FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Licenciatura em Gestão e Engenharia Industrial

Optimização do Tamanho do Lote de Fabrico utilizando Técnicas de Simulação

Alexandra Castro

Orientadores

Eng. António Clemêncio

Prof. Manuel Pina Marques

Maia, Outubro 1996

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Licenciatura em Gestão e Engenharia Industrial

Optimização do Tamanho do Lote de Fabrico utilizando Técnicas de Simulação

Alexandra Castro

Orientadores

Eng. António Clemêncio

Prof. Manuel Pina Marques

Maia, Outubro 1996

© 1996 Texas Instruments - Samsung, Electrónica (Portugal), Lda.

THE INFORMATION AND/OR DRAWINGS SET FORTH IN THIS DOCUMENT AND ALL RIGHTS IN AND TO INVENTIONS DISCLOSED HEREIN AND PATENTS WHICH MIGHT BE GRANTED THEREON DISCLOSING OR EMPLOYING THE MATERIALS, METHODS, TECHNIQUES, OR APPARATUS DESCRIBED HEREIN ARE THE EXCLUSIVE PROPERTY OF TEXAS INSTRUMENTS - SAMSUNG ELECTRÓNICA PORTUGAL.

NO DISCLOSURE OF INFORMATION OR DRAWING SHALL BE MADE TO ANY OTHER PERSON OR ORGANIZATION WITHOUT THE PRIOR CONSENT OF TEXAS INSTRUMENTS - SAMSUNG ELECTRÓNICA PORTUGAL.

621(043) DeMEC/GEI 5D 1996/CAS2

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
Biblioteca M
Nº 68061
CDU 621(043)
Data 4 / 8 /2003

AGRADECIMENTOS

Ao Engenheiro António Clemêncio, coordenador do estágio por parte da TISEP, pela disponibilidade e colaboração que sempre demonstrou e pelo apoio e confiança que revelou em todos os momentos.

Ao Professor Manuel Pina Marques, coordenador do estágio ao nível da FEUP, pelos conselhos dispensados e pela disponibilidade revelada ao longo de todo o estágio.

Aos Supervisores de Produção e às operadoras, especialmente do SBU 5, pelo apoio e paciência que revelaram. Sem a sua colaboração e empenho este estágio não teria obtido os mesmos resultados.

Ao Engº António Nunes, ao Engº Carlos Freitas e ao Engº Luís Cunha pela colaboração oferecida em alturas críticas do estágio.

Ao Engº João Cortez pelas leituras críticas que contribuíram para a melhoria deste relatório.

A todos os elementos da TISEP que colaboraram na realização deste projecto, pela atitude positiva sempre demonstrada e pela disponibilidade no esclarecimento de todas as dúvidas que surgiram.

A todos os elementos do GEIN que directa ou indirectamente colaboraram na realização deste estágio, e em especial ao Professor Alcibíades Paulo Guedes.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO 1

DESCRIÇÃO DO ESTÁGIO 2

DESCRIÇÃO DA EMPRESA 4

1. Texas Instruments-Samsung Electrónica, Port. Lda 4

2. Texas Instruments Corporation 6

3. Samsung Electronics Company 6

DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO 8

1. Processo Produtivo dos Produtos TI 10

1.1. Recepção das *Wafers* (Incoming) 11

1.2. Lançamento dos Lotes (Starts) 12

1.3. Preparação dos *Dies* (Die *Prep)* 12

1.4. Montagem dos *Dies* (Mount) 13

1.5. *Bond* 13

1.6. Moldagem do *Die* em Plástico (Mold) 13

1.7. Cura de *Mold* 14

1.8. Lavagem das Unidades (Degrease) 15

1.9. Simbolização das Unidades (Symbol) 15

1.10. Corte e Conformação das Unidades (Trim *Form)* 15

1.11. *Revestimento das* Unidades com Solda (Solder *Dip*) 16

1.12. Singularização das unidades (Singulate) 16

1.13. Inspecção Visual e Mecânica (V/M) 17

1.14. Teste Eléctrico das Unidades (Test) 17

1.15. Embalagem das Unidades (Pack) 19

1.16. Expedição das Unidades (Shipping) 20

2. Fluxo das Encomendas dos Produtos TI 20

3. Fluxo do Material de Transporte 22

FORMULAÇÃO E ANÁLISE DO PROBLEMA 24

1. Análise da Situação Actual 25

1.1. Dimensão do Lote de Fabrico 26

1.2. Tempo de *Setup* e Transporte 28

1.3. Procura dos Produtos TI 31

1.4. Vantagens do Aumento ou da Diminuição do Lote de Fabrico 34

2. Definição da Abordagem a Adoptar 35

2.1. Quantidade Económica de Produção 36

INTRODUÇÃO À SIMULAÇÃO 39

TESTSIM/X 44

1. Componentes e variáveis do TestSim/X 44

1.1. Regras da Fábrica 45

1.2. Turnos de Laboração 45

1.3. Áreas de Trabalho 46

1.4. Estações de Trabalho (Work *Stations)* 46

1.5. Processos 47

1.6. Períodos 47

1.7. Produtos 48

2. Simulação de Acontecimentos em TestSim/X 49

2.1. Equipamento 50

2.2. Operadoras 52

2.3. Técnicos 53

2.4. Produtos 53

3. Interface do TestSim/X com o utilizador 54

3.1. *Capacity Simulation Monitor Menu Bar* 57

MODELAÇÃO DO SBU 5 62

1. Recolha de Dados e Modelação das Áreas de *Assembly* 63

1.1. Regras da Fábrica (Factory *Rules)* 63

1.2. Turnos de Laboração 64

1.3. *Work Area* "Assembly" 65

1.4. Estações de Trabalho (Work *Stations)* e Equipamento 71

1.5. Processos 84

1.6. Produtos 88

2. Recolha de Dados e Modelação das Áreas de *Finish* e *Degrease* 93

2.1. Áreas de Trabalho (Work *Areas)* 94

2.1.1. *Área de* Trabalho "Finish" 94

2.1.2. *Área de* Trabalho "EstacaoD" 96

2.2. Estações de Trabalho (Work *Stations)* e Equipamento 97

2.3. Processos 105

3. Recolha de Dados e Modelação das Áreas de *Test* e *Pack* 107

3.1. *Área de Trabalho "TestTape"* 107

3.2. Estações de Trabalho (Work *Stations)* e Equipamento 108

3.3. Processo 119

4. Kanban ou *Pull Cards* 124

5. *Work Area* "ZDummy" 125

6. Validação Final do Modelo de Simulação 126

6.1. Validação a partir do *Event Log* 127

6.2. Validação a partir dos Relatórios de TestSim/X 127

ANÁLISE "*WHAT IF*" **134**

1. Análise de Cenários Alternativos 136

1.1. Cycle Time *versus* Taxa de Produção 136

INTRODUÇÃO

A Licenciatura de Gestão e Engenharia Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto inclui no seu programa académico um estágio curricular a efectuar numa empresa e que substitui o segundo semestre do último ano lectivo. Este estágio surgiu neste contexto e teve uma duração média de 6 meses. Foi supervisionado pelo Engº. Manuel Pina Marques, docente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, e pelo Engº. António Clemêncio, Director do Departamento de Engenharia Industrial da TISEP (Texas Intruments - Samsung, Electrónica (Portugal), Lda.).

DESCRIÇÃO DO ESTÁGIO

Descrição sucinta dos objectivos e actividades compreendidas durante o estágio.

O estágio que decorreu na Texas Instruments-Samsung Electronics, Portugal, Lda. (TISEP) teve como principal objectivo a **melhoria do planeamento da produção** a partir de uma **optimização do tamanho do lote de fabrico** utilizado em toda a fábrica.

A definição da dimensão do lote ideal foi efectuada com o auxílio de um *package* informático de simulação, o TestSim/X, adquirido pela Texas Instruments Corporation à TYECIN, uma empresa de *software* de simulação, para todas as suas empresas subsidiárias, entre as quais se inclui a TISEP.

