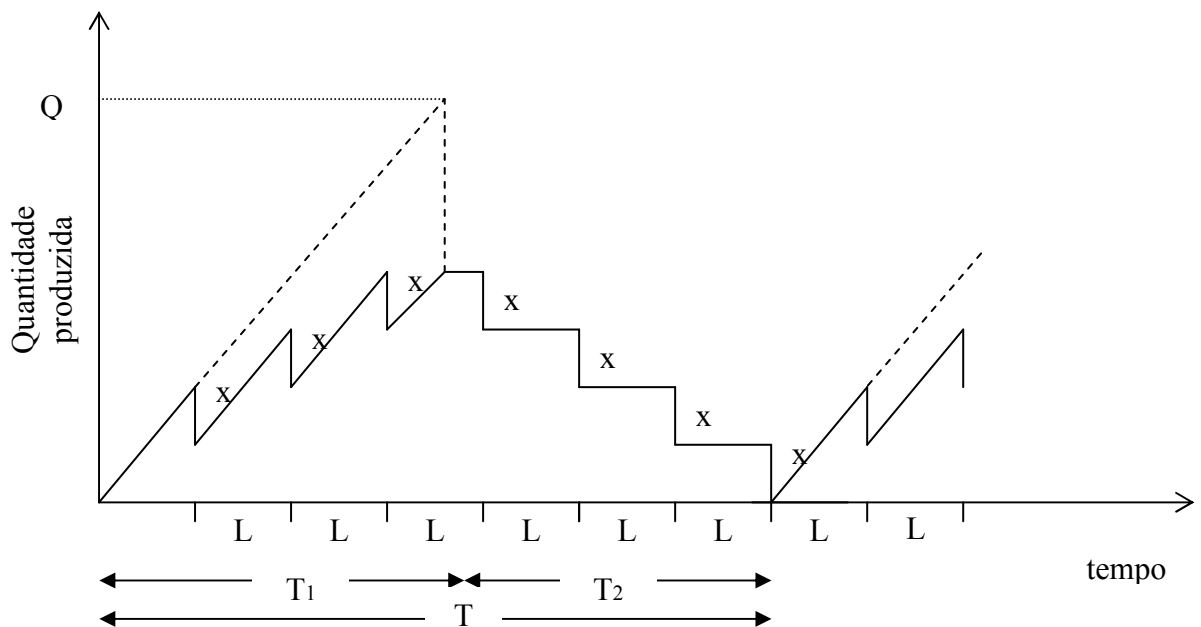


Figura 2.1: Modelo de Golhar e Sarker

Definiu-se o tempo do ciclo (T) como o tempo que vai desde o momento que a empresa começa a produzir, mais o tempo durante o qual deixa de o fazer até ao recomeço de nova produção. O tempo durante o tempo de ciclo, no qual a empresa produz, designa-se por tempo de produção, T_1 .

A quantidade de produção, Q , deve ser exactamente coordenada com a procura do tempo de ciclo.

O tempo de produção, pode ser no máximo igual a T : $T_1 \leq T$

n : número de expedições durante o tempo T_1

T_1 pode não ser composto por n expedições exactas: $n.L \leq T_1$.

Quando a produção pára, o stock disponível não cresce mais. Os produtos acabados serão suficientes para as restantes expedições para além de T_1 , e a dimensão da última expedição pode ser menor que x .

Notação utilizada

D: procura, unidades/ano

P: taxa de produção, unidades/ano

x: quantidade expedida, unidades/expedição

Ir: custo de posse das matérias primas, \$/unidade-ano

If: custo de posse de produtos acabados, \$/unidades-ano

Co: custo de encomenda de matérias primas, \$/encomenda

Cs: custo de setup da produção por cada lote de produção: \$/lote produção

Qr: quantidade de matérias primas encomendada, unidades/encomenda

Q: quantidade de produtos acabados produzidos por lote de produção, unidades/lote de produção

Definições

L, tempo entre sucessivas expedições, $L=x/D$

Y, quantidade produzida durante o período L, $Y=L.P=P.x/D$

T₁, período de produção, $T_1= Q/P$

T, tempo do ciclo, $T= Q/D$, sendo portanto $Q=D.T$ ou $Q=T_1.P$

T₂, $T_2=T- T_1=Q((1/D)-(1/P))$

Y-x: stock de produtos acabados constituído no final de cada período de expedição durante o tempo de produção $Y-x=(P/D-1).x$

Qavg: quantidade de stock médio por ciclo

Função de custo

Foi desenvolvida uma função do custo total por lote de produção Q, CT(Q), para determinar a quantidade óptima de produção. Assume-se que as matérias primas são procuradas e convertidas em produtos acabados durante o período de produção T₁.

CT(Q) = Custo total do sistema de matérias primas (CTmp) + Custo total do sistema de produtos acabados (CTpa)

CTmp= Custo de encomenda das matérias primas (CEmp) + Custo de posse das matérias primas (CPmp)

$$CEmp = (D/Q).Co$$

↓

número de encomendas de MP

$$CPmp = (D/P).Q/2.Ir$$

↓

Quantidade média de matérias primas em stock

CTpa = Custo de preparação da produção (CS) + Custo de posse do stock de produtos acabados (CPPa)

$$CS = (D/Q).Cs$$

↓

número de vezes que se produz

$$CPpa = Q_{avg} \cdot I_f$$

O custo total por lote de produção tem a seguinte expressão:

$$CT(Q) = \frac{D}{Q} \cdot Co + \frac{D \cdot Q}{P \cdot 2} \cdot Ir + \frac{D}{Q} \cdot Cs + Q_{avg} \cdot I_f$$

A expressão do custo total foi determinada para duas situações, a coordenação perfeita e a coordenação imperfeita, como de seguida se descreve.

Coordenação imperfeita

A coordenação imperfeita ocorre quando o tempo de produção T_1 e o tempo de ciclo T não são exactamente inteiros múltiplos dos intervalos de expedição L . Tal acontece quando a última expedição no tempo de ciclo T , é menor que x e toma lugar L'' ($L'' < L$) unidades de tempo a partir da anterior expedição (Figura 2.2). Neste caso foi desenvolvido um algoritmo simples para obter o lote de produção óptimo e o custo mínimo associado. A expressão de Q_{avg} é obtida. A função de custo total associada é encontrada, sendo não diferenciável relativamente à variável dimensão do lote de produção Q .

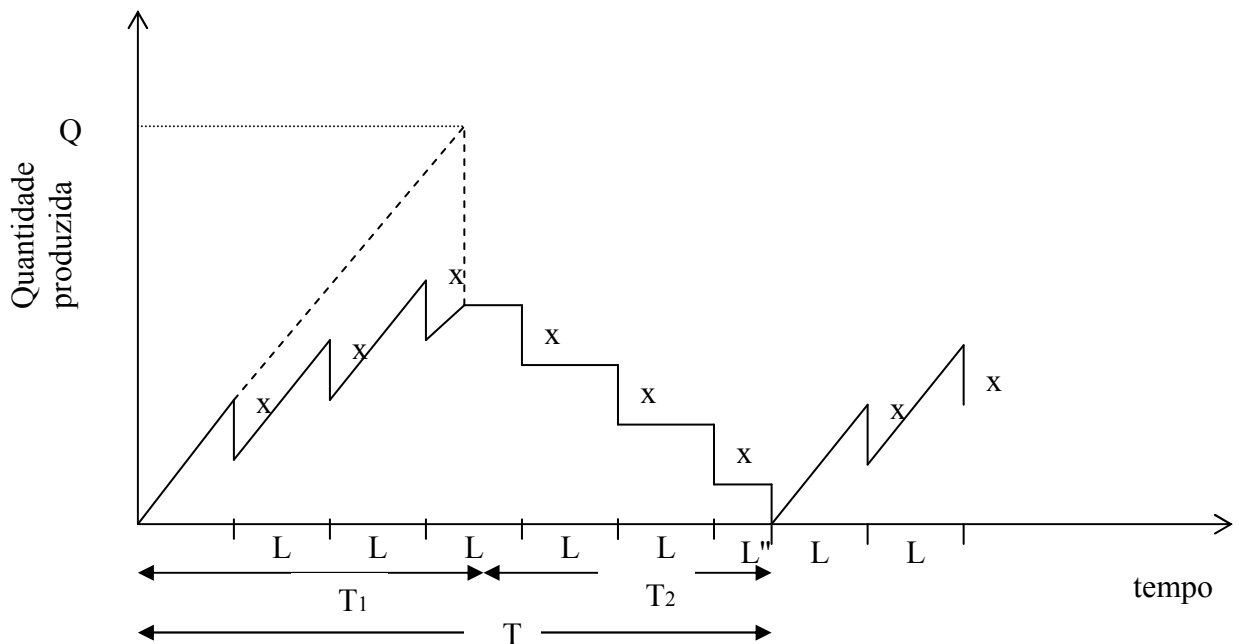


Figura 2.2: Coordenação imperfeita

Coordenação perfeita

A coordenação perfeita ocorre quando o tempo de produção e o tempo de ciclo são cada um, inteiros múltiplos dos intervalos de expedição, ou seja $T_1 = n \cdot L$ e $Q = m \cdot x$, como mostra a Figura 2.1.

$$Q_{avg} = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{D}{P} \right) \right] \cdot Q + \frac{x}{2}$$

Fazendo

$$If^* = \left(1 - \frac{D}{P}\right) \cdot I_f$$

Simplificando a fórmula geral do custo total para esta situação, mostra-se o efeito da quantidade da expedição:

$$CT(Q) = (Co + Cs) \cdot \frac{D}{Q} + \left(D \cdot \frac{Ir}{P} + If^*\right) \cdot \frac{Q}{2} + \frac{x}{2} \cdot I_f$$

Neste caso, determina-se a quantidade de produção ótima, Q_0 , igualando a zero a primeira derivada, do CT em ordem a Q. Q_0 é independente da dimensão da expedição, x.

$$Q_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot P \cdot (Co + Cs)}{D \cdot Ir + P \cdot If^*}}$$

É de realçar que a expressão de Q_0 é idêntica à quantidade obtida para um modelo de escoamento de produção sujeito a um procura contínua.

Substituindo Q por Q_0 na função de CT, obtém-se a seguinte expressão para o custo total mínimo:

$$CT(Q_0) = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot (Co + Cs) \cdot (D \cdot Ir + P \cdot If^*)}{P}} + \frac{x}{2} \cdot I_f$$

Examinando a função de custo total, para uma dada procura e determinados parâmetros de custo de encomenda de MP (Co) e de preparação (setup) de produção (Cs), o custo total mínimo, segundo a condição de coordenação perfeita, diminui linearmente com a redução da dimensão da expedição. Tal significa que para uma pequena quantidade expedida verifica-se um menor custo de stock. Se a quantidade expedida tender para zero, implica que a procura é contínua, e os resultados são idênticos aos do modelo de escoamento da produção com procura contínua. Isto sugere que o Q_0 não é afectada pelo tipo de procura, quer contínua quer discreta. Os referidos autores concluem então que é economicamente vantajoso para o fornecedor participar no sistema de entrega JIT.

Finalmente examina-se o impacto dos custos de setup e de encomenda no custo total. No ambiente JIT, a empresa fornecedora pretende reduzir os custos de setup e de encomenda ao mínimo possível, para reduzir a dimensão do lote de produção Q_0 .

No ambiente JIT o fornecedor para ser mais eficiente e flexível, tem de reduzir os custos de setup e de encomenda. Verificou-se que a fracção de economia no custo total, devido à redução do custo de encomenda e do custo de setup é não linear. Esta relação deve ajudar o fornecedor a justificar o investimento adicional necessário para reduzir os custos de setup e/ou de encomenda.

Li Zhuang (1993) comenta o artigo de Golhar e Sarker (1992), concordando com as conclusões gerais. No entanto o autor aponta algumas críticas, relativas a uma das condições segundo as quais os resultados são obtidos, que diz não ser necessária, e também, que a quantidade de produção óptima não é independente da quantidade de entrega, embora essa independência resulte mais de um método indirecto.

Relativa à primeira crítica, argumenta que para se verificar os resultados da coordenação perfeita, isto é, o custo total ser uma função linear da quantidade entregue, é apenas necessário que o tempo de ciclo seja um inteiro múltiplo do intervalo de entrega.

De facto, Hahm e Yano (1992) mostraram que é menos dispendioso operar o sistema segundo esta condição do que segundo uma condição mais geral, isto é, onde o tempo do ciclo não é um inteiro múltiplo do intervalo de expedição, que é o caso da coordenação imperfeita equacionada por Sarker et al (1992). Também vale a pena observar que a coordenação da entrega e produção tem um efeito no nível médio do stock do fornecedor. O baixo nível de stock pode ser obtido pelo desvio do calendário de entrega para um ponto mais cedo tal que a primeira expedição durante o novo ciclo de produção ocorra imediatamente depois da quantidade de entrega x ser produzida.

A segunda crítica é relativa à dimensão óptima do lote de produção Q_0 , cuja discussão considera muito ambígua, levando os leitores a tirar uma conclusão diferente, referindo que Q_0 não é independente da quantidade de entrega x , embora matematicamente Q_0 não esteja directamente relacionada com x . Tal é devido à derivação da função de custo total, e assim assume-se que a dimensão do lote de produção deve ser um inteiro múltiplo da quantidade entregue. Por outras palavras, Q_0 é óptimo apenas se a quantidade entregue x combinada entre o fornecedor e o comprador é tal que Q_0 é um inteiro múltiplo da quantidade entregue.

Golhar e Sarker, defendem-se das críticas de Li Zhuang. Relativamente ao primeiro ponto, argumentam que o facto da coordenação perfeita ocorrer quando o tempo de ciclo é um inteiro múltiplo do intervalo de entrega, é evidente a partir das definições das condições em que ocorre a coordenação perfeita. Relativamente ao segundo ponto, concordam com Li Zhuang, que a quantidade de produção óptima Q_0 , não é independente da quantidade entregue x . Sobre este ponto, dizem que pela sua experiência com empresas JIT, sugerem que os clientes JIT ditam a frequência de entregas, e por isso a quantidade de entrega. Assim a dimensão óptima do lote de produção pode ser um múltiplo inteiro de x .

2.1.2 Modelo de Hahm e Yano (1992)

Hahm e Yano (1992) estudaram o problema da determinação da frequência de produção de um só componente e a sua frequência de entrega ao cliente, que o utiliza a uma taxa constante, com o objectivo de minimizar o custo médio por unidade de tempo dos custos de setup de produção, de posse de stocks tanto no fornecedor, como no cliente e custos de transporte, relativos a um só artigo. Este estudo modela a taxa de produção finita do fornecedor e tem em conta o custo da acumulação de stock antes de cada

entrega. Além disso, incorpora os custos de transporte entre um fornecedor e um cliente. Este estudo concentra-se em apenas um componente produzido numa só máquina no fornecedor e entregue em intervalos regulares (a serem determinados), a uma linha de montagem no cliente com um custo fixo de entrega por expedição. Estes autores provaram que a taxa entre o intervalo de produção e o intervalo de entrega deve ser um inteiro na solução óptima. Os autores mostraram que na relação entre o intervalo de produção e o intervalo de entrega, é menos caro arredondar o valor do intervalo de entrega para o próximo maior inteiro, do que usar um valor menor mas não inteiro. Estes resultados foram usados para caracterizar as condições nas quais é óptimo sincronizar a produção e a entrega. Os resultados indicam quanto é que os custos de setup de produção e os tempos de setup devem ser reduzidos para ter uma solução óptima com características Just-in-time. Se o objectivo é encontrar a sincronização, há que ter em conta as seguintes considerações:

- No caso de produtos com tempos de processamento longo é necessário reduzir o tempo de setup.
- O rácio do custo de setup sobre o custo de transporte não pode exceder um valor, que por sua vez diminui com a utilização de capacidade da máquina pelo produto.

Estes autores inicialmente assumiram que o custo de entrega é uma constante, independente da quantidade entregue. Posteriormente, relaxou-se este pressuposto, e assumiu-se em vez disso, que o custo de entrega é uma constante independente da quantidade entregue, se é menor ou igual do que a capacidade do veículo. Isto é uma representação realista dos custos de transporte, se as mercadorias são expedidas em cargas completas dos veículos. A função de custo desenvolvida tem em conta o custo de transporte para cada veículo expedido, independentemente de ele estar cheio ou não. Com esta estrutura de custo, nunca é óptimo expedir mais que um veículo num intervalo de tempo, segundo as condições da procura determinística, porque os custos de stock aumentarão sem a correspondente compensação nos custos de transporte.

Os clientes devem estar localizados o mais próximo dos fornecedores devido ao baixo custo de transporte e ao tempo de transporte ser curto para responder rapidamente a uma solicitação inesperada (John et al,1993)

Refere-se de seguida, um modelo que considera explicitamente custos de transporte. No contexto de comparação das políticas de transporte primário com o secundário, onde um veículo faz entregas a múltiplos clientes na mesma viagem, Burns et al (1985) desenvolve um modelo para um só item onde o objectivo é minimizar os custos de transporte e stock por unidade de tempo. Os custos de transporte consistem numa carga fixa por veículo, e o veículo tem restrições de capacidade. Este modelo como o próprio autor refere, é aplicado ao caso do transporte de mercadorias de vários fornecedores a um cliente.

2.1.3 Modelo de D. Burns, Randolph W. Hall e Dennis E. Blumenfeld, Carlos Daganzo (1985)

Este modelo analisa e compara duas estratégias de distribuição, o transporte primário (Direct Shipping) e o transporte secundário (Collecting). O primeiro assume que na mesma viagem se assegura o transporte entre uma instalação fornecedora e o cliente. O segundo considera que na mesma viagem se assegura o transporte de vários fornecedores ao cliente. O artigo desenvolve fórmulas para o custo de transporte e para o custo de stock. O compromisso entre estes custos depende da dimensão da expedição. Os resultados obtidos indicaram que para o transporte primário a dimensão óptima da expedição é dada pela Quantidade Económica de Encomenda (EOQ), enquanto que para o transporte secundário a dimensão óptima da expedição é o veículo cheio. A ênfase deste artigo é uma aproximação analítica para resolver problemas da distribuição. A aproximação analítica tem em conta a densidade espacial dos clientes e a distribuição da procura dos clientes preferível à procura de clientes específicos em locais precisos.

Os custos de transporte primário aumentam quando uma quantidade fixa de produção é distribuída por um número crescente de clientes. Logo, nos casos onde o fornecedor expede para muitos clientes, as alternativas do transporte secundário podem ser consideradas vantajosas (Burns et al, 1985), tal como no caso inverso, de vários fornecedores a fornecer um cliente.

Burns et al, (1985) fazem uma análise exaustiva dos custos de transporte, como de seguida se descreve.

Transporte primário

Esta secção analisa os custos de expedição de cargas separadas de cada um dos fornecedores directamente para o cliente. Apresenta-se uma expressão para o custo de transporte por unidade.

Considerar para cada fornecedor

d : distância do fornecedor ao cliente (Km)

σ : custo fixo por paragem no fornecedor (\$/paragem)

γ : custo fixo por iniciar uma rota (\$/rota)

α : custo de transporte por unidade de distância (\$/Km)

V : dimensão da carga, isto é, quantidade transportada (itens/expedição)

O transporte primário envolve uma paragem por rota. O custo de transporte por rota F é

$$F = \gamma + \sigma + \alpha * d$$

e o custo de transporte por unidade, C_t , é

$$C_t = \frac{F}{V}$$

O C_t diminui com a dimensão da quantidade transportada, reflectindo economias de escala na expedição.

Então para uma dada distância entre A e B, o C_t varia da seguinte forma com a quantidade transportada, baseado no exemplo:

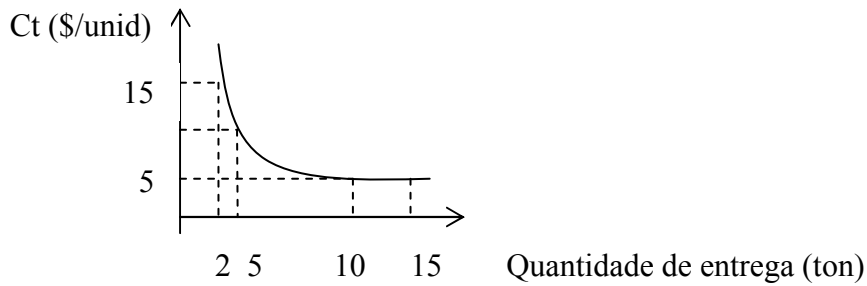


Figura 2.3

O C_t varia com a quantidade de entrega segundo uma exponencial negativa. Quanto maior for a quantidade de entrega menor é o custo de transporte por unidade. Por exemplo:

Situação 1

Quantidade de entrega = 10 ton /semana → Custo total de transporte = $10 \times 5 = 50\$00$

Situação 2

Quantidade de entrega = 5×2 ton/semana → Custo total de transporte = $5 \times 2 \times 15 = 150\00

Na curva de C_t da Figura 2.3 distinguem-se os seguintes casos:

1. Considerando o caso inicial de entrega de 15 ton, a passagem para a entrega de 10 ton não é significativa em termos de custo de transporte por unidade.
2. No entanto se considerarmos a passagem da entrega de 5 ton para 2 ton, o custo de transporte por unidade aumenta significativamente.

Concluindo, teremos que conhecer a zona na curva onde nos encontramos, para saber se há uma alteração significativa do custo de transporte por unidade.

Varição do custo de transporte com a distância (d)

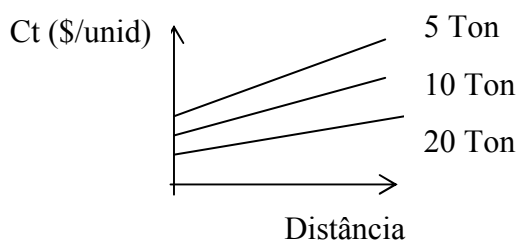


Figura 2.4

O custo de transporte por unidade (C_t) varia linearmente com a distância (Figura 2.4) segundo uma equação do tipo

$$C_t = K_1 + K_2 * d$$

É de notar que para uma determinada quantidade de entrega o custo de transporte por unidade é diferente para distâncias diferentes, sendo maior para a distância maior. Os

gráficos $C_t = f(d)$ e $C_t = f(\text{Quantidade de entrega})$ obtêm-se efectivamente através de tabelas de custo dos transportadores, como a seguinte (Figura 2.5):

Carga/local	Bragança	Coimbra	Braga	Porto
< 100 Kg	♦*	*	*	*
< 1 ton	♦			
< 2 ton	♦			
<3 ton	♦			

Figura 2.5: Tabela de custo de um transportador

A curva $C_t = f(\text{Quantidade de entrega})$ é obtida para uma distância fixa da tabela do transportador, variando a carga. O gráfico $C_t = f(d)$ é obtido para uma quantidade de entrega fixa, variando o local. As duas curvas podem ser resumidas no mesmo gráfico (Figura 2.6):

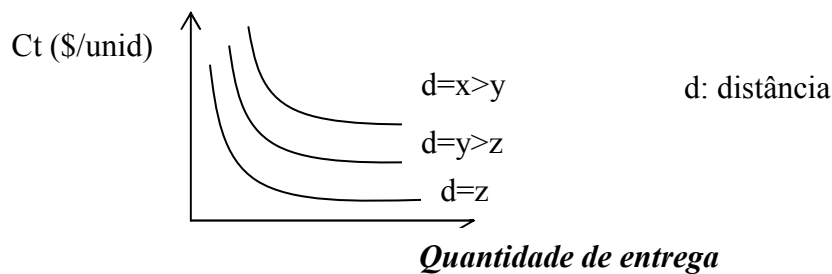


Figura 2.6: Representação gráfica da tabela de custo de um transportador

Transporte secundário

Quando um cliente JIT solicita uma quantidade fixa de artigos por unidade tempo, o fluxo médio de itens de cada fornecedor para o cliente diminui à medida que o número de fornecedores aumenta. Assim os custos de transporte primário aumentam à medida que uma quantidade de produção fixa é distribuída por um número crescente de fornecedores. Nos casos em que o cliente é fornecido por muitos fornecedores pequenos deve ser considerado o transporte secundário. Este tipo de transporte envolve a expedição de veículos que recolhem as entregas em mais que um fornecedor por rota. De seguida faz-se uma análise que avalia esta estratégia pela introdução de regiões de entrega. Esta análise desenvolve e avalia as equações de custo de transporte secundário.

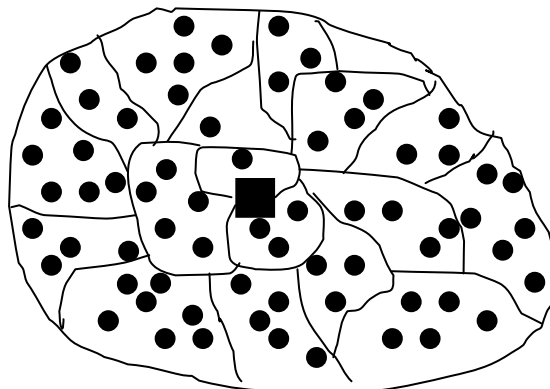


Figura 2.7: Regiões de entrega

Como mostra a Figura 2.7, as regiões de entrega são formadas pela divisão da região onde se inserem os fornecedores, em sub-regiões. As regiões de entrega definem grupos de fornecedores únicos que estabelecem a base para a definição das cargas dos veículos. As regiões de entregas definem áreas geográficas percorridas por um dado veículo para fazer as várias entregas.

O transporte secundário envolve três estágios de transporte: troço do cliente ao primeiro fornecedor a visitar, troço entre o primeiro e o último fornecedor da rota e o troço desde o último fornecedor ao cliente.

Variáveis de decisão do transporte secundário

O custo de entrega local por expedição aumenta com a dimensão da região de entrega, isto é, à medida que aumenta o número de fornecedores da rede de fornecimento ao cliente. Assim, se as regiões de entrega são pequenas os custos de entrega locais são mais baixos e custos de stock mais elevados. Esta situação sugere o compromisso entre os custos de entrega locais e os custos de stock, e que este compromisso depende da dimensão da região de entrega. As variáveis de decisão deste tipo de transporte são a dimensão da quantidade a expedir e a dimensão da região de entrega.

Custos de transporte secundário

Os custos de transporte envolvem os custos de entrega local tal como os custos de "ida e volta".

F' : custo total do transporte secundário por rota (\$/rota)

d' : distância total percorrida no transporte secundário por rota

m : número médio de paragens por rota

n : número de fornecedores por região de entrega

p : densidade de fornecedores (fornecedores/ Km^2)

área da região de entrega: n/p

$$F' = \gamma + \alpha \cdot d' + \sigma \cdot m$$

γ : custo de iniciar a rota

α : custo de transporte por unidade de distância

σ : custo fixo por paragem no fornecedor

V : quantidade da carga transportada

m depende da dimensão da região de entrega n , e da quantidade da carga.

A distância total, d' , pode ser expressa como a média da distância percorrida D aos fornecedores na região de entrega mais a distância local de entrega, d .

Segundo Burns et al (1985), baseado na análise do menor caminho Euclidiano que conecta m fornecedores localizados aleatoriamente na região de entrega, a distância local d pode ser aproximada por (Beardwood et al, Eilon et al, Stein):

$$d = K \cdot \sqrt{\frac{m \cdot n}{p}}$$

Onde K é uma constante igual a 0,6

$$d' = D + K \cdot \sqrt{\frac{m \cdot n}{p}}$$

Se D for a distância média percorrida entre o cliente e a região de entrega

O custo total de transporte por carga pode agora ser expresso como

$$F' = \gamma + \alpha \cdot D + \alpha \cdot K \cdot \sqrt{m \cdot n / p} + \sigma \cdot m$$

Burns et al (1985) determinaram que o número médio de paragens por carga, considerando que a procura do cliente é igual para todos os fornecedores da região de entrega, é

$$m = \sum_{i=1}^n [1 - (1 - q_i / n \cdot q)^V]$$

qi: procura solicitada ao fornecedor i

q: procura média solicitada aos fornecedores

Assim o custo de transporte por unidade (Ct) para o transporte secundário é

$$Ct = \frac{F'}{V} = \frac{\gamma + \alpha \cdot D + \alpha \cdot K \cdot \sqrt{\frac{m \cdot n}{p}} + \sigma \cdot m}{V}$$

O comportamento de Ct está representado na Figura 2.8:

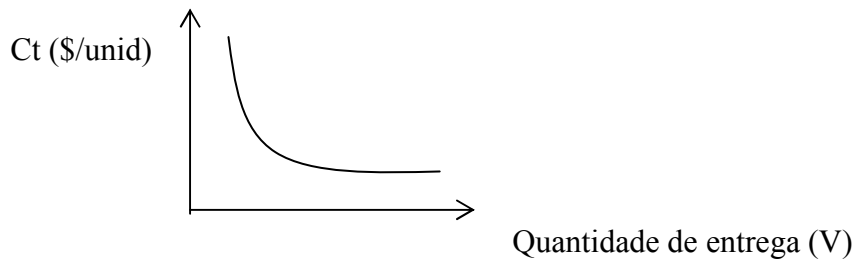
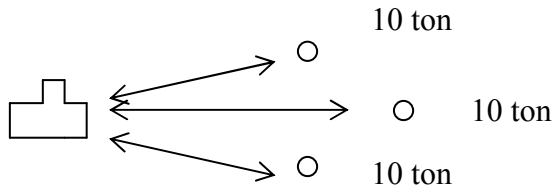


Figura 2.8

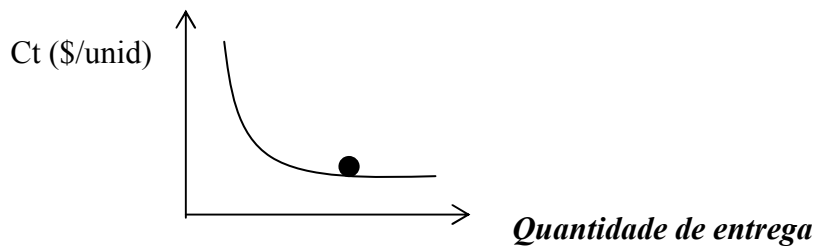
Burns et al (1985) refere que o transporte secundário é mais vantajoso para o fornecimento de pequenas quantidades de artigos de elevado valor aos clientes, para justificar o transporte e evitar os stocks. Os resultados indicaram que o transporte secundário é menos caro do que o primário para componentes de elevado valor. Esta vantagem de custo aumenta com a distância do cliente, número de fornecedores, valor dos artigos transportados e carga de transporte. Essa vantagem aumenta também, quando a média da procura dos vários artigos aos fornecedores diminui. Este autor refere que o custo de stock associado ao tempo em trânsito ao percorrer a rota é relativamente pequeno e pode ser negligenciado. Como o transporte secundário permite frequentes expedições para os fornecedores, sem excessivos custos de transporte porque os veículos poderão visitar sempre vários fornecedores até completarem a sua capacidade, torna-se uma solução para minimizar os custos de transporte, quando os objectivos da produção Just-in-time são procurados. Este autor sugere o transporte

secundário como solução para o fornecimento JIT, de entregas frequentes de pequenas quantidades. Esta afirmação pode ser ilustrada pelo seguinte esquema:

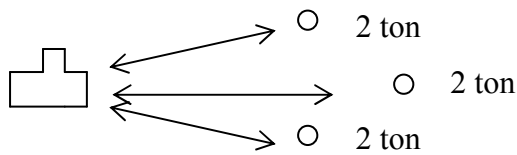
Inicialmente, suponhamos que se utiliza o transporte primário para assegurar a seguinte distribuição de cargas:



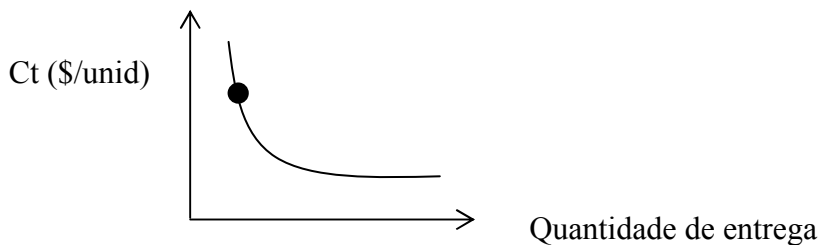
O Ct deste caso é assinalado por ●



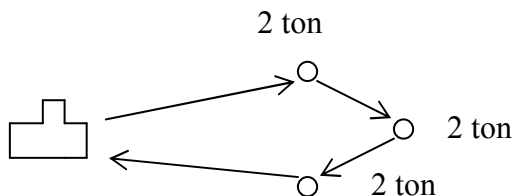
Se se passar para o sistema de entrega JIT e se mantiver o mesmo tipo de transporte a situação passará a ser a seguinte:



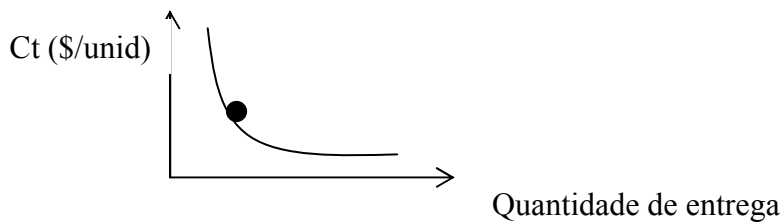
O Ct deste caso é assinalado por ●



Se na situação anterior, considerarmos em vez do transporte primário o transporte secundário, o cenário será o seguinte:



Neste caso o Ct terá diminuído relativamente à situação anterior. No entanto não se sabe qual a poupança relativamente à situação anterior, dado que agora a curva é diferente porque se alterou a distância. Neste caso o Ct é assinalado por ●



2.2 Análise crítica do problema

Pela análise do modelo Sarker et al (1992), há vantagens para o fornecedor e cliente JIT, no fornecimento JIT. No entanto, esta análise não refere os custos de transporte, ou pelo menos, não fala explicitamente neles. Estes custos aumentam com a frequência de entregas. Estes autores poderão tê-los introduzido nos custos de encomenda, encontrando-se bastante agregados. Sendo o objectivo deste estudo analisar a influência do transporte no fornecimento JIT, que é naturalmente dependente da frequência de entrega, e que no modelo de Sarker et al não é equacionado. No caso da coordenação perfeita, o custo total torna-se uma função linear da quantidade entregue, e assim, com maior frequência de entrega resultará num custo menor incorrido para o fornecedor. No entanto a maior frequência de entrega resultará num aumento do custo de transporte, que poderá contradizer a vantagem do fornecedor no fornecimento JIT.

Hahm e Yano (1992) mostraram que é menos dispendioso operar com o sistema segundo a condição do tempo de ciclo ser um inteiro múltiplo do intervalo de entrega, do que segundo uma condição mais geral. O modelo desenvolvido por estes autores, embora chegue a esta conclusão muito importante, apresenta alguns pontos que não o torna realista:

- O modelo refere-se apenas a um único artigo, não considerando a produção de múltiplos componentes;
- Em termos de custos de transporte, apresenta apenas uma estrutura de transporte, e um artigo. O transporte é realizado entre o fornecedor e o cliente. Na realidade, acontece que numa grande parte dos casos, o cliente não recebe apenas um componente, e tem vários fornecedores que podem constituir fontes únicas ou não. Nesta rede de fornecedores e o cliente podemos ter outras estruturas de transporte, que em termos de custo global de fornecimento JIT, podem proporcionar ao cliente encargos menores. Em termos de custos de transporte, estes autores não consideram a sua dependência com as características da rede dos fornecedores e da rota do veículo.

Por outro lado, o modelo de Burns et al (1985), embora não estude especificamente o fornecimento JIT, desenvolve e avalia um método analítico que ajuda a minimizar a soma dos custos de transporte e de stock para um fornecedor distribuindo os seus artigos por vários clientes, cujos resultados podem também ser aplicados à expedição de artigos de vários fornecedores para um cliente, como referem os próprios autores. O modelo compara as duas estratégias de transporte: primário e secundário. No entanto este estudo, apesar de ser bastante exaustivo ao nível dos custos de transporte, quando se trata de determinar a quantidade óptima de produção a expedir e o correspondente custo mínimo por item apresenta algumas debilidades:

-
1. Os custos relacionados com a produção não estão incluídos.
 2. Apesar do custo de stock acumulado antes da entrega ser considerado, é assumido que a produção não é sincronizada com a entrega, e então é usada uma representação simples para a acumulação do stock.

Os modelos apresentados são determinísticos. O estudo devia ser complementado por um estudo de simulação, devido às seguintes razões:

- O sistema é dinâmico sujeito a vários factores aleatórios, tais como atrasos na produção devido a imprevistos (avarias, qualidade,...), variações na procura, produção de vários produtos na mesma célula de produção;
- O sistema está sujeito a uma procura global estável, no entanto está sujeita a algumas flutuações, podendo ser implementada por uma variável aleatória;
- Um modelo de simulação constituiria um estudo mais realista dos custos, porque estes resultavam da influência de todos os factores intervenientes no modelo.

Apresentadas as críticas destes três modelos, nenhum dos modelos pode por si só ser utilizado para estudar o problema em questão, pelas razões já apresentadas. Será construído um novo modelo que incluirá e integrará todos os factores que influenciam o fornecimento JIT, baseado nos desenvolvimentos sustentáveis da literatura revista, adaptando e complementando os estudos já realizados ao projecto em questão. Resumindo, o que interessa reter de cada um dos artigos e que constituirá ponto de partida para o presente estudo, é o seguinte:

Modelo Sarker et al, 1992

Baseada na literatura revista, a relação entre fornecedores e clientes só é possível se a quantidade de entrega (x) e o tempo entre as entregas forem fixos mediante a procura da empresa JIT. Consequentemente a procura será desdobrada em dois parâmetros: quantidade de entrega e tempo entre entregas.

Outro aspecto crítico de um sistema distribuído de empresas em JIT é a coordenação entre a produção dos fornecedores e as entregas aos respectivos clientes. Esta coordenação é especificada pela definição da quantidade a entregar (x) e o tempo entre entregas (L), de cada produto a cada cliente.

Modelo de Li Zhuang, 1993

Como o tempo do ciclo deve ser um inteiro múltiplo do intervalo de entrega, a quantidade de produção óptima (Q_0) deve ser também um inteiro múltiplo da quantidade expedida, durante esse período.

Modelo Hahm e Yano, 1992

Hahm e Yano mostraram que é menos dispendioso operar com o sistema segundo a condição do tempo de ciclo ser um inteiro múltiplo do intervalo de entrega, do que segundo uma condição mais geral, onde o tempo do ciclo não é um inteiro múltiplo do intervalo de expedição, que é o caso da coordenação imperfeita equacionada por Sarker et al (1992).

Modelo Burns et al, 1985

Este modelo faz uma análise exaustiva dos custos de transporte, tornando-se relevante para o modelo a construir porque desenvolve equações analíticas para as duas estratégias de distribuição: transporte primário e transporte secundário.

Estes autores referem que se possível, há vantagens em optar pelo transporte secundário no sistema de entrega JIT. Esta afirmação poderá levar à subcontratação do transporte por uma empresa especializada. No entanto uma questão persiste, sobre quem irá assumir os custos de transporte subjacentes ao sistema de entrega JIT ?

- O fornecedor.
- O cliente.
- O fornecedor e o cliente.

Numa primeira instância analisar-se-à o custo total de transporte associado ao sistema de entrega JIT, independentemente de quem o suporta. Na secção 2.3.1.5., fazer-se-à um estudo sobre a afectação do custo total de transporte ao fornecedor e cliente em gamas variáveis, e sobre a sua influência no sistema de entrega JIT.

2.3 Construção do modelo

Baseada na literatura referida, o modelo inicial a construir consiste no seguinte:

Considera-se uma empresa, que tem implementado um sistema JIT, é cliente de um conjunto de outras empresas que trabalham segundo um sistema push ou pull. Vamos designá-la por empresa-mãe.

Pretende-se desenvolver um modelo analítico que represente o custo de fornecimento JIT de um produto, entre um fornecedor e o cliente. Para cada empresa fornecedora são considerados os custos de posse e de encomenda das matérias primas, os custos de posse dos produtos acabados, o custo de setup da produção, e os custos de transporte. Para a empresa cliente serão considerados os custos de encomenda e de posse de matérias primas.

Pressuposto I: Parte-se do pressuposto que a empresa-mãe terá as vantagens inerentes ao sistema JIT.