A primeira parte do estágio consistiu na aprendizagem do *software* através da leitura do Manual de TestSim/X e através da construção de pequenos modelos de simulação. Numa segunda fase foi construído um modelo base que representa a linha de fabrico dos produtos 14 *Fast*, uma das cinco linhas de produtos TI (Texas Instruments) que a TISEP fabrica, com o objectivo de optimizar a dimensão do lote de fabrico. A partir deste modelo base foram simulados diversos cenários alternativos e avaliados os resultados até à determinação da dimensão óptima.

O modelo base construído foi ainda utilizado no projecto de implementação dos Módulos *Soft-Link* de *Assembly* (módulos com equipamentos de montagem dos circuitos integrados ligados não fisicamente). Os módulos de *Assembly* consistem numa ligação fictícia de dois tipos diferentes de equipamento (*Mounters* e *Bonders*). O objectivo é obrigar a que todos os lotes que passam por uma determinada *Mounter* (equipamento que faz a colagem do circuito a um rectângulo de paládio) sejam processados obrigatoriamente por uma *Bonder* pré-definida (as *Bonders* são o equipamento que fazem a ligação eléctrica, em fio de ouro,

entre o rectângulo de paládio e os contactos do circuito, através de uma micro-soldadura). O facto de uma *Mounter* ter uma capacidade 2,5 vezes superior a uma *Bonder* fez aumentar a dificuldade de implementação deste conceito.

Durante a implementação dos módulos de *Assembly* levantou-se uma questão importante: qual a dimensão do *lote virtual*? O *lote virtual* é o lote que transita de *Mount* para *Bond* e que pode ser inferior (ou superior) ao lote real. Esta questão está ainda em aberto pois não foi possível chegar ainda a um consenso por todos os elementos da equipa de implementação dos Módulos de *Assembly*.

O projecto dos Módulos de *Assembly* está detalhadamente descrito no Apêndice 1.

DESCRIÇÃO DA EMPRESA

Breve apresentação da empresa e do meio ambiente em que se insere.

A empresa onde decorreu o estágio, a TISEP (Texas Instruments-Samsung Electrónica, (Portugal), Lda), é uma reconhecida empresa do Norte do País. Trata-se de uma *joint-venture* entre os americanos da Texas Instruments Corporation, que detêm a maioria do capital (62%), e os coreanos da Samsung.

Actualmente, é a única indústria de semicondutores situada em Portugal.

1. Texas Instruments-Samsung Electrónica, Port. Lda

A TISEP está localizada na zona industrial da Maia e tem como função produtiva a montagem e teste de circuitos integrados (também designada por fábrica de *Assembly Test* ou de *Back-End*). As instalações fabris, num total de 6 edifícios, ocupam uma área de 15.000 m^2 e acolhem cerca de 800 colaboradores de todas as áreas.

Originalmente, a TISEP nasceu apenas como uma filial da Texas Instruments Corporation, em 1973, para produção de circuitos integrados DIP (*Dual Inline Package*). Actualmente, produz circuitos do tipo VLSI (*Very Large Scale Integration,* "Muito Larga Escala de Integração") e circuitos avançados SSOP (*Shrink Small Outline Package*), por parte da Texas Instruments, e memórias DRAM de 4Mb e 16 Mb, por parte da Samsung.

A TISEP monta e testa actualmente mais de 300 produtos diferentes e o seu volume de produção mensal excede os 40 milhões de unidades. Esta organização sempre demonstrou um empenho muito forte numa gestão de Qualidade Total que foi reconhecido, nacional e internacionalmente, pela obtenção do Prémio Europeu de Qualidade e do Trofeu de Ouro do Prémio de Excelência do IPQ.

Resumidamente, segue-se uma sucinta apresentação cronológica dos momentos mais importantes da TISEP ao longo dos seus 23 anos de actividade:

29 de Janeiro de 1973	Início de actividade da Texas Instruments-Equipamento Electrónico (Portugal), Lda.
Junho 1973	Início das operações de Montagem e Teste com um total de 30 colaboradores.
1976	Início da produção de circuitos lineares e venda de produtos de consumo (calculadoras electrónicas).
1983	Adoptados os princípios de Qualidade Total para as operações de Montagem e Teste.
1990	Construção de uma sala limpa 100K.
1992	Vencedora do 1° Prémio Nacional de Qualidade
1993	Construção de duas salas limpas: a sala de 1K e a sala de 10K.
1994	Formação da Texas Instruments-Samsung Electrónica, Portugal, Lda após a *joint-venture* com a Samsung Electronics Company.
1995	Troféu de Ouro do prémio de Excelência (PEX) promovido pelo Instituto Português de Qualidade e pelo Ministério da Indústria e Energia.

2.Texas Instruments Corporation

A Texas Instruments Incorporated foi fundada como "Geophisical Service Inc." em 16 de Maio de 1930 em Dallas por J. Clarence Karcher e Eugene McDermott. O nome actual da companhia data de 1951, altura em que tomou posse o primeiro presidente da TI, John Erik Jonsson.

As actividades da Texas Instruments dividem-se por 5 grandes áreas: Semicondutores, Sistemas Electrónicos Militares, Computadores e Periféricos, Ferramentas de *Software* e Controlo e Materiais.

A Texas Instruments Incorporated tem cerca de 300 escritórios de vendas e fábricas em mais de 30 países, empregando mais de 60.000 pessoas.

3. Samsung Electronics Company

A Samsung Electronics Company (SEC) é uma subsidiária do Grupo Samsung sediado em Seul, na Coreia do Sul. O Grupo Samsung possui uma variada carteira de negócios que variam desde a Electrónica, Químicos e Máquinas até Seguros, Finanças e Medicina. Possui cerca de 300 escritórios e fábricas de produção em 65 países e emprega mais de 200.000 pessoas.

O Grupo Samsung foi fundado em 1938 mas apenas em 1969 é criada a Samsung Electronics, tornando-se de imediato o maior fabricante do mundo de televisores a preto e branco. A produção de memórias DRAM foi iniciada apenas em 1983 e a Samsung é

actualmente o maior produtor mundial de memórias dinâmicas e o sétimo produtor mundial na indústria de semicondutores.

DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO

Descrição sumária do processo produtivo dos produtos SOIC da TI e da actual filosofia de produção da TISEP.

A Texas Instruments-Samsung Electrónica Portugal, Lda é uma unidade de Montagem e Teste (*Assembly Test*) de circuitos integrados.

O sistema produtivo dos circuitos integrados Texas Instruments tem uma estrutura dividida em células de fabrico, os SBUs (*Small Business Units*, "Pequenas Unidades de Negócio"). Cada SBU está dedicado a um tipo de produtos que se diferenciam entre si pelo número de pinos de cada circuito. Deste modo, existe a seguinte divisão:

- SBU 1: Produtos SSOP (circuitos integrados de 48 e 56 pinos), uma gama de circuitos mais sofisticada e complexa.
- SBU 2: Produtos 14/16 STD (*Standard*), circuitos com 14 e 16 pinos.
- SBU 3: Produtos de 20 pinos.
- SBU 4: Produtos de 8 pinos.
- SBU 5: Produtos 14 *Fast*, assim denominados por serem circuitos integrados de 14 pinos que seguem um processo de produção mais simples, logo, mais rápido.

Os produtos SSOP são uma gama de produtos avançados relativamente recente e está em fase de expansão. Esta gama inclui os circuitos de 48 e 56 pinos. Por outro lado, os produtos SOIC (*Small Outline Integrated Circuits*) são produtos já na sua fase de maturidade e englobam os circuitos de 8, 14 e 16 pinos.

Dentro de cada SBU, o número de *devices* produzidos é muito elevado. *Device* é a designação fornecida a um dado produto e que agrega os circuitos integrados que são produzidos segundo a mesma sequência e que possuem os mesmos parâmetros de funcionamento. Por cada SBU, com excepção do SBU 1, existem mais de 200 *devices* diferentes.

Cada SBU comporta-se como se fosse uma fábrica independente, com equipamentos e operadoras dedicados. Só em situações extraordinárias é que estes recursos perdem a sua exclusividade.

A lógica da produção em células de fabrico é uma situação relativamente recente na TISEP. Anteriormente a produção seguia uma estrutura organizada por funções, isto é, todos os equipamentos que executavam a mesma operação estavam todos agrupados e podiam produzir qualquer tipo de circuito integrado. Embora a flexibilidade fosse maior, existiam certas perdas de produtividade importantes e era exigido uma maior supervisão e acompanhamento dos lotes.

Como a procura semanal por *Pin Count* (número de pinos de um circuito integrado), é um valor sensivelmente constante, esta situação não era a mais adequada. Com uma ligeira perda de flexibilidade, a restruturação em SBUs conseguiu obter ganhos de produtividade importantes e reduzir o *Cycle Time* (tempo médio de produção de um produto) para apenas 2-3 dias.

Com o "*Empowerment*", uma nova filosofia de gestão em vigor na TISEP que consiste na simplificação do organograma da empresa e no aumento do poder de decisão dos níveis hierárquicos mais baixos, e a criação de GATs (Grupos Autónomos de Trabalho), grupos de operadoras que se reunem semanalmente para discutir assuntos relativos à produção, as próprias operadoras de linha passaram a ser responsáveis pelo cumprimento da produção diária prevista, pela qualidade e controlo do processo e pela gestão operacional de pessoas e máquinas.

1. Processo Produtivo dos Produtos TI

Essencialmente, todos os tipos de produtos Texas Instruments (TI) seguem o mesmo fluxo produtivo. No entanto, existem certos processos destinados apenas a alguns dos produtos, como é o caso do *Solder Dip* por exigências do cliente, ou o caso do *Burnin* para os produtos SSOP.

O esquema de produção para os produtos SOIC (circuitos de 8, 14 e 16 pinos), está representado na Figura 1.

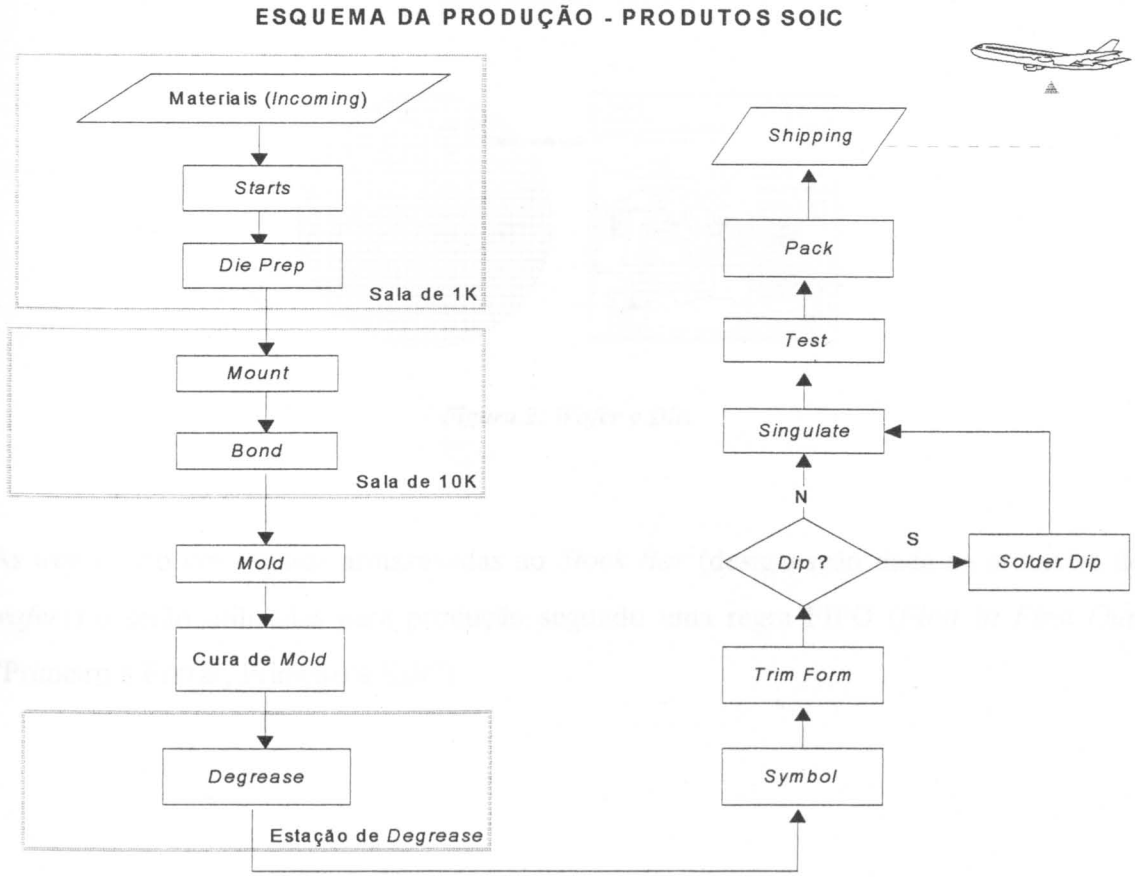


Figura 1: Esquema da produção dos produtos TI SOIC.

É conveniente fazer uma breve apresentação de cada processo de modo a tornar mais claros todos os elementos que serão referidos nos próximos capítulos.

1.1. Recepção das *Wafers* (*Incoming*)

O *Incoming* é a área onde se faz a recepção da matéria-prima, as *wafers*, e as inspecções de Qualidade. As *wafers* são discos de silício de pequena espessura, com milhares de *dies* (circuitos integrados).

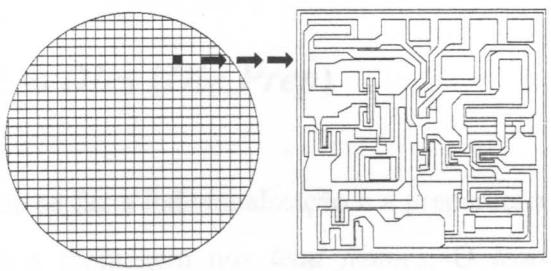


Figura 2: Wafer e Die.

As *wafers* são em seguida armazenadas no *Stock Bar* (desiganação dada ao armazém de *wafers*) e serão utilizadas para produção segundo uma regra FIFO (*First In First Out*, "Primeiro a Entrar, Primeiro a Sair").

1.2. Lançamento dos Lotes *(Starts)*

Os *Starts* (área de lançamento da produção) preparam os lotes de *wafers* que serão lançados para a linha. Cada lote de *wafers* possui geralmente 2 ou mais lotes de fabrico que serão separados apenas após a operação de *Mount*.

Um lote de fabrico é o lote que circula por todo o processo produtivo e que nunca pode ser dividido. Está sempre acompanhado por um *Lot Traveller*, um documento preparado em *Starts* que contém todas as especificações de produção e características do produto de cada lote. Cada lote apenas agrega unidades do mesmo produto.

1.3.Preparação dos *Dies* (*Die Prep*)

O *Die Prep* é a área onde se faz a individualização e a preparação dos *dies* (o mesmo que *chip*) para permitir a sua montagem nos *lead frames*. O *lead frame* é um pequeno rectângulo de paládio onde são colocados os pequenos *dies*. Cada *lead frame* contém mais de 30 *dies*, podendo chegar até aos 120 *dies*..

O principal objectivo desta operação é individualizar os circuitos, que são recebidos sob a forma de *wafers*, e colocá-los ordenadamente sobre um plástico aderente (o *foil*) com o objectivo de tornar mais eficiente a operação seguinte, o *Mount*. A separação dos *dies* é conseguida através de um corte milimétrico efectuado por uma lâmina de diamante.