Com base no modelo analítico será construído um modelo de simulação que representará a rede de fornecedores do cliente, permitindo analisar se as vantagens para a empresa cliente no fornecimento JIT, se tornam em desvantagens para os seus fornecedores. Os modelos (simulação, analítico) devem ser um instrumento de *análise e de apoio à decisão*.

2.3.1 Especificação detalhada do modelo

O modelo a construir é constituído por:

- Um cliente
- Vários fornecedores
- Cada fornecedor produzirá vários artigos

como mostra a Figura 2.9.

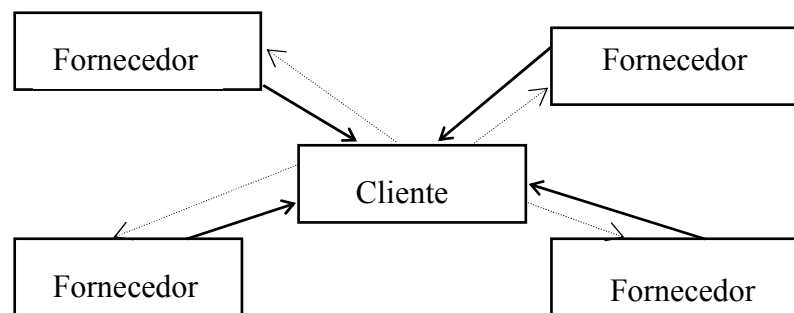


Figura 2.9

Pressuposto2: Assume-se que um dado artigo é fornecido por um e um só fornecedor. Há numerosas empresas onde o componente ou família de componentes similares são fornecidos principalmente ou exclusivamente por um fornecedor. A adoção das políticas JIT tem vulgarizado esta situação (Hahm e Yano,1992).

Pressuposto3: Considera-se o tempo de ciclo, isto é, o tempo que vai desde o momento que a empresa começa a produzir mais o tempo durante o qual deixa de o fazer até ao recomeço de nova produção, como um inteiro múltiplo do intervalo de entrega. Hahm e Yano (1992) mostraram que é menos dispendioso operar com o sistema segundo essa condição do que segundo uma condição mais geral onde o tempo do ciclo não é um inteiro múltiplo do intervalo de expedição.

O modelo analítico a construir consiste em determinar o custo global do sistema de entrega JIT, ou seja o custo de fornecimento JIT do sistema global, de um produto entre um fornecedor e o cliente. Este custo tem as seguintes componentes:

- O custo de transporte - $C_{transporte}$.
- O custo incorrido pelo cliente - $C_{cliente}$.
- O custo do fornecedor definido pelo modelo de Sarker et al - $C_{fornecedor}$.

Essa expressão de custo é desenvolvida a partir do modelo de Sarker et al, o qual considera os custos de posse e de encomenda das matérias primas, os custos de posse dos produtos acabados e o custo de setup da produção relativos ao custo de cada fornecedor no sistema de entrega JIT.

De seguida definem-se os parâmetros para cada parcela do custo global de fornecimento JIT.

2.3.1.1 Análise e parâmetros da empresa-mãe JIT

A empresa JIT está sujeita a uma procura de produtos acabados, D_{jit} , que "puxará" a procura (D) de matérias primas aos fornecedores.

O custo incorrido pela empresa-mãe funcionando no sistema de entrega JIT corresponde ao custo do sistema de matérias primas, relativo ao custo de encomenda e ao custo de posse das matérias-primas, como mostra a expressão:

$C_{cliente} =$ Custo de encomenda das matérias primas (CC_{Emp}) + Custo de posse das matérias primas (CC_{Pmp})

Consequentemente, para a empresa-mãe JIT, é necessário considerar os seguintes parâmetros:

CC_o : custo de encomenda das matérias-primas (do produto i), \$/encomenda.

CC_o considera-se igual para todas as encomendas dos produtos i .

IC_r : Custo de posse das matérias-primas, \$/unidade-ano.

IC_r considera-se igual para todas as matérias primas.

2.3.1.2 Análise e parâmetros das relações fornecedor-cliente

As relações entre os fornecedores e o cliente, no âmbito do fornecimento JIT, foram já descritas no capítulo 1.

As solicitações de materiais e de informação entre a empresa-mãe e os seus fornecedores estão representadas no seguinte diagrama (Figura 2.10):

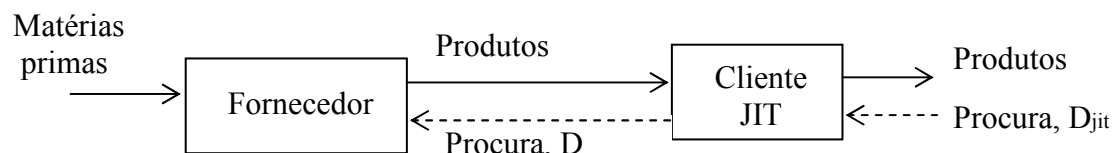


Figura 2.10

Existem outros factores que influenciam o fornecedor, como a procura de artigos (D_i) por outras empresas, que se representam de seguida (Figura 2.11):

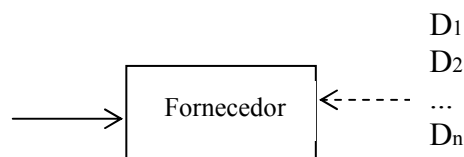


Figura 2.11

A procura total, D_t , ao fornecedor será $D + \sum_{i=1}^n D_i$. A procura D_t é necessária para avaliar o funcionamento do sistema de produção. Podemos assumir inicialmente que o fornecedor tem capacidade para satisfazer as entregas.

Segundo Sarker et al (1992), a literatura diz que só será viável a relação entre fornecedores e clientes se a quantidade de entrega e a frequência de entregas forem fixas

mediante a procura da empresa JIT para um dado período. Consequentemente a procura da empresa JIT ao fornecedor, D , é desdobrada na quantidade de entrega e no tempo entre entregas ou frequência de entregas (Figura 2.12).

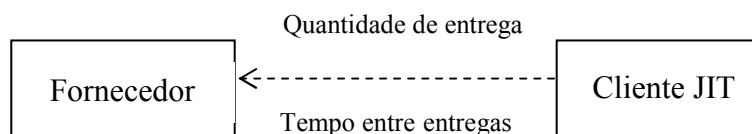


Figura 2.12

Pressuposto 4

São realizadas entregas de quantidades fixas em intervalos de tempo fixos. No entanto poderá haver um relaxamento deste pressuposto, considerando um reajustamento periódico, das quantidades a entregar e do intervalo de tempo entre entregas.

Idealmente, de um fornecedor e de um comprador JIT espera-se sincronizar a capacidade de produção do primeiro com a procura do comprador, então o stock no fornecedor é reduzido e, eventualmente, eliminado.

Os parâmetros a considerar na relação fornecedor-cliente são os seguintes:

D_i : procura anual para o produto acabado i , unidades/ano. Constitui a solicitação de matérias primas do cliente JIT ao fornecedor.

x_i : quantidade expedida do produto i , unidades/expedição

L_i : tempo entre sucessivas expedições do produto i

A expedição de x_i unidades são para ser entregues ao cliente JIT num intervalo fixo de L_i unidades de tempo. Tanto x_i como L_i são pré-especificados.

C_d : custo de transporte por expedição, \$/expedição

Como os produtos produzidos em cada um dos fornecedores, têm as mesmas características, o custo de transporte por expedição depende apenas da distância percorrida, da estratégia de transporte utilizada e da quantidade entregue.

2.3.1.3 Análise e parâmetros a considerar no fornecedor da empresa JIT

Baseada na análise de Sarker et al (1992), definiram-se os seguintes parâmetros relativamente a cada fornecedor da empresa JIT, para cada produto i :

P_i : taxa de produção do produto i , unidades/ano

Assume-se que a taxa de produção é maior do que a taxa de procura D_i .

Q_i : quantidade do produto acabado i produzida por lote de produção, unidades do produto i /lote de produção

A Q_i , quantidade do produto i produzida por lote de produção, deve estar exactamente de acordo com a procura durante o tempo de ciclo, T_i . Como o tempo de ciclo deve ser um inteiro múltiplo do tempo entre sucessivas expedições (L_i), o Q_i óptimo (Q_o) deve ser também um inteiro múltiplo da quantidade expedida (L_i Zhuang, 1993).

Ir: custo de posse das matérias primas \$/unidade-ano
Ir considera-se igual para todas as matérias primas.

If: custo de posse dos produtos acabados \$/unidade-ano
If considera-se igual para todos os lotes de produção dos produtos i.

Co: custo de encomenda de matérias primas \$/encomenda
O Co considera-se igual para todas as encomendas de matérias primas.

Cs: custo de setup da produção por cada lote de produção \$/lote de produção
O Cs considera-se igual para todos os lotes de produção dos produtos i.

Qr: quantidade de matérias primas encomendadas, unidades/encomenda

Qavg_i: Quantidade de stock médio por ciclo de produção do produto i

Y_i: quantidade do produto i produzida durante o período L_i

T_{1i}: tempo de produção do produto i

T_i: tempo do ciclo do produto i

T_{2i} = T_i - T_{1i}

2.3.1.4 Custo global do sistema de entrega JIT

O custo global do sistema de entrega JIT, é o custo de fornecimento JIT de um produto do sistema, entre um fornecedor e o cliente, e designa-se por C_{global}.

O C_{global} corresponde à soma dos custos do fornecedor (C_{fornecedor}), do cliente (C_{cliente}) e de transporte (C_{transporte}) incorridos no sistema de entrega JIT, como de seguida se descreve. O custo de transporte é considerado numa parcela na função de custo global do fornecimento JIT, separado dos custos do fornecedor e do cliente.

C_{fornecedor}

Consideremos de seguida a expressão do custo total para o fornecedor em função do lote de produção Q de cada produto i, definida no modelo de Sarker et al (1992). Esta fórmula, como já foi referido, representa os custos de stock de matérias primas e produtos acabados, os custos de preparação da produção e os custos de encomenda de matérias primas.

$$C_{fornecedor}(Q) = \frac{D}{Q} \cdot Co + \frac{D \cdot Q}{P \cdot 2} \cdot Ir + \frac{D}{Q} \cdot Cs + Q_{avg} \cdot If$$
$$If = \left(1 - \frac{D}{P}\right) \cdot If'$$
$$Q_{avg} = \frac{1}{2} \cdot \left[1 - \left(\frac{D}{P}\right)\right] \cdot Q + \frac{x}{2}$$
$$C_{fornecedor}(Q) = (Co + Cs) \cdot \frac{D}{Q} + \left(D \cdot \frac{Ir}{P} + If'\right) \cdot \frac{Q}{2} + \frac{x}{2} \cdot If'$$

Para um dado lote de produção Q de cada produto i, o custo incorrido pelo fornecedor aumenta linearmente com a quantidade expedida (x).

Ctransporte

O custo de transporte é função da frequência de entrega, e conseqüentemente da quantidade entregue em cada expedição (x), da distância percorrida e da estratégia de transporte utilizada. A distância, neste caso assume um significado lato, podendo designar Km ou zonas.

O custo de transporte também é função do peso (kg) e do volume (m^3) de carga entregue, no entanto relativamente a estas duas variáveis fez-se a seguinte suposição:

a) O volume ocupado e o peso da carga não são relevantes no custo de transporte. A justificação deste facto, é que em JIT, a quantidade transportada é pequena não se prevendo limitações de peso e de volume dos veículos.

A expressão do custo de transporte do sistema de entrega JIT é o produto da frequência de transporte pelo custo por entrega (expedição) (C_d).

$$C_{transporte} = \frac{D}{x} \cdot C_d$$

O custo por entrega é igual ao produto da quantidade expedida (x) pelo custo de transporte por unidade (C_t).

$$C_d = x \cdot C_t$$

O custo de transporte por unidade é função do fluxo de cargas, da quantidade expedida e da distância.

$$C_t = f(\text{fluxo}, \text{quantidadeEntregue}, \text{distancia})$$

Assim C_t varia da seguinte forma com x e distância d , como já se referiu na secção 2.1.3. deste capítulo (Figura 2.13):

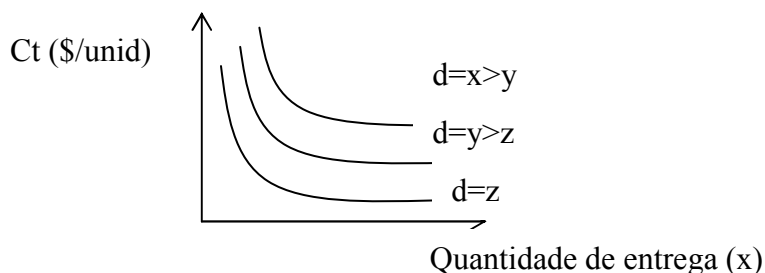


Figura 2.13

O fluxo de cargas diz respeito ao tipo de estratégia de transporte utilizada: transporte primário ou transporte secundário. Para cada caso, de acordo com Burns e al (1985), C_t toma as seguintes expressões, respectivamente:

$$C_t = \frac{F}{x} = \frac{\gamma + \sigma + \alpha \cdot d}{x}$$

e

$$C_t = \frac{F' + \gamma + \alpha \cdot d' + \sigma \cdot m}{x}$$

d: distância do cliente ao fornecedor (Km)

σ : custo fixo por paragem no fornecedor (\$/paragem)

γ : custo fixo por iniciar uma rota (\$/rota)

α : custo de transporte por unidade de distância (\$/Km)

F': custo total do transporte secundário por rota (\$/rota)

F: custo total do transporte primário por rota (\$/rota)

d' : distância total percorrida no transporte secundário por rota (km)

m: número médio de paragens por rota

V: quantidade da carga transportada

A influência dos factores de custo fixos, de manutenção de uma frota, para qualquer estratégia de transporte, no custo de transporte por unidade, é o aumento do custo de uma constante. F e F' relativos ao custo total do transporte por rota, respectivamente primária e secundária, correspondem ao custo por entrega Cd. O custo de transporte por unidade, Ct, para uma dada distância, estratégia de transporte e quantidade de entrega x, pode ser escrito segundo a fórmula:

$$C_t = \frac{C_d}{x}$$

O custo de transporte, Ctransporte, é dado pela seguinte expressão:

$$C_{transporte} = \frac{D}{x} \cdot C_d$$

$$C_{transporte} = \frac{D}{x} \cdot x \cdot C_t$$

$$C_{transporte} = D \cdot \frac{C_d}{x}$$

Ccliente

O custo incorrido pela empresa-mãe funcionando no sistema de entrega JIT, é o resultado do custo de encomenda (CCEmp) e de custo de posse das matérias primas (CCPmp) que constituem os produtos acabados do fornecedor, como se apresenta de seguida.

$$C_{cliente} = CCEmp + CCPmp$$

$$CCEmp = \frac{D}{Q} \cdot CCo$$

$$CCPmp = \frac{x}{2} \cdot ICr$$

$$C_{cliente} = \frac{D}{Q} \cdot CCo + \frac{x}{2} \cdot ICr$$

Cglobal

O custo global de fornecimento do produto i do fornecedor ao cliente, resulta da soma do custo de transporte, do custo do fornecedor e do custo do cliente no fornecimento JIT. A expressão geral do C_{global} é a seguinte

$$C_{global} = (C_o + C_s) \cdot \frac{D}{Q} + \left(D \cdot \frac{I_r}{P} + I_f \right) \cdot \frac{Q}{2} + \frac{x}{2} \cdot I_f + \frac{D}{x} \cdot C_d + \frac{D}{Q} \cdot C_{Co} + \frac{x}{2} \cdot I_{Cr}$$

$$\frac{d}{dQ} C_{global} = - (C_o + C_s + C_{Co}) \cdot \frac{D}{Q^2} + \frac{1}{2} \cdot \left(D \cdot \frac{I_r}{P} + I_f \right)$$

As expressões da quantidade de produção que minimiza o custo global, Q_o , e do custo global mínimo, $C_{global}(Q_o)$, são respectivamente:

$$Q_o = \sqrt{\frac{2 \cdot P \cdot D \cdot (C_o + C_s + C_{Co})}{D \cdot I_r + I_f \cdot P}}$$

$$C_{global}(Q_o) = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot (C_o + C_s + C_{Co}) \cdot (D \cdot I_r + I_f \cdot P)}{P}} + \frac{x}{2} \cdot I_f + \frac{D}{x} \cdot C_d + \frac{x}{2} \cdot I_{Cr}$$

$$C_{global}(Q_o) = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot (C_o + C_s + C_{Co}) \cdot (D \cdot I_r + I_f \cdot P)}{P}} + (I_f + I_{Cr}) \cdot \frac{x}{2} + \frac{D}{x} \cdot C_d$$

Então, para uma dada procura anual D e parâmetros de custo C_o , C_s , C_{Co} , I_r , I_f e I_{Cr} o custo global mínimo relaciona-se da seguinte forma com a quantidade expedida x :

$$K1 = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot (C_o + C_s + C_{Co}) \cdot (D \cdot I_r + I_f \cdot P)}{P}}$$

$$K2 = \frac{I_f + I_{Cr}}{2}$$

$$K3 = D \cdot C_d$$

$$C_{global}(Q_o) = K1 + K2 \cdot x + \frac{K3}{x}$$

O C_{global} apresenta o seguinte gráfico (Figura 2.14):

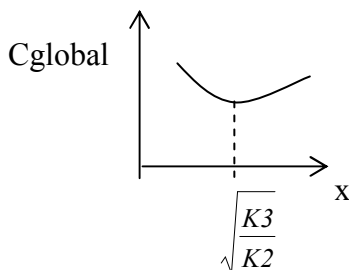


Figura 2.14

Em que o valor da quantidade expedida que minimiza o custo global do sistema é:

$$\sqrt{\frac{K3}{K2}} = \sqrt{\frac{D \cdot C_d \cdot 2}{I_f + I_{Cr}}} \quad (1)$$

Como as quantidades a expedir entre cada fornecedor e o cliente são pequenas, considera-se que o veículo que transporta a carga terá sempre capacidade.

Conclui-se que há um valor da quantidade a entregar, x , que minimiza o custo total de fornecimento de um produto, de um fornecedor ao cliente, dado pela expressão 1. Apesar de se ter considerado C_d fixo, varia com a distância percorrida, quantidade de entrega, x , e com a estratégia de transporte utilizada, segundo as fórmulas apresentadas para o transporte primário e secundário. Se a distância aumenta, o custo de transporte é mais elevado o que faz deslocar a curva do custo total de fornecimento JIT para cima, o que implica que a quantidade de entrega que o minimiza poderá ser maior para uma dada estratégia de transporte, e consequentemente a frequência é menor. Por outro lado a quantidade óptima a expedir depende da estratégia de transporte utilizada. Os resultados obtidos no Modelo Burns et al (1985), indicaram que para o transporte primário a dimensão óptima da expedição é dada pela Quantidade Económica de Encomenda (EOQ), enquanto que para o transporte secundário a dimensão óptima da expedição é o veículo cheio.

2.3.1.5 Afectação do custo de transporte do fornecimento JIT ao fornecedor e cliente

De seguida faz-se um estudo sobre a afectação dos custos de transporte ao fornecedor e cliente, em gamas variáveis. Considera-se p , a proporção dos custos de transporte suportada pelo fornecedor, em que $p=[0,1]$.

$$C_{fornecedor}(Q) = (C_o + C_s) \cdot \frac{D}{Q} + \left(D \cdot \frac{I_r}{P} + I_f \right) \cdot \frac{Q}{2} + \frac{x}{2} \cdot I_f + \frac{D}{x} \cdot C_d \cdot p \quad (2)$$

$$Q_o = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot P \cdot (C_o + C_s)}{D \cdot I_r + P \cdot I_f}}$$

$$C_{fornecedor}(Q_o) = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot (C_o + C_s) \cdot (D \cdot I_r + P \cdot I_f)}{P}} + \frac{x}{2} \cdot I_f + \frac{D}{x} \cdot C_d \cdot p$$

2.3.1.5.1 Variação do custo total mínimo incorrido pelo fornecedor com x

Então, para uma dada procura anual D e parâmetros de custo C_o , C_s , I_r e I_f , o custo total mínimo suportado pelo fornecedor relaciona-se da seguinte forma com x , quantidade expedida:

$$K6 = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot (C_o + C_s) \cdot (D \cdot I_r + I_f \cdot P)}{P}}$$

$$K7 = \frac{I_f}{2}$$

$$K8 = D \cdot C_d \cdot p$$

$$C_{fornecedor}(Q_o) = K6 + K7 \cdot x + \frac{K8}{x}$$

A função do custo total, terá o seguinte gráfico (Figura 2.15):

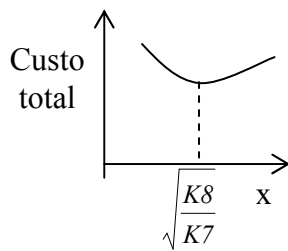


Figura 2.15

Verifica-se que, há uma quantidade a expedir que minimiza o custo do fornecedor, em que os custos de transporte são assumidos numa proporção p por ele, igual a

$$\sqrt{\frac{K8}{K7}} = \sqrt{\frac{D \cdot Cd \cdot 2 \cdot p}{If}}$$

Esta expressão significa que, à medida que aumenta a proporção de custo de transporte (p) suportada pelo fornecedor, maior é a quantidade a expedir que minimiza o custo do fornecedor, e conseqüentemente, a frequência de entrega é menor.

2.3.1.5.2 Variação do custo do fornecedor com p

Para um dada quantidade a expedir, considera-se a variação do custo do fornecedor com p de acordo com a expressão 2.

$$CT(p) = K4 + K5 \cdot p$$

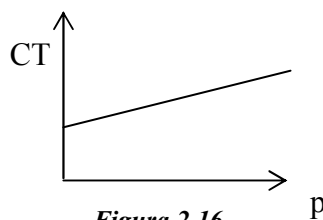


Figura 2.16

O custo do fornecedor aumenta linearmente com a proporção de custo de transporte suportada por ele (Figura 2.16). De seguida analisam-se os valores de custo do fornecedor e cliente quando a proporção do custo de transporte, suportada pelo fornecedor, é 0 e 1.

2.3.1.5.2.1 O cliente assume a totalidade do custo de transporte: $p=0$

Em $p=0$, que corresponde à situação protagonizada por Sarker et al, em que o fornecedor não assume o custo de transporte.

O custo total mínimo do fornecedor é o seguinte:

$$C_{fornecedor}(Q_0) = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot (Co + Cs) \cdot (D \cdot Ir + P \cdot If)}{P}} + \frac{x}{2} \cdot If$$

O custo total mínimo do fornecedor torna-se uma função linear da quantidade entregue, e assim com maior frequência de entrega resultará num custo menor incorrido para o fornecedor. Para o cliente o custo incorrido corresponde ao custo de transporte e ao custo do sistema de matérias primas.

$$C_{cliente} = \frac{D}{Q} \cdot CCo + \frac{x}{2} \cdot ICr + \frac{D}{x} \cdot Cd$$

Neste caso, há uma quantidade a expedir que minimiza o custo do cliente, em que os custos de transporte são assumidos integralmente por ele, igual a

$$\sqrt{\frac{D \cdot Cd \cdot 2}{ICr}}$$

2.3.1.5.2.2 O fornecedor assume a totalidade do custo de transporte: $p=1$

Em $p=1$, o custo de transporte é assegurado totalmente pelo fornecedor, assumindo a seguinte expressão:

$$C_{fornecedor}(Q) = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot (Co + Cs) \cdot (D \cdot Ir + P \cdot If^*)}{P}} + \frac{x}{2} \cdot If + \frac{D}{x} \cdot Cd$$

Há uma quantidade a expedir que minimiza o custo do fornecedor, em que os custos de transporte são assumidos integralmente por ele, igual a

$$\sqrt{\frac{D \cdot Cd \cdot 2}{If}}$$

E o custo do cliente é

$$C_{cliente} = \frac{D}{Q} \cdot CCo + \frac{x}{2} \cdot ICr$$

Nesta situação, o custo do cliente diminui com o aumento da frequência de entrega.

Conclusão

Verifica-se que a quantidade ótima a expedir se altera conforme o custo de transporte seja assumido pelo fornecedor ou cliente. No entanto, em termos do custo global do fornecimento JIT, de um produto, entre um fornecedor e o cliente, há uma quantidade a expedir que o minimiza. Consequentemente será esta a quantidade mais adequada a expedir de cada produto, que determinará o valor da frequência de entrega.

2.3.2 Especificação geral do modelo analítico

A relação entre um fornecedor (k) e a empresa cliente, é definida pela procura do produto i, ou seja por, D_{ik} e por uma distância d_k (Figura 2.17).

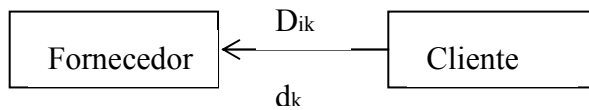


Figura 2.17

Entre cada fornecedor k e o cliente, verifica-se um custo de fornecimento para cada produto i fornecido igual a

$$C_{global} = (C_o + C_s) \cdot \frac{D}{Q} + \left(D \cdot \frac{I_r}{P} + I_f' \right) \cdot \frac{Q}{2} + \frac{x}{2} \cdot I_f + \frac{D}{x} \cdot C_d + \frac{D}{Q} \cdot CCo + \frac{x}{2} \cdot ICr$$

O C_{global} tem a seguinte configuração (Figura 2.18):

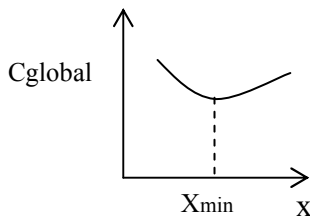


Figura 2.18

Pela análise do gráfico há uma quantidade a expedir que minimiza o custo global, X_{min} , igual à expressão 1, que depende da distância a percorrer no transporte, da estratégia de transporte utilizada e da própria quantidade a expedir, x . Para a relação fornecedor k/cliente, é definido o X_{min} e L para cada produto i.

Desenvolveu-se um modelo analítico que representa o custo de fornecimento para cada produto i entre cada fornecedor k e o cliente. Este modelo ainda não é suficientemente poderoso para representar uma rede de fornecedores e um cliente, impossibilitando a análise desta realidade, e a obtenção da resposta à problemática em questão, devido às seguintes razões:

1. Considera apenas um artigo i fornecido por um fornecedor ao cliente, em vez de uma rede de fornecedores e um cliente;
2. A situação descrita no ponto 1 é real mas não ocorre isolada: um cliente recebe vários artigos de vários fornecedores. A aplicação do modelo analítico a esta situação, seria determinar o custo total de fornecimento JIT do cliente relativo a todos os artigos recebidos, resultante do somatório do custo total de fornecimento para todos os produtos recebidos pelo cliente. No entanto, esta seria uma visão simplista da realidade, pelo seguinte:
 - O modelo não incluiria a influência da produção de vários produtos no sistema de fornecimento JIT, num fornecedor e em vários fornecedores;

-
- Na rede de vários fornecedores e um cliente podem ser aplicadas várias estratégias de transporte, primário e secundário, que poderão possibilitar economias de escala nos transportes, de acordo com restrições da capacidade dos veículos e tempo de transporte, que poderão proporcionar custos de transporte menores no fornecimento global do cliente. Assim será equacionada a melhor estratégia de transporte, no ambiente de fornecimento JIT, perante um determinado número de fornecedores da rede, em que cada um deles produz e fornece um ou mais produtos ao cliente.

Desta forma, será desenvolvido um modelo de simulação com base no modelo analítico. O modelo de simulação representará a rede de fornecedores e um cliente, considerará a produção de vários produtos em cada fornecedor e utilizará as estratégias de transporte primário e secundário. Este modelo vai permitir avaliar como as várias componentes do custo global de fornecimento JIT, se comportam face à influência dos factores de que depende, como o número de fornecedores da rede de fornecimento, a frequência de entregas, tipo da abordagem e controle da produção do fornecedor, e relacionamento entre o ciclo de produção do fornecedor e o de expedição ao cliente, com o objectivo de dar uma resposta à problemática em questão.

3. MODELO DE SIMULAÇÃO

3 Modelo de simulação

3.1 Modelo

O modelo de simulação desenvolvido é especificado de seguida através do Diagrama de Ciclo de Actividade (DCA) na Figura 3.1, que consiste numa representação gráfica da lógica de funcionamento do sistema (Guimarães Rodrigues, 1988). Qualquer sistema pode ser visualizado como sendo constituído por entidades. Num sistema cada entidade pode encontrar-se num estado passivo (numa fila de espera), ou num estado activo (quando envolvida numa actividade). Para que uma actividade possa ter início, é necessário que as entidades que vão estar envolvidas estejam disponíveis. Esta disponibilidade pode significar, não só o número de entidades necessárias mas, também, o seu tipo e atributos. Reunidas as condições para que uma Actividade se possa iniciar, é possível calcular uma duração característica para a actividade e, conseqüentemente, o instante de tempo em que estará concluída. Concluída a Actividade, as entidades que nela estiverem envolvidas são colocadas novamente em filas de espera, de onde serão removidas por outras actividades. Num DCA as filas de espera estão representadas por círculos, as actividades por rectângulos e os fluxos de entidades por arcos direccionados entre as várias actividades e filas. No diagrama DCA deve ser mantida uma alternância entre actividades e filas de espera.

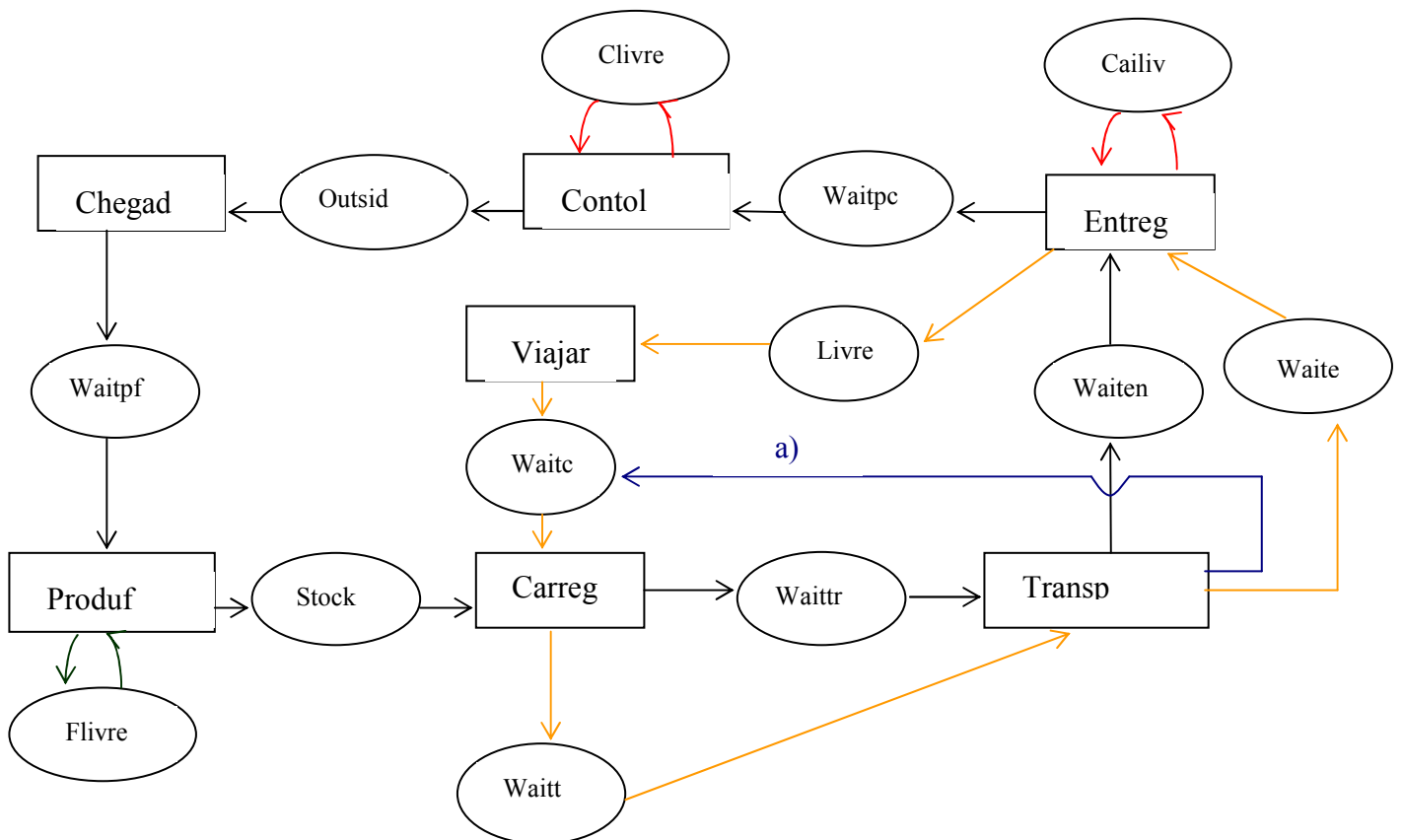


Figura 3.1

De seguida definem-se as entidades, os atributos e as filas das entidades, utilizados no modelo de simulação.

Entidades do modelo

As entidades intervenientes no modelo são:

SPRODC – representa o cliente que tem implementado um sistema Just-in-time, e que solicita fornecimentos com características JIT de vários produtos aos seus fornecedores. Estes também são entidades do modelo - SPRODF.

CELULA – representa as células autónomas de produção onde cada produto é produzido. Cada célula pertence a um só fornecedor.

ENCPRO – representa as encomendas dos vários produtos realizadas pelo cliente aos vários fornecedores.

VTRAPP – representa os veículos que transportam as encomendas entre cada fornecedor e o cliente.

CAIS – representa os cais que o cliente possui para que o veículo possa efectuar as respectivas descargas de mercadorias.

Atributos das entidades

Para as entidades cliente e cais não foi necessário definir atributos. Para as restantes entidades encomenda, fornecedor, célula e veículo definiram-se os seguintes atributos respectivamente:

Encomenda (ENCPRO):

- O tipo de produto da encomenda (PRO).
- O instante de entrega da encomenda ao veículo que a transporta (IENTRG).
- O fornecedor da encomenda (ORIGEM).
- O atributo auxiliar da encomenda que controla no tempo as actividades viajar, carregar, transporte e entrega (TCONT).
- O atributo TCON controla as encomendas relativas ao mesmo artigo e momento de entrega, de modo a serem produzidas na mesma ordem de fabrico. No caso de haver coordenação entre o ciclo de produção do fornecedor e o de entrega ao cliente, este atributo também define o início a partir do qual a produção da encomenda pode iniciar-se.
- No caso do transporte secundário, considera-se o atributo que designa a ordem pela qual o fornecedor da encomenda respectiva é visitado na rota (ATRIBU).

Fornecedor (SPRODF)

- O tipo de células autónomas de produção que o fornecedor possui (FPRO).

Célula (CELULA)

- O tipo de produto que produz (TIPCEL).

Veículo (VTRAPP)

- Considera-se o atributo ORIGEV do veículo que designa a próxima encomenda que vai carregar.
- No caso do transporte secundário, considera-se o atributo que designa a capacidade disponível do veículo em cada instante (CAPACT).

Filas das entidades

No caso da entidade célula não se considera fila de espera porque a ocupação da célula é definida pelo atributo TIME, que designa o tempo durante o qual permanece ocupada. Consequentemente, este atributo permite definir para a célula os estados ocupada e

livre. Para as restantes **entidades** foram definidas as seguintes filas de espera, que se encontram representadas no DCA do modelo:

Encomenda: WAITPF, STOCK, WAITTR, WAITEN, WAITPC, OUTSID

Fornecedor: FLIVRE

Veículo: WAITC, WAITT, WAITE, LIVRE

Cais: CAILIV

Cliente: CLIVRE

Descrição detalhada do modelo

Cada encomenda chega ao sistema da fila OUTSID, e é colocada na fila WAITPF. A encomenda é retirada desta fila para ser produzida na actividade PRODUF, quando a célula do fornecedor do artigo encomendado estiver livre. Após o processamento da encomenda, esta é colocada na fila STOCK e a célula utilizada fica livre. No caso de no mesmo fornecedor existirem encomendas com o mesmo instante de entrega, estas serão transportadas pelo mesmo veículo. Na actividade VIAJAR é retirado um veículo disponível da fila LIVRE para iniciar a viagem até ao fornecedor que tem encomenda(s) a expedir. A encomenda só será carregada na actividade CARREG quando, o veículo que a transporta chegou ao fornecedor, isto é, foi colocado na fila WAITC, e se todas as encomendas que vai transportar, para além dessa no mesmo veículo, já estão produzidas. Assim a encomenda é retirada da fila STOCK e colocada na fila WAITTR após a duração desta actividade. O veículo após o carregamento é colocado na fila WAITT. Quando todas as encomendas carregadas no mesmo veículo, estiverem disponíveis na fila WAITTR, e o veículo que as carrega estiver disponível na fila WAITT, a actividade de transporte até ao cliente pode iniciar-se. Após o transporte, as encomendas são colocadas na fila WAITEN, ficando disponíveis para serem entregues ao cliente e o veículo fica disponível para ser descarregado na fila WAITE. A actividade de entrega inicia-se quando as encomendas e o veículo que as transporta estão disponíveis nas filas referidas, e desde que haja um cais disponível para as descarregar. Cada encomenda após ser entregue é colocada na fila WAITPC. O veículo após descarregar todas as encomendas, é colocado na fila LIVRE e o cais na fila CAILIV. No cliente, as encomendas passam da fila WAITPC para fora do sistema, na fila OUTSID, não se modelando o que se passa no cliente a partir da recepção de encomendas.

No caso, do transporte secundário, é realizado o algoritmo de transporte para programação das rotas, designando os fornecedores que um veículo tem de visitar numa mesma viagem, de acordo com as necessidades de fornecimento do cliente. Nesta situação, como assinala a alínea a) no DCA do modelo (Figura 3.1), o veículo quando carrega as encomendas é colocado na fila WAITT. Se o veículo tem que visitar outro fornecedor, realiza a actividade de transporte (TRANSP) até ao mais próximo, sendo posteriormente colocado na fila WAITC, ficando disponível para carregar as encomendas desse fornecedor. Este circuito repete-se até o veículo visitar todos os fornecedores da rota.

3.1.1 Parametrização do modelo de simulação

3.1.1.1 Quadro de experimentação

O modelo representa o sistema de fornecimento JIT, verificado entre os vários fornecedores e o cliente, constituindo uma rede de empresas fornecedoras de um cliente. Pretende-se com o modelo realizar uma série de experiências para avaliar o efeito de um conjunto de variações controladas sobre o desempenho dos fornecedores quando sujeitos a solicitações do seu cliente que tem implementado um sistema Just-in-time.

A experimentação desenvolve-se com ajuda de um modelo de simulação que representa as empresas fornecedoras e o cliente JIT, e que utiliza informação diversa, nomeadamente, procura de produtos do cliente aos fornecedores, taxas de produção dos fornecedores, tempo de transporte, tempo de setup da produção, tempo de produção, distâncias e um conjunto de parâmetros, variáveis de entrada e saída e processos de controlo relevantes ao estudo.

3.1.1.1.1 Parâmetros de configuração do sistema a modelar

Os valores dos parâmetros configuram o sistema integrado de fornecimento JIT e produção definindo o seu ambiente restritivo de funcionamento. Os parâmetros críticos utilizados no modelo apresentam-se de seguida.

P1. Cliente

O parâmetro P1 define a estrutura física do modelo, no sentido em que caracteriza o cliente. É necessário definir os produtos solicitados pelo cliente e a respectiva procura. Teremos um cliente que tem implementado um sistema JIT. Consequentemente o fornecimento a esta empresa é caracterizado por entregas frequentes e fiáveis de pequenas quantidades, dentro das normas de qualidade previamente definidas.

P2. Número de produtos solicitados pelo cliente

É necessário definir o número de produtos solicitados pelo cliente aos fornecedores. Como a empresa trabalha em JIT, tentará ter o mínimo de fornecedores. Parte-se do pressuposto que um produto será fornecido por um fornecedor, aquele com quem a empresa estabelece um contrato a longo prazo, mediante o estabelecimento de determinadas especificações de qualidade. Um aumento do número de produtos poderá implicar um aumento do número de fornecedores do cliente.