1.4. Montagem dos *Dies* (*Mount*)

A operação de *Mount* faz parte da área de *Assembly*. Esta operação é realizada por várias máquinas (as *Mounters*) que, por sua vez, estão ligadas a um computador (o MAC). Esta operação consiste na colagem do *die* ao *lead frame* através de uma cola especial, o *epoxy*.

1.5. *Bond*

As *Bonders*, máquinas que efectuam a operação de *Bond*, são actualmente equipamentos com uma dupla função:

1. fazem a chamada cura de *epoxy*, através de uma resistência eléctrica, o RCP (*Rapid Cure Process*, "Cura Rápida em Processo"), que aquece as unidades a elevadas temperaturas durante poucos minutos;
2. fazem a ligação em fio de ouro do *die* ao *lead frame* através de uma micro-soldadura. Essa ligação é essencial pois permite a passagem da corrente eléctrica entre os pinos do circuito integrado e o seu interior, o *die*.

1.6. Moldagem do *Die* em Plástico (*Mold*)

Na área de *Mold* procede-se ao encapsulamento dos circuitos. A finalidade primária do encapsulamento é a sua protecção. Mas existem ainda outros objectivos importantes, tais como, servir de suporte ao símbolo (identificação do circuito integrado) e fazer a condução para o exterior do calor gerado no funcionamento da unidade.

O *Mold Compound* ("Composto para Moldagem") é o plástico utilizado na moldagem das pequenas unidades que contêm os circuitos. Este plástico deve preencher alguns requisitos de ordem eléctrica e electrónica, dependentes do tipo de circuito e da sua futura utilização. Isto explica porque se utilizam *Mold Compounds* diferentes de circuito para circuito.

Utilizam-se diversos tipos de equipamentos para efectuar o *Mold* de um lote:

- a Prensa de *Mold*: faz o revestimento do circuito em plático, por acção do calor, injectando o plástico líquido na cavidade do molde.
- o *Auto-Loader*: retira automáticamente os *lead frames* com os circuitos do *magazine* (um magazine é um pequeno armário de *lead frames* que facilita o transporte dos lotes de área para área) e coloca-os numa grelha que será colocada na Prensa pela operadora.
- o *Pre-Heater*: aquece previamente o plástico que será em seguida introduzido na Prensa de *Mold*.

Contudo, considerara-se que existe apenas um equipamento, a Prensa, e que todos estes equipamentos funcionam como um módulo.

1.7. Cura de *Mold*

Após o processo de *Mold*, as unidades devem sofrer um processo de cura num forno durante um período de tempo pré-determinado (aproximadamente 5 horas). Essa cura destina-se a aumentar a resistência e a durabilidade do *Mold Compound*.

1.8. Lavagem das Unidades (*Degrease*)

O Degrease ("Retirar a Gordura do Plástico") é uma operação efectuada numa área particular, a Estação de *Degrease*, e consiste numa lavagem do *Mold Compound* que reveste o circuito. As unidades são mergulhadas sucessivamente em 3 tanques a altas temperaturas. Cada tanque possui um líquido químico diferente e no último tanque faz-se a secagem do material.

Os produtos SSOP não efectuam a operação de *Degrease*.

1.9. Simbolização das Unidades (*Symbol*)

O processo de simbolização destina-se unicamente a identificar o circuito integrado.

O equipamento utilizado no processo de Simbolização tem a designação de *Laser Matrix*. A *Laser* é um equipamento que queima na superfície do circuito integrado todas as indicações necessárias para a sua identificação. As unidades são introduzidas e posicionadas debaixo de um raio laser que atravessa uma máscara de vidro com os caracteres que se pretendem marca. Não é possível recuperar as unidades mal simbolizadas. Essas unidades são imediatamente rejeitadas.

1.10. Corte e Conformação das Unidades (*Trim Form*)

O processo de *Trim/Form* fica imediatamente a seguir à operação de *Symbol*. Geralmente, o material após ser simbolizado na *Laser*, segue através de um pequeno tapete rolante directamente para a máquina de *Trim e Form*.

Esta máquina, uma pequena prensa pneumática, tem uma dupla função:

1. efectuar o *Trim*, isto é, o corte dos pinos de cada circuito.
2. fazer o *Form*, a conformação dos pinos para a sua forma correcta (virados para baixo).

A seguir a esta área, os produtos ou vão para o *Solder Dip* ou vão directamente para a operação de *Singulate*.

1.11. Revestimento das Unidades com Solda (*Solder Dip*)

Esta operação consiste na cobertura dos pinos do *lead frame* com solda. Actualmente, apenas uma pequena percentagem da produção faz *Solder Dip*. Por exemplo, nenhum dos produtos designados por 14 *Fast* (SBU 5) efectuam este passo.

1.12. Singularização das unidades (*Singulate*)

A função desta área é dar o acabamento em circuito integrado- a Unidade- pois até este momento todo o material estava colocado em *lead frames*.

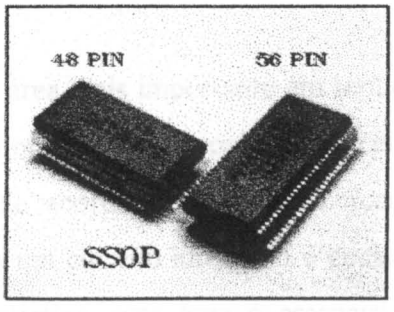


Figura 3: Circuitos integrados

No SBU 4 (produtos de 8 pinos) as operações de *Symbol*, *Trim Form* e *Singulate* estão todas agregadas num só equipamento.

1.13. Inspecção Visual e Mecânica (V/M)

Com as unidades já completamente produzidas, é necessário testá-las.

O primeiro teste é a chamada inspecção Visual e Mecânica. Esta inspecção é feita, visualmente, por uma operadora e todas as unidades de um lote são verificadas.

Os tipos de defeitos que frequentemente se detectam nesta fase são, por exemplo:

- unidades mal simbolizadas
- unidades lascadas ou cortadas
- unidades contaminadas (devido a uma má Cura de Mold)
- *Bent Leads* (pinos tortos).

1.14. Teste Eléctrico das Unidades (*Test*)

A área de Teste Eléctrico é a área mais importante em termos da Qualidade dos circuitos integrados comercializados. O objectivo principal é o teste eléctrico dos circuitos de modo a confirmar se estes estão de acordo com as especificações estabelecidas e com as exigências dos clientes. Como um circuito integrado é composto por pequenos elementos eléctricos encapsulados em plástico, esta área é essencial para assegurar um nível de satisfação dos clientes próximo de 100%.

De um modo geral, existem dois tipos de testes eléctricos:

- Teste AC: é o teste de medição do tempos de resposta da unidade;
- Teste DC: é o teste de medição dos valores de tensão ou corrente.

Estes testes podem ser efectuados à temperatura ambiente ou a alta temperatura (80°C ou 120°C).

Os equipamentos da área de *Test* são :

- *Tester*: É a máquina que efectua os testes eléctricos às unidades consoante o programa que a operadora introduz.
- *Handler*: É um equipamento que manuseia as unidades, colocando-as na posição correcta para serem testadas. Depois de testar cada unidade, faz a segregação do material, separando as unidades boas das rejeitadas.
- *Hardware*: Não é um equipamento, mas sim uma peça ou ferramenta, que faz a *interface* entre a *Tester* e a *Handler*.

A *Tester* a utilizar para cada circuito depende do tipo de teste eléctrico a efectuar. Assim, podemos ter:

- HSM: Faz um teste DC.
- TL1: Faz um teste linear DC e destina-se exclusivamente aos circuitos integrados lineares.
- IMPACT: Faz um teste DC+AC

Mas, também existem diferentes tipos de *Handlers*:

- SSG: Permitem fazer dois testes simultâneos, um a alta temperatura e outro à temperatura ambiente.

- STG: São as mais utilizadas e só permitem testar a uma temperatura (ou à temperatura ambiente ou a alta temperatura).
- KWANO: Utilizadas especialmente para os produtos SSOP.

As unidades rejeitadas são segregadas segundo o tipo de defeito que apresentam:

- Continuidades: Não existe continuidade da corrente eléctrica entre o *die* e o pino da unidade.
- Funcionais: A unidade não executa as funções para as quais foi desenhada.
- Paramétricas: A unidade não cumpre os parâmetros pré-especificados para as suas funções.

1.15. Embalagem das Unidades (*Pack*)

Na área de *Pack* é feita a embalagem dos lotes de fabrico.

Existem dois tipos de embalagens diferentes: bobines e tubos. Cada uma destas embalagens obriga a procedimentos diferentes e à utilização de equipamento diferenciado.

A embalagem em bobines é a mais comum e é efectuada por máquinas de *Tape&Reel*. Essencialmente, este equipamento tem como objectivo transferir as unidades, depois de testadas electricamente, para uma fita de alvéolos (o *Reel*), que posteriormente é coberta por uma fita transparente (a *Cover*). A *cover*, por acção calorífica, torna-se adesiva protegendo as unidades nos alvéolos. O processo é efectuado unidade a unidade. Paralelamente, e para garantir a qualidade mecânica e de simbolização das unidades, um monito do equipamento efectua uma inspecção a 100% por símbolo (garantir de que não existem unidades identificadas com um símbolo errado ou pouco legível) e por *bent leads* (verificar se existem unidades com pinos tortos).

Quanto à embalagem em tubos, esta é realizada por uma máquina designada por *LIS*, que faz a transferência das unidades das placas para tubos. Simultaneamente, é efectuada uma inspecção a 100% por *bent leads*.

As bobines e os tubos completos são colocados em caixas de cartão. Tanto as caixas como as bobines estão identificadas através de etiquetas com códigos de barras. Estas caixas são colocadas num AGV (*Automated Guided Vehicle*) e transportadas para a área seguinte, o *Shipping*.

1.16. Expedição das Unidades (*Shipping*)

O *Shipping* faz a expedição dos lotes para o armazém central dos produtos Texas Instruments situado na Holanda. No caso das memórias da Samsung, a expedição é feita directamente para o cliente.

Antes da embalagem definitiva das unidades, é efectuada uma última inspecção visual a uma pequena amostra de unidades de cada lote.

2. Fluxo das Encomendas dos Produtos TI

Depois de um breve resumo do processo produtivo dos produtos SOIC dentro da TISEP, que transforma um *chip* de uma *Wafer* num circuito integrado pronto a ser comercializado, é conveniente descrever o fluxo das encomendas de produtos TI (Texas Instruments).

Sucintamente, podemos afirmar que o fluxo de uma encomenda é o seguinte:

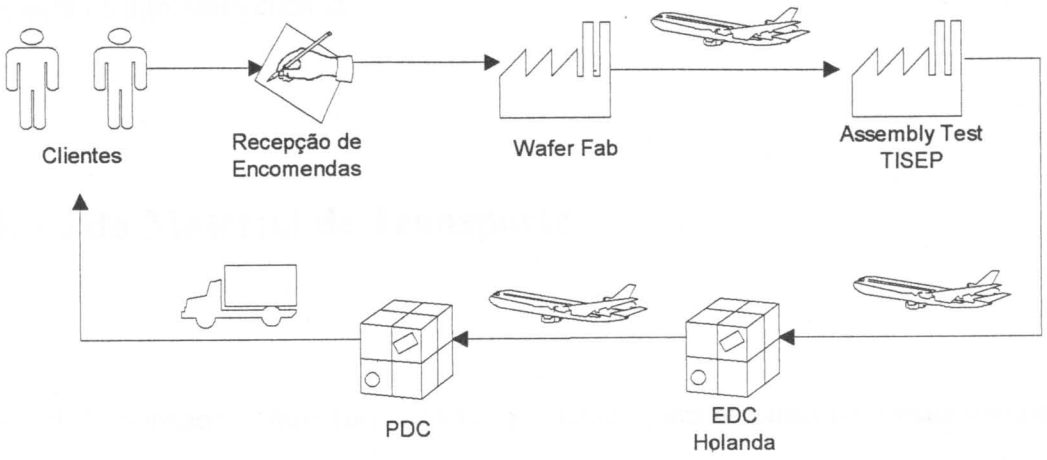


Figura 4: Fluxo das encomendas dos produtos TI.

Desde que uma encomenda é colocada à Texas Instruments até que os produtos chegam ao seu destino final, existe um lapso de tempo correspondente a um mês.

Dentro deste período de tempo apenas 2 ou 3 dias são da responsabilidade das fábricas de *Assembly Test*, como a TISEP.

As encomendas são todas recebidas e agregadas em Dallas, nos Estados Unidos, e semanalmente são distribuídas pelas diferentes fábricas que a Texas Instruments possui por todo o mundo.

As fábricas de *wafers* (*Wafer Fabs*) produzem os *chips* sob a forma de *wafers*. Geralmente, estão situadas em países altamente industrializados e utilizam equipamentos de alta tecnologia. As *wafers* produzidas são depois enviadas para as fábricas de *Assembly Test*, onde o circuito é montado e testado até sair como produto final, o circuito integrado.

Todos os circuitos integrados TI produzidos na TISEP são enviados para o armazém central situado na Holanda, o EDC (*European Distribution Center*). A partir daí, são

enviados para os diferentes entrepostos, os PDC (*Product Distribution Center*), que os enviam para os diferentes clientes.

3. Fluxo do Material de Transporte

O material de transporte (*handling material*) utilizado para a transição e manuseamento dos lotes de um equipamento para o equipamento seguinte é bastante variado, com formas e capacidades diferentes.

Para um correcto dimensionamento do lote de fabrico é necessário estudar com cuidado o tipo de *handling material* utilizado, analisando-o essencialmente do ponto de vista da sua capacidade e maneabilidade.

Foi estudado, ao longo da linha de produção, o fluxo do material de transporte que foi resumido no diagrama da Figura 5. O estudo restringiu-se à linha de produtos 14 *Fast*.