Segundo Ansari e Modarress (1988), comprar em pequenos lotes com frequentes entregas origina, alguns potenciais problemas, relacionados com a desejável frequência de entregas tipicamente diária ou semanal para cada e todos os componentes. Não há regras seguras e rápidas que ditam entregas diárias para todas as peças. Na HP Greeley Division, por exemplo, de mais de 4000 peças compradas, apenas 45 eram entregues numa base JIT (Ansari e Modarress, 1988). Fixou-se no modelo a quantidade de produtos fornecidos pelos fornecedores ao cliente, em 30. Considerou-se este número suficientemente representativo da quantidade de produtos entregues pelos fornecedores, numa base JIT, ao cliente.

P3. Sistema de produção (SP) dos fornecedores

O cliente que trabalha segundo um sistema JIT, terá um conjunto de fornecedores. Cada fornecedor é caracterizado por um sistema de produção, organizado em várias células autónomas de produção. Em cada célula de cada fornecedor será permitida a produção de um artigo fornecido à empresa cliente. É definido o tempo de operação e o tempo setup para cada artigo produzido em cada célula.

Considerou-se o sistema de produção do fornecedor, orientado ao produto, com base no estudo desenvolvido por Lima e Silva (1998), em que se considera um produto como uma unidade primitiva ou complexa obtida por transformações numa célula autónoma. Segundo a Teoria “Object Oriented”, um objecto pode ser considerado autónomo na medida em que acede e transforma a sua informação, sendo apenas relevante o resultado obtido e não o modo como ele é obtido. A célula pode ser constituída por células autónomas e não autónomas. Uma célula não autónoma é aquela que não se controla por si só, cooperando com outras células para processar o produto. Na modelação dos autores referidos, uma célula autónoma consiste na capacidade da célula levar a cabo integralmente o processamento do produto sem ajuda externa. No modelo construído faz-se a aproximação dos sistemas de produção pela modelação de objectos orientados, baseada em objectos produto e célula. Assume-se que o sistema de produção é iniciado por uma encomenda de um produto em particular, e assim pode ter uma duração curta de tempo. É considerada uma visão dinâmica dos sistemas de produção, através da sua adaptação a cada produto ou mesmo a cada encomenda de cada produto.

P4. Transporte

O modelo será equacionado em duas vertentes, considerando o transporte primário e o transporte secundário (Burns et al, 1985). No primeiro caso, cada veículo, numa viagem, apenas realiza o transporte entre um fornecedor e o cliente. No segundo caso, cada veículo assegura o transporte de mercadorias de vários fornecedores ao cliente numa mesma viagem.

P5. Regra de controlo da produção do fornecedor

As regras de decisão reflectem os objectivos estratégicos que se pretendem implementar na condução de qualquer sistema e são determinantes do seu funcionamento através da definição de prioridades que são aplicadas nos momentos de decisão.

Como estamos perante o sistema de fornecimento JIT, pretende-se cumprir as quantidades a entregar no prazo determinado com a frequência desejada de modo a minimizar o custo global de fornecimento do cliente. Por conseguinte, define-se como regra de controlo, nos momentos de decisão, a prioridade às encomendas dos produtos com data de entrega mais próxima.

3.1.1.1.2 *Objectivo e sub-objectivos do estudo*

O objectivo deste estudo é analisar se as empresas que abastecem um cliente, que tem implementado um sistema JIT, têm vantagens neste fornecimento com características Just-in-time.

Segundo Golhar e Stamm (1991), as variáveis críticas das compras JIT, são as entregas frequentes de componentes, em lotes de pequenas quantidades, de acordo com as especificações de qualidade previamente definidas.

Hahm e Yano (1992) afirmam que a dificuldade do JIT, está na relação entre o fornecedor e o cliente, em que o importante é a sincronização entre a produção do fornecedor e a expedição para o cliente. Uma questão chave é a frequência com que essas actividades devem ocorrer na presença de economias de escala de transporte e produção.

Para saber se o fornecedor terá as vantagens no fornecimento JIT, teremos que analisar os custos de setup de produção, de posse de stocks do fornecedor e de transporte, de modo a proporcionar um fornecimento JIT, i.e., frequente e fiável de pequenas quantidades, de modo a quase anular os stocks do cliente. E ainda, analisar o que poderá afectar o fornecedor no cumprimento do fornecimento JIT. Consequentemente o objectivo deste projecto desdobra-se nos seguintes sub-objectivos:

1. O custo incorrido pelo fornecedor no fornecimento JIT, engloba os custos de setup de produção e os custos de posse de stock de produtos acabados.

1.1. Qual a repercussão do sistema de fornecimento JIT nos custos de setup do fornecedor.

Os factores instrumentais para verificar este sub-objectivo são:

- Frequência de entregas. Se o facto do fornecedor ao responder à frequência de entrega do cliente, irá influenciar os custos de setup.
- Relacionamento entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição. Será que o fornecedor ao relacionar o seu ciclo de produção com o ciclo de expedição, afecta os seus custos de setup ?
- Abordagem ao controlo e planeamento da produção. Será que o tipo de controlo e planeamento da produção do fornecedor afecta os custos de setup, quando o fornecimento tem características JIT ?
- Número de produtos fornecidos por cada fornecedor. Como é que o maior ou menor número de produtos a serem fornecidos pelo fornecedor afecta os custos de setup dos fornecedores ?

1.2. Qual a repercussão do sistema de fornecimento JIT no stock médio de produtos acabados do fornecedor ? A repercussão pode ser estudada através do impacto dos seguintes factores:

- Frequência de entregas. Se o facto do fornecedor ao responder à frequência de entrega do cliente, irá acumular stocks de produtos acabados.

-
- Relacionamento entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição. Será que o fornecedor ao relacionar o seu ciclo de produção com o ciclo de expedição, afecta os custos de stock de produtos acabados ?
 - O tipo de transporte. Será que o tipo de transporte utilizado afecta os custos de stock do fornecedor ?
 - Abordagem ao controlo e planeamento da produção. Será que o tipo de controlo e planeamento da produção do fornecedor afecta os seus custos de stock, quando o fornecimento tem características JIT ?
 - Número de fornecedores. Como é que o maior ou menor número de fornecedores da rede de fornecimento afecta os seus custos de stock.

2. Sarker et al (1992) não analisou de forma clara os custos de transporte, nem as respectivas abordagens, nomeadamente transporte primário e secundário. Este aspecto é crítico num sistema integrado de produção e fornecimento JIT. Pretende-se saber como o sistema de fornecimento JIT afecta o custo de transporte do sistema e determinar qual a melhor solução de transportes para o sistema. A análise dos custos de transporte é estudada nas ópticas do transporte primário e secundário, através do impacto dos seguintes factores:

- Número de fornecedores. Como é que o maior ou menor número de fornecedores afecta os custos de transporte do sistema de fornecimento JIT.
- Número de produtos fornecidos pelo fornecedor. Este factor está relacionado com o anterior. Como é que o maior ou menor número de produtos a serem fornecidos pelo fornecedor afecta os custos de transporte.
- Frequência de entregas. Como é que a frequência de entregas afecta os custos de transporte do sistema de fornecimento JIT.
- Número de veículos utilizados no transporte primário ou secundário. É necessário analisar a estratégia de transporte mais eficiente para o fornecimento JIT e como o comportamento do número de veículos utilizados afecta os custos de transporte.

3. O que afecta o fornecedor no fornecimento JIT, no cumprimento da frequência de entrega e da quantidade a entregar. Os factores instrumentais para verificar este sub-objectivo são:

- Número de produtos fornecidos pelo fornecedor. Como é que o maior ou menor número de produtos a fornecer pelo fornecedor afecta a disponibilização das quantidades a expedir com a frequência pretendida.
- Abordagens ao controlo e planeamento da produção. Como é que o tipo de controlo e planeamento da produção do fornecedor afecta a disponibilização das quantidades a expedir com a frequência pretendida.

Os factores referidos são instrumentais para verificar os sub-objectivos enunciados, e para determinar o melhor compromisso entre o fornecedor e cliente, que permita minimizar o custo global de fornecimento do sistema. Esse estudo vai permitir saber a

repercussão do sistema de fornecimento JIT na função global de custo. De seguida far-se-á uma descrição dos factores referidos.

3.1.1.1.3 Factores variáveis de entrada ou independentes

Os factores de experimentação são variáveis de entrada testadas a vários níveis, de uma forma gradual e controlada, com vista a identificar a sua influência no desempenho do sistema e comparar o comportamento deste (Figura 3.2).

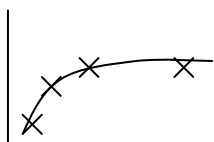


Figura 3.2

Desta forma poderemos compreender o que realmente poderá ser determinante no desempenho do sistema identificando as suas vantagens ou desvantagens relativas.

VE1. O número de fornecedores

O número de fornecedores do cliente, que trabalha em JIT, terá influência no desempenho do sistema. Pois quanto maior for o número de fornecedores, maiores serão as necessidades de transporte e conseqüentemente as distâncias percorridas para transportar os mesmos produtos. Quanto menor for o número de fornecedores, significa que cada um aglomerará a produção de mais que um produto e ao responder a uma solicitação de entregas frequentes de pequenas quantidades, pode aglomerar na mesma carga várias entregas de produtos, diminuindo assim os custos de transporte do sistema.

Por outro lado, segundo a filosofia JIT, o cliente terá para cada produto um fornecedor com o qual estabelecerá contratos de longo prazo. Conseqüentemente, o número de fornecedores será considerado no máximo igual ao número de produtos solicitados. Definem-se os seguintes níveis para o número de fornecedores (NFOR):

- 5 fornecedores
- 10 fornecedores
- 30 fornecedores

VE2. Número de produtos fornecidos por cada fornecedor

Como pretendemos que alguns fornecedores possam fornecer mais que um produto ao cliente JIT. Teremos que definir qual a gama de produtos que ele poderá fornecer:

- 1 artigo
- 3 artigos
- 6 artigos

VE3. Abordagens ao controlo e planeamento de produção do fornecedor

O tipo de abordagem ao planeamento e controlo da produção do fornecedor pode ser classificada em dois tipos, produção para stock ou produção just-in-time. Ao considerar-se esta variável, evita-se o vínculo do fornecedor a um único sistema de planeamento e controlo de produção, permitindo o estudo do sistema para os dois níveis referidos. Na secção 3.1.2.2.1. é descrito como é implementado cada nível.

VE4. Número de veículos disponíveis no transporte primário ou secundário

Este factor permite definir quantos veículos foram utilizados no fornecimento JIT, para cada tipo de transporte e qual a estratégia com o melhor desempenho no sistema. No transporte primário, cada veículo é utilizado para assegurar o transporte entre o cliente e um fornecedor.

No transporte secundário, numa mesma viagem de um veículo fazem-se carregamentos em mais que um fornecedor. Este factor permite avaliar o número de veículos utilizados pela rede de empresas. Os vários níveis definidos para este factor são:

- 20
- 10
- 5
- 2

Terá de preparar-se a experimentação do modelo considerando inicialmente este factor como fixo, reduzindo assim o número de factores de experimentação. O modelo está desenvolvido de forma que o sistema só utiliza os veículos disponíveis, à medida das suas necessidades. Consequentemente, o nível deste factor será obtido por simulação do modelo de modo a não se verificarem encomendas atrasadas por falta de transporte, para cada cenário desenvolvido.

VE5. Relacionamento entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição

Este factor permite avaliar qual o efeito da coordenação entre o ciclo de produção do fornecedor e o ciclo de expedição para o cliente, no comportamento do sistema. Segundo Hahm e al (1992), a relação entre o ciclo de produção e o de expedição deve ser um múltiplo inteiro na solução óptima, que no caso do fornecimento JIT deve ser 1, ou seja o ciclo de produção deve ser igual ao ciclo de expedição. No entanto após a produção do fornecedor é necessário transportar os produtos para o cliente. Assim sendo, o tempo de transporte não deve ser desprezado no caso do fornecedor não estar localizado na área local do cliente JIT. O melhor ajuste será sincronizar o tempo de produção e transporte com a expedição do produto ao cliente, como mostra o seguinte esquema (Figura 3.3).

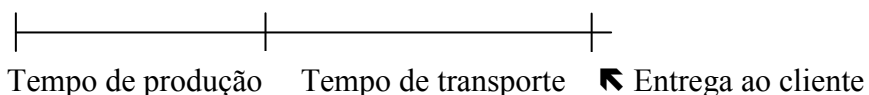


Figura 3.3

No modelo construído, considera-se que o momento de entrega de cada encomenda é o momento de entrega ao veículo transportador. Como na prática, o tempo de duração da rota de transporte é no máximo, aproximadamente igual a 2 horas, em qualquer estratégia de transporte, o instante de entrega da encomenda ao cliente é, no máximo, aproximadamente igual a duas horas mais tarde, relativamente ao momento de entrega ao veículo. No modelo, a coordenação entre o ciclo de produção do fornecedor e o ciclo de expedição ao cliente, verifica-se quando a produção de uma encomenda se inicia um tempo antes da entrega ao veículo transportador, equivalente ao seu tempo de produção

mais um tempo de folga. O tempo de folga é uma variável, e o seu valor é estabelecido por experimentação do modelo, de modo a que não se verifiquem encomendas atrasadas.

Definem-se os seguintes níveis para a coordenação entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição:

- Com coordenação da produção do fornecedor com a expedição ao cliente.
- Sem coordenação da produção do fornecedor com a expedição ao cliente.

VE6. Frequência de entregas

Baseada na literatura revista, a relação entre fornecedores e clientes só é possível se a quantidade de entrega (x) e o tempo entre as entregas forem fixos mediante a procura da empresa JIT (Sarker et al, 1992). Poderá haver um relaxamento deste pressuposto, registando-se um reajustamento periódico, das quantidades a entregar e do intervalo de tempo entre entregas. É considerada uma flutuação na procura, podendo acontecer que o cliente, para o mesmo instante de entrega, encomende uma quantidade múltipla da estipulada. Esta situação justifica-se pelo facto de cada encomenda ser equivalente a um kanban correspondente a uma quantidade fixa, e de no caso do cliente necessitar, enviar uma quantidade múltipla de kanbans (de encomenda) ao fornecedor. Ao factor frequência de entregas está associado a quantidade de entrega, a partir da procura.

Segundo a literatura revista, a frequência do fornecimento JIT é estabelecida a partir de uma base diária. Definiram-se os seguintes níveis para a frequência de entrega:

- 2 x /dia
- 1 x /dia
- 1 x /2 dias
- 1 x/ 5 dias

3.1.1.1.4 Variáveis de saída ou dependentes

Estas variáveis têm como finalidade representar os resultados que exprimem a resposta do sistema aos diferentes níveis dos factores ou variáveis independentes, durante o período de simulação. São essencialmente medidas de desempenho do sistema e referem-se aos valores globais relativas a todos os fornecedores da rede de fornecimento JIT ao cliente. Como o peso de fornecimento de cada fornecedor é igual, o valor de cada variável relativo a cada fornecedor obtém-se dividindo o seu valor global pelo número de fornecedores. As medidas de desempenho seleccionadas para o modelo são:

VS1. Quantidade de stock médio de produtos acabados nos fornecedores.

VS2. Tempo de permanência médio dos produtos acabados em stock nos fornecedores.

VS3. Quantidade de produtos acabados produzidos nos fornecedores.

VS4. Distância total percorrida de cada rota.

VS5. Distância total percorrida no transporte primário.

VS6. Distância total percorrida no transporte secundário.

VS7. Número de encomendas atrasadas por falta de transporte e de capacidade de produção dos fornecedores.

VS8: Número de preparações da produção realizadas nos fornecedores.

VS9: Número médio de veículos livres na rede de fornecedores.

VS10. Custo de transporte total do fornecimento calculado de acordo com as expressões analíticas desenvolvidas no modelo de Burns et al (1985), e os dados do referido artigo. As expressões do custo de transporte (F) para uma rota do transporte primário e secundário são respectivamente:

$$F = \gamma + \sigma + \alpha * d$$

$$F = \gamma + \alpha * d' + \sigma * m$$

d: distância do fornecedor ao cliente (Km)

σ : custo fixo por paragem no fornecedor (\$/paragem)

γ : custo fixo por iniciar uma rota (\$/rota)

α : custo de transporte por unidade de distância (\$/Km)

d' : distância total percorrida no transporte secundário por rota (km)

m: número médio de paragens por rota

O cálculo do custo de transporte no modelo, F, para cada estratégia de transporte, foi calculado com base nos dados do artigo Burns et al (1985) para γ , α e σ , respectivamente:

σ : 7000 (\$/paragem)

γ : 4375 (\$/rota)

α : 133 (\$/Km)

VS11. O custo global associado ao fornecimento JIT da rede de empresas, é considerado uma variável de desempenho, porque pode ser calculado com base nos resultados obtidos, a partir das suas componentes, ou seja, do custo dos fornecedores, do cliente e do transporte.

3.1.2 Modelo de simulação

O modelo representa o sistema de fornecimento JIT, verificado entre os vários fornecedores e o cliente, em que este último tem implementado um sistema JIT, constituindo uma rede de empresas fornecedoras de um cliente.

3.1.2.1 Linguagem de simulação

O modelo de simulação foi implementado na linguagem de simulação CAPS/ECSL (Clementson, 1982). O CAPS (Computer Aided Programming of Simulations), é um programa interactivo que permite a geração automática de programas de simulação escritos na linguagem ECSL (Extended Control and Simulation Language), a partir da lógica preparada com base no Diagrama Ciclo de Actividades. A estrutura principal do programa foi gerada no CAPS, sendo posteriormente melhorada e adaptada para representar o modelo, utilizando a linguagem de simulação ECSL, encontrando-se no Anexo 1. O “package” ECSL utiliza o programa gerado para executar a simulação produzindo os resultados.

3.1.2.2 Pressupostos do modelo

1. É considerado um modelo muitos para 1. Considerou-se apenas um cliente na rede que é abastecido por vários fornecedores.
2. Os produtos transaccionados na rede de empresas considerada, têm um valor médio. O caso de produtos de valor tal que o custo de transporte se torna insignificante não é objecto deste estudo. Nesta situação a solução será fazer fornecimentos mais frequentes ao cliente de modo a minimizar os stocks nos fornecedores. Relativamente aos produtos de pequeno valor, há uma preocupação do cliente de fazer encomendas de grandes quantidades de valor equivalente ao valor médio.
3. Os produtos, sobre quais incide o presente estudo, dizem respeito a componentes, usados pelo cliente em linhas de montagem. Neste cenário, é realista que as flutuações da procura sejam regulares.
4. Estipulou-se como 30, o número máximo de produtos transaccionados na rede, os quais designaremos por reais. Este número é considerado representativo da realidade como se referiu na definição deste parâmetro.
5. Cada fornecedor produz os artigos reais já mencionados e artigos fictícios, que são aqueles que são produzidos pelos fornecedores mas que são fornecidos a outros clientes.
6. Como o sistema de produção dos fornecedores é orientado ao produto, cada artigo é produzido em células autónomas. Esta situação permite manter constante a capacidade do sistema.
7. Considera-se um artigo para cada célula. Fala-se de artigos diferentes para células diferentes. Por exemplo uma bomba de gasolina é produzida por uma célula diferente da que produz um veio. No entanto não se distingue entre veios de dimensões diferentes, sendo considerados o mesmo artigo e conseqüentemente produzidos na mesma célula.
8. Cada célula autónoma produz uma família de produtos entre os quais um único produto real e os restantes produtos fictícios. A influência deste tipo de produtos no sistema é reduzir a capacidade de produção disponível de cada célula e introduzir uma certa entropia no sistema resultante da interacção entre os fornecedores e outros clientes. A proporção entre artigos reais e fictícios produzidos em cada célula, foi fixada respectivamente em 20% e 80%.

9. Considera-se as células autónomas de produção a operar a 80%. Os restantes 20% da capacidade ficam reservados à ocorrência de avarias, manutenção de equipamentos e outras situações imprevistas.

10. O tempo de setup, em cada célula produtiva, depende apenas do processo, isto é do produto a produzir. Este tempo ocorre sempre que numa célula se muda a produção de um artigo fictício para um real e é fixo em 8 minutos. A ordem de grandeza deste valor é consistente com valores de tempos de setup utilizados por outros autores (Chang et Yih, 1994).

11. Conforme a procura e a frequência de entrega definida entre o cliente e os fornecedores, define-se a quantidade a entregar ao cliente. A procura de cada artigo foi definida, de modo que ao considerarmos uma frequência de entrega diária, a quantidade entregue do fornecedor ao cliente fosse em média 40 unidades por dia. O valor da procura foi fixado com base no caso prático da Xerox (referência de Edward Aways), que tem também implementado um sistema de fornecimento JIT.

12. Considera-se a procura dos 30 artigos, diferente a curto prazo, mas igual a longo prazo. Esta situação implica que os fornecedores tenham ciclos produtivos aproximadamente iguais, estando as várias células produtivas igualmente ocupadas. Relativamente ao aumento de procura, não vai ser considerado dado que o cliente JIT responde a solicitações a jusante caracterizada por uma procura global estável num período relativamente prolongado. Consequentemente considera-se que o fornecedor do cliente JIT terá uma procura estável, não sofrendo alterações significativas.

13. A garagem dos veículos está localizada junto à empresa cliente.

14. O valor da quantidade por encomenda oscila entre as 20 e as 200 unidades. O tempo de carregamento das encomendas no veículo depende da quantidade de artigos encomendada, que é carregada em paletes. Considera-se que uma paleta tem capacidade para armazenar a quantidade de artigos até 100 unidades. O tempo de carregamento de cada paleta no veículo é fixo em 12 minutos. O tempo de entrega de uma encomenda (T_e) ao cliente, corresponde ao tempo de entrega da paleta, onde se encontra armazenada, e é igual ao tempo de carregamento da mesma no fornecedor, isto é, 12 minutos.

15. O modelo está dimensionado de forma que o número de cais no cliente não influencie a performance do sistema. Fixou-se o número de cais em 5.

16. Pressupõe-se que os 30 produtos reais ocupam a mesma dimensão e têm semelhante peso, sendo tratados em termos de ocupação do veículo que os transporta, de igual forma.

17. Definiu-se que o veículo, no caso do transporte primário tem sempre capacidade para transportar todas as encomendas do fornecedor, dado se tratarem de pequenas quantidades fornecidas, em ambiente JIT. Além disso, considera-se, que é sempre enviado ao fornecedor, um veículo com capacidade para transportar todas as suas encomendas. No caso do transporte secundário, fixou-se a capacidade do veículo em 500 unidades de artigo.

18. A velocidade de cada veículo (DVELOC) foi definida por uma variável Normalmente distribuída com média igual a 4 km por UT, isto é, 60 Km por hora, e desvio padrão aproximadamente igual a 0: $DVELOC \sim \text{Normal}(\mu = 4, \sigma \cong 0)$.

19. A distância entre cada fornecedor e o cliente, e entre fornecedores foi obtida da seguinte forma:

São criadas duas variáveis X e Y. Cada uma delas, define a posição X e Y de cada fornecedor e do cliente num Diagrama (X,Y) de dimensão 100 km x 100 km. Cada variável X e Y segue uma distribuição caracterizada por um histograma, com distâncias definidas entre 0 e 100 Km, com média de 31.4 km. Os parâmetros do histograma são 11 classes de distância a começar em 0 km e a terminar em 100 km, com um incremento sucessivo de 10 km, como se apresenta de seguida:

HIST DISTNA (11,0,1)

DISTNA 100 5 20 25 15 11 9 5 4 3 2 1

Cada valor X e Y resulta da amostragem deste histograma utilizando respectivamente os seguintes números aleatórios 12347 e 12345:

STA 12347

STI 12845

$X = \text{SAMPLE}(\text{DISTNA}, \text{STA})$

$Y = \text{SAMPLE}(\text{DISTNA}, \text{STI})$

- Da amostragem resultaram 31 valores de X e 31 valores de Y, correspondentes a 31 pontos (X,Y). Os primeiros 30 pontos definem a posição dos primeiros 30 fornecedores e o último ponto a posição do cliente. Os pontos obtidos foram representados num diagrama (X,Y) como mostra a Figura 3.4:

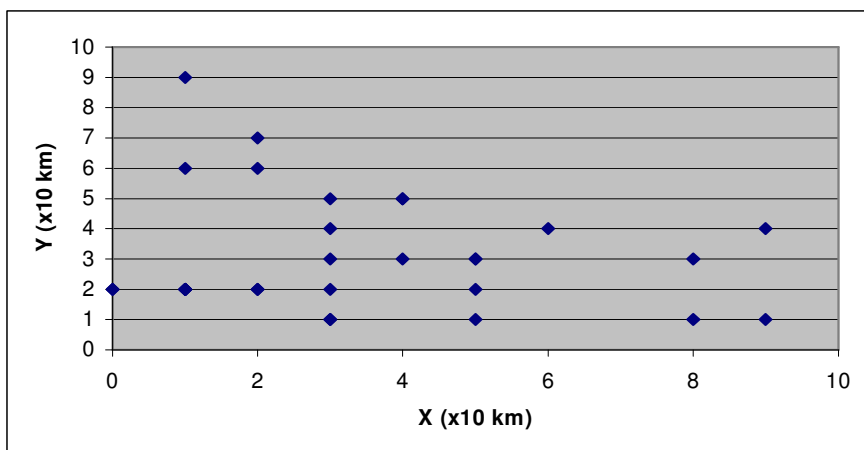


Figura 3.4

O cliente está localizado no ponto (1,2) e os 30 fornecedores, nos restantes pontos assinalados. O número de pontos visíveis é menor que 31, porque, por vezes, na mesma posição, estão localizados mais que um fornecedor. No Anexo 2 pode ser consultada a posição exacta dos fornecedores do sistema.

- Sabendo-se a posição de cada fornecedor e do cliente, pode-se determinar a distância entre dois quaisquer pontos, i e j, usando a expressão matemática:

$$d_{ij} = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}$$

Desta forma obtém-se a distância entre os 30 fornecedores e entre cada fornecedor e o cliente. No Anexo 2, encontra-se uma matriz de 30 linhas e uma coluna, correspondente à distância entre cada fornecedor e o cliente, utilizada no modelo de simulação; e uma matriz 30x30 que define a distância entre os 30 fornecedores que é utilizada quando no modelo se utiliza o transporte secundário.

Se a distância entre fornecedores ou entre o fornecedor e o cliente for igual a 0 km, o tempo de transporte é zero. Esta situação não corresponde exactamente à verdade, porque há sempre um tempo de transporte por mais pequeno que seja. Por este motivo, nestes casos considera-se o tempo de transporte igual a 1 UT.

20. O tempo de simulação é aproximadamente quinze dias.

De seguida analisa-se a procura dos artigos, o sistema de produção dos fornecedores e o sistema de transporte utilizados pelo modelo de simulação.

3.1.2.2.1 Procura

A procura é definida na actividade chegada de encomendas, com base no tempo entre a chegada de encomendas e no tipo de artigo da encomenda que chegou. A quantidade de entrega de cada encomenda e o tempo entre a chegada de encomendas dependem da frequência de entregas como abaixo se explica.

Tempo entre chegada de encomendas

Estipula-se que um dia é equivalente a 8 horas, ou seja, 480 minutos. De acordo com os pressupostos do modelo, se cada fornecedor tiver de entregar em média 40 unidades de um artigo por dia, ao estabelecer-se uma frequência diária, implica que ele produza em média 40 unidades por dia desse artigo. Como o sistema opera em média a 80% e a proporção entre artigos reais e fictícios produzidos em cada célula, é respectivamente 20% e 80%, consequentemente, em cada célula, a capacidade, reservada à produção do artigo real, terá que corresponder em média a 40 unidades produzidas. Logo o tempo de produção de cada artigo (T_p), nestas condições, é igual a 2 minutos por unidade.

O tempo entre a chegada de encomendas ao sistema é constante, sendo igual à variável λ . λ determina a quantidade de encomendas que chegam por dia a cada célula e varia com a carga do sistema, da seguinte forma:

Considerando uma célula

$T_p = 2$ minutos (min)

1 dia = 8 horas x 60 min = 480 min

taxa de produção/dia $\leq \frac{480 \text{ min}}{2 \text{ min}} = 240$ unidades / dia

Considerando o sistema a operar em média a 80% e a proporção entre artigos reais e fictícios produzidos em cada célula, for respectivamente 20% e 80%, vem,

Taxa de produção=80% x 240 unidades / dia \cong 192 unidades / dia

Quantidade de artigos reais produzidos na célula por dia = 192 x 20% = 38.4 \cong 40 unidades

Quantidade de artigos fictícios produzidos na célula por dia = 192x80% = 153.6 \cong 152 unidades

Concluindo cada célula com a capacidade ocupada a 80%, para estar carregada com 20% do produto que produz para o sistema, necessita de processar 40 unidades, em termos médios.

Se o prazo de entrega é um dia, cada célula tem capacidade para produzir a quantidade de entrega igual a 40 correspondente a cada encomenda. Diariamente, como há 30 produtos reais, há 30 células autónomas que devem estar carregadas em média com 40 unidades de produto correspondente a 1 encomenda.

Se o prazo de entrega é meio dia, isto é, 4 horas, cada célula tem de estar carregada com a mesma quantidade, mas agora as 40 unidades dizem respeito a 2 encomendas, e conseqüentemente por dia, têm que chegar duas encomendas.

A unidade de tempo (UT) do modelo de simulação foi definida com base na quantidade máxima de encomendas que chegam por dia a cada célula, como de seguida se mostra.

Quantidade máxima de encomendas que chegam por dia a cada célula =2

30 células x (2 encomendas / dia) = 60 encomendas / dia

tempo médio entre chegada = $\frac{480}{60}$ min = 8 min

de encomendas por dia 60 encomendas

Neste caso, considerando a UT igual a 4 minutos, o tempo médio entre chegada de encomendas por dia é 2 UT, isto é, 8 minutos. Se a frequência de entrega é 2x/dia; o tempo entre entregas é 4 horas, o tempo entre a chegada de encomendas é 8 minutos (2 UT); e a quantidade encomendada é 20 unidades. Neste caso, a variável NPER, que controla o tempo entre entregas, toma o valor de 1. O tempo de produção por encomenda, nesta situação, é 40 minutos, correspondente a 10 UT. A Figura 3.5 resume os valores obtidos para todas as variáveis referidas quando a frequência de entrega é respectivamente 2x/dia, 1x/dia, 1x/2dias e 1x/5 dias.

**Todos os tempos estão expressos na unidade de tempo igual a 4 minutos*

Frequência de entrega	*Tempo entre entregas =60UTx NPER (UT)	*Tempo entre chegadas de encomendas (UT) =NPERx2= λ	Quantidade por encomenda =NPERx20 (UT)	NPER Variável de controle do tempo entre entregas	*Tempo de produção =NPERx10 (UT)
2x/dia	4 horas=60 UT	2	20	1	10
1x/dia	1 dia=120 UT	4	40	2	20
1x/2 dias	Dia sim dia não (2 dias)=240 UT	8	80	4	40
1x/5 dias	5 dias=600 UT	20	200	10	100

Figura 3.5

O momento de entrega de cada encomenda é igual ao próximo instante de entrega mais o tempo entre entregas. O modelo define os instantes de entrega, nos quais as encomendas poderão ser entregues ao veículo transportador. Esses instantes são definidos de 60 UT em 60 UT, (isto é 4 em 4 horas). O tempo entre entregas é expresso no número de períodos de entrega e é múltiplo de 60 UT, isto é, $60 \times \text{NPER}$. No processo de chegadas, devido ao mecanismo aleatório do tipo de artigo que chega, poderá haver mais que uma encomenda do mesmo artigo para o mesmo instante de entrega. Vê-se assim, que a nível dinâmico há variações nas exigências de produção às células, apesar de no longo prazo, a procura média ser considerada igual para todos os artigos.

Tipo de artigo

De facto, a procura dos vários tipos de artigo é definida através da Distribuição Uniforme entre o tipo 1 e o tipo 30. Esta distribuição permite distribuir uniformemente o tipo de produto pelas várias encomendas. Deste modo, a curto prazo a procura dos vários produtos é diferente, mas a longo prazo a procura será igual.

No caso do fornecedor ter implementado um sistema de produção Just-in-time, ou seja, encomenda a encomenda, as encomendas dos vários tipos de artigo, chegam para serem entregues em instantes mais breves do que no caso em que o fornecedor produz para stock. Neste caso, as mesmas encomendas chegam com uma maior antecedência. Consequentemente, o instante de entrega de cada encomenda ao veículo transportador é modelado de diferente forma.

No caso do fornecedor produzir para stock

O cliente lança as mesmas encomendas com maior antecedência, e o fornecedor pode e executa a produção de todas as encomendas do mesmo artigo relativas ao mesmo horizonte de planeamento. A antecedência do lançamento das encomendas relativamente à data de entrega, é aproximadamente uma semana, correspondente a 5 dias. Consequentemente, o instante de entrega de cada encomenda, é o instante que resulta da soma dos 5 dias (1 semana), ao próximo instante de entrega mais o tempo entre entregas. O tempo entre entregas, como se referiu, é expresso no número de períodos de entrega, $60 \times \text{NPER}$. Posteriormente, o fornecedor produz as encomendas do mesmo artigo para o mesmo horizonte de entrega.

No caso do fornecedor produzir just-in-time

O instante de entrega de cada encomenda, é igual ao próximo instante de entrega mais o tempo entre entregas. O tempo entre entregas é também definido como anteriormente, isto é, no número de períodos de entrega, $60 \times \text{NPER}$. Neste caso o fornecedor produz a quantidade relativa a cada artigo para cumprir o seu instante de entrega. Cada encomenda funciona como kanban de reposição de stock do cliente, ao fornecedor, que apenas produz essa quantidade.

3.1.2.2.2 Sistema de produção dos fornecedores

O sistema de produção dos fornecedores é orientado ao produto. Cada produto é produzido em células autónomas de produção.

As células produtivas distribuem-se uniformemente pelos vários fornecedores, isto é, o aumento do número de fornecedores conduz a uma maior dispersão das células e vice-versa. Quando uma encomenda fica disponível para a produção, ela só será processada na célula se esta estiver disponível. A ocupação de cada célula é definida através do histograma do tempo de ocupação de todas as células, HIST OCUPA(2,0,1), que apresenta o seguinte gráfico (Figura 3.6):

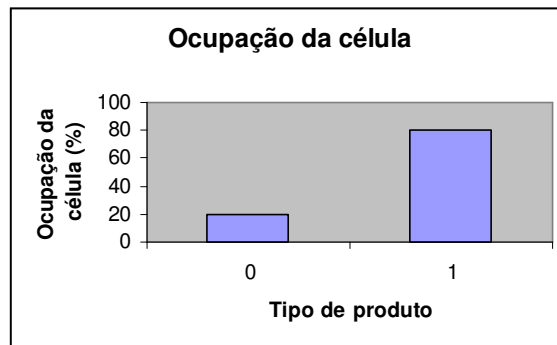


Figura 3.6

Este histograma significa que 80% da capacidade de cada célula é reservada para a produção de artigos fictícios e que os restantes 20% correspondem à capacidade utilizada na realidade para a produção dos artigos reais.

É realizada uma amostragem, em cada instante, do estado das células utilizando a seguinte expressão:

$$\text{VALRR}=\text{SAMPLE}(\text{OCUPAC},\text{STA}) \quad (1)$$

Se o resultado de VALRR for igual a 1, cada célula se estiver livre será ocupada por um produto fictício.

Se o resultado de VALRR for igual a 0, cada célula se estiver livre, não será ocupada por um artigo fictício, podendo processar uma encomenda de um produto real.

Como o número de fornecedores é um factor de experimentação, isto é, uma variável testada a vários níveis, de uma forma gradual e controlada, as células autónomas distribuem-se uniformemente pelos fornecedores. Por exemplo se o modelo tiver apenas um fornecedor, as 30 células estarão concentradas nele apenas. Ao aumentar o número de fornecedores para 15, cada um terá 2 células, até ao caso limite, em que há 30 fornecedores com apenas uma célula cada. Cada artigo do sistema é produzido apenas numa célula, por exemplo, o artigo 1 é produzido na célula 1. Como a cada célula está associada um artigo, os artigos dispersam-se e concentram-se uniformemente pelos fornecedores considerados no sistema.

3.1.2.2.1 Tipo de abordagem ao controlo e planeamento da produção do fornecedor (Spearman e Zazanis, 1992)

O fornecedor pode produzir Just-in-time ou para stock. No primeiro caso, cada encomenda representa um kanban enviado pelo cliente, que por sua vez, constitui uma ordem de fabrico de uma determinada quantidade de artigo, que o fornecedor deverá produzir de modo a cumprir a sua data de entrega.

No segundo caso, o fornecedor produz a quantidade de cada artigo relativa a todas as encomendas com data de entrega compreendida num determinado horizonte de planeamento, com uma certa antecedência, de modo a satisfazer a data de entrega das encomendas mais urgentes. Após o abastecimento destas encomendas por stock, a quantidade restante produzida de cada artigo fica armazenada no fornecedor, até as encomendas respectivas serem expedidas no seu momento de entrega.

3.1.2.2.3 Transporte

O transporte utilizado no modelo pode ser primário ou secundário. Consequentemente a implementação do tipo de transporte no modelo é diferente.

No caso do transporte primário, a cada conjunto de encomendas ao mesmo fornecedor, com o mesmo instante de entrega é atribuído um veículo que as carrega e transporta até ao cliente.

No caso do transporte secundário cada veículo numa viagem é programado para carregar as encomendas de vários fornecedores, de acordo com a capacidade disponível do veículo e o tempo de transporte e carregamento. De 4 em 4 horas é feita a programação de rotas dos veículos que irão transportar as encomendas. A programação das rotas está sujeita às seguintes restrições:

- Duração da rota, que é aproximadamente 2 horas.
- O veículo irá visitar em primeiro lugar na rota, o fornecedor cuja encomenda tem o menor instante de entrega, de modo a garantir a fiabilidade na entrega ao cliente.
- O veículo, uma vez iniciada a rota no primeiro fornecedor, irá dirigir-se para o fornecedor mais próximo.
- O veículo em cada fornecedor irá carregar todas as encomendas com o mesmo instante de entrega, desde que tenha capacidade para as carregar.

Qualquer que seja o tipo de transporte considerado, cada veículo irá sair da garagem, para iniciar a rota, um tempo suficiente antes, para chegar ao fornecedor (o primeiro a ser visitado na rota, no caso do transporte secundário) no instante de entrega da(s) encomenda(s) a carregar ou seja, o tempo da viagem da garagem ao fornecedor.

3.1.2.3 Descrição detalhada das actividades do modelo

De seguida procede-se à descrição detalhada de todas as actividades do modelo.

3.1.2.3.1 *Chegad*

Esta actividade representa a chegada de encomendas ao sistema da fila OUTSID modelada da forma já descrita, na secção 3.1.2.2.1.

Para que uma encomenda chegue ao sistema da fila OUTSID, é necessário que a Porta tome um valor maior ou igual a 1. Após a duração desta actividade, a Porta fica livre e cada encomenda fica disponível na fila WAITPF.

A cada encomenda é atribuída o tipo de produto encomendado (PRO) e o instante de entrega ao veículo transportador (IENTRG).

O instante de entrega de cada encomenda é atribuído conforme a antecedência com que as encomendas têm de ser recebidas pelo fornecedor, como foi descrito na secção 3.1.2.2.1. A antecedência do recebimento das encomendas está relacionada com o facto do fornecedor produzir para stock ou produzir just-in-time.

O tempo entre a chegada de encomendas é definido pela variável Lampda , que está representada na Figura 3.5.

No caso do modelo utilizar a estratégia do transporte primário, a cada encomenda é atribuído o valor estimado do instante de saída do veículo que a transporta, da garagem (LISTEM()). Este valor é a diferença entre o instante de entrega da encomenda e o tempo de deslocação do veículo ao fornecedor (razão entre a distância ao fornecedor (d) e a velocidade média da Distribuição da velocidade (V_m), como se observa na expressão:

$$\text{LISTEM()} = \text{IENTRG} - d / V_m$$

As encomendas do mesmo fornecedor, com o mesmo instante de entrega são carregadas e transportadas pelo mesmo veículo, daí que só é atribuído o valor LISTEM() à primeira encomenda desse grupo.