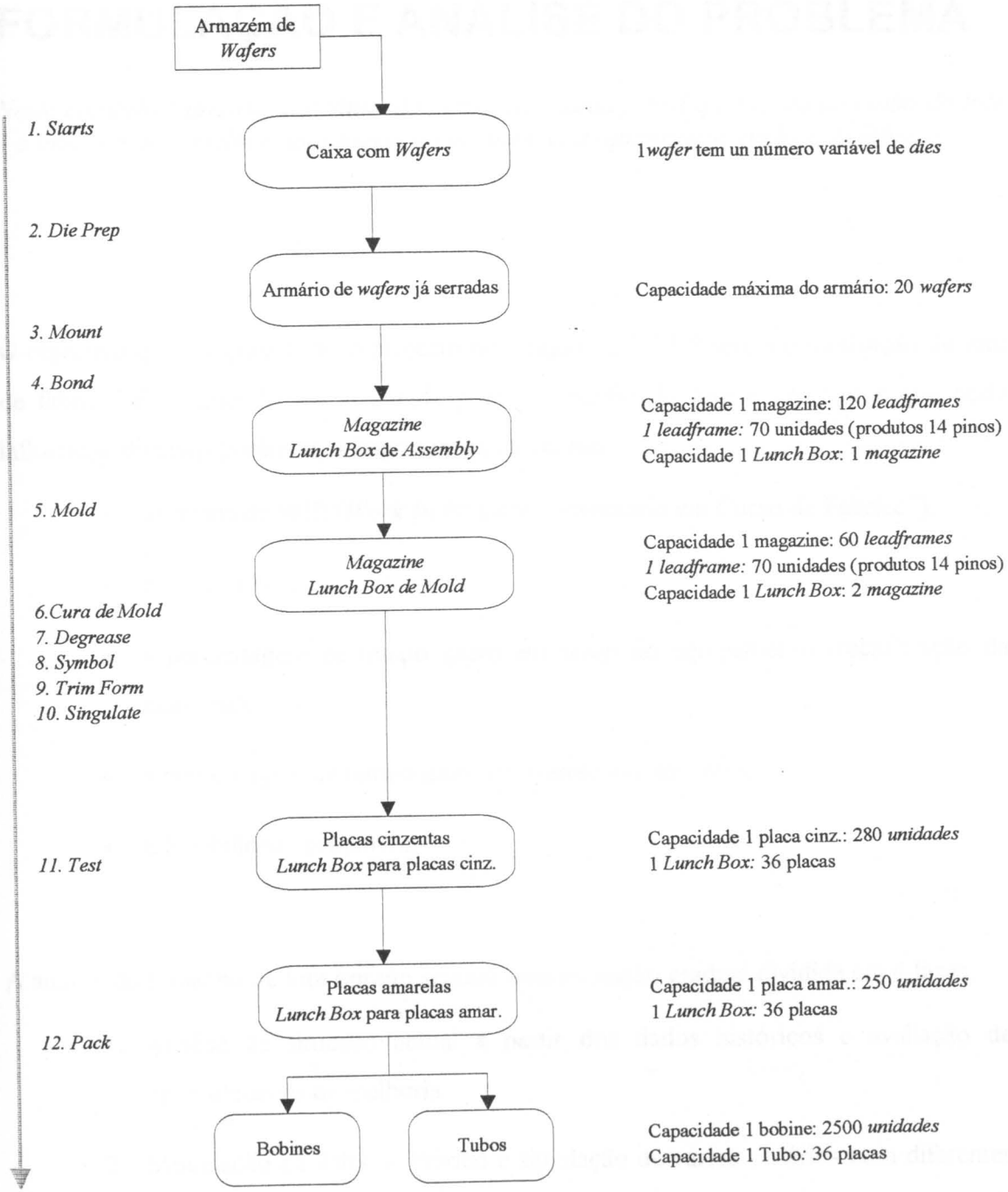


Figura 5: Fluxo do Material de Transporte dos produtos TI do SBU 5.

FORMULAÇÃO E ANÁLISE DO PROBLEMA

Neste capítulo é analisada a situação actual da planta fabril quanto ao tamanho do lote e é investigada a melhor abordagem ao problema da optimização do lote de fabrico.

O objectivo que irá guiar todo o projecto de estágio na TISEP será a optimização do lote de fabrico. Esta questão foi levantada pois o tamanho do lote é um factor que pode influenciar diversos parâmetros importantes, tais como:

- os níveis de WIP (*Work In Process*, "Inventário em Curso de Fabrico"),
- o *Cycle Time*,
- a percentagem de tempo gasto em *setup* do equipamento (recalibração da máquina),
- a percentagem de tempo gasto em transporte dos lotes,
- a flexibilidade produtiva.

A análise do tamanho de lote óptimo seguirá uma evolução gradual dividida em 4 fases:

1. Análise da situação actual a partir dos dados históricos e avaliação de oportunidades de melhoria.
2. Modelação da linha de fabrico e simulação de vários cenários com diferentes dimensões do lote de fabrico.
3. Retirar conclusões através da análise comparativa de medidas de *performance* pré-definidas: *Cycle Time* ou nível de WIP, Percentagem de Utilização das máquinas e Percentagem de Ocupação da Operadoras.

4. Implementação no sistema real.

Refira-se ainda que a optimização do tamanho do lote não deve estar dissociada de uma análise do sequenciamento da produção, pois só assim se poderão obter melhorias significativas.

De modo a facilitar e acelerar todo o estudo, foi decidido que a análise concentrar-se-ia apenas numa linha de produção e não nas cinco linhas que existem. Foi seleccionado o **SBU 5**, dedicado aos produtos **14** ***Fast***, e todas as análises foram efectuadas tendo como ponto de partida os dados relativos exclusivamente a estes produtos.

1. Análise da Situação Actual

A análise da dimensão actual do lote de fabrico, das restrições e condicionantes que lhe estão associadas, é uma fase essencial para todo os estudos futuros.

O conhecimento da situação presente permite:

- formar uma imagem clara de todas as variáveis implicadas no processo
- uma melhor identificação das oportunidades de melhoria
- o estabelecimento dos parâmetros de avaliação adequados às várias hipóteses em análise.

Além disso, a quantificação da situação actual serve como uma base de comparação com as *performances* do futuro.

1.1. Dimensão do Lote de Fabrico

O primeiro passo para a caracterização do tamanho do lote é o cálculo da dimensão média do lote de produção actual e sua variância. Para isso, foram construídos histogramas ao longo das principais áreas de fabrico: *Bond* (fim do *Assembly*), *Test* e *Pack*.

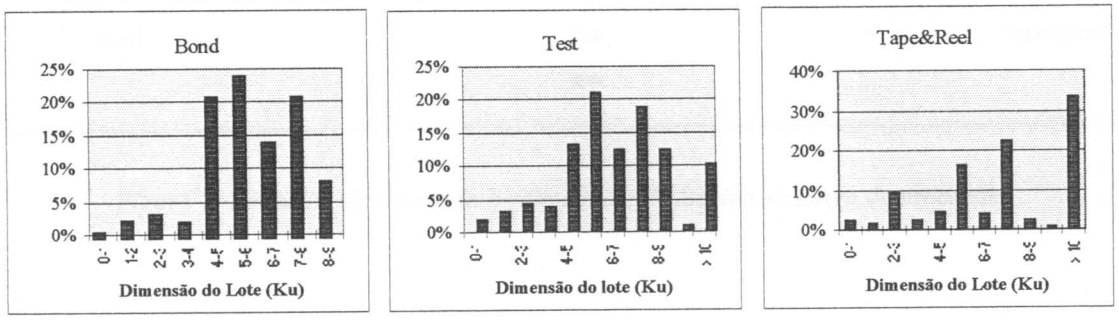


Figura 6:: Histogramas das distribuições da dimensão do lote ao longo do processo.

Estes histogramas comprovam que o tamanho médio do lote vai aumentando progressivamente à medida que o lote se aproxima das áreas finais. Mas, exceptuando perdas inesperadas devido a problemas de qualidade, a dimensão do lote mantém-se aproximadamente constante durante todas as áreas até chegar a *Test*. Essencialmente, é apenas nas áreas de *Test* e *Pack* que a dimensão média do lote sofre alterações, como o demonstra o gráfico da Figura 7.

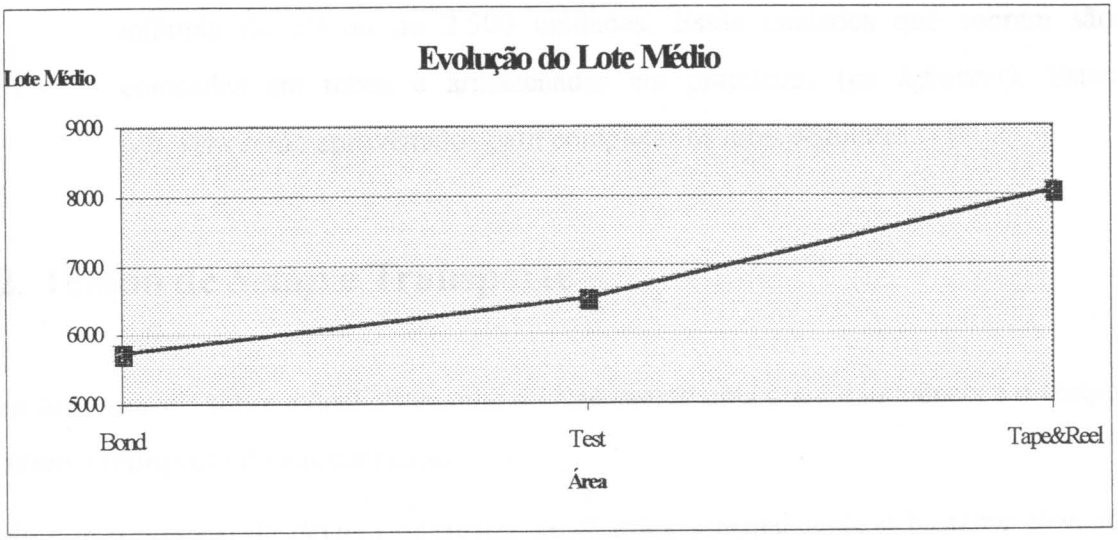


Figura 7: Evolução da dimensão média do lote de fabrico ao longo do processo.

Este aumento progressivo do tamanho do lote nas áreas de *Test* e *Pack* tem duas explicações óbvias:

1. Em Test, as operadoras estão autorizadas a efectuar *combines*, isto é, se chegarem ao mesmo tempo dois ou mais lotes com o mesmo produto, esses lotes podem ser combinados dentro da máquina e formar um único lote (desde que o novo lote não ultrapasse as 9.000 unidades).

2. Na área de *Pack*, podem ser efectuados *combines* até um limite de 17.500 unidades, o que faz aumentar imediatamente o tamanho do lote médio. Relativamente à forma curiosa que o histograma apresenta, isso deve-se à capacidade própria de cada embalagem utilizada. Assim, o lote médio será sempre múltiplo de 2.500 unidades (se a embalagem for em *bobine*) ou de 50 unidades (se a embalagem for em tubos). Cerca de 85% dos lotes são embalados em bobines.

   Evidentemente, existem sempre certas unidades que sobram pois é muito difícil chegar à área de *Pack* com um lote cuja dimensão é exactamente

múltipla de 50 ou de 2.500 unidades. Essas unidades que sobram são colocadas em tubos e armazenadas em prateleiras (os *leftovers).* Estes *leftovers* serão aproveitados para completar os lotes seguintes.

1.2. Tempo de *Setup* e Transporte

Uma das variáveis sobre a qual o tamanho do lote exerce uma grande influência é o tempo de *setup* e transporte do equipamento.

Dado que o número de *devices* diferentes produzidos semanalmente é bastante elevado (cerca de 350 *devices* diferentes apenas para o SBU 5), é importante analisar a percentagem de tempo gasto actualmente em *setup* do equipamento de modo a investigar possíveis oportunidades de melhoria

Como a área de *Bond* é o *bottleneck* da produção (área da produção cuja capacidade é inferior à capacidade das outras áreas), e é prioritário aumentar a sua produtividade, esta área será estudada com maior pormenor. Por essa razão, os dados analisados foram retirados essencialmente dessa área.

Os tempos de *setup* e transporte incluem não só os ajustamentos a fazer ao equipamento sempre que um novo lote vai ser processado, mas também outro tipo de tarefas:

- todo o trabalho administrativo que acompanha o lançamento de um novo lote,
- o transporte de materiais e equipamentos necessários para os novos produtos,
- a consulta de Manuais e Especificações do processo.

Estas tarefas estão detalhadamente agrupadas no Quadro 1.

Tarefa	*Tipo de Tarefa*	*Tempo (min)*
Contar o lote	Transporte	0.28
Colocar o lote na máquina	Transporte	0.96
Programar a máquina	*Setup*	9.5
Mudar *Insert* [1]	*Setup*	2.90
Mudar fio de ouro	*Setup*	13.5
Registos (*Lot Traveller* e Folha de Produção)	Administrativa	0.44
Vender o lote ao SMS[2]	Administrativa	0.78
Retirar o lote da máquina	Transporte	1.00
Transporte para a área seguinte (*Mold*)	Transporte	0.73

Quadro 1: Tarefas de Setup e Transporte da operação de Bond.

Como é evidente, nem todos os lotes obrigam à execução de todos estes passos. As tarefas designadas por *Setup* dependem do estado do equipamento, isto é, das especificações do produto anterior que passou por um dado equipamento. As tarefas de Transporte e Administrativas são sempre executadas pois fazem parte das do processo.

[1] *Insert* é uma pequena peça, que tem o formato exacto de cada *leadframe*, e que serve de suporte durante a operação de *Bond*.

[2] Vender o lote ao SMS consiste em registar no sistema (SMS) que um determinado lote já executou uma dada operação. O SMS (*SemiConductor Manufacturing System*) é o sistema informático de controlo da manufactura, utilizado na TISEP.

Recorrendo aos dados de produção do mês de Março, foi possível determinar o tempo de *setup* e transporte gasto, em média, por *Bonder* (máquina de *Bond*)[3]. Os resultados obtidos estão representados no gráfico da Figura 8.

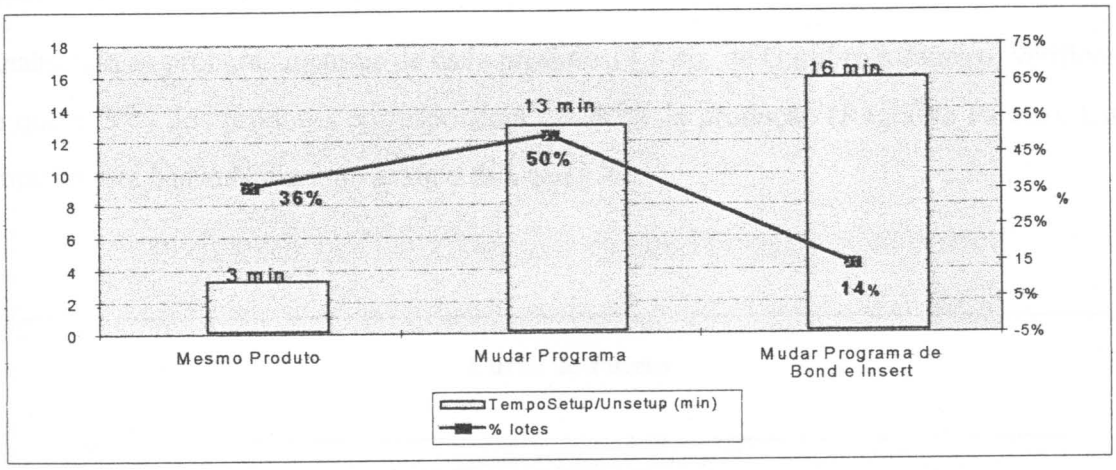


Figura 8: Tempo médio de setup e transporte por Bonder.

Analisando este gráfico, verifica-se que 64% dos lotes que passam por uma máquina de Bond obrigam a uma nova calibração. Isto parece indicar que existem oportunidades de melhoria se se apostar num melhor sequenciamento dos produtos que se lançam para a linha ou no lançamento de lotes com uma dimensão optimizada.

[3] Neste estudo não foi considerada a mudança de fio de ouro, visto ser uma tarefa que raramente ocorre, especialmente no caso dos produtos do SBU 14 *Fast*. A hipótese "Mudar *Insert* e Não Mudar Programa de *Bond*" não foi avaliada pois se um produto obriga a uma mudança do *Insert* isso implica que também existe uma reprogramação da máquina.

1.3. Procura dos Produtos TI

A variabilidade da procura é um factor presente na realidade da TISEP. Actualmente, uma empresa competitiva não pode ignorar esta variabilidade, apostando na flexibilidade e no aumento da velocidade de resposta às encomendas de todos os seus clientes.

Analisando as procuras mensais de cada produto 14 *Fast*, de Outubro a Janeiro, verificou-se que ≈ 20% dos produtos correspondem a ≈ 80% da produção (Regra de Pareto). Esta situação está bastante clara no gráfico da Figura 9.