No caso do transporte secundário, nesta actividade definem-se os instantes em que é realizado o algoritmo de transporte. De 4 em 4 horas (60 UT) é realizado o algoritmo de transporte. Verifica-se que há encomendas com instante de entrega igual a 60 UT, e o algoritmo de transporte só se realiza no instante $\text{CLOCK} = 60 \text{ UT}$, o que implica que a encomenda seria entregue com atraso. Assim nesta situação, excepcionalmente, o algoritmo é realizado para o valor do relógio igual a 30 UT.

No caso em que não há coordenação entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição, é nesta operação que as encomendas referentes ao mesmo produto e instante de entrega são agrupadas, para serem produzidas na mesma ordem de fabrico. No caso em que há coordenação, este agrupamento faz-se na operação PRODUF. Posteriormente todas as encomendas nestas circunstâncias têm o atributo TCON igual ao simétrico do valor de identificação da primeira encomenda, desse grupo que chegou ao sistema.

3.1.2.3.2 *Produf*

Qualquer encomenda do mesmo produto e com o mesmo instante de entrega é produzida na mesma ordem de fabrico. Uma ordem de fabrico designa um conjunto de encomendas, referentes ao mesmo produto e instante de entrega. Em cada instante, na produção, só são admitidas as encomendas com o instante de entrega inferior ao que está a ser atribuído na actividade CHEGAD (ARIVI). As encomendas nestas condições representam o domínio das encomendas a processar em cada instante numa célula autónoma de produção. Caso contrário, no mesmo instante, poderia chegar uma encomenda a um fornecedor com o mesmo instante de entrega e do mesmo artigo, de uma encomenda ou ordem de fabrico que entrava em processamento na célula de produção respectiva.

Cada encomenda só é processada numa célula, se já tiver entrado na programação de veículos na actividade VIAJAR, que posteriormente se descreverá.

Esta actividade representa a produção das encomendas nas células autónomas, em cada fornecedor.

As condições para que esta actividade possa ter início depende dos níveis que tomam os factores Relacionamento entre o ciclo de produção do fornecedor e o ciclo de expedição ao cliente, e o Tipo de abordagem ao controlo e planeamento da produção do fornecedor. Os níveis destes factores não podem ser combinados. Quando um fornecedor tem um tipo de controle da produção Jit, pode existir ou não relacionamento entre o seu ciclo de produção e o ciclo de expedição. No caso em que o fornecedor tem um tipo de controle da produção para stock, não há relacionamento entre o ciclo de produção de uma encomenda e o seu ciclo de expedição. Neste caso, o fornecedor faz o planeamento da produção de acordo com as encomendas em carteira, de forma a cumprir o prazo de entrega de todas. Esse planeamento consiste em aglomerar as encomendas do mesmo artigo para o mesmo horizonte de entrega. Neste caso não se relaciona a produção de cada encomenda com a sua expedição, mas sim a produção de várias encomendas com a data de entrega da encomenda mais breve.

De seguida descrevem-se as condições [Ci] para que a produção possa ocorrer, para os diferentes níveis dos factores mencionados.

Caso 1

- Se não houver coordenação entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição, e
- Se a abordagem ao controlo da produção do fornecedor for Just-in-time.

Qualquer encomenda pertencente ao domínio estará disponível para ser processada.

C1. É seleccionada a encomenda com menor instante de entrega, disponível na fila WAITPF

e a célula do respectivo artigo caso esteja livre.

Ou

C2. É seleccionada a primeira encomenda da fila disponível e a célula do respectivo artigo caso esteja livre.

Caso 2

- Se houver coordenação entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição, e
- Se a abordagem ao controlo da produção do fornecedor for Just-in-time.

Esta variante traduz a coordenação entre o ciclo de produção do fornecedor e o ciclo de expedição da encomenda, ou seja, só se inicia a produção de uma encomenda, o tempo de produção e um tempo de folga (TIMBUF) antes da entrega ao transportador. O objectivo deste tipo de planeamento é a redução dos stocks de produtos acabados nos fornecedores. Para tal, é estimado o instante em que cada encomenda deverá iniciar a produção, que é designado como atributo TCON, que resulta da diferença entre o IENTRG da encomenda e o somatório dos seguintes tempos: produção, setup e ainda um tempo de folga designado por TIMBUF.

Se houver várias encomendas com o mesmo TCON do mesmo artigo, isto é, com o mesmo instante de entrega, são todas produzidas na mesma ordem de fabrico. O TCON da primeira encomenda deste grupo será calculado como a diferença entre o seu instante de entrega, o tempo de produção da quantidade associada à ordem de fabrico, o tempo de setup e o TIMBUF.

Qualquer encomenda pertencente ao domínio estará disponível para ser processada.

C1. É seleccionada a encomenda disponível na fila WAITPF, com o menor valor de início da produção (TCON), que já tenha sido atingido pelo relógio e a célula do respectivo artigo caso esteja livre.

Ou

C2. É seleccionada a encomenda disponível na fila WAITPF, em que o valor de início da produção (TCON), já tenha sido atingido pelo relógio e a célula do respectivo artigo caso esteja livre.

Caso 3

- Se o fornecedor produzir para stock, e
- Se não houver coordenação entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição

Nesta actividade, cada célula disponível inicia a produção no instante i_p , produzindo em primeiro lugar a encomenda, ou conjunto de encomendas correspondentes à mesma ordem de fabrico, com menor instante de entrega. Em qualquer um dos casos, só inicia a produção um tempo T_a antes de começar a entregar no instante i_2 , como se pode observar na Figura 3.7. Posteriormente, a célula processa as restantes encomendas ou ordens de fabrico, do mesmo artigo, com instante de entrega superior ao instante de entrega das primeiras. Q_t é a quantidade total produzida de cada artigo, em cada célula, referente a todas as encomendas relativas ao mesmo horizonte de planeamento.

Com que antecedência deve a célula iniciar a produção de uma encomenda ou ordem de fabrico, de modo a disponibilizar o material na data pedida ?

Por dia cada célula produz em média 40 unidades do produto real. O critério utilizado foi o seguinte: a produção deverá iniciar-se o tempo correspondente a 1 dia de folga mais o tempo de produção da quantidade a entregar da encomenda com data mais breve. Outro critério a utilizar seria o fornecedor produzir logo que pudesse com antecedência

de uma semana, o que implicaria que as existências permaneceriam em média mais tempo em stock. Por este motivo, e pelo facto de nos resultados da simulação a analisar no capítulo 4 ao aplicar o primeiro critério, não se verificarem encomendas atrasadas por falta de capacidade de produção, torna-se razoável utilizar o primeiro critério.

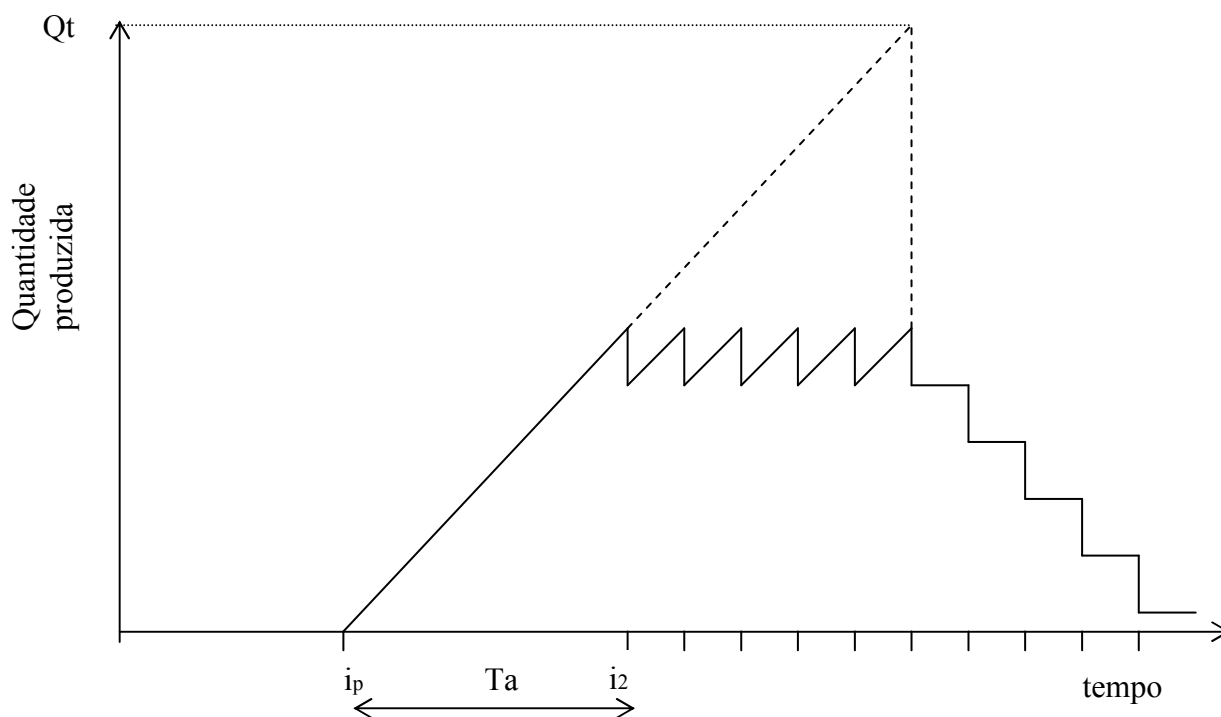


Figura 3.7

Qualquer encomenda pertencente ao domínio estará disponível para ser processada.

C1. É seleccionada a encomenda disponível na fila WAITPF, com o menor instante de entrega, T_a antes de entregar.
e a célula do respectivo artigo caso esteja livre.

Ou

C2. É seleccionada a encomenda disponível na fila WAITPF, do mesmo tipo de artigo de uma encomenda anteriormente seleccionada em C1, referente ao mesmo horizonte de planeamento. O horizonte de planeamento compreende o intervalo de tempo inferior a ARIVI. Este valor corresponde ao instante de entrega que está a ser atribuído na actividade CHEGAD.
e a célula do respectivo artigo caso esteja livre.

Em todos os casos, 1, 2 e 3, a encomenda seleccionada só será processada na célula se estiver autorizada pela variável de ocupação da célula, VALRR, isto é, se tomar o valor 0.

No caso da encomenda estar autorizada a ser produzida na célula, é calculado a duração da actividade. A duração da actividade de produção é igual ao tempo de produção da quantidade relativa a cada encomenda ou ordem de fabrico, e ao tempo de setup. O tempo de produção de cada encomenda é dado pela expressão representada na Figura

3.5. À medida que cada quantidade relativa a cada encomenda é produzida, é colocada em stock.

Cada encomenda após ser produzida é colocada na fila STOCK e a célula libertada, no final da produção da encomenda ou ordem de fabrico.

3.1.2.3.3 *Viajar*

Nesta actividade, os veículos são desmobilizados da garagem para os fornecedores que necessitam de transporte, como de seguida se descreve.

A actividade VIAJAR é composta por duas fases.

A **primeira fase** corresponde à programação das rotas, que consiste em guardar a identificação da(s) encomenda(s) de cada fornecedor e o valor estimado do instante de saída do veículo que a(s) irá transportar da garagem.

C1: É seleccionada uma encomenda da fila WAITPF, com o momento de entrega mais breve, que ainda não tenha sido programada.

A **segunda fase** consiste na operação propriamente dita. O relógio quando atinge o instante de saída do veículo da garagem, referente a cada encomenda, o veículo inicia a actividade VIAJAR até ao fornecedor:

C1: É seleccionado um veículo da fila LIVRE.

E

C2: Se o relógio atinge o valor LISTEM() de qualquer encomenda. Ao veículo seleccionado é atribuído o valor da encomenda ao seu atributo ORIGEV, para identificar qual a encomenda que o veículo irá carregar.

O tempo desta actividade (T_v) corresponde ao tempo de viagem do veículo da garagem até ao fornecedor. T_v é calculado com base na distância (d) entre a garagem e o fornecedor e na Distribuição da velocidade do veículo. Assume-se que a velocidade do veículo (DVELOC) segue uma distribuição Normal, com média igual a 4 km por UT, isto é 60 km/hora, e desvio padrão aproximadamente igual a 0.

$DVELOC = \text{Normal}(4,0,s)$

$T_v = d / DVELOC$

Como o valor de T_v é um número real e tratando-se da duração de uma actividade que deverá ser inteira no modelo, T_v é arredondado usando a função FIX do ECSL. Esta função arredonda por defeito o número real para um inteiro.

O veículo após T_v fica disponível na fila WAITC para carregar as encomendas para as quais está programado.

No caso do transporte secundário, antes desta actividade, realiza-se o algoritmo de transporte, que programa as rotas para cada veículo, de modo a assegurar o fornecimento de produtos dos fornecedores ao cliente. De seguida é descrito o algoritmo de transporte.

3.1.2.3.3.1 Algoritmo de transporte

O algoritmo de transporte é realizado de forma a minimizar a distância total percorrida e o número de veículos utilizados de acordo com as solicitações de fornecimento Just-in-time e as restrições impostas relativas à capacidade dos veículos e ao tempo total da rota (Gattorna, 1983). Sendo conhecidas as distâncias entre os fornecedores e o cliente, o sequenciamento das entregas é realizado de forma a minimizar a distância total percorrida. Inicialmente toma-se o pedido de encomenda com data de entrega mais breve, calculando-se o tempo necessário para fazer a entrega do fornecedor ao cliente. No caso desta rota não violar as restrições impostas pelo tempo total da rota e capacidade do veículo, é-lhe adicionado um novo pedido do fornecedor mais próximo e assim sucessivamente. Se alguma das restrições for violada inicia-se uma nova rota.

O algoritmo define uma rota de um veículo, sendo composto de duas fases. O domínio da aplicação do algoritmo são todas as encomendas que não têm ainda veículo atribuído.

O algoritmo de transporte é realizado de 4 em 4 horas e nos seguintes casos:

- Quando o valor do relógio for igual a 30 UT.
- Quando existirem encomendas que ainda não têm veículo atribuído.
- Quando ainda existirem encomendas a atribuir a um veículo, que ainda não está completo, e que ainda tem o tempo de rota por esgotar.

Todas as encomendas que já pertencem a uma rota têm um valor de ESTADO() negativo. A cada uma delas está associado o valor da ordem em que o seu fornecedor é visitado na rota, em ATRIBU. As encomendas que pertencem à mesma rota têm na variável PRIENC(), o valor da encomenda carregada em primeiro lugar na rota.

A primeira fase do algoritmo consiste em:

1. Encontrar a primeira encomenda A em WAITPF, com menor instante de entrega, pertencente ao domínio atribuindo-lhe o valor 1 a ATRIBU que designa a ordem em que seu fornecedor (Fa) é visitado na rota. Consequentemente, Fa será o primeiro a ser visitado na rota. À encomenda A atribui-se o valor a LISTEM(), que designa o instante de saída do veículo da garagem, que a irá transportar, e que é calculado como foi referido anteriormente.

2. É calculada a carga de todas as encomendas associadas a este fornecedor pertencentes ao domínio indicado, que será deduzida à capacidade inicial do veículo.

- 2.1. Se o veículo ainda tiver capacidade, será encontrada uma encomenda T, pertencente ao domínio, em que o seu fornecedor Ft é o mais próximo do Fa. É calculada a carga, C2, de todas as encomendas associadas ao fornecedor Ft.

- 2.1.1. Se a carga C2 for não superior à capacidade ainda disponível do veículo, é calculado a estimativa da duração da rota, que é guardado na variável VALOR, resultante do tempo da deslocação entre o primeiro e o segundo fornecedor a visitar na rota, mais o tempo de carregamento de todas as encomendas e o tempo de regresso ao cliente.

- 2.1.1.1. Se a duração VALOR for não superior a 2 horas, o valor da capacidade disponível do veículo é actualizado, deduzindo-se a carga C2.

É contabilizado na variável VARCON, o número das restantes encomendas do domínio ainda por carregar.

2.1.1.1.1. Se não existirem encomendas nestas circunstâncias, isto é, se VARCON igual a 0, a rota ficará completa com os fornecedores Fa e Ft.

2.1.1.1.2. Caso contrário, a rota ainda não está completa. O algoritmo será reiniciado no fornecedor da encomenda T.

2.1.1.2. Se a duração VALOR for superior a 2 horas, a rota será redefinida novamente sendo excluída a encomenda T.

2.1.2. Se a carga C2 for superior à capacidade disponível do veículo, a encomenda T fica excluída desta rota. O algoritmo irá reiniciar novamente nesta fase, encontrando uma outra encomenda do domínio.

2.2. Se não houver capacidade do veículo necessária para carregar uma encomenda no segundo fornecedor ou tempo disponível, então a rota fica completa com apenas o fornecedor Fa. Esta rota é da mesma natureza das rotas do transporte primário.

Na primeira fase do algoritmo, ou se concluiu a rota com um ou dois fornecedores, ou se definiu o primeiro troço, constituído pelo primeiro e segundo fornecedores da rota, ou não se definiu rota. A segunda fase do algoritmo consiste, no caso de não se ter concluído a rota, em determinar os restantes troços identificando a sequência e os fornecedores a visitar, como de seguida se descreve.

1. Encontra-se a encomenda A em WAITPF a carregar no segundo (último) fornecedor (Fa) do troço já iniciado.

1.1. Se o veículo ainda tem capacidade, é encontrada a encomenda Z em WAITPF, em que o fornecedor (Fz) correspondente, é o que fica mais próximo de Fa. Ao ATRIBU da encomenda Z, é atribuído o valor de ATRIBU da encomenda A acrescentado de 1 unidade. É calculada a carga, C3 de todas as encomendas com o mesmo instante de entrega da encomenda Z associadas ao mesmo fornecedor Fz.

1.1.1. Se essa carga for não superior à capacidade disponível do veículo (CAPVEI()) é actualizada a duração da rota (VALOR), ao qual se acrescenta o tempo da deslocação entre o segundo e o terceiro fornecedor a visitar na rota, mais o tempo de carregamento de todas as encomendas nesse fornecedor e a nova estimativa do tempo de regresso ao cliente.

1.1.1.1. Se VALOR for não superior a 2 horas, a capacidade disponível do veículo é deduzida de C3, e é calculado o valor do número de encomendas potenciais a carregar, ao deduzir 1 unidade a VARCON.

1.1.1.1.1. Se VARCON é igual a 0, a rota fica completa terminando em Fz.

1.1.1.1.2. Se VARCON diferente de 0, a definição da rota ainda não acabou, reiniciando-se o algoritmo no fornecedor da encomenda Z, para determinar o próximo troço.

1.1.1.2. Se a duração da rota (VALOR) for superior a 2 horas, a encomenda T é excluída da rota. Perante este cenário teremos duas situações:

1.1.1.2.1. Se existirem mais encomendas potenciais a carregar, na fila WAITPF, a rota é reiniciada em Fa.

1.1.1.2.2. Caso contrário, a rota termina em Fa.

1.1.2. Se a carga C3 for superior à capacidade disponível do veículo, a encomenda T é excluída da rota. Perante cenário teremos duas situações:

1.1.2.1. Se existirem mais em encomendas potenciais a carregar, na fila WAITPF, a rota é reiniciada em Fa.

1.1.2.2. Caso contrário, a rota termina em Fa.

1.2. Se não houver capacidade do veículo necessária para carregar uma encomenda além do fornecedor Fa, então a rota fica completa com apenas o troço já definido e o troço entre Fa e o cliente.

3.1.2.3.4 *Carreg*

Nesta actividade, os veículos programados após chegarem a cada fornecedor, carregam as encomendas. Esta actividade só se realiza em cada fornecedor, se todas as encomendas que vão ser carregadas no mesmo veículo já estão produzidas. É nesta actividade que se faz a análise das encomendas atrasadas, quer por falta de capacidade de produção quer por falta de transporte, comparando-se o valor do relógio no instante de carregamento com o instante de entrega das encomendas. No caso do transporte secundário, a tolerância para carregar qualquer encomenda durante a rota é de 2 horas, para além do seu instante de entrega. Assim qualquer encomenda que for carregada dentro da tolerância definida não é considerada atrasada.

Esta actividade é diferente caso se considere o transporte primário ou se considere o secundário.

No caso do *transporte primário*, a actividade carregar realiza-se nas seguintes condições:

C1. É seleccionada a primeira encomenda da fila STOCK e o veículo programado da fila WAITC.

E

C2. No caso de haver mais encomendas a carregar no mesmo fornecedor, verifica-se se já estão disponíveis em stock. Caso contrário o veículo espera que tal situação se verifique.

No caso do *transporte secundário*, na actividade CARREG, acontece uma das duas situações:

1ª Situação: No caso de o veículo ir carregar a primeira encomenda da rota, no primeiro fornecedor que visita.

C1. Selecciona-se a encomenda nessas condições da fila STOCK e o veículo que a carrega da fila WAITC.

E

C2. Verifica se todas as encomendas a carregar no mesmo fornecedor já estão disponíveis em stock. Caso contrário o veículo espera que tal situação se verifique.

2ª Situação: No caso do veículo ir carregar encomenda(s) nos restantes fornecedores da rota.

C1. É seleccionada a encomenda da fila STOCK, cujo fornecedor é o próximo a ser visitado na rota em que se encontra
e o veículo que a carrega da fila WAITC.

E

C2. Verifica se todas as encomendas a carregar no mesmo fornecedor já estão disponíveis em stock. Caso contrário o veículo espera que tal situação se verifique.

A descrição que se segue é comum às duas situações.

Se no mesmo fornecedor houver encomendas a carregar com o mesmo instante de entrega da encomenda seleccionada, o veículo carrega essas encomendas, deduzindo-se as respectivas cargas à capacidade do veículo.

Para as duas estratégias de transporte, as encomendas são carregadas em paletes com capacidade máxima de 100 unidades. Como os artigos em termos de peso e de volumetria são equivalentes, as paletes podem armazenar vários tipos de artigo. O tempo de carregamento das encomendas no veículo, corresponde ao tempo de carregamento das paletes no mesmo. O tempo de carregamento de cada paleta é fixo em 3 UT (Tc). O tempo desta operação (TC) é proporcional ao número de paletes carregadas (N) em cada fornecedor e é igual a:

$$TC = N \times Tc$$

Após o tempo TC as encomendas e o veículo são colocados respectivamente nas filas WAITTR e WAITT, ficando disponíveis para se iniciar o transporte até à próxima paragem.

3.1.2.3.5 *Transp*

Esta actividade representa o transporte das encomendas carregadas entre o fornecedor e o cliente, no caso do transporte primário, e entre os vários fornecedores e o cliente, no caso do transporte secundário.

No caso do *transporte primário*, a(s) encomenda(s) de cada fornecedor são transportadas no veículo respectivo até ao cliente.

C1. É seleccionado o primeiro veículo disponível na fila WAITT.
e a encomenda que transporta.

O veículo transporta todas as encomendas do mesmo fornecedor com o mesmo instante de entrega.

O tempo de transporte (Tt) é calculado com base na distância (d) entre o fornecedor e o cliente e na Distribuição da velocidade (DVELOC) do veículo, da seguinte forma:

$$Tt = d / DVELOC$$

Como o valor de Tt é um número real e tratando-se da duração de uma actividade, Tt é arredondado usando a função FIX do ECSL.

Cada encomenda após o transporte é colocada na fila WAITEN, e o veículo colocado na fila WAITE ficando disponíveis para a entrega ao cliente.

No caso do *transporte secundário* na actividade de transporte, acontece uma das seguintes situações:

1ª Situação: No caso de o veículo realizar o troço entre o primeiro e o segundo fornecedor da rota, ou entre o primeiro fornecedor da rota e o cliente.

C1. É seleccionado a encomenda cujo fornecedor é o primeiro a ser visitado na rota e o veículo que a transporta.

Todas as encomendas que foram carregadas no mesmo fornecedor são transportadas pelo veículo. É realizado um teste para identificar se existem encomendas por carregar na rota, cujo fornecedor seja o próximo a ser visitado nessa rota.

Deste teste, resultam duas situações alternativas:

C1.1. No caso de existirem, é calculado o tempo de transporte (T_t) com base na distância (d) do primeiro ao segundo fornecedor, e na Distribuição da velocidade (DVELOC) do veículo já utilizada, da seguinte forma:

$$T_t = d / DVELOC$$

Como o valor de T_t é um número real e tratando-se da duração de uma actividade, T_t é arredondado usando a função FIX do ECSL.

O veículo, após T_t , é colocado na fila WAITC, ficando disponível para carregar mais encomendas no segundo fornecedor do troço.

C1.2. No caso de não existirem mais encomendas de outros fornecedores a carregar na rota, o veículo percorre o último troço até ao cliente. O tempo de transporte é análogo ao calculado anteriormente, mas agora baseado na distância entre o fornecedor e o cliente.

O veículo, após o tempo de transporte, é colocado na fila WAITE, ficando disponível para entregar as encomendas ao cliente.

2ª Situação: No caso de o veículo realizar o troço entre dois fornecedores da rota, ou entre o último fornecedor da rota e o cliente.

C2. É seleccionado a encomenda cujo fornecedor é o próximo a ser visitado na rota e o veículo que a transporta.

Todas as encomendas que foram carregadas no mesmo fornecedor são transportadas pelo veículo. É realizado um teste para identificar se existem encomendas por carregar na rota cujo fornecedor seja o próximo a ser visitado nessa rota.

Deste teste, resultam duas situações alternativas:

C2.1. No caso de existirem, é calculado o tempo de transporte (T_t) com base na distância entre o fornecedor origem e o fornecedor destino (d) e na Distribuição da velocidade (DVELOC) do veículo já utilizada, como se descreveu anteriormente

O veículo, após o tempo de transporte, é colocado na fila WAITC, ficando disponível para carregar mais encomendas no próximo fornecedor.

C2.2. No caso de não existirem mais encomendas de outros fornecedores a carregar na rota, o veículo vai directamente para o cliente. O tempo de transporte é análogo ao calculado anteriormente, mas agora baseado na distância entre o último fornecedor da rota e o cliente.

O veículo, após o tempo de transporte, é colocado na fila WAITE, ficando disponível para entregar as encomendas ao cliente.

As encomendas, após o transporte, são colocadas na fila WAITEN, ficando disponíveis para a entrega ao cliente.

3.1.2.3.6 Entrg

Na actividade ENTRG, cada veículo irá entregar as encomendas que transporta ao cliente, que estão armazenadas nas paletes, seleccionando-se um cais de entrega.

C1. É seleccionado o primeiro veículo na fila WAITE,
e a encomenda que transporta na fila WAITEN

E

C2. É seleccionado um cais livre na fila CAILIV.

Todas as encomendas transportadas pelo veículo são entregues ao cliente, em paletes. O tempo de entrega de cada conjunto de encomendas associadas a cada fornecedor é igual ao tempo de carregamento anteriormente despendido. O veículo após o tempo de entrega de todas as encomendas que transporta, regressa à garagem, que fica junto do cliente, isto é à fila LIVRE, actualizando-se os seus atributos para os valores iniciais. O cais após o tempo de entrega fica novamente livre na fila CAILIV. Cada encomenda após o tempo de entrega é colocada na fila WAITPC.

3.1.2.3.7 Contol

Na actividade CONTOL, cada encomenda é recolhida pelo cliente da fila WAITPC, e colocada na fila OUTSID, que constitui a fila de espera onde se encontram as matérias primas do cliente. Não faz parte do modelo a utilização destas pelo cliente. As encomendas apenas têm que ser entregues ao veículo transportador no prazo previamente estabelecido, ou seja no instante de entrega das encomendas.

4. EXPERIMENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4 Experimentação e análise de resultados

4.1 Condições iniciais do modelo de simulação

Para execução de qualquer modelo de simulação, é necessário estabelecer as condições iniciais do sistema, isto é, definir o estado do sistema no início da simulação (Guimarães Rodrigues, 1988).

Define-se que no estado inicial do sistema todas as entidades do sistema não estão envolvidas em actividades, e são colocadas nas filas de espera dos seus DCA.

4.2 Determinação do período de inicialização

Os resultados de uma simulação são função do estado inicial estabelecido para o sistema (condições iniciais) e dos parâmetros. Considerando que os resultados de uma simulação são função do estado inicial estabelecido para o sistema, torna-se necessário determinar a duração do período de tempo durante o qual a simulação deverá decorrer sem se registarem as estatísticas de funcionamento, por forma a que as condições iniciais não afectem os valores obtidos. Este período de tempo designa-se por período de inicialização (Guimarães Rodrigues, 1988). De seguida é representado na Figura 4.1 uma variação característica do valor de uma variável do modelo. A variável representada é a utilização média das células autónomas de produção para os valores de relógio entre 0 e 500 unidades de tempo (UT).

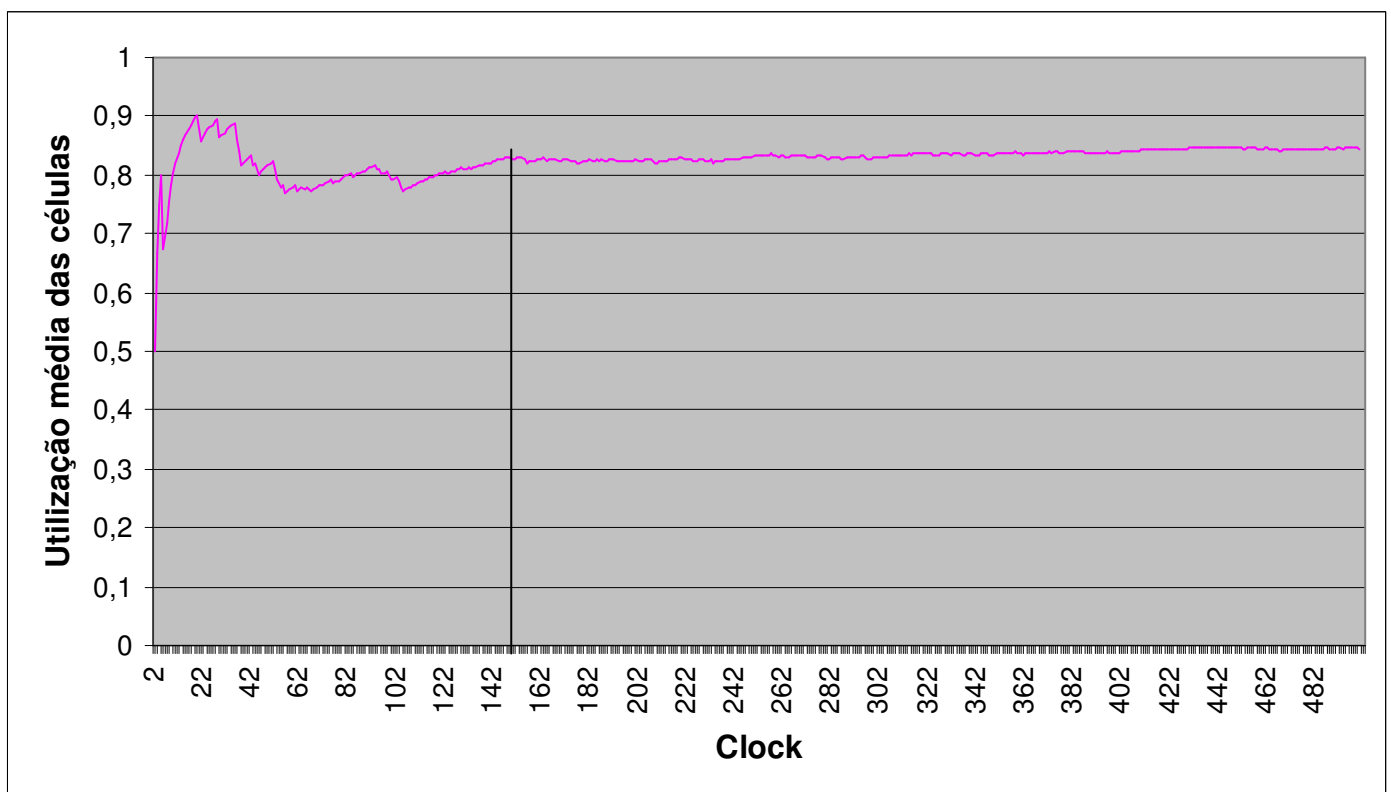


Figura 4.1

Observa-se, na Figura 4.1, uma grande oscilação na fase inicial da simulação, até aproximadamente às 150 UT, seguida de uma estabilização após um período de tempo mais ao menos longo. Assume-se que a estabilização identifica o estado estacionário do sistema. Conclui-se que o período de inicialização do modelo de simulação deve ser de 150 UT.

4.3 Validação do modelo de simulação

O teste do modelo de simulação consiste em analisar se ele reproduz o modelo analítico obtido anteriormente.

No desenvolvimento do modelo analítico determinou-se a função do custo global de fornecimento Just-in-time, do artigo i para o período T , entre um fornecedor e o cliente.

$$C_{global} = (C_o + C_s) \cdot \frac{D}{Q} + \left(D \cdot \frac{I_r}{P} + I_f \right) \cdot \frac{Q}{2} + \frac{x}{2} \cdot I_f + \frac{D}{x} \cdot C_d + \frac{D}{Q} \cdot CCo + \frac{x}{2} \cdot ICr$$

Para analisar se o modelo de simulação responde ao modelo analítico, representar-se-à graficamente a função do custo global, para os dois modelos, ao variar a frequência de entrega.

Como o modelo de simulação não modela as matérias primas utilizadas pelos fornecedores e pelo cliente, não permite calcular os custos de encomenda e de posse das matérias primas do fornecedor, nem os custos de posse das matérias primas do cliente, representados na expressão analítica do custo global. O efeito das parcelas de custo referidas no custo global de fornecimento JIT, é de uma constante, fazendo deslocar a curva para cima. Consequentemente, pode-se simplificar a função do custo global, retirando as parcelas referentes ao custo de encomenda e de posse das matérias primas do fornecedor e do custo de posse das matérias primas do cliente, obtendo-se a seguinte expressão:

$$C_{global} = C_s \cdot \frac{D}{Q} + I_f \cdot \frac{Q}{2} + \frac{x}{2} \cdot I_f + \frac{D}{x} \cdot C_d + \frac{D}{Q} \cdot CCo$$

O C_{global} do artigo i no período T , inclui os custos do fornecedor, do cliente e de transporte relativos ao mesmo período. O custo do fornecedor no fornecimento JIT é igual ao custo de setup de produção e ao custo de stock dos produtos acabados. O custo do cliente no fornecimento JIT é igual ao custo de encomenda das matérias primas. O custo de transporte depende da quantidade de entrega, da distância percorrida e da estratégia de transporte utilizada. Como se trata do fornecimento entre um fornecedor e o cliente, faz sentido considerar, neste caso, a estratégia de transporte primário.

As variáveis do modelo de simulação, vão ser tais, que as condições do modelo de simulação sejam as mais próximas das do modelo analítico. Como o modelo analítico representa o custo global de fornecimento de um produto entre um fornecedor e o cliente, definiu-se o modelo de simulação com 30 fornecedores, em que cada um fornece um produto ao cliente de modo a minimizar as interações na produção e no transporte com outros produtos no mesmo fornecedor, a estratégia do transporte primário, a produção JIT do fornecedor sem coordenação com a expedição.

Apresentam-se de seguida as expressões usadas para o cálculo das três parcelas do custo global, para o modelo analítico e para o modelo de simulação, com base nas siglas já apresentadas.

Custo	Modelo analítico	Modelo de simulação
Transporte	$Cd \cdot \frac{D}{X}$ $Cd = \gamma + \sigma + \alpha \cdot d$ (Burns et al, 1985)	$F = \gamma + \sigma + \alpha \cdot d$ (Burns et al, 1985)
Cliente	$\frac{D}{Q} \cdot Cco$	$Ec \cdot Cco$
Fornecedor	$\frac{D}{Q} \cdot Cs + If \cdot \left[\frac{1}{2} (1 - \frac{D}{P}) \cdot \frac{Q + x}{2} \right] \cdot Tms$	$Ns \cdot Cs + Qmd \cdot If$

Figura 4.2

Para representar o C_{global} para os dois modelos relativamente a um produto i , produzido num fornecedor, para o período T , fixaram-se as constantes Cs , If e Cco da função de custo global por exemplo, nos valores seguintes:

UM: Unidade monetária

Cs: Custo de setup da produção por cada lote de produção (UM/lote de produção) 3070 UM

If: Custo de posse de produtos acabados (UM/unidade-período de simulação) 1500 UM

Cco: Custo de encomenda das matérias primas do cliente ao fornecedor 2500 UM (UM/encomenda)

Artigo i: artigo 1

D representa a procura do artigo 1 durante o período de simulação. Ocorrem oscilações da procura D ao variar a frequência de entrega, devido à dinâmica do sistema - Figura 4.3.

Q: quantidade do artigo 1 produzida por lote de produção (unidades/lote de produção) - Figura 4.3

x: quantidade expedida do artigo 1 (unidades/expedição) - Figura 4.3

O período de simulação T , é considerado aproximadamente igual a 15 dias.

Custo de transporte

O custo de transporte no *modelo analítico* é calculado com base na equação analítica desenvolvida no artigo de Burns et al(1985), para o caso do transporte primário (Figura 4.2).

$$C_{transporte} = Cd \cdot \frac{D}{x}$$

$$Cd = \gamma + \sigma + \alpha \cdot d \text{ (Burns et al, 1985)}$$

σ : custo fixo por paragem no fornecedor (UM/paragem)

γ : custo fixo por iniciar uma rota (UM/rota)

α : custo de transporte por unidade de distância (UM/Km)

A distância d , representa a distância de ida e volta entre o cliente e o fornecedor 1, e é igual a $2 \times 10 \text{ km} = 20 \text{ km}$

O custo de transporte no *modelo de simulação* do fornecedor do produto 1, resultou do custo global de transporte, determinado no modelo com base no custo de transporte primário por rota, de acordo com a correspondente fórmula desenvolvida em Burns et al (1985), a dividir pelo número total de fornecedores.

Para ambos os modelos estimou-se o custo de transporte com base nos mesmos valores de σ , γ e α , utilizados no artigo Burns et al (1985):

σ : 7000 UM/paragem

γ : 4375 UM/rota

α : 133 UM/Km

Custo de encomenda

O custo de encomenda do cliente, no *modelo analítico* foi calculado com base no produto entre C_{co} e o número de encomendas realizadas pelo cliente ao fornecedor, que resulta da razão entre a procura, e a quantidade do lote produção.

$$\text{Custo de encomenda} = \frac{D}{Q} \cdot C_{co}$$

O custo de encomenda do cliente, no *modelo de simulação* foi calculado com base no produto entre C_{co} e o número de encomendas que chegam ao fornecedor do cliente (E_c).

$$\text{Custo de encomenda} = E_c \cdot C_{co}$$

E_c : número de encomendas que chegam ao fornecedor, do artigo 1 no período T. O número de encomendas (E_c) que chegam ao sistema do artigo 1, foi determinado no modelo de simulação.

Custo de setup

O custo de setup no *modelo de analítico* é calculado com base no produto entre C_s e o número de setups, que resulta da razão entre a procura, e a quantidade do lote produção.

$$\text{Custo de setup} = \frac{D}{Q} \cdot C_s$$

O custo de setup no *modelo de simulação* é calculado com base no produto entre C_s e o número de setups registados durante o período T (N_s).

$$\text{Custo de setup} = N_s \cdot C_s$$

N_s : nº de setups na célula 1 do artigo 1 no período T. O nº de setups (N_s) registados nesta célula, no período T foi determinado no modelo de simulação.

Custo de stock

O custo de stock no *modelo de simulação* é calculado pelo produto entre a quantidade média em stock (Q_m) no fornecedor do produto 1 no período de simulação, pelo custo de posse dos produtos acabados.

$$\text{Custo de stock} = Q_m \cdot I_f$$

A Q_m é calculada com base na afectação do custo global de stock da rede de fornecimento ao fornecedor 1 pela seguinte expressão:

$$Q_m = \frac{C_m \cdot T_m \cdot Q_e}{30}$$

Q_m: Quantidade média do artigo 1 em stock no período T

C_m: N° de encomendas médio da fila STOCK no período T

T_m: Tempo médio das encomendas na fila STOCK no período T

Q_e: quantidade encomendada do produto 1

O custo global de stock é calculado com base no produto entre o número médio de encomendas em stock (C_m), a quantidade encomendada (Q_e) e o tempo médio das encomendas em stock (T_m).

O custo de stock no *modelo analítico* é calculado com base na quantidade média de stock no fornecedor no período T, isto é, no produto da quantidade média do artigo em stock pelo tempo em média de cada artigo em stock, pela seguinte expressão:

$$\text{Custo de stock} = I_f \cdot \left[\frac{1}{2} (1-D) \cdot Q + \frac{x}{2} \right] \cdot T_{ms}$$

T_{ms}: Tempo médio de cada artigo em stock

P: taxa de produção do produto i (unidades/período de simulação)

$P = \text{Capacidade de produção total da célula/dia} \times \text{período de simulação} = 192 \times 15,35 = 2947,2$ unidades

Frequência de entrega	Q	Q_e	x	Ec	Ns	C_m	T_m	D	T_{ms}
2x/dia	20	20	20	35	20	185,5	42,6	700	30
1x/dia	40	40	40	22	14	68,9	87,3	880	60
1x/2 dias	80	80	80	11	8	37,4	184,2	880	120
1x/5 dias	200	200	200	5	3	22,2	467	1000	300

Figura 4.3

O custo global de fornecimento JIT pode agora ser representado para os dois modelos. O custo global apresenta os seguintes valores (em UM) para o modelo analítico (ANA) e para o modelo de simulação (SIM) – Figura 4.4.

Custo global SIM	Custo global ANA
8.416.678	1.479.294
12.357.326	3.493.851
27.724.516	12.465.818
103.730.460	74.829.295

Figura 4.4

Representando os valores do Cglobal para cada um dos modelos, observa-se que têm uma curva semelhante, como mostra o seguintes gráfico (Figura 4.5):

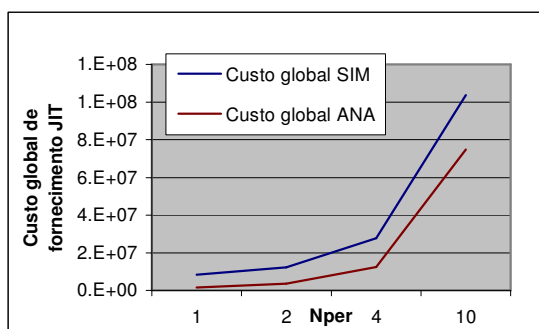


Figura 4.5

Conclui-se que os modelos analítico e de simulação se comportam da mesma forma face à variação dos factores que influenciam o custo global. O modelo analítico valida o modelo de simulação. No entanto verifica-se uma diferença no custo global de fornecimento nos dois modelos, sendo o custo global de fornecimento no modelo analítico inferior. Essa diferença é explicada pelo seguinte:

1. O stock é muito menor no caso do modelo analítico, porque considera o caso da coordenação perfeita em que o tempo de ciclo é um inteiro múltiplo do intervalo de expedição, isto é, à medida que o fornecedor vai produzindo a quantidade relativa a cada encomenda, expede-a, minimizando o tempo de permanência das existências em stock. Enquanto que no modelo de simulação, a célula produz cada encomenda à medida que tem disponibilidade, não coordenando a sua produção com a respectiva expedição, permanecendo em média mais tempo em stock.
2. Devido à dinâmica própria do modelo de simulação.

As curvas do custo global de fornecimento JIT para os dois modelos, foram determinadas com base na matriz das distâncias definida para a rede dos fornecedores e do cliente, no capítulo 3. Para analisar o efeito da distância no custo global, definiu-se uma curva do custo de transporte por unidade, $C_{\text{transp}}(x,d)$, com base nas condições enunciadas anteriormente, na secção 2.1.3., ou seja:

- O C_{transp} por unidade para transportar uma quantidade de entrega x , varia linearmente com a distância d .
- O C_{transp} por unidade varia segundo uma exponencial negativa com a quantidade de entrega x , para uma dada distância d .

De acordo com estas condições, obtiveram-se, por exemplo, os seguintes valores do $C_{transp}(x,d)$ representados na Figura 4.6.

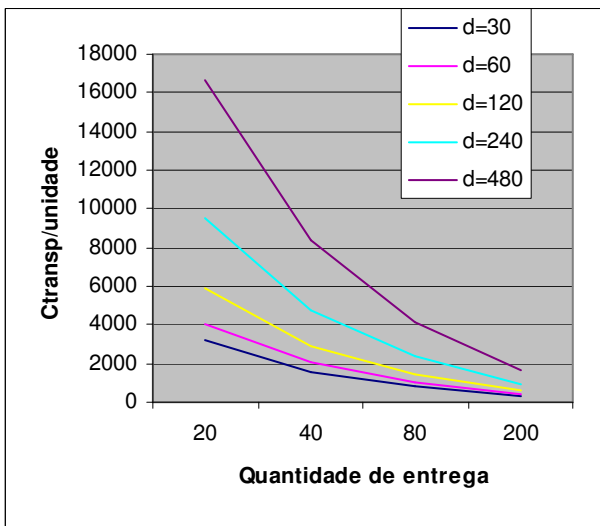
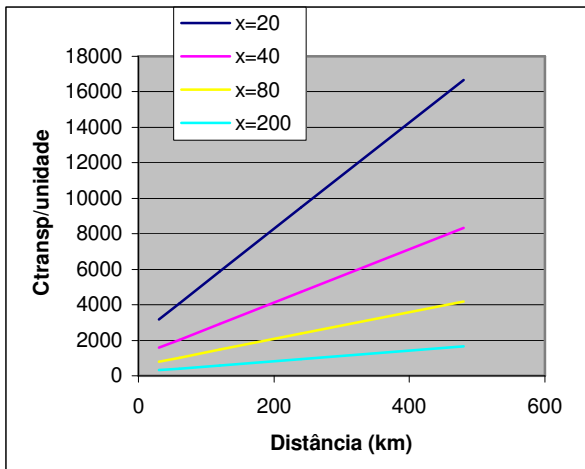


Figura 4.6: $C_{transp}(x,d)$

Representando os valores do C_{global} para cada um dos modelos ANA e SIM, ao alterar o valor do custo de transporte por unidade para os valores definidos para as distâncias 30, 60, 120, 240 e 480 km na Figura 4.6, e mantendo constantes as restantes parcelas do custo global, observa-se que os dois modelos têm um comportamento semelhante, como mostram os gráficos da Figura 4.7:

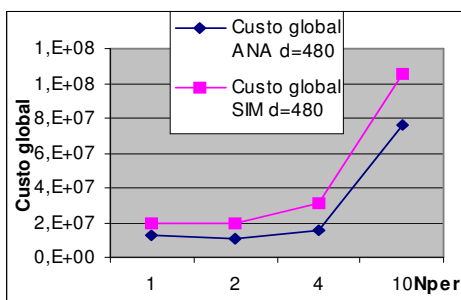
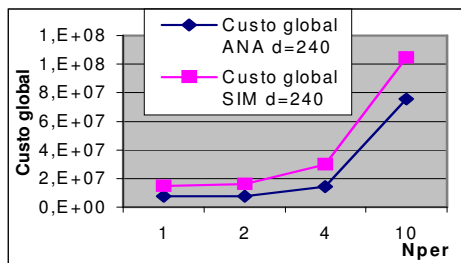
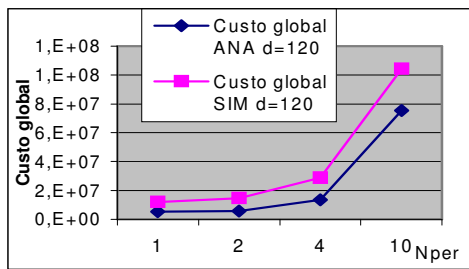
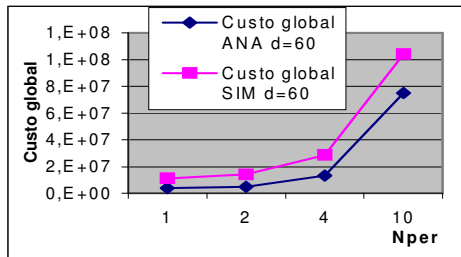
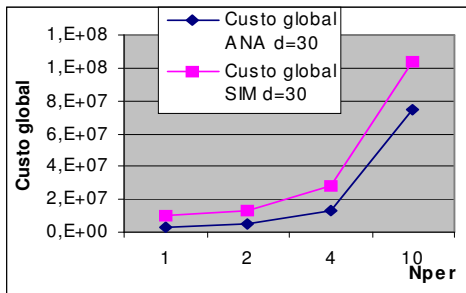


Figura 4.7

Para as distâncias de 30, 60 e 120 km, quanto maior é a frequência de entrega (Fe), menor é o custo global, porque o custo de transporte por unidade para esta gama de distâncias é baixo. Nestes casos, o valor da quantidade de entrega que minimiza o custo

global para ambas as curvas é 20 unidades, isto é, uma frequência de entrega de 2x/dia. Esta situação é idêntica à obtida anteriormente para d=20 Km.

Para a distância de 240 km, os custos de transporte começam a pesar no custo global de fornecimento. Neste caso a quantidade de entrega que minimiza o custo global para as duas curvas, é diferente. A Fe que minimiza o Cglobal para os modelos SIM e ANA é respectivamente igual a 2x/dia e a 1x/dia

Finalmente, para a distância 480 km, o custo global de fornecimento vai aumentando devido aos maiores encargos com os custos de transporte. O custo de transporte é agora mais elevado, daí que o fornecimento se torne mais económico para o transporte de maiores quantidades. A Fe que minimiza o Cglobal é 1x/dia para as duas curvas, SIM e ANA.

Da análise destes gráficos conclui-se que, há uma gama de distâncias para valores menores, onde o custo de transporte por unidade de artigo não influencia o custo global de fornecimento JIT. Nesta gama, verifica-se o que Sarker et al (1992) disse, o aumento da frequência de entrega diminui o Cglobal, diminuindo os custos de stock de produtos acabados do fornecedor. Por outro lado, existe uma gama de distâncias superior à primeira, onde o custo de transporte por unidade de artigo influencia o custo global. Neste caso, há uma frequência de entrega que minimiza o custo global, que tem um valor menor do que no primeiro caso.

Após o teste, procede-se à análise da sensibilidade do modelo de simulação.

4.4 Análise da sensibilidade do modelo de simulação

Os resultados apresentados nos vários planos de experimentação nas secções que se seguem, resultam da simulação do programa utilizando uma semente na geração do tipo de produtos solicitados pelo cliente aos fornecedores. Fez-se a simulação do programa com 5 sementes diferentes, e representou-se a média dos resultados obtidos relativos a cada variável de desempenho. Verificou-se que essa média é aproximadamente igual ao resultado obtido com uma semente, para cada variável de desempenho.

É necessário analisar se o modelo é sensível a alterações. Inicialmente considerou-se o número de veículos disponíveis igual a 20 e obteve-se os seguintes resultados relativos ao número de vezes que cada actividade se iniciou:

Actividade	Nº de vezes que se iniciou
TRANSP	140
ENTREG	840
CHEGAD	847
PRODUF	840
CARREG	840
CONTOL	849
VIAJAR	141

Modificando o número de veículos disponíveis para 2, registaram-se as seguintes alterações no número de vezes que cada actividade se iniciou:

Actividade	Nº de vezes que se iniciou
TRANSP	105
ENTREG	630
CHEGAD	847
PRODUF	840
CARREG	625
CONTOL	631
VIAJAR	103

Ao reduzir o número de veículos disponíveis no sistema, as actividades onde estes interferem directa ou indirectamente, Carreg, Transp, Viajar, Entreg e Contol, realizam-se menos vezes do que no primeiro caso. Verifica-se portanto que o modelo é sensível à variação do número de veículos.

4.5 Plano de experimentação

Para definir o plano de experimentação do modelo de simulação, enunciam-se os vários factores de experimentação já referidos e os seus respectivos níveis.

Factores de experimentação

VE	Factor de experimentação	Níveis
VE1	Nº de fornecedores	5 /10 /30
VE2	Nº de produtos fornecidos por cada fornecedor	6 /3 /1
VE3	Abordagem ao controlo de produção do fornecedor	Produção para stock/ Produção Just-in-time
VE4	Tipo de transporte	Primário/Secundário
VE5	Relacionamento entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição	Sem/Com coordenação
VE6	Frequência de entregas	2x/dia, 1x/dia, 1x/2dias, 1x/5dias

Da combinação de alguns dos vários níveis dos factores de experimentação, resultam os seguintes **cenários**, que serão analisados.

P0

Produção Just-in-time
Transporte primário
Sem coordenação

PZZ

Produção Just-in-time
Transporte primário
Com coordenação

P0S

Produção Just-in-time
Transporte secundário
Sem coordenação

PZZ0S

Produção Just-in-time
Transporte secundário
Com coordenação

PST

Produção para stock
Transporte primário
Sem coordenação

De seguida representam-se graficamente a variação de várias variáveis de desempenho do sistema, já referidas, para cada um dos cenários definidos, para cada plano de experimentação. Cada plano de experimentação, é caracterizado por fixar um conjunto

de factores de experimentação num nível, variando os restantes factores nos níveis respectivos.

4.5.1 Plano de experimentação 1

Para analisar se o tipo de controle e planeamento da produção do fornecedor, no fornecimento JIT, afecta os custos de setup e de stock de produtos acabados, no cumprimento da frequência de entrega e da quantidade a entregar, vamos construir um plano de experimentação no qual os factores variáveis são:

VE3: Abordagem ao controlo de produção do fornecedor: produção para stock e produção Just-in-time

VE6: Frequência de entregas – nper 1, 2, 4 e 10, que correspondem às seguintes frequências respectivamente: 2x/dia, 1x/dia, 1x/2dias e 1x/5dias.

Os restantes factores são assumidos nos seguintes níveis:

VE1	Nº de fornecedores	5
VE2	Nº de produtos fornecidos por cada fornecedor	6
VE4	Tipo de transporte	Primário
VE5	Relacionamento entre o ciclo de expedição e o de produção	sem coordenação

Resultados obtidos no modelo de simulação

	P0	PZZ	PST	P0	PZZ	PST	P0	PZZ	PST	P0	PZZ	PST
NPER	1	1	1	2	2	2	4	4	4	10	10	10
Chegad	847	847	847	423	423	423	212	212	212	85	85	85
Nº de produções	840	848	703	420	420	376	210	204	174	86	72	69
Nº de carregamentos	840	840	571	420	420	271	196	196	121	61	61	31
Nº de setup	540	548	352	338	335	254	183	178	119	75	58	53
Nº md de enc. em carteira	192.6	200,3	305.9	60.8	74,5	126.1	22.4	38,5	61.8	6.8	20,8	24.8
Tempo md das enc. em carteira	38.6	62,8	405.5	34.5	102,1	371.2	32.9	180,7	409.2	37.6	360	460.4
Nº md de artigos em stock	396.4	386,2	262.5	167.8	151,7	125	65.7	48,1	51.5	26.1	11,8	19.3
Tempo md dos artigos em stock	42.7	21,1	262	87.5	24,3	356.6	184.2	44,4	416	464.4	146,1	651.6
Nº md de veículos livres	17.3	17,3	18.1	17.4	17,4	18.3	17.9	17,9	18.7	18.9	18,9	19.5
Tempo md dos veículos parados	209.8	209,8	313.4	236.1	236,1	357.6	304.9	304,9	516	656.7	656,7	1408
Nº de viagens	141	141	97	132	132	85	106	106	64	46	46	23
Nº de enc. transp./viagem	6.0	6,0	5.9	3.2	3,2	3.2	1.8	1,8	1.9	1.3	1,3	1.3

Análise do número de encomendas realizadas pelo cliente aos fornecedores

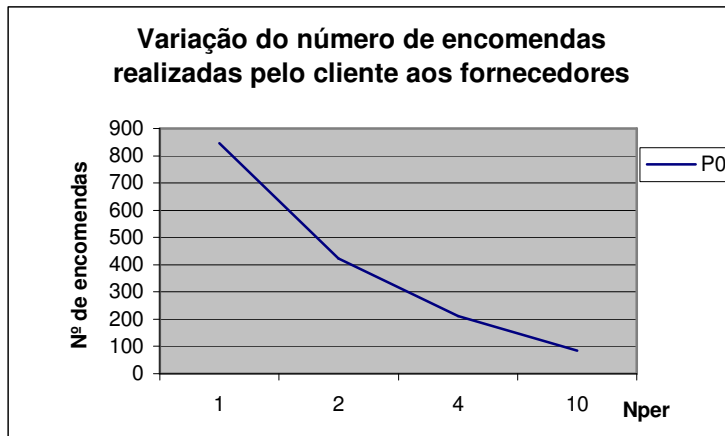


Figura 4.8

Verificam-se que o número de encomendas realizadas pelo cliente aos seus fornecedores (Chegad), é igual para os três cenários P0, PST e PZZ, porque depende apenas da frequência de entrega. À medida que aumenta a frequência de entrega, aumenta o número de encomendas do cliente realizadas aos fornecedores, aumentando o custo de encomenda do cliente.

Análise do número de “setups”

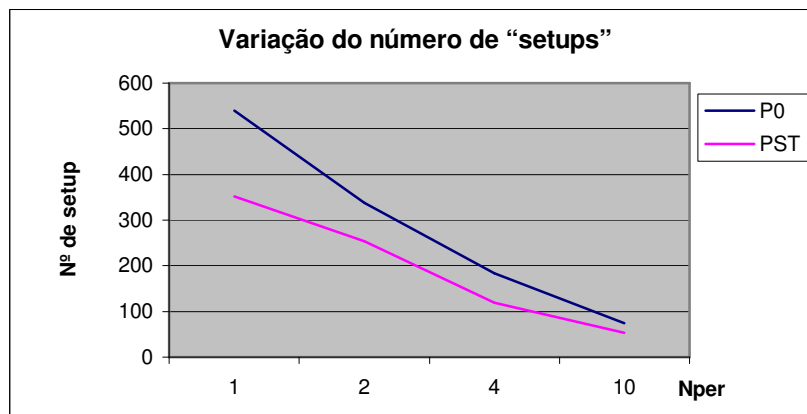


Figura 4.9

O número de setups em cada célula produtiva depende apenas do processo, ou seja do produto a produzir. Deste modo, a preparação da célula só se verifica se o último produto a ser produzido na célula for fictício. Verifica-se que o número de setups é maior quando a abordagem ao controle de produção é Just-in-time. Quando se produz para stock, o lote de produção é muito maior do que no caso em que se produz encomenda a encomenda, o que implica no primeiro caso, um setup para produções de maiores quantidades, enquanto que no segundo caso, o setup se verifica para quantidades de produção menores. Num dado período para produzir a mesma quantidade, o número de setups, no caso do fornecedor produzir para stock é muito inferior do que no caso de produzir Just-in-time. Em termos de custos de setup há vantagens que o fornecedor produza para stock.

O número de setups cresce com o aumento da frequência de entrega. O aumento da frequência de entrega faz com que se verifique um maior número de encomendas a entregar num dado período, logo a célula de um produto será mais vezes solicitada para produzi-lo, registando-se um maior número de setups. Podemos concluir que em termos de custos de setup há vantagens em entregar com baixa frequência.

Análise da quantidade média de produtos acabados (PA) em stock

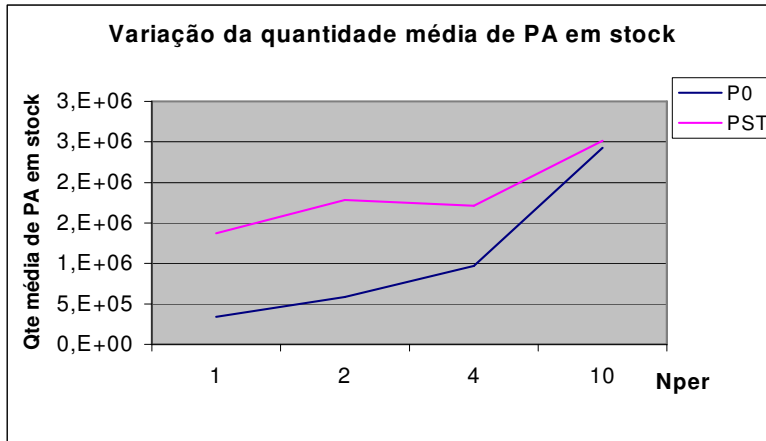


Figura 4.10

Cada encomenda recebida pelo fornecedor corresponde a uma determinada quantidade de produto a fornecer ao cliente. Deste modo, o stock de produtos acabados calculou-se através do produto entre a quantidade de encomendas em média na fila de espera STOCK, a quantidade encomendada e o tempo em média das encomendas nessa fila.

O stock de produtos acabados diminui à medida que aumenta a frequência de entrega. Como as quantidades encomendadas são pequenas, logo produz-se em média menos quantidade de artigos, implicando em média existências mais baixas. No entanto no cenário PST verifica-se uma ligeira diminuição de stock ao variar-se a frequência de entrega de 1x/dia para 1x/2dias, que não é significativa, porque não altera a tendência crescente da curva. Verificou-se que os produtos permaneciam mais tempo em média em stock no caso da frequência de 1x/dia, porque ao chegarem mais encomendas do mesmo artigo no mesmo horizonte de planeamento, os produtos para as abastecer são produzidos em média com maior antecedência do que para o caso da frequência de 1x/2dias. O stock de produtos acabados na situação Just-in-time (JIT), atinge valores mais baixos, porque se produz apenas a quantidade encomendada, e sendo esta pequena, o stock médio é também pequeno. O que não acontece quando o fornecedor produz para stock, em lotes de grandes quantidades para abastecer as várias encomendas. Para baixas frequências de entrega, os valores do stock para os dois cenários são aproximados, porque o fornecedor JIT produz as encomendas recebidas, com data de entrega mais dilatada, logo que tenha disponibilidade de produção, que permanecem em stock em média mais tempo. No entanto, o fornecedor que produz Just-in-time, em vez de produzir logo que a célula esteja disponível, pode coordenar a produção da encomenda com a sua expedição. De seguida compara-se o stock médio de produtos acabados deste cenário com os dois anteriores.

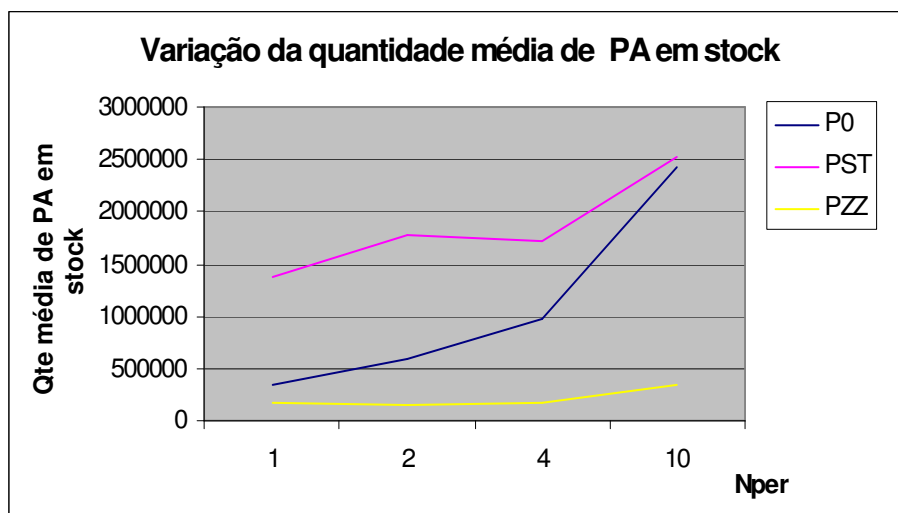


Figura 4.11

Como se observa pelo gráfico, o stock médio de produtos acabados é mínimo para o cenário em que o fornecedor JIT sincroniza a produção com a expedição. Conclui-se que no fornecimento JIT o fornecedor deve optar por produzir Just-in-time e sincronizar a produção com a expedição, para reduzir o custo de stock de produtos acabados.

4.5.2 Plano de experimentação 2

Este plano pretende determinar se o relacionamento entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição tem repercussão nos custos de setup, e nos custos de stock de produtos acabados do fornecedor no sistema de fornecimento JIT.

Pretende-se também analisar se o tipo de transporte utilizado, primário ou secundário, afecta os custos de setup e de stock de produtos acabados do fornecedor, e os custos de transporte no sistema de fornecimento JIT. O plano de experimentação a construir tem os seguintes factores variáveis:

VE4: Tipo de transporte - primário ou secundário

VE5: Relacionamento entre o ciclo de expedição e o ciclo de produção

VE6: Frequência de entregas

Os restantes factores são assumidos nos seguintes níveis:

VE1	Nº de fornecedores	5
VE2	Nº de produtos fornecidos por cada fornecedor	6
VE3	Abordagem ao controlo de produção do fornecedor	Just-in-time

Resultados obtidos no modelo de simulação

Nper	P0				PZZ				PST				POS				PZZOS			
	1	2	4	10	1	2	4	10	1	2	4	10	1	2	4	10	1	2	4	10
Nº de produções	840	420	210	86	848	420	204	72	703	376	174	69	840	420	210	86	848	420	204	72
Nº de carregam.	840	420	196	61	840	420	196	61	571	271	121	31	840	419	196	61	840	420	196	61
Nº de setup	540	338	183	75	548	335	178	58	352	254	119	53	540	338	183	75	548	335	178	58
Nº médio de enc. em carteira	192.6	60.8	22.4	6.8	200,3	74,5	38,5	20,8	305.9	126.1	61.8	24.8	0	60,9	22,5	6,8	0	0	38,5	20,8
Tempo md das enc. em carteira	38.6	34.5	32.9	37.6	62,8	102,1	180,7	360	405.5	371.2	409.2	460.4	0	35	33,1	37,6	0	0	180,7	360
Nº md de artigos em stock	396.4	167.8	65.7	26.1	386,2	151,7	48,1	11,8	262.5	125	51.5	19.3	396,4	168	65,8	26,1	386,6	152,1	48,3	11,8
Tempo md dos artigos em stock	42.7	87.5	184.2	464.4	21,1	24,3	44,4	146,1	262	356.6	416	651.6	44,7	93,5	188,2	462,9	25,6	29,3	46,4	146,8
Viajar	141	132	106	46	141	132	106	46	97	85	64	23	93	83	75	42	93	83	75	42
Nº md de veículos livres	17.3	17.4	17.9	18.9	17,3	17,4	17,9	18,9	18.1	18.3	18.7	19.5	17,6	17,8	18,1	19	17,6	17,7	18,1	18,9
Tempo md dos veículos parados	209.8	236.1	304.9	656.7	209,8	236,1	304,9	656,7	313.4	357.6	516	1408	311,4	352,8	401,9	716,2	311,4	352,8	401,9	716,2
Nº de veículos utilizados	141	132	106	46	141	132	106	46	97	85	64	23	93	83	75	42	93	83	75	42
Nº de encomendas atrasadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tempo de atraso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Distância total percorrida	13600	12480	10060	4460	13600	12480	10060	4460	9440	8120	6160	2080	11830	10310	8470	4200	11830	10310	8470	4200

Devido ao facto de cada célula produzir, além do produto real, produtos fictícios, a relação entre o ciclo de produção e a expedição não pode ser 1. Tal acontece, porque a célula pode estar ocupada, quando se pretende iniciar a produção de uma encomenda, no instante que resulta da diferença entre o instante de entrega da encomenda e o tempo de produção. Por este facto, define-se um tempo de folga entre a coordenação do ciclo de produção do fornecedor e o ciclo da expedição ao cliente. Os resultados dos cenários em que há coordenação entre o ciclo da produção e o ciclo da expedição, foram obtidos de modo a que as entregas das encomendas fossem fiáveis, isto é, não se verificassem atrasos quer por falta de transporte, ou de capacidade de produção (1), e também que as quantidades para satisfazer as respectivas encomendas estivessem disponíveis em stock, nos seus respectivos instantes de entrega (2). Na prática, os resultados dos cenários em que se verifica a coordenação entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição, obtiveram-se ao fazer variar o parâmetro TIMBUF, para cada cenário, de modo a que se verificassem as duas situações descritas 1 e 2. De seguida apresentam-se os valores de TIMBUF na Figura 4.12, para os quais se apresentaram os resultados para os cenários em que se verifica a coordenação entre o ciclo de produção do fornecedor e o ciclo de expedição ao cliente, isto é, PZZ e PZZOS:

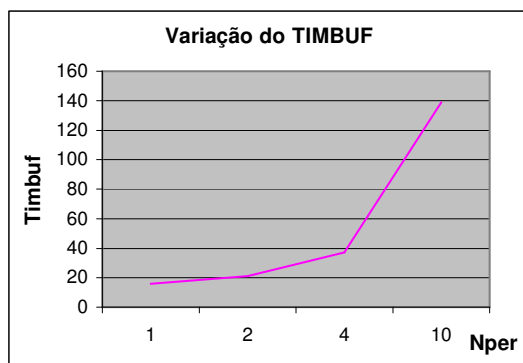


Figura 4.12

À medida que a frequência diminui aumenta o TIMBUF, isto é, o início do ciclo de produção em cada célula, encontra-se mais desfasado do início do ciclo de expedição ao cliente, para que não se verifiquem encomendas atrasadas. Tal acontece, porque à medida que a frequência diminui, a quantidade a entregar é maior e conseqüentemente o seu tempo de processamento na célula é mais longo. Esta situação origina que cada célula, embora com a mesma carga média, se encontre ocupada por tempos mais longos, aumentando o desfasamento entre a produção e a expedição à medida que a frequência diminui.

Análise da variação do stock dos produtos acabados (PA)

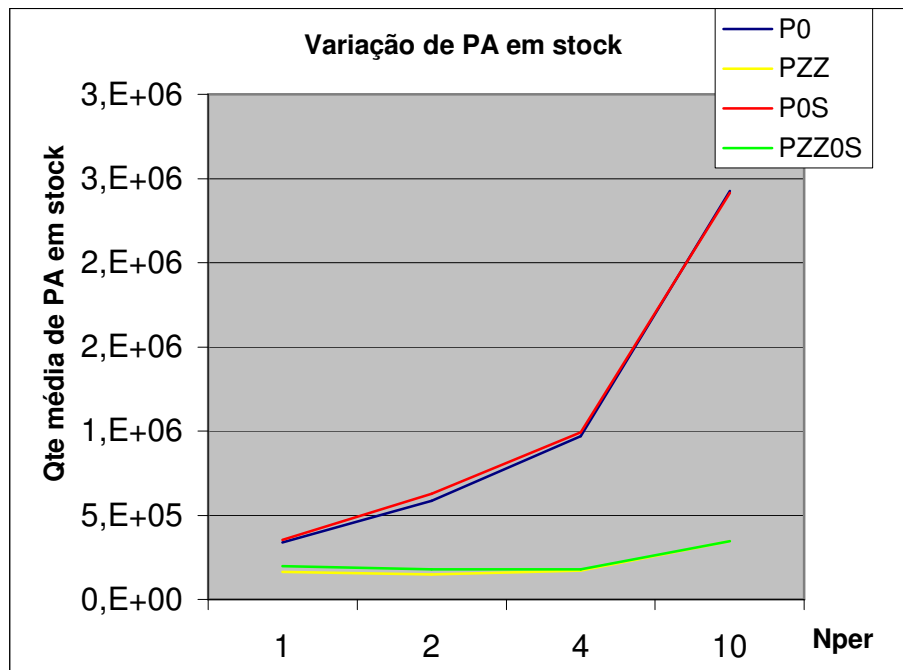


Figura 4.13

O menor stock de PA verifica-se quando há coordenação entre o ciclo de produção e o de expedição, e no caso do transporte primário.

Coordenação/Não coordenação

Em ambas as estratégias de transporte, o stock de produtos acabados é superior quando não há coordenação entre o ciclo de produção e o de expedição. Tal é explicado pelo facto dos produtos acabados permanecerem menos tempo em stock quando há coordenação. Neste caso, cada encomenda é programada para ser produzida o mais tarde possível de modo a não ser entregue com atraso. Assim, estas encomendas quando prontas permanecem muito menos tempo em stock do que no caso em que são produzidas logo que há disponibilidade na célula produtiva.

Frequência de entrega

Nos cenários em que não há coordenação, o stock de PA diminui com o aumento da frequência de entrega (Fe). À medida que aumenta a frequência de entrega, as quantidades encomendadas são menores, produzindo-se em média menores quantidades, diminuindo o stock médio de produtos acabados.

Nos casos em que há coordenação, o stock de produtos acabados varia segundo uma curva convexa com a frequência de entrega, apresentando um valor mínimo, nestas condições, para a frequência de entrega de 1x/dia. Nestes cenários verifica-se que há uma frequência de entrega para a qual é mínimo o valor do stock. A zona ascendente da curva explica-se pelo mesmo razão do caso em que não há coordenação. No entanto para elevadas frequências de entrega, registando-se um grande fluxo de encomendas e para que todas sejam entregues dentro do prazo de entrega, o efeito da coordenação faz com que a antecedência com que têm de ser produzidas seja um pouco maior, aumentando ligeiramente o stock.

Transporte Primário/Secundário

O tipo de transporte afecta os custos de stock de PA. O stock de PA é maior no caso do transporte secundário do que no caso do primário para um determinado tipo de coordenação. Cada encomenda é produzida de modo a estar pronta no seu instante de entrega ao transportador. No primeiro caso, cada encomenda fica à espera da vez de ser carregada pelo veículo, que faz várias paragens durante a rota, enquanto que no segundo caso, cada encomenda é carregada logo que o veículo chega ao fornecedor, pois realiza apenas uma paragem durante a rota.

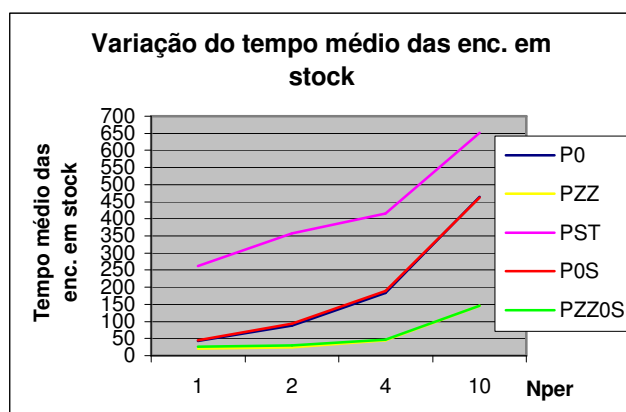


Figura 4.14

Como se observa pelo gráfico da variação do tempo médio em stock dos produtos acabados, as encomendas permanecem menos tempo em média em stock no caso do transporte primário do que no caso do transporte secundário. No entanto, os tempos médios de permanência para ambas as estratégias de transporte, são aproximadamente iguais, porque no transporte primário cada encomenda é transportada logo que o veículo chega ao fornecedor, enquanto que no caso do secundário, cada encomenda espera no máximo aproximadamente 2 horas para ser carregada, que corresponde à duração da rota. Como as 2 horas não são significativas, o tipo de transporte não é relevante na acumulação do stock.

À medida que baixa a frequência de entrega a rota do transporte secundário tende a aproximar-se da rota do primário, e o tempo de espera em média das encomendas para serem transportadas tende a ser igual.

No caso do transporte primário o veículo deve chegar a cada fornecedor na data de entrega das encomendas. No caso do transporte secundário definiu-se que o tempo da rota é aproximadamente 2 horas, desde o momento em que o veículo transportador chega ao primeiro fornecedor do percurso até à entrega ao cliente. No caso desta estratégia de transporte, estipulou-se que cada encomenda tem de ser entregue ao transportador dentro do intervalo de tempo que vai desde o seu instante de entrega mais as 2 horas correspondente a duração aproximada da rota. Por exemplo, se a encomenda tem de ser entregue no instante 60 UT, e se a mesma for carregada no instante 70 UT, não estará atrasada, porque estará dentro das 2 horas, isto é, 30 UT a partir do seu instante de entrega.

Como se referiu, em todos os cenários os resultados foram obtidos de modo que as encomendas fossem entregues no tempo previsto, não se registando encomendas atrasadas por falta de transporte ou de capacidade de produção.

Pela análise do tipo de transporte e da existência de coordenação entre a produção e a expedição, o menor stock de produtos acabados verifica-se tanto para o transporte primário como para o secundário, e no caso em que há coordenação entre o fornecedor e o cliente, para a frequência de uma vez por dia, como mostra a Figura 4.13. Verifica-se assim que a coordenação é dominante.

Análise da variação do número de “setups”

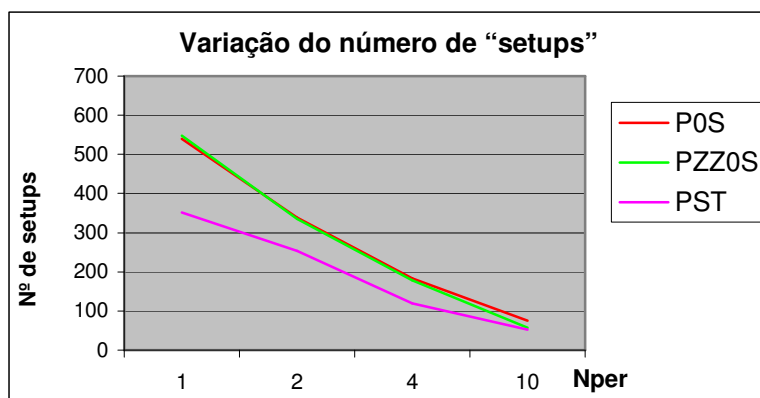


Figura 4.15

Como se tinha verificado no plano de experimentação 1, o custo de setup era mínimo para PST. Ao comparar-se o número de setups desta situação com os outros cenários do plano de experimentação 2, verifica-se que o número de setups continua a ser mínimo para PST, e que tem o mesmo comportamento face à variação da frequência de entrega, analisado no plano de experimentação 1. O número de setups, é igual para a produção JIT, quer se considere o transporte primário ou secundário, e é aproximadamente igual quer haja coordenação ou não. A situação em que o fornecedor produz para stock e entrega com baixa frequência, é aquela que implica custos de setup mais baixos, como seria de esperar. No entanto, o custo de setup de PST, aproxima-se do custo de setup dos outros cenários, à medida que diminui a frequência de entrega, pelas razões anteriormente apresentadas.

Para analisar a repercussão do sistema de fornecimento JIT nos custos de transporte, é necessário analisar o número de veículos utilizados, o número de encomendas transportadas por rota, a distância total percorrida, e a distância média percorrida por rota, nos vários cenários.

Análise do número médio de veículos livres

O número de veículos fixado inicialmente para o modelo foi de 20. A variação do número médio de veículos livres é apresentada no gráfico da Figura 4.16.

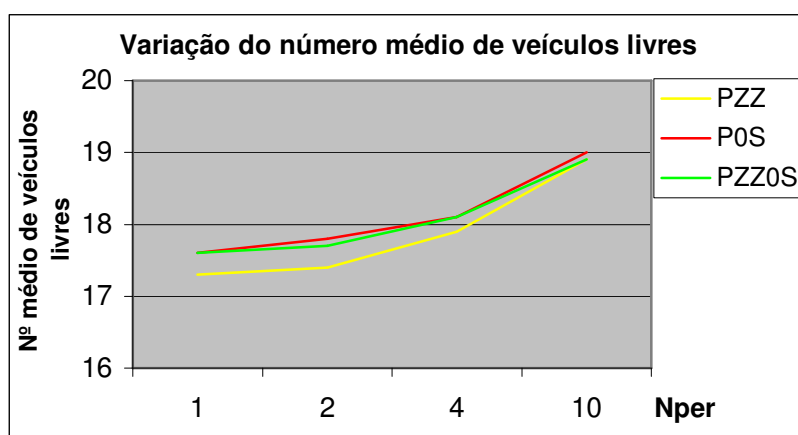


Figura 4.16

Verifica-se que o número de veículos livres é igual, no caso do transporte primário, quer se considere ou não a coordenação. O número médio de veículos livres diminui com o aumento da Fe, respondendo às maiores necessidades de transporte. O número médio de veículos livres é maior quando se considera o transporte secundário, porque as mesmas encomendas de vários fornecedores são transportadas no mesmo veículo, tendo em conta as restrições de capacidade e de tempo da rota deste. No transporte primário, cada veículo, em cada viagem, apenas transporta as encomendas de um fornecedor. No entanto para baixas frequências, o nº de veículos utilizados, para ambas as estratégias de transporte, tende a aproximar-se, porque em cada fornecedor o veículo tem de carregar uma maior quantidade de artigos, tendendo a visitar um menor número de clientes durante a mesma rota. Daí o transporte secundário aplicar-se mais para elevadas frequências para transportar menores quantidades de artigo em cada fornecedor.

Concluindo o transporte secundário é o que implica custos de frota menores, para elevadas frequências, no transporte de pequenas quantidades. Analisando-se o histograma do número de veículos livres, pode-se fixar o número de veículos em cada cenário, observando-se o mínimo de veículos que estão em fila de espera. Por exemplo, no caso de P0 esse número é 15, o que significa que nunca se utilizam mais de 5 veículos para assegurar o fornecimento do cliente.

Análise do número de encomendas transportadas por rota

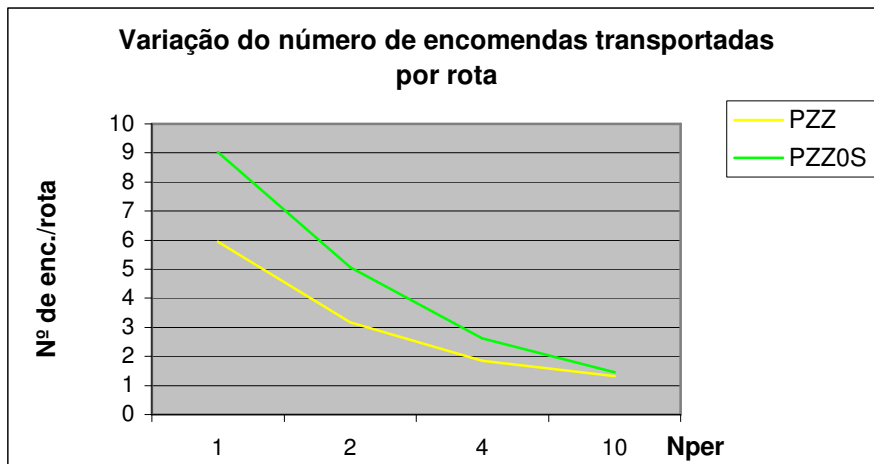


Figura 4.17

Verifica-se que o número de encomendas transportadas por rota é igual para cada estratégia de transporte, quer haja coordenação ou não. O número de encomendas carregadas por veículo cresce com o aumento da Fe. Quando a frequência é elevada, há um maior número de encomendas do cliente em cada fornecedor para o mesmo instante de entrega. Aglomerando este a produção de vários artigos, então haverá um aumento do número de encomendas transportadas em cada viagem realizada a cada fornecedor. O número de encomendas carregadas por veículo é maior no transporte secundário, verificando-se um melhor aproveitamento de cada veículo, porque carrega as encomendas de vários fornecedores. No entanto, quando a Fe é baixa, os valores do número enc./rota no caso das duas estratégias de transporte aproximam-se, porque a rota do transporte secundário aproxima-se da rota do transporte primário.

Análise da distância total percorrida

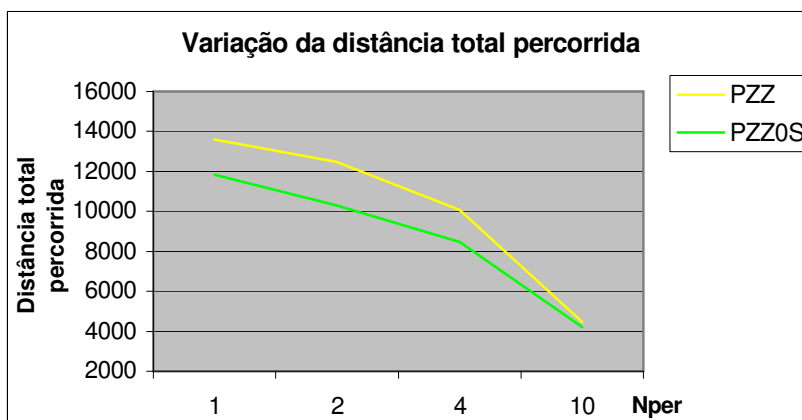


Figura 4.18

Verifica-se que a distância total percorrida é igual para cada estratégia de transporte, quer haja coordenação ou não. A menor distância total percorrida verifica-se para o transporte secundário. Para cada frequência de entrega, o somatório das distâncias percorridas em todas as rotas no transporte secundário, é menor que o acumulado das distâncias percorridas entre cada fornecedor e o cliente, no transporte primário. Quanto

maior é a frequência de entrega, maior é a distância total percorrida para satisfazer a mesma procura. Como se observa à medida que diminui a frequência, a distância da rota do transporte secundário aproxima-se da do primário, em virtude da diminuição do número de paragens durante a rota.

O fornecimento JIT caracteriza-se por frequências elevadas, implicando maiores distâncias percorridas. Nesta situação a estratégia do transporte secundário deve ser adoptada, porque se percorrem menos Km, verificando-se economias de escala nos transportes.

Análise da distância média percorrida por rota

Define-se para cada cenário, o coeficiente distância média percorrida por rota, pela razão entre a distância total percorrida e o número de rotas realizadas.

Nper	distância média percorrida/rota			
	P0	PZZ	P0S	PZZ0S
1	96.5	96.5	127.2	127.2
2	94.5	94.5	124.2	124.2
4	94.9	94.9	112.9	112.9
10	97.0	97.0	100.0	100.0

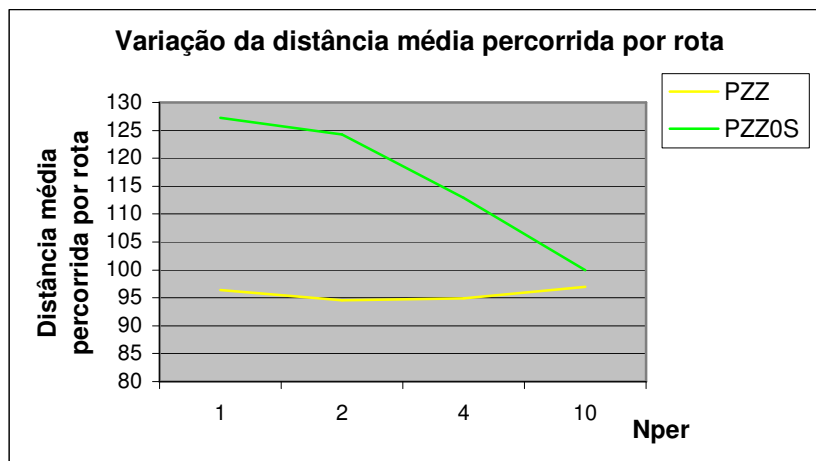


Figura 4.19

Verifica-se que a distância média percorrida por rota é igual para cada estratégia de transporte, quer haja coordenação ou não. A distância média percorrida por rota no transporte secundário é maior do que no caso do transporte primário, ao contrário do que acontece com a distância total percorrida. A distância média percorrida por rota, aumenta com a frequência de entrega no caso do transporte secundário, porque o número de paragens realizadas durante a rota é maior, pelo facto das quantidades a entregar serem pequenas em cada fornecedor, para ocupar a mesma capacidade do veículo. No transporte primário a distância média mantém-se mais o menos constante, ao variar a frequência de entrega, porque a distância entre cada fornecedor e o cliente é fixa, dependendo apenas do tipo de produto encomendado a cada fornecedor. O que não acontece no caso do transporte secundário, porque à medida que a frequência de entrega diminui, a quantidade de artigos a carregar em cada fornecedor aumenta, diminuindo a capacidade disponível do veículo, limitando-lhe o número de fornecedores a visitar

durante a rota. Por esta razão, para frequências mais baixas, a rota do transporte secundário aproxima-se da rota do transporte primário.

É para elevadas frequências de entrega, quando as quantidades a entregar são pequenas, que se verificam os custos de transporte mais elevados. Nestas circunstâncias, este custo é mínimo ao utilizar transporte secundário, porque se percorrem menores distâncias e se utilizam menos veículos, verificando-se um melhor aproveitamento dos veículos. Os cenários PZZ0S e P0S são aqueles que permitem que os custos de transporte sejam mínimos.

4.5.3 Plano de experimentação 3

Este plano estuda como o aumento do número de fornecedores da rede de fornecimento influencia os custos de setup, os custos de stock dos fornecedores, e o custo de transporte no fornecimento JIT, quando os fornecedores têm de responder a uma frequência de entrega elevada.

Como a produção para stock conduz a elevadas existências de produtos acabados, embora seja o cenário que tem menor custo de setup, fixa-se o factor Abordagem ao planeamento e controlo da produção em produção Just-in-time. Os restantes factores de experimentação são variáveis:

VE1: N° de fornecedores: 5, 10 e 30

VE2: N° de produtos fornecidos por cada fornecedor: 6, 3 e 1

VE4: Tipo de transporte: primário e secundário

VE5: Relacionamento entre o ciclo de expedição e o de produção: com/sem coordenação

VE6: Frequência de entregas – nper 1, 2, 4 e 10

Cada cenário P0, PZZ, P0S e PZZ0S é definido para uma rede de fornecimento. Por exemplo P0S-5, designa o cenário P0S para uma rede de 5 fornecedores, e assim sucessivamente.

Os resultados obtidos podem ser consultados no Anexo 3.

Quando se aumenta o número de fornecedores, sempre que o comportamento de uma variável face à coordenação entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição, for igual ao analisado na rede inicial de 5 fornecedores, representam-se os valores para os cenários em que há coordenação.

Ao aumentar o número de fornecedores da rede de fornecimento, o número de produtos fornecidos por cada um diminui e as células de cada produto, dispersam-se mais pelos vários fornecedores.

A interpretação dos resultados toma como ponto de partida os obtidos para o caso em que se considerou a rede de 5 fornecedores, analisada nos planos de experimentação 1 e 2.

Análise do número de “setups”

Ao aumentar o número de fornecedores, o número de setups tem o mesmo comportamento face à variação das variáveis VE4, VE5 e VE6, e é igual aos valores obtidos no caso em que se considerou a rede de 5 fornecedores.

Análise do stock de produtos acabados (PA)

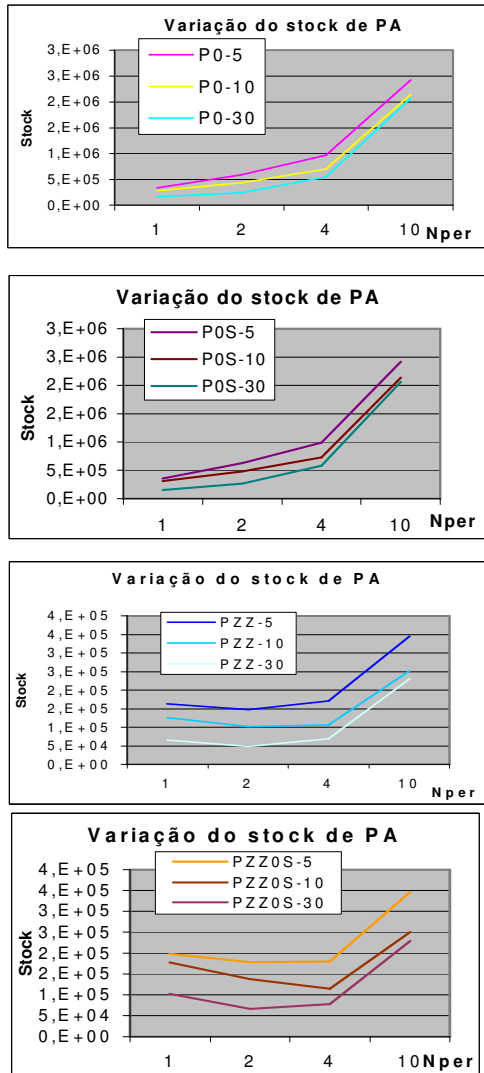


Figura 4.20

Relativamente a cada cenário, (Figura 4.20) o stock aumenta à medida que diminui o número de fornecedores. Os valores mínimos de stock obtêm-se quando cada fornecedor produz apenas um produto. À medida que diminui o número de produtos fornecidos por cada fornecedor, haverá menos encomendas relativas aos vários produtos para entregar para o mesmo instante de entrega em cada fornecedor. Consequentemente o tempo de produção e carregamento de todas as encomendas a entregar no mesmo instante em cada fornecedor será menor. Como é necessário que as encomendas estejam todas prontas para serem carregadas no veículo, esta situação ocorrerá em média mais cedo no caso em que há menos produtos a fornecer em cada fornecedor, isto é, quando há mais fornecedores na rede de fornecimento do cliente. Em termos de stock, é preferível distribuir a produção de produtos por um número elevado de fornecedores.

O stock de produtos fictícios não é contabilizado no modelo dado que são fornecidos a outros clientes. O aumento do número de fornecedores não altera comportamento do stock relativamente ao factor coordenação entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição (Figura 4.20). No caso em que não há coordenação o stock aumenta à medida que diminui a frequência de entrega. No caso em que há coordenação o stock varia segundo uma curva convexa com a frequência de entrega.

As diferenças entre as curvas de variação do stock de PA, para os três níveis de fornecedores, para os vários valores da frequência de entrega, não são constantes pelo facto do nº de produtos fornecidos por cada fornecedor ser diferente para os vários níveis considerados. Os produtos encomendados, que serão transportados pelo mesmo veículo, apenas serão carregados, em cada fornecedor, quando estiverem todos disponíveis em stock. Para elevadas frequências de entrega, verificando-se em cada fornecedor, um fluxo elevado de encomendas relativas a vários artigos, para o mesmo instante de entrega, os produtos permanecem em stock até que todas as encomendas a transportar no mesmo veículo estejam prontas, enquanto que para baixas frequências, verificando-se um menor fluxo de encomendas de vários artigos para o mesmo instante, permanecem menos tempo em stock. É esta a razão pela qual, a curva de 10 fornecedores se aproxima da curva da rede de 5 fornecedores, para elevadas frequências de entrega contrariamente ao que acontece para baixas frequências.

Na rede de 10 fornecedores, no caso em que há coordenação, verifica-se que a diferença entre os valores de stock para o NPER igual a 2 e a 4 é pequena no transporte primário. Assim, o efeito da acumulação do stock devido ao transporte secundário, isto é o cenário PZZ0S, ao considerar esta estratégia e a existência de coordenação, faz com que o menor stock só se verifique para NPER igual a 4, e não a 2 como nos outros cenários.

Relativamente à relação entre os stocks nos vários cenários, (Figura 4.21) verifica-se que é igual à verificada para a rede de 5 fornecedores.

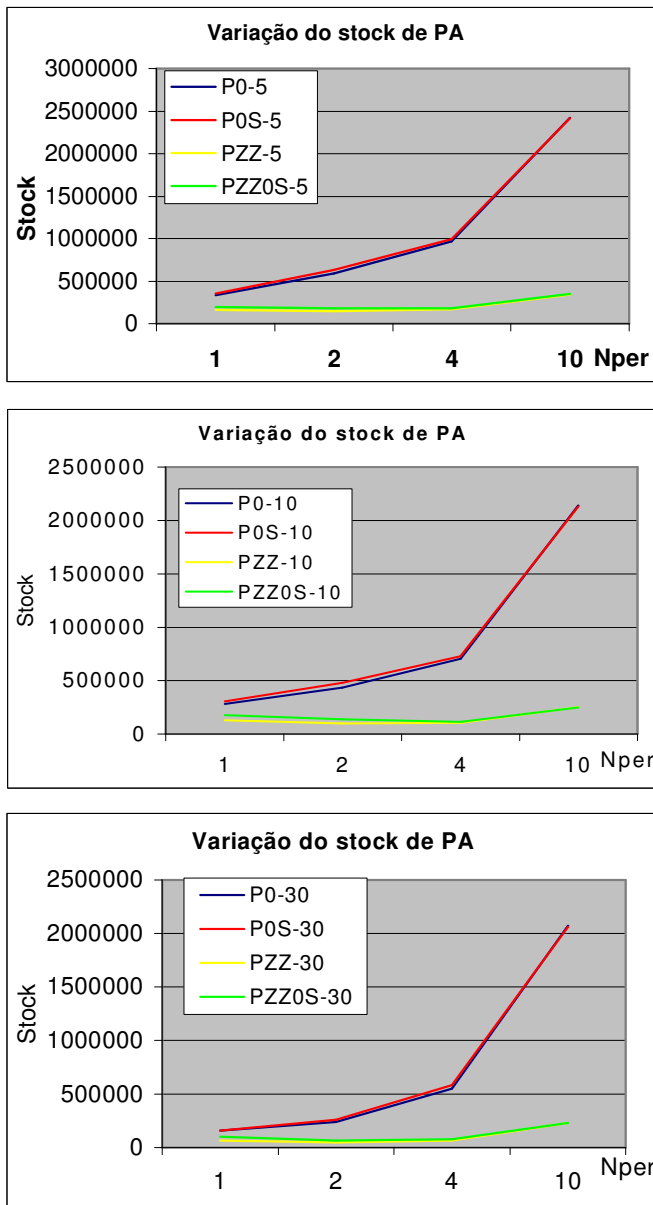


Figura 4.21

Análise da fiabilidade de entrega

Nper	POS 5 fornec.		PZZ0S 5 fornec.		POS 10 fornec.		PZZ0S 10 fornec.		POS 30 fornec.		PZZ0S 30 fornec.	
	Nºenc atras.	Tempo atraso	Nºenc atras.	Tempo atraso	Nºenc atras.	Tempo atraso	Nºenc atras.	Tempo atraso	Nºenc atras.	Tempo atraso	Nºenc atras.	Tempo atraso
1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	7	14
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4.22

Nºenc atras.: nº de encomendas atrasadas

Tempo atraso: tempo de atraso das encomendas

Ao aumentar o número de fornecedores da rede, não se verificam encomendas atrasadas utilizando o transporte primário. Considerando os cenários do transporte secundário, e mantendo o mesmo TIMBUF em que não há encomendas atrasadas da rede inicial, verifica-se uma tendência de aumento do número de encomendas atrasadas quando se eleva significativamente o número de fornecedores, isto é, para 30 e no caso de elevadas frequências de entrega. Observa-se na tabela da Figura 4.22, que para um número elevado de fornecedores e elevadas frequências de entrega, torna-se mais difícil responder à frequência de entrega exigida com o transporte secundário. Como a frequência é elevada, e o número de fornecedores a visitar é cada vez maior durante a rota do transporte secundário, torna-se mais difícil fazer face à frequência solicitada, transportando as encomendas dentro do prazo de entrega. Uma forma de ultrapassar este problema, no caso de se verificar um número elevado de fornecedores da rede, é limitar o número de paragens por rota.

Análise dos custos de transporte

Distância total percorrida

Verifica-se que para cada nível de fornecedores, se obtém a mesma distância total percorrida para cada estratégia de transporte, quer se considere ou não a coordenação. O comportamento da distância total percorrida face à frequência de entrega é similar ao analisado na rede inicial (Figura 4.24). Quanto maior o número de fornecedores da rede, maior é a distância percorrida, dado que os mesmos produtos em vez de se concentrarem em poucos fornecedores, estarão distribuídos por um número mais elevado, o que implica percorrer maiores distâncias. No entanto quando as distâncias a percorrer são menores, o efeito da distância média entre os fornecedores e o cliente predomina sobre o efeito do aumento do número de fornecedores, isto é quando a distância média é maior e como cada percurso se realiza menos vezes, a distância total percorrida é maior. Esta situação verifica-se para frequências de entrega mais baixas e no transporte secundário. A rede que tem menor distância média entre os fornecedores e o cliente é a de 10 fornecedores, seguida da de 30 e finalmente a de 5 fornecedores, como se observa na tabela da Figura 4.23.

Nº de fornecedores da Rede	Distância média entre os fornecedores e o cliente
5	48
10	31
30	34

Figura 4.23

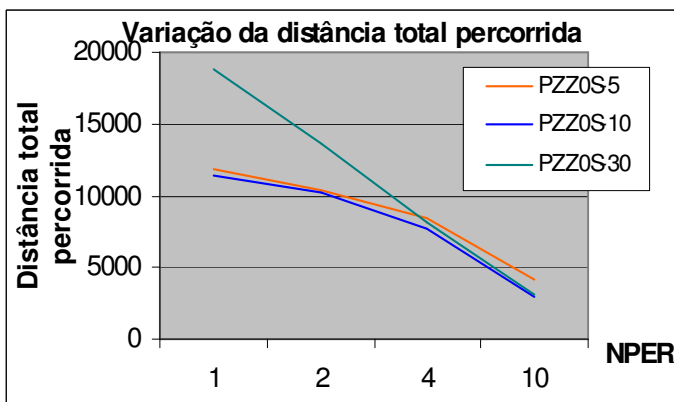
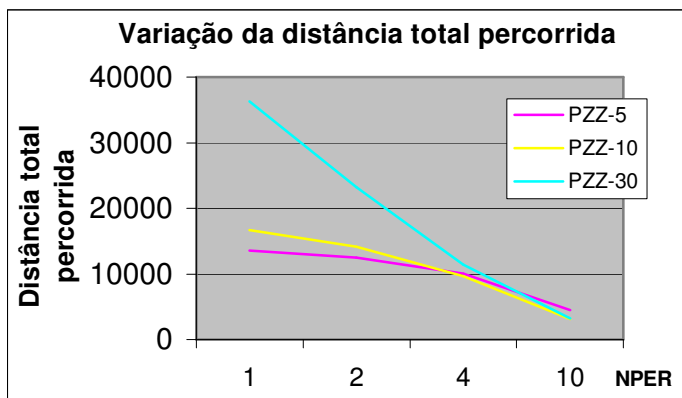


Figura 4.24

Número de veículos utilizados

Verifica-se que o número de veículos utilizados é igual para cada estratégia de transporte, quer haja coordenação ou não. O comportamento do número de veículos utilizados face à frequência de entrega, é similar ao analisado na rede inicial de 5 fornecedores.

O número de veículos utilizados aumenta com o aumento do número de fornecedores, isto é, uma maior rede de fornecedores necessita de um maior número de veículos para transportar os produtos (Figura 4.25). Quando se percorrem menores distâncias, no caso de baixas frequências e transporte secundário, o efeito da distância média entre os fornecedores e o cliente predomina sobre o aumento do número de fornecedores. Assim para baixas frequências de entrega e no transporte secundário verifica-se em média um maior número de veículos utilizados para a rede de fornecimento com maior distância média e não com mais fornecedores.

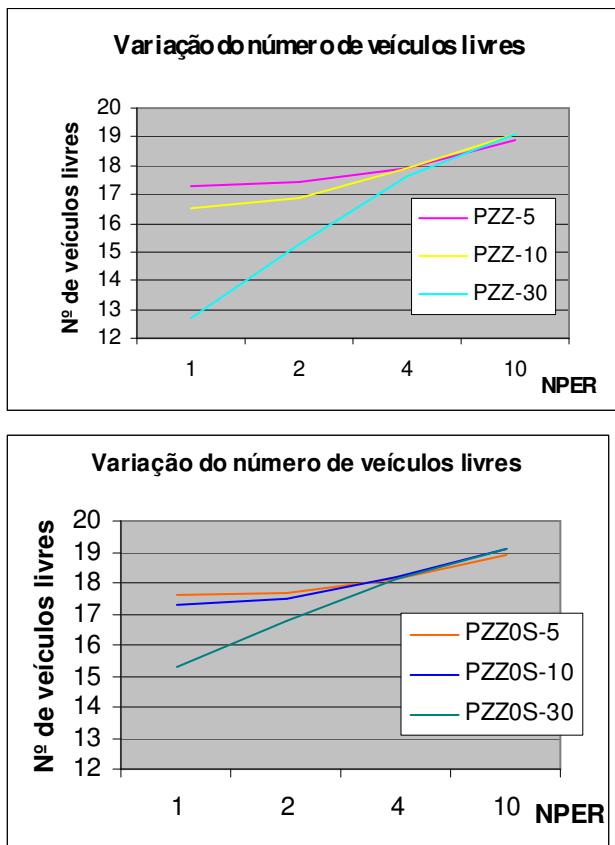


Figura 4.25

Análise do nº de encomendas transportadas por rota

Verifica-se que o nº de encomendas transportadas por rota é igual para cada estratégia de transporte, quer haja coordenação ou não. O comportamento do número de encomendas transportadas por rota face à frequência de entrega é similar ao analisado na rede inicial de 5 fornecedores (Figura 4.26). À medida que aumenta o número de fornecedores, o número de encomendas transportadas por rota diminui. Como cada fornecedor fornece cada vez menos produtos, o veículo para carregar um maior número de encomendas, tem que percorrer mais fornecedores durante a rota, no entanto o número de paragens está limitado pelo tempo de rota. Verifica-se um melhor aproveitamento do veículo quando a rede tem um menor número de fornecedores (Figura 4.27).

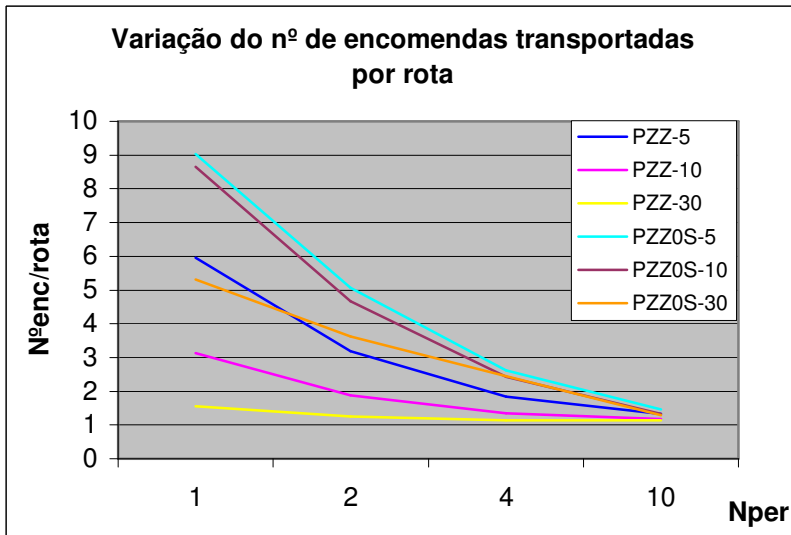


Figura 4.26

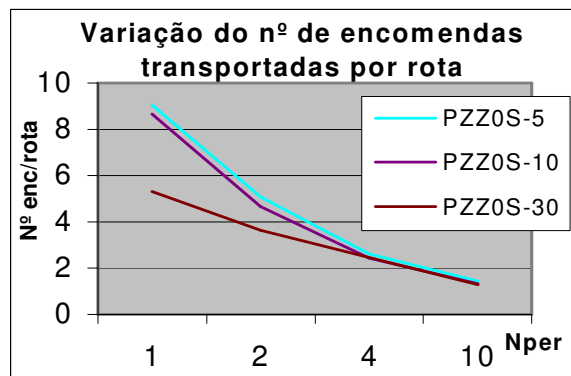
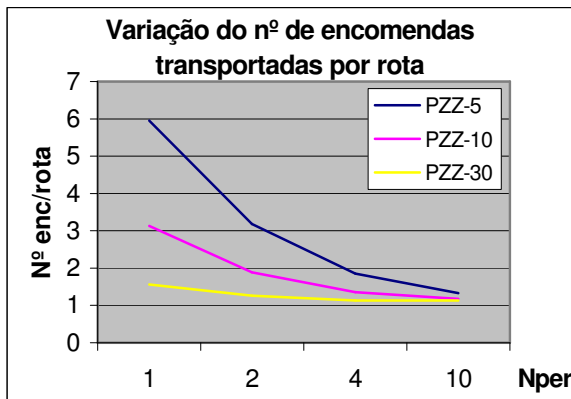


Figura 4.27

Os três planos de experimentação definidos, permitiram testar cada factor de experimentação a vários níveis, de uma forma gradual e controlada, identificando-se a sua influência no desempenho do sistema. De seguida resume-se a influência de cada factor de experimentação no desempenho do sistema, analisando os sub-objectivos definidos no Capítulo 3, na secção 3.1.1.1.2.

4.6 Análise dos sub-objetivos do estudo

O fornecimento JIT é caracterizado por entregas de elevada frequência e fiabilidade ao cliente, de pequenas quantidades exactas de acordo com as especificações de qualidade estabelecidas.

Sub-objectivo 1.1.: Determinar a repercussão do sistema de fornecimento JIT nos custos de setup do fornecedor.

O fornecimento JIT aumenta os custos de setup, contrariamente ao que Sarker et al (1992) afirmou, segundo os autores Gupta 1990, Lee and Ansari 1985, Jordan 1988, Newman 1988 e Ran and Liao 1989, porque consideram a produção permanente de um produto, verificando-se uma continuidade do setup. Enquanto que na prática, muito provavelmente a variação da frequência de entrega tem implicações no sistema, influenciando o nº de setups, dado que a mesma célula é partilhada por mais que um produto. Esta conjectura foi adoptada e modelada neste estudo.

Assim, à medida que aumenta a frequência de entrega, o nº de setups aumenta. Considera-se que o nº de setups em cada célula produtiva, depende apenas do processo, ou seja do produto a produzir, em que a preparação da célula só se verifica se o último produto a produzir tiver sido diferente. O aumento da frequência de entrega faz com que se verifique um maior nº de encomendas a entregar num dado período, logo a célula do produto será mais vezes solicitada para produzi-lo, registando-se um maior nº de setups. Consequentemente, o fornecedor deve empreender um esforço na redução do custo na preparação da célula.

A existência de coordenação entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição não altera o nº de setups registados nas células produtivas.

A abordagem ao controlo e planeamento da produção do fornecedor afecta os custos de setup, dado que o mínimo custo verifica-se quando se produz para stock, isto é, quando o lote de produção é maior do que no caso em que se produz encomenda a encomenda (Just-in-time). Assim no primeiro caso, verifica-se um setup para produções de maiores quantidades, enquanto que no segundo caso, o setup se verifica para quantidades de produção menores.

Sub-objectivo 1.2.: Determinar a repercussão do sistema de fornecimento JIT no stock médio de produtos acabados.

O tipo de abordagem ao controlo e planeamento da produção do fornecedor influencia o stock de produtos acabados do fornecedor. Quando o fornecedor produz Just-in-time ou seja encomenda a encomenda, que constitui o kanban de reposição de stock ao cliente, produz em média menores quantidades implicando existências mais baixas. O que não acontece quando o fornecedor produz para stock, em lotes de grandes quantidades para abastecer as várias encomendas.

O relacionamento entre o ciclo de produção e o ciclo de expedição influencia o stock de produtos acabados do fornecedor. O stock de produtos acabados é menor nos casos em que há coordenação, para cada estratégia de transporte utilizada, porque as existências permanecem em média menos tempo em stock, dado que cada encomenda é programada para ser produzida o mais tarde possível de modo a não ser entregue com atraso.

O tipo de transporte altera o stock de produtos acabados. O stock é maior no transporte secundário do que no primário. No primeiro caso cada encomenda fica à espera de ser carregada pelo veículo no máximo o tempo da duração da rota, que por sua vez, faz várias paragens durante a rota, enquanto que no segundo caso, cada encomenda é carregada logo que o veículo chega ao fornecedor. No entanto, quando o tempo de rota é pequeno, o tipo de transporte não é relevante na acumulação do stock.

A frequência de entrega altera o stock de produtos acabados. A sua influência depende da existência ou não de coordenação. No caso de não haver coordenação, o stock de produtos acabados diminui com o aumento da frequência de entrega, porque as quantidades encomendadas são cada vez menores, produzindo-se em média quantidades inferiores. Nos casos em que há coordenação, o stock de produtos acabados varia segundo uma curva convexa, apresentando um valor mínimo para uma determinada frequência de entrega.

O aumento do nº de fornecedores da rede reduz os custos de stock, porque ao diminuir-se o nº de produtos fornecidos por cada um, o tempo de produção e de carregamento de todas as encomendas com o mesmo instante em cada fornecedor é menor. Consequentemente, as encomendas serão em média carregadas mais cedo no caso em que há menos produtos a fornecer, em cada fornecedor. Esta situação está em conformidade com o que afirma Burns et al (1985), em que quando as regiões de entrega são pequenas os custos de stock são mais elevados.

Sub-objectivo 2

Pretende-se saber como o sistema de fornecimento JIT afecta o custo de transporte do sistema e determinar qual a melhor solução de transportes para o sistema.

De acordo com Burns et al (1985), existem duas estratégias de transporte, primário e secundário que são equacionadas juntamente com os restantes factores de experimentação. O custo associado a cada uma depende da distância a percorrer, do nº de fornecedores a visitar, das quantidades a transportar, da dimensão da região de entrega, do nº de veículos utilizados para cada estratégia e do seu melhor aproveitamento.

A análise do custo de transporte é feita para o transporte primário e secundário, analisando o comportamento das várias variáveis de que depende face à variação da frequência de entrega.

Nº de veículos utilizados

O nº de veículos utilizados é maior no transporte primário do que no secundário, porque enquanto que no primeiro caso cada veículo transporta as encomendas de um só fornecedor, no segundo caso, o mesmo veículo transporta as encomendas relativas a vários fornecedores, tendo em conta as restrições de capacidade e tempo de rota. À medida que aumenta a frequência de entrega, o nº de veículos utilizados aumenta, respondendo às maiores necessidades de transporte. À medida que a frequência de entrega diminui, as quantidades a carregar são maiores, o veículo da rota do transporte secundário tende a visitar menos fornecedores, aproximando-se da rota do transporte primário.

Nº de encomendas transportadas por rota

O nº de encomendas transportadas por veículo em cada rota, aumenta com a frequência de entrega e é maior no transporte secundário, verificando-se um melhor aproveitamento da capacidade do veículo, porque carrega as encomendas relativas a vários fornecedores.

Distância total percorrida

A menor distância total percorrida verifica-se para o transporte secundário. Quanto maior a frequência de entrega maior a distância total percorrida para satisfazer a mesma procura e maior o interesse em utilizar o transporte secundário.

Para uma determinada rede de fornecedores, o fornecimento JIT aumenta a distância total percorrida e o nº de veículos utilizados. Nesta situação, verifica-se que a estratégia de transporte secundário é aquela que proporciona economias de escala nos transportes. Baseado nos dados do modelo de Burns et al (1985), já mencionados, relativos ao custo por Km, ao custo fixo por paragem e ao custo fixo por iniciar a rota, determinou-se o custo de transporte para cada estratégia incorrido em cada cenário para a rede de 5 fornecedores, representado na Figura 4.28.

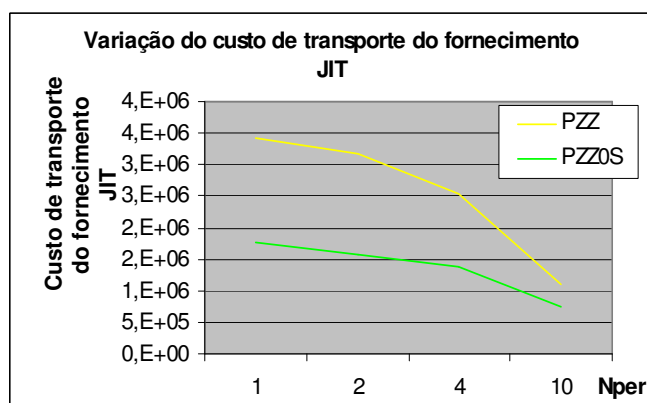


Figura 4.28

O custo de transporte é independente da existência de coordenação e só depende do tipo de transporte utilizado, primário ou secundário. Verifica-se que o custo de transporte é menor no caso do transporte secundário do que no primário, em virtude das distâncias

percorridas serem menores e de se utilizarem em média menos veículos. O custo de transporte aumenta com a frequência de entrega.

Aumento do nº de fornecedores da rede de fornecimento

Quando o nº de fornecedores da rede aumenta, os produtos tendem a dispersar-se mais pelos vários fornecedores, diminuindo o nº de produtos fornecidos por cada um. De seguida, analisa-se como as várias variáveis, de que depende o custo de transporte, se comportam face ao aumento do nº de fornecedores.

Distância total percorrida

Quanto maior o nº de fornecedores da rede maior é a distância total percorrida, dado que os mesmos produtos em vez de se concentrarem em poucos fornecedores, estão distribuídos por um nº mais elevado, o que implica percorrer maiores distâncias. No entanto quando as distâncias a percorrer são menores, como no caso de baixas frequências e transporte secundário, o efeito da distância média entre os fornecedores e o cliente predomina sobre o efeito do aumento do nº de fornecedores.

Nº de veículos utilizados

O nº de veículos utilizados cresce com o aumento do nº de fornecedores, isto é, uma maior rede de fornecedores necessita de um maior nº de veículos para transportar os mesmos produtos. Embora quando se percorrem menores distâncias, como é o caso das baixas frequências e transporte secundário, o efeito da distância média entre os fornecedores e o cliente predomina sobre o efeito do aumento do nº de fornecedores.

Nº de encomendas transportadas por rota

À medida que o nº de fornecedores da rede aumenta, o nº de encomendas transportadas por rota diminui. Como cada fornecedor fornece cada vez menos produtos, o veículo tem de percorrer mais fornecedores durante a rota para carregar a mesma quantidade, no entanto o nº de paragens está limitado pelo tempo da rota.

Ao aumentar o nº de fornecedores da rede, as distâncias a percorrer e o nº de veículos utilizados aumentam significativamente, diminuindo o aproveitamento dos veículos, traduzindo-se em custos de transporte mais elevados.

Analisa-se de seguida, a variação do custo de transporte com o aumento do nº de fornecedores na Figura 4.29.

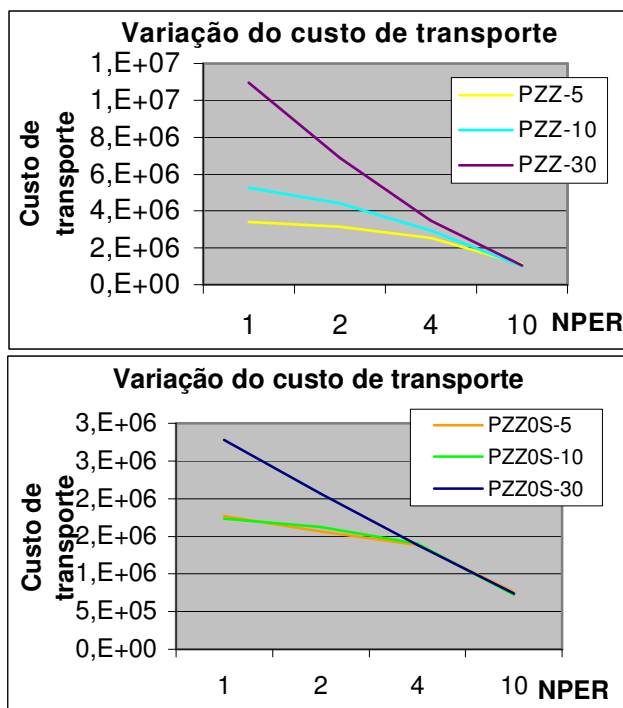


Figura 4.29

Verifica-se que o custo de transporte aumenta com o nº de fornecedores, e tem um comportamento similar ao analisado na rede inicial de 5 fornecedores. Quando as distâncias totais percorridas forem menores, para baixas frequências e transporte secundário, o custo de transporte torna-se mais dependente da distância média entre os fornecedores e o cliente do que do nº de fornecedores.

O aumento de fornecedores irá aumentar os custos de transporte, contrariamente ao que acontece com os custos de stock. Estes são menores quando se distribui a produção por um número crescente de fornecedores. Esta situação sugere o compromisso entre os custos de transporte e os custos de stock, o qual depende da dimensão da região de entrega, o que está de acordo com o afirmado por Burns et al (1985).

Conclui-se que para maiores frequências de entrega, verificando-se custos de transporte do fornecimento mais elevados, a estratégia do transporte secundário é aquela que permite reduzi-los.

Por outro lado, a utilização da estratégia do transporte secundário vem contribuir para a diminuição do tráfico de veículos e conseqüentemente do índice de produção e ruído. Outra forma de reduzir o efeito da perturbação do tráfico no fornecimento JIT, segundo Pleschberger et al (1994), é implementar um sistema de coordenação de tráfico que desvia o trânsito de veículos das horas de ponta para os intervalos de tempo de baixa densidade de tráfico.

O modelo de simulação permite seleccionar a melhor estrutura da rede, em termos do nº de fornecedores, escolher os fornecedores face à sua localização, com vista a minimizar o custo global de fornecimento, permitindo caracterizar as condições em que se verifica o custo mínimo. Além disso, o modelo de simulação pode ser utilizado como ferramenta para o dimensionamento da frota de veículos da rede.

Sub-objectivo 3: Determinar o que afecta o fornecedor no fornecimento JIT, no cumprimento da frequência de entrega e da quantidade a entregar.

Ao registar-se um aumento significativo do nº de fornecedores da rede, verifica-se que há uma maior dificuldade em responder às elevadas frequências de entrega, entregando as encomendas dentro do prazo de entrega, utilizando o transporte secundário, dado que o nº de fornecedores a visitar durante a rota é bastante elevado. Uma forma de ultrapassar este problema é diminuir o nº de paragens por rota.

Tanto o fornecedor que produz Just-in-time, como o fornecedor que produz para stock, conseguem responder à frequência de entrega solicitada. No entanto, enquanto que no primeiro caso o fornecedor consegue custos de stock mais baixos, ao produzir apenas a quantidade encomendada, no segundo caso como produz em grandes lotes, abastecendo periodicamente o cliente através do stock, suporta em média stocks mais elevados.

Podemos agora de forma mais detalhada tirar conclusões mais específicas resultantes, do processo de experimentação com o modelo de simulação e do modelo analítico.

No caso em que há coordenação no fornecedor entre o ciclo de produção e o de entrega, é necessário um tempo de folga devido à perturbação na produção na mesma célula, caso contrário as encomendas seriam entregues com atraso.

Os custos de encomenda do cliente são maiores quanto maior é a frequência de entrega, no entanto, o uso das tecnologias de informação, permitindo o fluxo de informação entre os clientes e os fornecedores, pode minimizar estes custos. Assim, através da comunicação on-line o cliente pode implementar o princípio da encomenda aberta, protagonizado por Pierre Béranger (1987). Este consiste no cliente não recorrer ao serviço de compras sempre que pretender colocar uma nova encomenda, mas sim considerar o fornecedor como um elemento da própria empresa. São portanto ordens de fabrico directamente enviadas do cliente aos fornecedores, através de comunicações on-line. O circuito administrativo é mais curto, o que permite melhorar os prazos e os custos de encomenda, facilitando as comunicações fornecedor/cliente.

Como os factores de que depende o custo global de fornecimento JIT, o influenciam em sentidos diferentes, será necessário calcular o custo de fornecimento JIT em cada cenário, com o objectivo de caracterizar as condições em que se verifica o custo mínimo, averiguando se o tipo de fornecimento solicitado pelo cliente ao fornecedor é vantajoso ou não. O modelo de simulação desenvolvido permite calcular o custo global de fornecimento JIT numa rede de fornecedores e um cliente, com base nas suas três componentes, custos de setup e de stock de produtos acabados dos fornecedores, custos de transporte no fornecimento ao cliente e custos de encomenda do cliente.

Pela análise do modelo analítico, o custo global de fornecimento de um produto entre um fornecedor e o cliente, varia segundo uma curva convexa com a quantidade a entregar em cada expedição, verificando-se uma quantidade que o minimiza, que depende do custo de transporte por unidade. Para uma determinada estratégia de transporte, primário ou secundário, o custo de transporte por unidade depende da distância a percorrer e da quantidade a entregar, de acordo com a tabela do transportador. Consequentemente, verifica-se que há uma gama de menores distâncias, em que o custo de transporte por unidade não altera a quantidade de entrega que minimiza o custo global desse sistema, e outra de maiores distâncias, em que o custo de transporte por unidade a influencia aumentando-a, diminuindo a frequência de entrega.

5. CONCLUSÕES

5 Conclusões

O objectivo fundamental deste estudo foi avaliar as vantagens de fornecimento em JIT por fornecedores funcionando em dois modos de produção. Um, produção sincronizada e coordenada com as solicitações de fornecimento JIT, o outro, produção convencional, em lotes, com satisfação de pedidos em fornecimento JIT a partir de stock .

A avaliação referida foi equacionada através de duas abordagens complementares nomeadamente uma analítica, desenvolvida na base de modelos matemáticos do problema, e outra baseada em simulação por computador de cenários complexos, não facilmente tratáveis através da abordagem analítica.

Do estudo realizado algumas conclusões gerais podem ser retiradas relativamente ao funcionamento de uma rede de fornecedores para satisfação de entregas em ambiente Just-in-time.

A frequência de fornecimento e os transportes são determinantes na vantagem ou desvantagem de funcionamento de uma rede de empresas em Just-in-time. Assim, por um lado quanto maior é a frequência de fornecimento menores são os custos de posse associados quer à fonte de fornecimento quer ao destino. No entanto, esta vantagem pode ser comprometida quando os custos de transporte são elevados. Para obstar tais custos, em muitas circunstâncias poderá haver vantagem em implementar o transporte secundário, isto é o transporte com rotas de visita sucessivas a fornecedores para transporte conjunto de mercadorias. Uma alternativa por vezes economicamente inoportável é a implementação do transporte primário. Neste existe apenas uma rota para cada fornecimento, ou seja, aquela entre o cliente e o fornecedor.

Outra conclusão é que pode ser muito adequado fornecer clientes que trabalham em ambiente JIT a partir de ambientes produtivos convencionais, por exemplo de fabrico em lotes com vista a economias de escala. Este ambiente produtivo e, também, o ambiente produtivo em JIT, no fornecedor foram testados verificando-se que vantagens significativas em setups do sistema produtivo poderão compensar o ligeiro aumento de stock quando se produz em lotes. Para tal é necessário antecipar a informação sobre o consumo previsto para os próximos dias ou semanas. Esta antecipação é consentânea com o funcionamento de empresas clientes funcionando em produção JIT. Na verdade, períodos de antecipação mínimos entre 5 e 20 dias úteis são normalmente típicos. Estes poderão estar associados às ligeiras reconfigurações do sistema de produção do cliente, típicas e necessárias em produção JIT para contemplar as alterações à “mix” de produtos a manufacturar.

Não é possível afirmar, como sugere Sarker et al (1992), que há vantagem para o fornecedor em funcionar em ambiente JIT com fornecimento frequente. Esta visão é um pouco enviesada e pode ser irrealista porquanto não considera a problemática da distribuição, nomeadamente as distâncias, os custos e configuração do sistema de transporte que, como se demonstrou neste trabalho, podem ter uma influência determinante na organização do sistema integrado de produção e distribuição.

Pode não haver impedimento em adotar a estratégia produtiva e de fornecimento adiantada por Sarker et al (1992) mas, para tal, os parâmetros operatórios do sistema integrado de produção e distribuição têm de ser estabelecidos. Tal implica estabelecer ou equacionar aspectos como a frequência de fornecimento, frota de transporte e tipo de abordagem ao transporte, o tempo de folga associado à produção do fornecedor. No caso do transporte secundário, ainda é necessário limitar a rota a um número restrito de fornecedores e identificar os fornecedores a visitar que compatibilizam o custo de transporte com a urgência de entrega.

Verifica-se que em certas circunstâncias não há necessidade de usar o transporte secundário, sendo o primário suficiente. O transporte secundário aplica-se mais para elevadas frequências de entrega para transportar menores quantidades de artigo em cada fornecedor. O tipo de transporte a adotar é aquele que proporciona o menor custo global de fornecimento, dependendo da configuração do sistema, isto é, da frequência de entrega, da localização dos fornecedores na rede e distância entre eles, dos fluxos de materiais entre cada fornecedor e o cliente, que está intimamente ligado com a frequência de entrega e a procura.

Outra forma dos fornecedores se organizarem, a fim de poderem entregar aos clientes pequenas quantidades, com prazos curtos de entrega e frequência elevada, para além do transporte secundário, é a criação de um entreposto de agrupamento, onde cada fornecedor realiza periodicamente as suas entregas. Dado que a dimensão da rede de fornecedores é relativamente pequena, no âmbito do fornecimento JIT, considerou-se que não fazia sentido a criação de um entreposto, devido aos encargos elevados que tal comportaria, e daí que o entreposto de agrupamento coincidiria com o próprio local do cliente.

Sintetizando as conclusões podemos dizer que:

A relação de fornecimento JIT só é vantajosa para o fornecedor, desde que ele produza Just-in-time, coordenando o ciclo de produção com a expedição ao cliente, para uma determinada frequência de entrega que minimiza o stock. Esta relação torna-se mais vantajosa se os fornecedores estiverem o mais próximos possível do cliente. Nestas condições o fornecedor deve empreender um esforço na redução do custo de preparação da célula.

Pelo facto de no transporte secundário se verificarem custos de transporte muito inferiores para elevadas frequências de entrega, a estratégia do transporte secundário pode ser muito vantajosa. Neste transporte, as rotas deverão ser definidas com base na menor distância percorrida, isto é, visitando o fornecedor mais próximo, o que é coerente com a formação de clusters dinâmicos correspondentes às regiões de entrega protagonizadas por Burns et al (1985), minimizando o número de veículos utilizados.

A rede de fornecedores caracteriza-se por um número de fornecedores e por uma determinada dimensão, que está relacionada com as distâncias entre fornecedores e entre cada fornecedor e o cliente. A melhor rede de fornecedores é aquela proporcione o

menor custo global de fornecimento, isto é, aquela cujo compromisso entre custos de stock e de transporte seja o melhor.

Futuros desenvolvimentos

O presente trabalho estuda o desempenho de um sistema integrado de produção e fornecimento, com uma rede de empresas distribuídas em fornecimento "just-in-time"-JIT. Um aspecto profundamente equacionado é o dos transportes e sua coordenação para satisfação do fornecimento JIT. Presente esteve a filosofia segundo a qual, cada cliente tem, um conjunto, mais ou menos estável, de fornecedores fiáveis.

Actualmente, com o desenvolvimento das tecnologias de informação, melhorando as comunicações electrónicas entre as empresas e promovendo a troca fácil de informação, têm surgido novos paradigmas empresariais, nomeadamente as empresas virtuais e as "extended enterprises" (Camarinha-Matos et al (1997), O'Neil et al (1996), Azevedo et al (1999)). Estas são constituídas por uma rede de empresas membros intervenientes num processo industrial comum e distribuído. Um aspecto comum a estes dois tipos de empresas, embora presente em maior grau nas empresas virtuais, é a sua reconfigurabilidade, isto é variação nos membros constituintes da empresa.

A natureza distribuída destas empresas tem dois problemas importantes a resolver: o da difusão e partilha de informação e o da distribuição e coordenação de fluxos físicos, principalmente materiais, inter-empresas. O primeiro será, muito provavelmente, solúvel no âmbito das novas tecnologias de informação e comunicações. O segundo, no entanto, põe problemas logísticos sérios para uma produção e distribuição eficientes. Aparentemente, o problema do fornecimento JIT estende-se agora a uma cadeia de fornecimento mais complexa do que tradicionalmente. Levanta-se, assim, um problema sério de coordenação da actividade produtiva entre os membros da empresa virtual ou "estendida" e, também, entre estes e os seus fornecedores.

Assim, um trabalho futuro importante é justamente estudar este problema de coordenação de fornecimento inter-empresarial e, também, a organização e operação dos sistemas produtivos em cada um dos membros da empresa "estendida" ou virtual.

Embora alguns aspectos do trabalho desenvolvido, neste projecto de mestrado, possam ajudar a compreender as dificuldades de um tal estudo é evidente que um novo grau de complexidade é aqui adicionado com estes novos paradigmas de empresas distribuídas.

ANEXOS

Anexo1

Programa P0

```
THERE ARE 922 ENCPRO SET WAITPF STOCK WAITTR WAITEN WAITPC OUTSID
+WITH PRO IENTRG TCONT ORIGEM TCON
THERE ARE 30 SPRODF SET FLIVRE WITH FPRO
THERE ARE 30 CELULA WITH TIPCEL
THERE ARE 1 SPRODC SET CLIVRE
THERE ARE 5 CAIS SET CAILIV
THERE ARE 20 VTRAPP SET WAITC WAITT WAITE LIVRE WITH ORIGEV
HIST OCUPAC (2,0,1)
ARRAY PROGRA(ENCPRO)
ARRAY DISTNA (SPRODF)
ARRAY SETUPE(CELULA)
ARRAY LISTP(SPRODF)
ARRAY LISTPP(SPRODF)
ARRAY LISTEM(ENCPRO)
ARRAY LISPAR(ENCPRO)
ARRAY LISVEI(ENCPRO)
ARRAY CONTRO(ENCPRO)
ARRAY IGFORN(SPRODF)
ARRAY PRIFOR(SPRODF)
ARRAY DISTAN(ENCPRO)
ARRAY DURACR(VTRAPP)
FOR I=1 TO 30
    FPRO OF SPRODF I = I
    TIPCEL OF CELULA I = I
FOR VTRAPP SET ORIGEV EQ 0
NFOR
NPO=30/NFOR
NPER
TENTEN=NPER*60
SIGMA=7000
GAMA=4375
ALFA=133
QENTRG=20*NPER
FOR I=1 TO NFOR
    LISTP(I)=(FPRO OF SPRODF I)*NPO
    LISTPP(I)=((FPRO OF SPRODF I)-1)*NPO
VELOC=4
LAMPDA=2*NPER
FUNCTI RANDOM NORMAL NEGEXP FIX MODULO
FUNCTION SAMPLE
RECYCL
RUNINZ=150 AND PREVCLOCK = RUNINZ
SWITCH ADD ON AFTER RUNINZ
ACTIVITIES 1842
RECORD
DURATION = CLOCK - PREVCLOCK
FOR CELULA WITH TIME OF CELULA LT 0
    ADD DURATION TO YLCELUL
    ADD DURATION* PORTA TO ZHPORTA
    ADD WAITPF TO HIST ZIWAITPF DURATION
    ADD TIME IN WAITPF TO HIST ZJWAITPF ( 10 )
    ADD STOCK TO HIST ZKSTOCK DURATION
    ADD TIME IN STOCK TO HIST ZLSTOCK ( 10 )
    ADD OUTSID TO HIST ZQOUTSID DURATION
    ADD TIME IN OUTSID TO HIST ZROUTSID ( 10 )
    ADD LIVRE TO HIST YELIVRE DURATION
    ADD TIME IN LIVRE TO HIST YFLIVRE ( 10 )
```

```

PREVCLOCK = CLOCK
VALRR=SAMPLE (OCUPAC, STA)
REAL CTRAMP
REAL DISTOT
CHAIN
  VALRR EQ 1
  FOR I=1 TO 30
    FIND FIRST CELULA A WITH TIPCEL OF CELULA EQ I
+AND TIME OF CELULA LE 0
    TIME OF CELULA A=1
    SETUPE(A)=0
    OR CONTINUE
C
BEGIN TRANSP
FIND FIRST VTRAPP B IN WAITT
  FIND FIRST ENCPRO A IN WAITTR WITH TCONT OF ENCPRO GE 0
  B EQ LISVEI(A)
DVELOC=NORMAL(4,0,SS)
REAL DURAT
DURAT=DISTAN(A)/DVELOC
CHAIN
  DURAT EQ 0
  DURAT=1
  OR CONTINUE
DURATION=FIX(DURAT)
TRANSP+1 FOR DURATION
ENCPRO A FROM WAITTR INTO WAITEN AFTER DURATION
VTRAPP B FROM WAITT INTO WAITE AFTER DURATION
TIPO=A
TIPTCO=-1*(IENTRG OF ENCPRO A)
FOR ENCPRO I IN WAITTR
  LISVEI(I) EQ B AND I NE TIPO AND TCONT OF ENCPRO I EQ TIPTCO
+  AND ORIGEM OF ENCPRO I EQ ORIGEM OF ENCPRO A
  ENCPRO I INTO WAITEN AFTER DURATION
  OR CONTINUE
ADD 1 TO ZATRANSP
REPEAT50
C
BEGIN ENTREG
FIND FIRST VTRAPP C IN WAITE
  FIND FIRST ENCPRO A IN WAITEN WITH TCONT OF ENCPRO GE 0
  LISVEI(A) EQ C
FIND FIRST CAIS B IN CAILIV
TIP=A
TIPTC=-1*(IENTRG OF ENCPRO A)
DURCAI=DURACR(C)
FOR ENCPRO I IN WAITEN
  I NE TIP AND TCONT OF ENCPRO I EQ TIPTC AND LISVEI(I) EQ C
+  AND ORIGEM OF ENCPRO I EQ ORIGEM OF ENCPRO A
  ENCPRO I INTO WAITPC AFTER DURCAI
  LISVEI(I)=0
  ADD 1 TO ZBENTREG
  OR CONTINUE
ENTREG+1 FOR DURCAI
ENCPRO A FROM WAITEN INTO WAITPC AFTER DURCAI
CAIS B FROM CAILIV INTO CAILIV AFTER DURCAI
VTRAPP C FROM WAITE INTO LIVRE AFTER DURCAI
ORIGEV OF VTRAPP C=0
DURACR(C)=0
ADD 1 TO ZBENTREG
REPEAT50
C
BEGIN CHEGAD
PORTA GE 1

```

```

FIND FIRST ENCPRO A IN OUTSID
PRO OF ENCPRO A=1+RANDOM(30,SZ)
CHAIN
  PRO OF ENCPRO A EQ 1
  PROCUR=1+PROCUR
  OR CONTINUE
INSTAN=MODULO(CLOCK,60)
REAL AAA
AAA=CLOCK/60
CHAIN
  INSTAN EQ 0
  IENTRG OF ENCPRO A=60*(FIX(AAA))+TENTEN
  OR IENTRG OF ENCPRO A=60*(1+FIX(AAA))+TENTEN
ARIVI=IENTRG OF ENCPRO A
DURATION=LAMPDA
FIND FIRST SPRODF B IN FLIVRE
  PRO OF ENCPRO A GT LISTPP(B) AND PRO OF ENCPRO A LE LISTP(B)
DISTAN(A)=DISTNA(B)*10
ORIGEM OF ENCPRO A=B
CHAIN
  IGFORN(B) EQ IENTRG OF ENCPRO A
  LISTEM(A)=0
  TCONT OF ENCPRO A=-IENTRG OF ENCPRO A
  P=PRIFOR(B)
  LISPAR(P)=-1
  LISTEM(P)=IENTRG OF ENCPRO A-DISTAN(P)/VELOC
CHAIN
  LISTEM(P) EQ IENTRG OF ENCPRO A
  LISTEM(P)=IENTRG OF ENCPRO A-1
  OR LISTEM(P) EQ 0
  LISTEM(P)=1
  OR CONTINUE
CONTRO(P)=1+CONTRO(P)
OR IGFORN(B) NE IENTRG OF ENCPRO A
IGFORN(B)=IENTRG OF ENCPRO A
PRIFOR(B)=A
LISTEM(A)=IENTRG OF ENCPRO A-DISTAN(A)/VELOC
CHAIN
  LISTEM(A) EQ IENTRG OF ENCPRO A
  LISTEM(A)=IENTRG OF ENCPRO A-1
  OR LISTEM(A) EQ 0
  LISTEM(A)=1
  OR CONTINUE
FOR ENCPRO I IN WAITPF
  IENTRG OF ENCPRO I EQ IENTRG OF ENCPRO A AND PRO OF ENCPRO I EQ
+PRO OF ENCPRO A AND I NE A AND TCON EQ 0
  TCON OF ENCPRO A=-I
  CHEGAD+1 FOR DURATION
  ENCPRO A FROM OUTSID INTO WAITPF AFTER DURATION
  PORTA - 1 AND PORTA + 1 AFTER DURATION
  ADD 1 TO ZCCHEGAD
C
BEGIN PRODUF
FIND ENCPRO C IN WAITPF WITH MIN IENTRG
  IENTRG OF ENCPRO C LT ARIVI
CHAIN
  FIND FIRST ENCPRO A IN WAITPF WITH IENTRG OF ENCPRO EQ IENTRG
+ OF ENCPRO C
  TCON OF ENCPRO A EQ 0
  CHAIN
  TCONT OF ENCPRO A LT 0
  OR TCONT OF ENCPRO EQ 1
  FIND FIRST CELULA D WITH TIPCEL OF CELULA EQ
+ PRO OF ENCPRO A AND TIME OF CELULA LE 0

```

```

OR FIND FIRST ENCPRO A IN WAITPF WITH IENTRG LT ARIVI
  TCON OF ENCPRO A EQ 0
  CHAIN
    TCONT OF ENCPRO A LT 0
    OR TCONT OF ENCPRO EQ 1
    FIND FIRST CELULA D WITH TIPCEL OF CELULA EQ
+ PRO OF ENCPRO A AND TIME OF CELULA LE 0
  VALRR EQ 0
  FIND FIRST SPRODF B IN FLIVRE
    PRO OF ENCPRO A GT LISTPP(B) AND PRO OF ENCPRO A LE LISTP(B)
  COUNT ENCPRO Y IN WAITPF
    TCON OF ENCPRO Y EQ -1*A
  TEMPRO=(Y+1)*NPER*10
  CHAIN ENCPRO A
    SETUPE(D) EQ PRO OF ENCPRO A
    SETUP=0
    OR SETUP=2
    SETUPE(D)=PRO OF ENCPRO A
    ADD 1 TO YJSETUPE
  CHAIN
    PRO OF ENCPRO A EQ 1
    ADD 1 TO YJJSETUP
    OR CONTINUE
  DURATION=SETUP+TEMPRO
  TIME OF CELULA D=DURATION
  W=1
  FOR ENCPRO Z WAITPF
    TCON OF ENCPRO Z EQ -1*A
    W=1+W
    TEMP=SETUP+NPER*10*W
    ENCPRO Z INTO STOCK AFTER TEMP
  CHAIN
    CLOCK+TEMP GT IENTRG OF ENCPRO Z AND CLOCK GE 150
    TRIZZ=1+TRIZZ
    TEMTRI=CLOCK+TEMP-IENTRG OF ENCPRO Z+TEMTRI
    OR CONTINUE
    ADD 1 TO ZDPRODUF
  PRODUF+1 FOR DURATION
  TEMPR=NPER*10+SETUP
  ENCPRO A FROM WAITPF INTO STOCK AFTER TEMPR
  ADD 1 TO ZDPRODUF
  REPEAT50
C
BEGIN CARREG
CHAIN
  FIND FIRST ENCPRO A IN STOCK
  LISPAR(A) EQ -1 AND TCONT OF ENCPRO A EQ 1
  FIND FIRST VTRAPP B IN WAITC WITH ORIGEV OF VTRAPP EQ A
  COUNT ENCPRO I IN STOCK
  ORIGEM OF ENCPRO I EQ ORIGEM OF ENCPRO A
+ AND TCONT OF ENCPRO I EQ -1*IENTRG OF ENCPRO A
  I EQ CONTRO(A)
  DURCAR=(I+1)*QENTRG/100
  CHAIN
    DURCAR EQ 0
    DURCAR=1
    OR CONTINUE
  CHAIN
    (I+1)*QENTRG GT DURCAR*100
    DURCAR=DURCAR+1
    OR CONTINUE
  DURATION=DURCAR*3
  DURACR(B)=DURATION
  LISVEI(A)=B

```

```

CARREG+1 FOR DURATION
ENCPRO A FROM STOCK INTO WAITTR AFTER DURATION
VTRAPP B FROM WAITC INTO WAITT AFTER DURATION
FOR ENCPRO J IN STOCK
  ORIGEM OF ENCPRO J EQ ORIGEM OF ENCPRO A
+  AND TCONT OF ENCPRO J EQ -1*IENTRG OF ENCPRO A
  LISVEI(J)=B
  ENCPRO J INTO WAITTR AFTER DURATION
  ADD 1 TO ZECARREG
  ADD 1 TO ZECARREG
  CHAIN
  CLOCK GT IENTRG OF ENCPRO A AND LISVEI(A) EQ B
+AND TCONT OF ENCPRO A GE 0
  TRIZ=1+TRIZ+CONTRO(A)
  TEMPTR=(CLOCK-IENTRG OF ENCPRO A)*(CONTRO(A)+1)+TEMPTR
  OR CONTINUE
REPEAT50
OR FIND FIRST ENCPRO A IN STOCK
  LISPAR(A) NE -1 AND TCONT OF ENCPRO A EQ 1
  FIND FIRST VTRAPP B IN WAITC WITH ORIGEV OF VTRAPP EQ A
  LISVEI(A)=B
  DURCAR=QENTRG/100
  CHAIN
  DURCAR EQ 0
  DURCAR=1
  OR CONTINUE
  CHAIN
  QENTRG GT DURCAR*100
  DURCAR=DURCAR+1
  OR CONTINUE
  DURATION=DURCAR*3
  DURACR(B)=DURATION
  CARREG+1 FOR DURATION
  ENCPRO A FROM STOCK INTO WAITTR AFTER DURATION
  VTRAPP B FROM WAITC INTO WAITT AFTER DURATION
  ADD 1 TO ZECARREG
  CHAIN
  CLOCK GT IENTRG OF ENCPRO A AND LISVEI(A) EQ B
+AND TCONT OF ENCPRO A GE 0
  TRIZ=1+TRIZ+CONTRO(A)
  TEMPTR=(CLOCK-IENTRG OF ENCPRO A)*(CONTRO(A)+1)+TEMPTR
  OR CONTINUE
  REPEAT50
C
BEGIN CONTOL
FIND FIRST ENCPRO A IN WAITPC
SPRODC1 IN CLIVRE
CONTOL+1 FOR 0
ENCPRO A FROM WAITPC INTO OUTSID AFTER 0
SPRODC1 FROM CLIVRE INTO CLIVRE AFTER 0
ADD 1 TO ZFCONTOL
C
BEGIN VIAJAR
EVERY 1
CLOCK GT 1
CHAIN
FIND ENCPRO A IN WAITPF WITH MIN IENTRG OF ENCPRO
  TCONT OF ENCPRO EQ 0
  PROGRA(A)=LISTEM(A)
  TCONT OF ENCPRO A=1
  REPEAT20
  OR CONTINUE
FOR ENCPRO H
  PROGRA(H) NE 0

```

```

PROGRA(H) LE CLOCK
FIND FIRST VTRAPP B IN LIVRE
PROGRA(H)=0
CHAIN
  CLOCK GE 150
  CTRAMP=CTRAMP+GAMA+SIGMA+ALFA*2*DISTAN(H)
  DISTOT=2*DISTAN(H)+DISTOT
  OR CONTINUE
DVELOC=NORMAL(4,0,SS)
REAL ZZZZ
ZZZZ=DISTAN(H)/DVELOC
ORIGEV OF VTRAPP B=H
CHAIN
  ZZZZ EQ 0
  ZZZZ=1
  OR CONTINUE
DURATION=FIX(ZZZZ)
VIAJAR+1 FOR DURATION
VTRAPP B FROM LIVRE INTO WAITC AFTER DURATION
ADD 1 TO ZGVIAJAR
OR CONTINUE
FINALISATION
TYPE **"Final report from simulation PA      "/"
TYPE "TRANSP was started" ZATRANSF " times"
TYPE "ENTREG was started" ZBENTREG " times"
TYPE "CHEGAD was started" ZCCHEGAD " times"
TYPE "PRODUF was started" ZDPRODUF " times"
TYPE "CARREG was started" ZECARREG " times"
TYPE "CONTOL was started" ZFCONTOL " times"
TYPE "VIAJAR was started" ZGVIAJAR " times"
TYPE "Nde preparaes de m quina:" YJSETUPE
TYPE "Nde preparaes de m quina 1:" YJJSETUP
TYPE "PROCURA DO ARTIGO 1:" PROCUR
TYPE "TRIZ" TRIZ 'TEMPO' TEMPTR 'TRIZZ' TRIZZ 'TEMTZZ' TEMTRI
TYPE "DISTNCIA TOTAL PERCORRIDA:" DISTOT
TYPE "CUST DE TRANSPORTE:" CTRAMP
REAL ZZ
ZZ= CLOCK - RUNINZ
TYPE "PORTA Utilization"+4,(1-ZHPORTA/ZZ)
CHAIN
  YLCELUL LT 0
  YLCELUL=-1*YLCELUL
  OR CONTINUE
TYPE "CELULA TOTAL Utilization"+4,(1-YLCELUL/(ZZ*30))
FUNCTI PICTUR BASIC
TYPE **"Histogram: length of WAITPF"/PICTUR(ZIWAIT)BASIC (ZIWAIT)
TYPE **"Histogram: delays at WAITPF"/PICTUR(ZJWAIT)BASIC (ZJWAIT)
TYPE **"Histogram: length of STOCK "/PICTUR(ZKSTOC)BASIC (ZKSTOC)
TYPE **"Histogram: delays at STOCK "/PICTUR(ZLSTOC)BASIC (ZLSTOC)
TYPE **"Histogram: length of OUTSID"/PICTUR(ZQOUTS)BASIC (ZQOUTS)
TYPE **"Histogram: delays at OUTSID"/PICTUR(ZROUTS)BASIC (ZROUTS)
TYPE **"Histogram: length of LIVRE "/PICTUR(YELIVR)BASIC (YELIVR)
TYPE **"Histogram: delays at LIVRE "/PICTUR(YFLIVR)BASIC (YFLIVR)
DATA
OUTSID1 TO *
FLIVRE1 TO *
CLIVRE1
PORTA 1
CAILIV1 TO *
LIVRE 1 TO *
SZ 13529
SS 15723
STA 15723
OCUPAC 100 20 80

```

```

DISTNA 1
      8
      4
      4
      7
      2
      0
      0
      5
      0
      4
      2
      8
      4
      4
      7
      2
      4
      3
      1
      2
      0
      4
      1
      5
      4
      3
      1
      7
      4
END

```

Programa PZZ0S

```

      THERE ARE 922 ENCPRO SET WAITPF STOCK WAITTR WAITEN WAITPC OUTSID
WITH
+PRO IENTRG TCONT ORIGEM ATRIBU TCON
      THERE ARE 30 SPRODF SET FLIVRE WITH FPRO
      THERE ARE 30 CELULA WITH TIPCEL
      THERE ARE 1 SPRODC SET CLIVRE
      THERE ARE 5 CAIS SET CAILIV
      THERE ARE 30 VTRAPP SET WAITC WAITT WAITE LIVRE WITH ORIGEV CAPACT
      HIST OCUPAC (2,0,1)
      ARRAY PROGRA(ENCPRO)
      ARRAY DISTNA (SPRODF)
      ARRAY LID(30,30)
      ARRAY SETUPE(CELULA)
      ARRAY LISTP(SPRODF)
      ARRAY LISTPP(SPRODF)
      ARRAY LISTEM(ENCPRO)
      ARRAY LISVEI(ENCPRO)
      ARRAY PRIENC(ENCPRO)
      ARRAY CAPVEI(ENCPRO)
      ARRAY ESTADO(ENCPRO)
      ARRAY IGFORN(SPRODF)
      ARRAY PRIFOR(SPRODF)
      ARRAY DISTAN(ENCPRO)
      ARRAY CONTRO(ENCPRO)
      ARRAY CALCEL(CELULA)
      ARRAY CALENC(CELULA)
      ARRAY DURACR(VTRAPP)
      FOR I=1 TO 30

```

```

        FPRO OF SPRODF I = I
        TIPCEL OF CELULA I = I
TIMBUF
CAPA=500
NFOR
NPO=30/NFOR
NPER
TENTEN=NPER*60
SIGMA=7000
GAMA=4375
ALFA=133
QENTRG=20*NPER
FOR I=1 TO NFOR
    LISTP(I)=(FPRO OF SPRODF I)*NPO
    LISTPP(I)=((FPRO OF SPRODF I)-1)*NPO
VELOC=4
FUNCTI RANDOM NORMAL FIX MODULO
FUNCTION SAMPLE
RECYCL
RUNINZ=150 AND PREVCLOCK = RUNINZ
SWITCH ADD ON AFTER RUNINZ
ACTIVITIES 1842
RECORD
DURATION = CLOCK - PREVCLOCK
FOR CELULA WITH TIME OF CELULA LT 0
    ADD DURATION TO YLCELUL
    ADD DURATION* PORTA TO ZHPORTA
    ADD WAITPF TO HIST ZIWAITPF DURATION
    ADD TIME IN WAITPF TO HIST ZJWAITPF ( 10 )
    ADD STOCK TO HIST ZKSTOCK DURATION
    ADD TIME IN STOCK TO HIST ZLSTOCK ( 10 )
    ADD LIVRE TO HIST YELIVRE DURATION
    ADD TIME IN LIVRE TO HIST YFLIVRE ( 10 )
PREVCLOCK = CLOCK
REAL CTRAMP
REAL DISTOT
VALRR=SAMPLE(OCUPAC, STA)
CHAIN
    VALRR EQ 1
    FOR I=1 TO 30
        FIND FIRST CELULA A WITH TIPCEL OF CELULA EQ I
+AND TIME OF CELULA LE 0
        TIME OF CELULA I=1
        SETUPE(A)=0
        OR CONTINUE

BEGIN LOG
FIND FIRST ENCPRO A IN WAITPF WITH TCONT OF ENCPRO EQ 0
    VARCON GT 0
    BOTAO=1
    OR VARCON LE 0
    BOTAO=0
LOG+1 FOR 0

BEGIN LIG
PERMITE EQ 1
BOTAO EQ 1
FIND FIRST ENCPRO A IN WAITPF
    ESTADO(A) EQ A
ESTADO(A)--1
K=PRIENC(A)
CHAIN
    CAPVEI(A) GE QENTRG
    TANCIA=120

```

```

FOR ENCPRO Z IN WAITPF
  ATRIBU OF ENCPRO Z EQ 0 AND ESTADO(Z) EQ A
  LID(ORIGEM OF ENCPRO A,ORIGEM OF ENCPRO Z)*10 LT TANCIA
  TANCIA=LID(ORIGEM OF ENCPRO A,ORIGEM OF ENCPRO Z)*10
  T=Z
  ATRIBU OF ENCPRO T=ATRIBU OF ENCPRO A+1
  VARI=(CONTRO(T)+1)*QENTRG
  DURCAR=(1+CONTRO(T))*QENTRG/100
  CHAIN
  DURCAR EQ 0
  DURCAR=1
  OR CONTINUE
  CHAIN
  (1+CONTRO(T))*QENTRG GT DURCAR*100
  DURCAR=DURCAR+1
  OR CONTINUE
  CHAIN
  VARI LE CAPVEI(A)
  VALOO=TANCIA/VELOC +3*DURCAR+VALOO
  VALOR=VALOO+DISTAN(T)/VELOC
  CHAIN
  VALOR LE 30
  VARCON=VARCON-1
  CHAIN
  VARCON EQ 0
  TCONT OF ENCPRO K=1
  ESTADO(K)--ATRIBU OF ENCPRO T
  ESTADO(T)--1
  OR FOR ENCPRO W IN WAITPF
  ESTADO(W) EQ A
  ESTADO(W)=T
  CAPVEI(T)=CAPVEI(A)-VARI
  OR VALOR GT 30
  COL=0
  FOR ENCPRO Z IN WAITPF
  ATRIBU OF ENCPRO Z EQ 0 AND ESTADO(Z) EQ A AND A NE Z
  COL NE 1
  ATRIBU OF ENCPRO T=-1
  COL=2
  ESTADO(A)=A
  OR COL EQ 0
  TCONT OF ENCPRO K=1
  ESTADO(K)--ATRIBU OF ENCPRO A
  ATRIBU OF ENCPRO T=0
  VARCON=0
  PRIENC(T)=0
  ESTADO(T)=0
  COL=1
  OR VARI GT CAPVEI(A)
  COL=0
  FOR ENCPRO Z IN WAITPF
  ATRIBU OF ENCPRO Z EQ 0 AND ESTADO(Z) EQ A AND A NE Z
  COL NE 1
  ATRIBU OF ENCPRO T=-1
  COL=2
  ESTADO(A)=A
  OR COL EQ 0
  TCONT OF ENCPRO K=1
  ESTADO(K)--ATRIBU OF ENCPRO A
  ATRIBU OF ENCPRO T=0
  VARCON=0
  PRIENC(T)=0
  ESTADO(T)=0
  COL=1

```

```

OR CAPVEI(A) LT QENTRG
TCONT OF ENCPRO K=1
ESTADO(K)=-ATRIBU OF ENCPRO A
VARCON=-1
CHAIN
TCONT OF ENCPRO K EQ 1
FOR ENCPRO D IN WAITPF
    ATRIBU OF ENCPRO D EQ -1
    ATRIBU OF ENCPRO D=0
    OR PRIENC(D) EQ K AND ATRIBU OF ENCPRO D EQ 0
    PRIENC(D)=0
    ESTADO(D)=0
OR CONTINUE
LIG+1 FOR 0

BEGIN LAG
PERMITE EQ 1
BOTAO EQ 0
FIND ENCPRO A IN WAITPF WITH MIN IENTRG
    TCONT OF ENCPRO EQ 0 AND ATRIBU OF ENCPRO EQ 0 AND
+IENTRG OF ENCPRO A LE VARIVI
PRIENC(A)=A
LISTEM(A)=IENTRG OF ENCPRO A-DISTAN(A)/VELOC
CHAIN
LISTEM(A) EQ IENTRG OF ENCPRO A
LISTEM(A)=IENTRG OF ENCPRO A-1
OR LISTEM(A) EQ 0
LISTEM(A)=1
OR CONTINUE
CAPVEI(A)=CAPA-QENTRG-QENTRG*CONTRO(A)
ATRIBU OF ENCPRO A=1
CHAIN
CAPVEI(A) GE QENTRG
FIND FIRST ENCPRO C IN WAITPF WITH IENTRG LE VARIVI
TCONT OF ENCPRO EQ 0 AND ATRIBU OF ENCPRO C EQ 0
TANCIA=LID(ORIGEM OF ENCPRO A,ORIGEM OF ENCPRO C)*10
T=C
FOR ENCPRO Z IN WAITPF
    Z NE C AND TCONT OF ENCPRO Z EQ 0 AND
+ IENTRG OF ENCPRO Z LE VARIVI AND ATRIBU OF ENCPRO Z EQ 0
    LID(ORIGEM OF ENCPRO A,ORIGEM OF ENCPRO Z)*10 LT TANCIA
    TANCIA=LID(ORIGEM OF ENCPRO A,ORIGEM OF ENCPRO Z)*10
    T=Z
ATRIBU OF ENCPRO T=2
PRIENC(T)=A
VAR=(CONTRO(T)+1)*QENTRG
DURCAR=(2+CONTRO(A)+CONTRO(T))*QENTRG/100
CHAIN
DURCAR EQ 0
DURCAR=1
OR CONTINUE
CHAIN
(2+CONTRO(A)+CONTRO(T))*QENTRG GT DURCAR*100
DURCAR=DURCAR+1
OR CONTINUE
CHAIN
VAR LE CAPVEI(A)
VALOO=TANCIA/VELOC+3*DURCAR
VALOR=VALOO+DISTAN(T)/VELOC
CHAIN
VALOR LE 30
VARCON=0
FOR ENCPRO W IN WAITPF
    TCONT OF ENCPRO W EQ 0 AND W NE A AND W NE T AND

```

```

+       ATRIBU OF ENCPRO W EQ 0
        IENTRG OF ENCPRO W LE VARIVI AND ESTADO(W) EQ 0
        ESTADO(W)=T
        PRIENC(W)=A
        VARCON=1+VARCON
        CHAIN
        VARCON EQ 0
        TCONT OF ENCPRO A=1
        ESTADO(A)=-ATRIBU OF ENCPRO T
        ESTADO(T)=-1
        OR VARCON NE 0
        ESTADO(A)=T
        ESTADO(T)=T
        CAPVEI(T)=CAPVEI(A)-VAR
        OR VALOR GT 30
        ATRIBU OF ENCPRO T=-1
        ATRIBU OF ENCPRO A=0
        OR VAR GT CAPVEI(A)
        ATRIBU OF ENCPRO T=-1
        ATRIBU OF ENCPRO A=0
        OR TCONT OF ENCPRO A=1
        ATRIBU OF ENCPRO A=1
        ESTADO(A)=-1
        CHAIN
        TCONT OF ENCPRO A EQ 1
        FOR ENCPRO D IN WAITPF
            ATRIBU OF ENCPRO D EQ -1
            ATRIBU OF ENCPRO D=0
            OR PRIENC(D) EQ A AND ATRIBU OF ENCPRO D EQ 0
            PRIENC(D)=0
            ESTADO(D)=0
        OR CONTINUE
        LAG+1 FOR 0

        BEGIN TRANSP
        DVELOC=NORMAL(4,0,SS)
        REAL DURAT
        CHAIN
        FIND FIRST ENCPRO A IN WAITTR WITH TCONT OF ENCPRO EQ 2
        FIND FIRST VTRAPP B IN WAITT
        B EQ LISVEI(A) AND ORIGEV OF VTRAPP B EQ A
        CHAIN
        FIND FIRST ENCPRO C IN STOCK WITH TCONT EQ 0 AND
+       ATRIBU EQ 2 AND PRIENC(C) EQ A
        ORIGEV OF VTRAPP B=C
        DURAT=LID(ORIGEM OF ENCPRO A,ORIGEM OF ENCPRO C)*10/DVELOC
        DUR=LID(ORIGEM OF ENCPRO A,ORIGEM OF ENCPRO C)*10
        DISTOT=LID(ORIGEM OF ENCPRO A,ORIGEM OF ENCPRO C)*10+DISTOT
        SOMA=ALFA*LID(ORIGEM OF ENCPRO A,ORIGEM OF ENCPRO C)*10+SIGMA
        CHAIN
        DURAT EQ 0
        DURAT=1
        OR CONTINUE
        DURATION=FIX(DURAT)
        TRANSP+1 FOR DURATION
        ENCPRO A FROM WAITTR INTO WAITEN AFTER DURATION
        VTRAPP B FROM WAITT INTO WAITC AFTER DURATION
        ADD 1 TO ZATRANSP
        ESTADO(C)=ESTADO(A)
        OR ESTADO(A) EQ -1
        DURAT=DISTAN(A)/DVELOC
        CHAIN
        DURAT EQ 0
        DURAT=1

```

```

OR CONTINUE
DISTOT=DISTAN(A)+DISTOT
SOMA=ALFA*DISTAN(A)
DUR=DISTAN(A)
DURATION=FIX(DURAT)
TRANSP+1 FOR DURATION
ENCPRO A FROM WAITTR INTO WAITEN AFTER DURATION
VTRAPP B FROM WAITT INTO WAITE AFTER DURATION
ADD 1 TO ZATRANSP
FOR ENCPRO J IN WAITTR
  TCONT OF ENCPRO J EQ -1*IENTRG OF ENCPRO A
+  AND ORIGEM OF ENCPRO J EQ ORIGEM OF ENCPRO A
  ENCPRO J INTO WAITEN AFTER DURATION
  ADD 1 TO ZATRANSP
  OR CONTINUE
REPEAT
OR FIND FIRST ENCPRO A IN WAITTR WITH TCONT OF ENCPRO EQ 0
FIND FIRST VTRAPP B IN WAITT
  B EQ LISVEI(A) AND ORIGEV OF VTRAPP B EQ A
CHAIN
FIND FIRST ENCPRO C IN STOCK WITH TCONT EQ 0 AND
+  ATRIBU EQ ATRIBU OF ENCPRO A+1 AND PRIENC(C) EQ PRIENC(A)
  ORIGEV OF VTRAPP B=C
  DURAT=LID(ORIGEM OF ENCPRO A,ORIGEM OF ENCPRO C)*10/DVELOC
  DISTOT=LID(ORIGEM OF ENCPRO A,ORIGEM OF ENCPRO C)*10+DISTOT
  SOMA=ALFA*LID(ORIGEM OF ENCPRO A,ORIGEM OF ENCPRO C)*10+SIGMA
CHAIN
  DURAT EQ 0
  DURAT=1
  OR CONTINUE

DURATION=FIX(DURAT)
TRANSP+1 FOR DURATION
ENCPRO A FROM WAITTR INTO WAITEN AFTER DURATION
VTRAPP B FROM WAITT INTO WAITC AFTER DURATION
ADD 1 TO ZATRANSP
ESTADO(C)=ESTADO(A)
OR ATRIBU OF ENCPRO A EQ -ESTADO(A)
DURAT=DISTAN(A)/DVELOC
CHAIN
  DURAT EQ 0
  DURAT=1
  OR CONTINUE
DISTOT=DISTAN(A)+DISTOT
SOMA=ALFA*DISTAN(A)
DURATION=FIX(DURAT)
TRANSP+1 FOR DURATION
ENCPRO A FROM WAITTR INTO WAITEN AFTER DURATION
VTRAPP B FROM WAITT INTO WAITE AFTER DURATION
ADD 1 TO ZATRANSP
FOR ENCPRO I IN WAITTR
  TCONT OF ENCPRO I EQ -1*IENTRG OF ENCPRO A
+  AND ORIGEM OF ENCPRO I EQ ORIGEM OF ENCPRO A
  ENCPRO I INTO WAITEN AFTER DURATION
  ADD 1 TO ZATRANSP
  OR CONTINUE
REPEAT
CHAIN
  CLOCK GE 150
  CTRAMP=CTRAMP+SOMA
  OR CONTINUE
REPEAT50

BEGIN ENTREG

```

```

FIND FIRST VTRAPP C IN WAITE
  FIND FIRST ENCPRO A IN WAITEN WITH TCONT OF ENCPRO EQ 2
    LISVEI(A) EQ C
  FIND FIRST CAIS B IN CAILIV
  DURCAI=DURACR(C)
  FOR ENCPRO I IN WAITEN
    TCONT OF ENCPRO I EQ -1*(IENTRG OF ENCPRO A)
+   AND ORIGEM OF ENCPRO I EQ ORIGEM OF ENCPRO A
    ENCPRO I INTO WAITPC AFTER DURCAI
    LISVEI(I)=0
    ADD 1 TO ZBENTREG
  FOR ENCPRO Y IN WAITEN
    Y NE A AND LISVEI(Y) EQ C
    ENCPRO Y INTO WAITPC AFTER DURCAI
    LISVEI(Y)=0
    ADD 1 TO ZBENTREG
  ENTREG+1 FOR DURCAI
  ENCPRO A FROM WAITEN INTO WAITPC AFTER DURCAI
  CAIS B FROM CAILIV INTO CAILIV AFTER DURCAI
  VTRAPP C FROM WAITE INTO LIVRE AFTER DURCAI
  ORIGEV OF VTRAPP C=0
  CAPACT OF VTRAPP C=CAPA
  DURACR(C)=0
  ADD 1 TO ZBENTREG
  REPEAT50

BEGIN CHEGAD
CHAIN
  CLOCK GE 1
  CHAIN
    CLOCK EQ 30
    VARIVI=60
    PERMITE=1
    OR MODULO(CLOCK,60) EQ 0
    VARIVI=ARIVI
    PERMITE=1
    OR MODULO(CLOCK,60) NE 0
    FIND FIRST ENCPRO A IN WAITPF WITH TCONT OF ENCPRO EQ 0 AND
+  ATRIBU OF ENCPRO A EQ 0
    VARCON NE 0
    PERMITE=1
    OR IENTRG OF ENCPRO A LE VARIVI
    PERMITE=1
    OR PERMITE=0
  OR PERMITE=0
  PORTA GE 1
  FIND FIRST ENCPRO A IN OUTSID
  PRO OF ENCPRO A=1+RANDOM(30,SZ)
  REAL AAA
  AAA=CLOCK/60
  CHAIN
    MODULO(CLOCK,60) EQ 0
    IENTRG OF ENCPRO A=60*(FIX(AAA))+TENTEN
    OR IENTRG OF ENCPRO A=60*(1+FIX(AAA))+TENTEN
  ARIVI=IENTRG OF ENCPRO A
  DURATION=2*NPER
  FIND FIRST SPRODF B IN FLIVRE
  PRO OF ENCPRO A GT LISTPP(B) AND PRO OF ENCPRO A LE LISTP(B)
  DISTAN(A)=DISTNA(B)*10
  ORIGEM OF ENCPRO A=B
  CHAIN
    IGFORN(B) EQ IENTRG OF ENCPRO A
    TCONT OF ENCPRO A=-IENTRG OF ENCPRO A
    P=PRIFOR(B)

```

```

CONTRO(P)=1+CONTRO(P)
OR IGFORN(B) NE IENTRG OF ENCPRO A
IGFORN(B)=IENTRG OF ENCPRO A
PRIFOR(B)=A
CHEGAD+1 FOR DURATION
ENCPRO A FROM OUTSID INTO WAITPF AFTER DURATION
PORTA - 1 AND PORTA + 1 AFTER DURATION
ADD 1 TO ZCCHEGAD
C
BEGIN PRODUF
CHAIN
  FIND ENCPRO C IN WAITPF WITH MIN IENTRG
  TCON OF ENCPRO EQ 0
  TCON OF ENCPRO C =IENTRG OF ENCPRO C-(NPER*10+2)-TIMBUF
  CHAIN
  TCON OF ENCPRO C LE 0
  TCON OF ENCPRO C=1
  OR CONTINUE
  FOR ENCPRO I IN WAITPF
  TCON OF ENCPRO I EQ TCON OF ENCPRO C AND PRO OF ENCPRO I EQ
+   PRO OF ENCPRO C AND I NE C AND TCON OF ENCPRO C GT 1
  TCON OF ENCPRO I=TCON OF ENCPRO C-NPER*10
  CHAIN
  TCON OF ENCPRO I LE 0
  TCON OF ENCPRO I=1
  OR CONTINUE
  CALCEL(PRO OF ENCPRO C)=TCON OF ENCPRO C
  CALENC(PRO OF ENCPRO C)=I
  TCON OF ENCPRO C=-I
  OR TCON OF ENCPRO C EQ CALCEL(PRO OF ENCPRO C)
  W=CALENC(PRO OF ENCPRO C)
  TCON OF ENCPRO C=-W
  TCON OF ENCPRO W=TCON OF ENCPRO W-NPER*10
  CHAIN
  TCON OF ENCPRO W LE 0
  TCON OF ENCPRO W=1
  OR CONTINUE
  REPEAT
  OR CONTINUE
  VALRR EQ 0
  CHAIN
  FIND ENCPRO A IN WAITPF WITH MIN TCON
  IENTRG OF ENCPRO A LT ARIVI
  CLOCK GE TCON OF ENCPRO A
  TCON OF ENCPRO A GE 1
  CHAIN
  ATRIBU OF ENCPRO A GT 1 AND ESTADO(A) NE A
  OR TCONT OF ENCPRO A EQ 2
  OR TCONT OF ENCPRO A LT 0
  FIND FIRST CELULA D WITH TIPCEL OF CELULA EQ
+   PRO OF ENCPRO A AND TIME OF CELULA LE 0
  OR FIND FIRST ENCPRO A IN WAITPF WITH TCON OF ENCPRO LE CLOCK
  TCON OF ENCPRO A GE 1
  IENTRG OF ENCPRO A LT ARIVI
  CHAIN
  ATRIBU OF ENCPRO A GT 1 AND ESTADO(A) NE A
  OR TCONT OF ENCPRO A EQ 2
  OR TCONT OF ENCPRO A LT 0
  FIND FIRST CELULA D WITH TIPCEL OF CELULA EQ
+   PRO OF ENCPRO A AND TIME OF CELULA LE 0
  FIND FIRST SPRODF B IN FLIVRE
  PRO OF ENCPRO A GT LISTPP(B) AND PRO OF ENCPRO A LE LISTP(B)
  COUNT ENCPRO Y IN WAITPF
  TCON OF ENCPRO Y EQ -1*A

```

```

CHAIN ENCPRO A
  SETUPE(D) EQ PRO OF ENCPRO A
  DURATION=(Y+1)*NPER*10
  SETUP=0
  OR SETUPE(D) NE PRO OF ENCPRO A
  DURATION=2+(Y+1)*NPER*10
  SETUP=2
  SETUPE(D)=PRO OF ENCPRO A
  ADD 1 TO YJSETUPE
TIME OF CELULA D=DURATION
W=1
FOR ENCPRO Z WAITPF
  TCON OF ENCPRO Z EQ -1*A
  W=1+W
  TEMP=SETUP+NPER*10*W
  ENCPRO Z INTO STOCK AFTER TEMP
  CHAIN
  CLOCK+TEMP GT IENTRG OF ENCPRO Z AND CLOCK GE 150
  TRIZZ=1+TRIZZ
  TETRI=CLOCK+TEMP-IENTRG OF ENCPRO Z+TETRI
  OR CONTINUE
  ADD 1 TO ZDPRODUF
PRODUF+1 FOR DURATION
TEMPR=NPER*10+SETUP
ENCPRO A FROM WAITPF INTO STOCK AFTER TEMPR
ADD 1 TO ZDPRODUF
REPEAT50
C
BEGIN CARREG
CHAIN
  FIND FIRST ENCPRO A IN STOCK WITH TCONT OF ENCPRO EQ 2
+ AND ATRIBU OF ENCPRO EQ 1
  FIND FIRST VTRAPP B IN WAITC WITH ORIGEV OF VTRAPP EQ A
  COUNT ENCPRO I IN STOCK
  ORIGEM OF ENCPRO I EQ ORIGEM OF ENCPRO A
+ AND TCONT OF ENCPRO I EQ -1*IENTRG OF ENCPRO A
  I EQ CONTRO(A)
  DURCAR=(I+1)*QENTRG/100
  CHAIN
  DURCAR EQ 0
  DURCAR=1
  OR CONTINUE
  CHAIN
  (I+1)*QENTRG GT DURCAR*100
  DURCAR=DURCAR+1
  OR CONTINUE
  DURATION=DURCAR*3
  DURACR(B)=DURATION
  CAPACT OF VTRAPP B=CAPA-(1+I)*QENTRG
  LISVEI(A)=B
  CARREG+1 FOR DURATION
  ENCPRO A FROM STOCK INTO WAITTR AFTER DURATION
  VTRAPP B FROM WAITC INTO WAITT AFTER DURATION
  ADD 1 TO ZECARREG
  FOR ENCPRO J IN STOCK
  ORIGEM OF ENCPRO J EQ ORIGEM OF ENCPRO A
+ AND TCONT OF ENCPRO J EQ -1*IENTRG OF ENCPRO A
  LISVEI(J)=B
  ENCPRO J INTO WAITTR AFTER DURATION
  ADD 1 TO ZECARREG
  CHAIN
  CLOCK -IENTRG OF ENCPRO A GT 30
  TRIZ=1+TRIZ+CONTRO(A)
  TEMTRI=(CLOCK-IENTRG OF ENCPRO A-30)*(CONTRO(A)+1)+TEMTRI

```

```

    OR CONTINUE
REPEAT50
OR FIND ENCPRO A IN STOCK WITH MIN ATRIBU
  ATRIBU OF ENCPRO GT 1
  FIND FIRST VTRAPP B IN WAITC WITH ORIGEV OF VTRAPP EQ A
COUNT ENCPRO I IN STOCK
  ORIGEM OF ENCPRO I EQ ORIGEM OF ENCPRO A
+ AND TCONT OF ENCPRO I EQ -1*IENTRG OF ENCPRO A
  I EQ CONTRO(A)
  DURCAR=(I+1)*QENTRG/100
CHAIN
  DURCAR EQ 0
  DURCAR=1
  OR CONTINUE
CHAIN
  (I+1)*QENTRG GT DURCAR*100
  DURCAR=DURCAR+1
  OR CONTINUE
DURATION=DURCAR*3
DURACR(B)=DURATION+DURACR(B)
CAPACT OF VTRAPP B- (1+I)*QENTRG
LISVEI(A)=B
FOR ENCPRO J IN STOCK
  TCONT OF ENCPRO J EQ -1*IENTRG OF ENCPRO A
+ AND ORIGEM OF ENCPRO J EQ ORIGEM OF ENCPRO A
  LISVEI(J)=B
  ENCPRO J INTO WAITTR AFTER DURATION
  ADD 1 TO ZECARREG
CARREG+1 FOR DURATION
ENCPRO A FROM STOCK INTO WAITTR AFTER DURATION
VTRAPP B FROM WAITC INTO WAITT AFTER DURATION
ADD 1 TO ZECARREG
CHAIN
  CLOCK -IENTRG OF ENCPRO A GT 30
  TRIZ=1+TRIZ+CONTRO(A)
  TEMTRI=(CLOCK-IENTRG OF ENCPRO A-30)*(CONTRO(A)+1)+TEMTRI
  OR CONTINUE
REPEAT50
C
BEGIN CONTOL
FIND FIRST ENCPRO A IN WAITPC
SPRODC1 IN CLIVRE
CONTOL+1 FOR 0
ENCPRO A FROM WAITPC INTO OUTSID AFTER 0
SPRODC1 FROM CLIVRE INTO CLIVRE AFTER 0
ADD 1 TO ZFCONTOL
C
BEGIN VIAJAR
EVERY 1
CLOCK GT 1
CHAIN
  FIND FIRST ENCPRO A IN WAITPF WITH TCONT OF ENCPRO EQ 1
+AND ATRIBU OF ENCPRO EQ 1
  PROGRA(A)=LISTEM(A)
  TCONT OF ENCPRO A=2
  REPEAT20
  OR CONTINUE
FOR ENCPRO H
  PROGRA(H) NE 0
  PROGRA(H) LE CLOCK
  FIND FIRST VTRAPP B IN LIVRE
  PROGRA(H)=0
  ORIGEV OF VTRAPP B=H
  CHAIN

```

```

CLOCK GE 150
CTRAMP=CTRAMP+GAMA+SIGMA+ALFA*DISTAN(H)
DISTOT=DISTAN(H)+DISTOT
OR CONTINUE
DVELOC=NORMAL(4,0,SS)
REAL ZZZZ
ZZZZ=DISTAN(H)/DVELOC
CHAIN
  ZZZZ EQ 0
  ZZZZ=1
  OR CONTINUE
DURATION=FIX(ZZZZ)
VIAJAR+1 FOR DURATION
VTRAPP B FROM LIVRE INTO WAITC AFTER DURATION
ADD 1 TO ZGVIAJAR
OR CONTINUE

```

C

```

FINALISATION
TYPE **"Final report from simulation PA          "/"
TYPE "TRANSP was started" ZATRANSP " times"
TYPE "ENTREG was started" ZBENTREG " times"
TYPE "CHEGAD was started" ZCCHEGAD " times"
TYPE "PRODUF was started" ZDPRODUF " times"
TYPE "CARREG was started" ZECARREG " times"
TYPE "CONTOL was started" ZFCONTOL " times"
TYPE "VIAJAR was started" ZGVIAJAR " times"
TYPE "N$de prepara#aes de m quina:" YJSETUPE
REAL ZZ
ZZ= CLOCK - RUNINZ
TYPE "PORTA Utilization"+4,(1-ZHPORTA / ZZ )
TYPE "TRIZ" TRIZ 'TRIZZ' TRIZZ 'TEMTZZ' TETRI
+ "TEMPO" TEMTRI
TYPE "DISTANCIA TOTAL PERCORRIDA:" DISTOT
TYPE "CUST DE TRANSPORTE:" CTRAMP
TYPE "CELULA Utilization"+4,(1-YLCELUL/(ZZ*30))
FUNCTI PICTUR BASIC
TYPE **"Histogram: length of WAITPF"/PICTUR(ZIWAIT)BASIC ( ZIWAIT)
TYPE **"Histogram: delays at WAITPF"/PICTUR(ZJWAIT)BASIC ( ZJWAIT)
TYPE **"Histogram: length of STOCK "/PICTUR(ZKSTOC)BASIC ( ZKSTOC)
TYPE **"Histogram: delays at STOCK "/PICTUR(ZLSTOC)BASIC ( ZLSTOC)
TYPE **"Histogram: length of LIVRE "/PICTUR(YELIVR)BASIC ( YELIVR)
TYPE **"Histogram: delays at LIVRE "/PICTUR(YFLIVR)BASIC ( YFLIVR)
DATA
OUTSID1 TO *
FLIVRE1 TO *
CLIVRE1
PORTA 1
CAILIV1 TO *
LIVRE 1 TO *
SZ 13529
SS 15723
STA 15723
OCUPAC 100 20 80
DISTNA 1
      8
      4
      4
      7
      2
      0
      0
      5
      0
      4

```

2
8
4
4
7
2
4
3
1
2
0
4
1
5
4
3
1
7
4

LID

0 7 3 4 7 1 1 1 5 1 3 1 7 3 4 6 1 3 2 0 1 1 3 2 4 4 2 2 6 4
7 0 6 5 9 7 8 8 8 8 4 7 3 4 7 3 6 5 6 7 6 8 4 9 3 8 5 9 1 5
3 6 0 1 4 4 4 4 2 4 4 4 7 3 1 6 3 4 1 3 2 4 3 4 3 2 2 4 5 1
4 5 1 0 5 4 4 4 3 4 3 4 6 2 2 6 3 4 1 4 2 4 2 5 2 3 2 5 4 0
7 9 4 5 0 8 7 7 2 7 8 8 11 7 3 11 7 9 5 7 6 7 7 7 7 3 7 7 9 5
1 7 4 4 8 0 2 2 6 2 2 0 6 3 5 5 1 2 3 1 2 2 3 3 4 5 2 3 5 4
1 8 4 4 7 2 0 0 5 0 4 2 8 4 4 7 2 4 3 1 2 0 4 1 5 4 3 1 7 4
1 8 4 4 7 2 0 0 5 0 4 2 8 4 4 7 2 4 3 1 2 0 4 1 5 4 3 1 7 4
5 8 2 3 2 6 5 5 0 5 6 6 9 5 1 8 5 7 3 5 4 5 5 5 5 1 4 5 7 3
1 8 4 4 7 2 0 0 5 0 4 2 8 4 4 7 2 4 3 1 2 0 4 1 5 4 3 1 7 4
3 4 4 3 8 2 4 4 6 4 0 2 4 1 5 3 2 1 3 3 2 4 1 5 2 6 1 5 3 3
1 7 4 4 8 0 2 2 6 2 2 0 6 3 5 5 1 2 3 1 2 2 3 3 4 5 2 3 5 4
7 3 7 6 11 6 8 8 9 8 4 6 0 4 9 1 6 4 7 7 6 8 4 9 4 9 5 9 2 6
3 4 3 2 7 3 4 4 5 4 1 3 4 0 4 4 2 2 2 3 2 4 0 5 1 5 1 5 3 2
4 7 1 2 3 5 4 4 1 4 5 5 9 4 0 8 4 6 2 4 3 4 4 4 4 1 4 4 7 2
6 3 6 6 11 5 7 7 8 7 3 5 1 4 8 0 5 3 6 6 5 7 4 8 4 9 4 8 2 6
1 6 3 3 7 1 2 2 5 2 2 1 6 2 4 5 0 2 2 1 1 2 2 3 4 4 1 3 5 3
3 5 4 4 9 2 4 4 7 4 1 2 4 2 6 3 2 0 4 3 3 4 2 5 3 6 2 5 4 4
2 6 1 1 5 3 3 3 3 3 3 3 7 2 2 6 2 4 0 2 1 3 2 4 3 3 1 4 5 1
0 7 3 4 7 1 1 1 5 1 3 1 7 3 4 6 1 3 2 0 1 1 3 2 4 4 2 2 6 4
1 6 2 2 6 2 2 2 4 2 2 2 6 2 3 5 1 3 1 1 0 2 2 3 3 4 1 3 5 2
1 8 4 4 7 2 0 0 5 0 4 2 8 4 4 7 2 4 3 1 2 0 4 1 5 4 3 1 7 4
3 4 3 2 7 3 4 4 5 4 1 3 4 0 4 4 2 2 2 3 2 4 0 5 1 5 1 5 3 2
2 9 4 5 7 3 1 1 5 1 5 3 9 5 4 8 3 5 4 2 3 1 5 0 6 4 4 0 8 5
4 3 3 2 7 4 5 5 5 5 2 4 4 1 4 4 4 3 3 4 3 5 1 6 0 5 2 6 2 2
4 8 2 3 3 5 4 4 1 4 6 5 9 5 1 9 4 6 3 4 4 4 5 4 5 0 4 4 8 3
2 5 2 2 7 2 3 3 4 3 1 2 5 1 4 4 1 2 1 2 1 3 1 4 2 4 0 4 4 2
2 9 4 5 7 3 1 1 5 1 5 3 9 5 4 8 3 5 4 2 3 1 5 0 6 4 4 0 8 5
6 1 5 4 9 5 7 7 7 7 3 5 2 3 7 2 5 4 5 6 5 7 3 8 2 8 4 8 0 4
4 5 1 0 5 4 4 4 3 4 3 4 6 2 2 6 3 4 1 4 2 4 2 5 2 3 2 5 4 0

END

Anexo 2

A posição do cliente na rede de empresas no diagrama (X,Y) é no ponto (1,2). A posição de cada fornecedor i na rede de empresas no diagrama (X,Y) está representada na segunda coluna da tabela da Figura 1. A distância entre cada fornecedor i e o cliente está representada na terceira coluna.

Fornecedor i	Posição i (X,Y) (x10 km)	Distância do fornecedor i ao cliente (x10 km)
1	(2,2)	1
2	(9,4)	8
3	(3,5)	4
4	(4,5)	4
5	(1,9)	7
6	(3,1)	2
7	(1,2)	0
8	(1,2)	0
9	(2,7)	5
10	(1,2)	0
11	(5,2)	4
12	(3,1)	2
13	(9,1)	8
14	(5,3)	4
15	(2,6)	4
16	(8,1)	7
17	(3,2)	2
18	(5,1)	4
19	(3,4)	3
20	(2,2)	1
21	(3,3)	2
22	(1,2)	0
23	(5,3)	4
24	(0,2)	1
25	(6,4)	5
26	(1,6)	4
27	(4,3)	3
28	(0,2)	1
29	(8,3)	7
30	(4,5)	4

Figura 1

A distância ($\times 10$ km) entre o fornecedor F_i e o fornecedor F_j , na rede de fornecedores, é representada pela matriz da Figura 2, para $i=1$ a 30 e $j=1$ a 30:

	F _i																													
F _i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0	7	3	4	7	1	1	1	5	1	3	1	7	3	4	6	1	3	2	0	1	1	3	2	4	4	2	2	6	4
2	7	0	6	5	9	7	8	8	8	8	4	7	3	4	7	3	6	5	6	7	6	8	4	9	3	8	5	9	1	5
3	3	6	0	1	4	4	4	4	2	4	4	4	7	3	1	6	3	4	1	3	2	4	3	4	3	2	2	4	5	1
4	4	5	1	0	5	4	4	4	3	4	3	4	6	2	2	6	3	4	1	4	2	4	2	5	2	3	2	5	4	0
5	7	9	4	5	0	8	7	7	2	7	8	8	11	7	3	11	7	9	5	7	6	7	7	7	7	3	7	7	9	5
6	1	7	4	4	8	0	2	2	6	2	2	0	6	3	5	5	1	2	3	1	2	2	3	3	4	5	2	3	5	4
7	1	8	4	4	7	2	0	0	5	0	4	2	8	4	4	7	2	4	3	1	2	0	4	1	5	4	3	1	7	4
8	1	8	4	4	7	2	0	0	5	0	4	2	8	4	4	7	2	4	3	1	2	0	4	1	5	4	3	1	7	4
9	5	8	2	3	2	6	5	5	0	5	6	6	9	5	1	8	5	7	3	5	4	5	5	5	5	1	4	5	7	3
10	1	8	4	4	7	2	0	0	5	0	4	2	8	4	4	7	2	4	3	1	2	0	4	1	5	4	3	1	7	4
11	3	4	4	3	8	2	4	4	6	4	0	2	4	1	5	3	2	1	3	3	2	4	1	5	2	6	1	5	3	3
12	1	7	4	4	8	0	2	2	6	2	2	0	6	3	5	5	1	2	3	1	2	2	3	3	4	5	2	3	5	4
13	7	3	7	6	11	6	8	8	9	8	4	6	0	4	9	1	6	4	7	7	6	8	4	9	4	9	5	9	2	6
14	3	4	3	2	7	3	4	4	5	4	1	3	4	0	4	4	2	2	2	3	2	4	0	5	1	5	1	5	3	2
15	4	7	1	2	3	5	4	4	1	4	5	5	9	4	0	8	4	6	2	4	3	4	4	4	4	1	4	4	7	2
16	6	3	6	6	11	5	7	7	8	7	3	5	1	4	8	0	5	3	6	6	5	7	4	8	4	9	4	8	2	6
17	1	6	3	3	7	1	2	2	5	2	2	1	6	2	4	5	0	2	2	1	1	2	2	3	4	4	1	3	5	3
18	3	5	4	4	9	2	4	4	7	4	1	2	4	2	6	3	2	0	4	3	3	4	2	5	3	6	2	5	4	4
19	2	6	1	1	5	3	3	3	3	3	3	3	7	2	2	6	2	4	0	2	1	3	2	4	3	3	1	4	5	1
20	0	7	3	4	7	1	1	1	5	1	3	1	7	3	4	6	1	3	2	0	1	1	3	2	4	4	2	2	6	4
21	1	6	2	2	6	2	2	2	4	2	2	2	6	2	3	5	1	3	1	1	0	2	2	3	3	4	1	3	5	2
22	1	8	4	4	7	2	0	0	5	0	4	2	8	4	4	7	2	4	3	1	2	0	4	1	5	4	3	1	7	4
23	3	4	3	2	7	3	4	4	5	4	1	3	4	0	4	4	2	2	2	3	2	4	0	5	1	5	1	5	3	2
24	2	9	4	5	7	3	1	1	5	1	5	3	9	5	4	8	3	5	4	2	3	1	5	0	6	4	4	0	8	5
25	4	3	3	2	7	4	5	5	5	5	2	4	4	1	4	4	4	3	3	4	3	5	1	6	0	5	2	6	2	2
26	4	8	2	3	3	5	4	4	1	4	6	5	9	5	1	9	4	6	3	4	4	4	5	4	5	0	4	4	8	3
27	2	5	2	2	7	2	3	3	4	3	1	2	5	1	4	4	1	2	1	2	1	3	1	4	2	4	0	4	4	2
28	2	9	4	5	7	3	1	1	5	1	5	3	9	5	4	8	3	5	4	2	3	1	5	0	6	4	4	0	8	5
29	6	1	5	4	9	5	7	7	7	7	3	5	2	3	7	2	5	4	5	6	5	7	3	8	2	8	4	8	0	4
30	4	5	1	0	5	4	4	4	3	4	3	4	6	2	2	6	3	4	1	4	2	4	2	5	2	3	2	5	4	0

Figura 2

Anexo 3

Resultados da simulação para os cenários P0 e P0S para a rede de fornecimento JIT com 10 e 30 fornecedores.

	P0 - 10F				P0 - 30F				P0S-10F				P0S-30F			
	N=1	N=2	N=4	N=10	N=1	N=2	N=4	N=10	N=1	N=2	N=4	N=10	N=1	N=2	N=4	N=10
Transp	267	222	144	51	539	334	172	54	840	418	196	61	840	412	196	61
Entreg	840	420	196	61	840	420	196	61	840	421	196	61	849	421	196	61
Chegad	847	423	212	85	847	423	212	85	847	423	212	85	847	423	212	85
Produf	840	420	210	86	840	420	210	86	840	420	210	86	840	420	210	86
Carreg	840	420	196	61	840	420	196	61	840	418	196	61	840	412	196	61
Contol	847	420	196	61	847	420	196	61	849	416	196	61	844	419	195	61
Viajar	268	223	145	52	539	334	173	54	97	90	81	46	158	116	80	47
Nº de setups	540	338	183	75	540	338	183	75	540	338	184	75	540	338	183	75
Nºenc.atras.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0
Temp.atras.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	0	0
Dist. total percorrida	16680	14120	9660	3100	36340	23180	11400	3220	11390	10210	7750	3000	18870	13590	8210	3090
Utiliz. Célula	0.8353	0.8306	0.8266	0.8232	0.8353	0.8306	0.8266	0.8232	0.8348	0.8304	0.8265	0.8233	0.8355	0.8298	0.8264	0.8233
Comp. md waitpf	192.6	60.8	22.4	6.8	192.6	60.8	22.4	6.8		61.1	22.5	6.8		61.7	22.5	6.8
Tempo md Waitpf	38.6	34.5	32.9	37.6	38.6	34.6	32.9	37.6		36.1	33.4	37.6		38.8	33.2	37.6
Comp. md stock	329.2	124.4	47.7	23	185.5	68.9	37.4	22.2	329.2	125	48	23	183.8	69.4	37.9	22.2
Tempo md Stock	42.6	87.5	184.2	466.2	42.6	87.3	184.2	467	46.4	96.1	190.2	463.7	43.1	94.4	192.4	464.6
Comp. md Livre	16.5	16.9	17.9	19.1	22.7	25.3	27.6	29.1	17.3	17.5	18.2	19.1	25.4	26.8	28.1	29.1
Temp. md Livre	115.5	136.8	223.1	600.6	68.2	136.4	286.2	798.8	293.3	327.8	373.7	651.1	266.5	378.5	571.2	890.6
Stock	280478.4	435400	702907.2	2144520	158046	240598.8	551126.4	2073480	305498	480500	730368	2133020	158436	262054.4	583356.8	2062824
Ctranp	5266942	4414586	2934156	1003800	10964348	6882191.8	3484075.6	1042510.2	1737785	1623580	1398845	724080	2774801	2068290.4	1386140	736785

Resultados da simulação para os cenários PZZ e PZZ0S para a rede de fornecimento JIT com 10 e 30 fornecedores.

	PZZ - 10F				PZZ - 30F				PZZ0S - 10F				PZZ0S - 30F			
	N=1	N=2	N=4	N=10	N=1	N=2	N=4	N=10	N=1	N=2	N=4	N=10	N=1	N=2	N=4	N=10
Transp	267	222	144	51	539	334	172	54	840	421	196	61	840	421	196	61
Entreg	840	420	196	61	840	420	196	61	840	421	196	61	849	421	196	61
Chegad	847	423	212	85	847	423	212	85	847	423	212	85	847	423	212	85
Produf	848	420	204	72	848	420	204	72	848	420	204	72	848	420	204	72
Carreg	840	420	196	61	840	420	196	61	840	420	196	61	840	420	196	61
Contol	847	420	196	61	847	420	196	61	849	416	196	61	844	419	195	61
Viajar	268	223	145	52	539	334	173	54	97	90	81	46	158	116	80	47
Nº de setups	548	335	178	58	548	335	178	58	548	335	178	58	548	335	178	58
Nºenc.atras.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	0	0
Temp.atras.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	2	0	0
Dist. total percorrida	16680	14120	9660	3100	36340	23180	11400	3220	11390	10210	7750	3000	18870	13590	8210	3090
Utiliz. Célula	0.8341	0.83	0.8231	0.8174	0.834	0.83	0.8231	0.8174	-	-	0.8231	0.8174	-	0.83	0.8231	0.8174
Comp. md waitpf	200.3	74.5	38.5	20.8	200.3	74.5	38.5	20.8	0	0	38.5	20.8	0	0	38.5	20.8
Tempo md Waitpf	62.8	102.1	180.7	360	62.8	102.1	180.7	360	0	0	180.7	360	0	0	180.7	360
Comp. md stock	319	108.3	30.1	8.7	175.3	52.8	19.7	7.9	320.1	109.3	30.5	8.7	178	54.3	20.4	7.9
Tempo md Stock	19.8	23.6	44.3	144.6	18.8	22.9	43.6	145.8	27.6	31.4	47	143.4	28.7	30.6	47.8	145.2
Comp. md Livre	16.5	16.9	17.9	19.1	22.7	25.3	27.6	29.1	17.3	17.5	18.2	19.1	25.3	26.8	28.1	29.1
Temp. md Livre	115.5	136.8	223.1	600.6	68.2	136.4	286.2	796.4	293.3	327.8	373.7	648.3	266.5	377.9	571.2	890.6
Stock	126324	102235	106674	251604	65912.8	48364.8	68714	230364	176695	137280.8	114680	249516	102172	66463.2	78009.6	229416
Ctranp	5266941.7	4414586	2934156	1003800	10964348	6882192	3E+06	1042510	1737785	1623580	1398845	724080.2	2774801	2068290	1386140	736785.1

BIBLIOGRAFIA

Bibliografia

- A. Ansari e Batoul Modarress, 1988, Jit purchasing as a quality and productivity centre. *International Journal Production Research*, 1988, Vol. 26, Iss. 1, pg. 19-26
- Azevedo, A. L. and Sousa, J. P., (1999), An order promise system for distributed enterprises, *Workshop-Gestão da Cadeia Produtiva em Redes Empresariais*, Exponor, Porto, Portugal, 4 de Março
- Béranger, Pierre, 1987 "As novas regras de produção"
- Burns, L.D., Hall, R.W., Blumenfeld, D. E. and Daganzo, C.F., 1985, Distribution Strategies that Minimize Transportation and Inventory Costs, *Operations Research*, Vol. 33, Iss. 3, 469-490
- Chang T. M. and Y. Yih, 1994, Generic kanban systems for dynamics environments, . *International Journal Production Research*, 1994, Vol. 32, Iss. 4, pg. 889-902
- Camarinha-Matos, L. M., Afsarmanesh H., Garita C., Lima C., (1997), Towards an architecture for virtual enterprises, *Proc.of the 2nd World Congress on Intelligent Manufacturing Systems*, Hungary
- Dion, Paul A., David L. Blenkhorn and Peter M. Banting, 1992, Buyer experiences with JIT: some new roles for buyers. *The Mid-Atlantic Journal of Business*, Vol. 28, Iss. 2, pg. 113-123
- Extended Control and Simulation Language – Users Manual – Dr. A.T. Clementson, March 1982
- Ferrin, Bruce, 1994, Planning just-in-time supply operations: a multiple-case analysis. *Journal of Business Logistics*, Vol. 15, Iss. 1, pg. 53-69
- Gattorna, J. (Ed), 1983, *Handbook of physical distribution management*, 3rd edition, Gower Publishing Company Ltd
- Golhar, Damodar Y. and Carol L. Stamm, 1991, The Just-in-time philosophy: A literature review, *International Journal of Production Research*, Vol. 29, Iss. 4, pg. 657-676
- Golhar, Damodar Y. and Carol L. Stamm, 1993, Jit purchasing practices in manufacturing firms, *Production and Inventory Management Journal*, Third quarter, pg. 75-79
- Golhar, D. Y., and Sarker, B. R., 1992, Economic manufacturing quantity in a just-in-time delivery system. *International Journal of Production Research*, Vol. 30, Iss. 5, pg. 961-972

- Golhar, D. Y., and Sarker, B. R., 1993, A replay to 'A note on ', Economic manufacturing quantity in a just-in-time delivery system" '. International Journal of Production Research, Vol. 31, Iss. 11, pg. 2749
- Gooley, Toby B., 1995, UK report recommends scaling back JIT deliveries, Traffic Management, Vol. 34, Iss. 3, pg.73A.
- Guimarães A. Rodrigues, 1988, Simulação, Universidade do Minho
- Hahm, J. and Yano, C. A., 1992, The economic lot and delivery scheduling problem: the single item case. International Journal of Production Economics, Vol. 28, pg. 235-252
- Hay, Edward J., 1991, A descoberta do “Just-in-time”
- Li Zhuang, 1993, A note on ", Economic manufacturing quantity in a just-in-time delivery system". International Journal of Production Research, Vol. 31, Iss. 11, pg. 2747-2748
- Lubben, Richard T., 1989, Just-in-time uma estratégia avançada de produção
- Mahmoodi, Farzad, and Martin, G.E., 1994, Optimal supplier delivery scheduling to JIT Buyers. Logistics & Transportation Review, Vol. 30, Iss. 4, pg. 353-361
- Newman, R. G., 1988, The buyer-supplier relationship under just-in-time. Production and Inventory Management, Vol. 29, Iss. 3, 45-50
- O’Neal, Charles R. and Bertrand, Kate, 1991, Developing a winning J.I.T. Marketing Strategy, Small Business Reports, Vol. 16, Iss. 10, pg. 68-71
- O’Neill, Henrique and Sackett, Peter, 1996, The extended enterprise reference framework, Balanced Automation Systems, BASYS'96, Chapman & Hall
- Pleschberger, Thomas E, and Hitomi, Katsundo, 1994, Just-in-time shipments in a truck-traffic-coordination system, International Journal of Production Economics, Vol.33, Iss. 1-3, pg. 195-205
- R.M. Lima e S.C. Silva, 1998, Object Oriented Modelling of Product Oriented, Manufacturing Systems, Proceedings of the Internacional Conference on Information Technology for Balanced Automation Systems in Manufacturing, (BASYS'98), Praga, República Checa, 26 a 28 de Agosto
- Spearman, Mark L. and Machael A. Zazanis, 1992, Push and Pull production systems: issues and comparisons, Operations Research, Vol. 40, Iss. 3, pg. 521- 532
- St. John, C. H. and Kirk C. Heriot, 1993, Small Suppliers and JIT Purchasing, International Journal of Purchasing and Materials Management, Vol. 29, Iss. 1, pg. 11-16