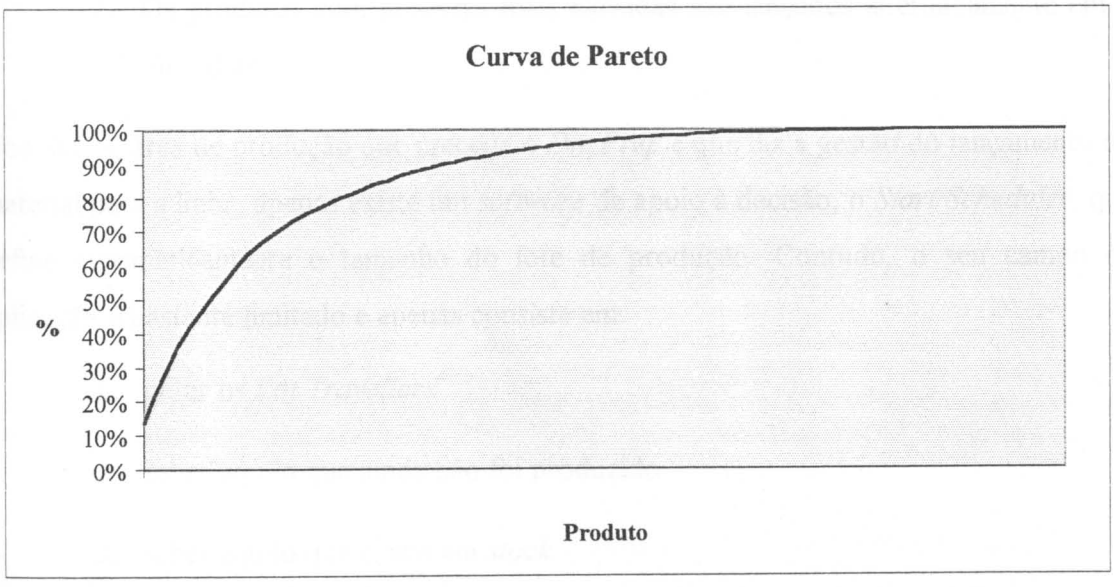


Figura 9: Percentagem acumulada da procura mensal dos produtos do SBU 5.

Foi possível constatar que as procuras dos produtos designados por *Big Runners* (os 20% de produtos que perfazem 80% da produção total) são bastante constantes, sendo possível estabelecer previsões da procura com um grau de certeza bastante elevado.

Esta situação tem paralelo em todos os SBUs de produção da TISEP. Embora a procura por produto, de uma maneira geral, seja bastante variável de semana para semana, a procura associada aos *Big Runners* é aproximadamente constante pois estes produtos são produzidos para *stock*. Existem assim condições para uma futura implementação de um sistema automatizado de sequenciamento e planeamento da produção.

Actualmente, o lançamento dos lotes de fabrico para produção não tem preocupações ao nível da optimização do sequenciamento da produção. Essencialmente, o lançamento dos lotes segue as seguintes regras empíricas:

1. Os produtos com menores procuras semanais são lançados em primeiro lugar.
2. Os produtos com procuras mais elevadas são lançados alternadamente em 2 ou 3 dias.

Nos *Starts*, área de produção que precede o *Die Prep* e que faz a gestão do lançamento do material para a linha, apenas existe um *software* de apoio à decisão, o *Start Scheduler*, que define automaticamente o tamanho do lote de produção. Contudo, o seu campo de aplicação é bastante limitado e apenas consiste em:

1. gerar os *Lot Travellers*[4]
2. saber aquilo que ainda não foi produzido
3. saber aquilo que existe em *stock*
4. definir os lotes, segundo certos parâmetros pré-definidos.

Os parâmetros que condicionam o tamanho do lote definido pelo *Start Scheduler* são:

[4] *Lot Traveller* é um documento que acompanha o lote, contendo as suas características.

1. o somatório das quantidades totais de *dies* de um lote de *Wafers* não pode ser superior a 15.000 (um lote de *wafers* dá origem a um certo número de lotes de fabrico)

2. a dimensão de cada lote de fabrico não pode ser superior a um *magazine* (8.400 unidades)

3. os lotes gerados devem ser, na medida do possível, múltiplos de 1 *shot* de *Mold* (720 unidades no caso do SBU 5). Um *shot* de *Mold* é a quantidade fixa de unidades que uma prensa de *Mold* produz simultaneamente.

4. os lotes gerados simultaneamente devem ter dimensões semelhantes.

Este algoritmo apresenta algumas considerações importantes, tais como:

- a preocupação em diminuir a entropia do sistema, gerando lotes semelhantes,
- a diminuição dos desperdícios de *Mold Compound* devido ao encapsulamento de *lead frames* sem *dies*.
- evitar lotes demasiado grandes, que podem causar problemas no seu manuseamento.

Contudo, não se observa nenhum esforço na optimização do sequenciamento dos produtos nem na optimização da dimensão do lote de fabrico, em termos de aumento da produtividade.

1.4. Vantagens do Aumento ou da Diminuição do Lote de Fabrico

Paralelamente a este estudo estatístico da realidade actual do SBU 5, é necessário avaliar previamente, de uma forma teórica, as vantagens e desvantagens de um aumento ou diminuição do tamanho de lote.

Todas as vantagens encontradas para as duas situações alternativas foram resumidas no Quadro 2: Vantagens do Aumento e Diminuição do Lote de Fabrico.

Ao longo de todo o esforço de optimização do lote de fabrico existem certos parâmetros relativos à produção que devem ser cuidadosamente ponderados e avaliados pois têm um papel estratégico dentro da empresa. Esses parâmetros são, por exemplo:

- Flexibilidade Produtiva
- Custos *vs* Produtividade
- Variabilidade da produção
- Níveis de WIP e *Cycle Time*.

Na determinação da dimensão do lote ideal é necessário estabelecer uma **solução de compromisso**, de modo a que o principal objectivo seja a minimização dos custos totais mas sem a violação de certos objectivos da empresa, como sejam o *Cycle Time*, níveis de WIP ou o cumprimento dos prazos de entrega.

VANTAGENS

Aumento do Lote de Fabrico	*Diminuição do Lote de Fabrico*
• Redução do tempo de *Setup* • Redução de perdas de *Yield* • Maior PPH/Capacidade • Menor número de *LeftOvers* • Redução global do tempo gasto em *Lot Acceptance* • Redução do tempo gasto em preenchimento de documentos e em SMS • Menor número de deslocações na movimentação do material	• Menor WIP/Máquina • Menor WIP na fábrica • Menor *Cycle Time* Teórico • *Feedback* mais rápido em termos de problemas de Qualidade • Lote processado por menor número de turnos • Menor dificuldade no manuseamento dos lotes

Quadro 2: Vantagens do Aumento e Diminuição do Lote de Fabrico.

2.Definição da Abordagem a Adoptar

Após um estudo da situação actual do SBU 5, especialmente nas áreas de *Assembly*, convém efectuar uma análise teórica dos aspectos referentes à optimização do lote de fabrico.

2.1. Quantidade Económica de Produção

Após uma consulta à bibliografia disponível, tudo parece indicar que a **Quantidade Económica de Produção** é um dos melhores indicadores para a definição do lote ideal.

A Quantidade Económica de Produção é a quantidade que minimiza os custos associados à existência de Inventário na linha de produção e é dada pela equação:

$$Q_p = \sqrt{\frac{2.F_0.d}{F_1.C.(1-d/p)}}$$

F0 - Custo de encomenda
d - Procura Anual
F1 - Taxa de posse
C - Custo unitário do artigo
p - Capacidade de produção

O Custo de Gestão do Inventário será dado por:

$$Custo = CP + CE + CT$$

CP - Custo de Posse do Inventário (WIP)
CE - Custo de Encomenda de uma ordem de fabrico, isto é, Custo de Setup
CT - Custo de Transporte do material até às máquinas

O Custo de Posse do Inventário inclui as despesas financeiras, as despesas de manutenção do Inventário (neste caso, inexistentes) e as desvalorizações (também praticamente nulas, pois o tempo que um Inventário fica na linha é insignificante).

As despesas financeiras são a componente mais importante do Custo de Posse na presente situação. E, dentro das despesas financeiras, o custo do capital imobilizado é o elemento fundamental. O WIP representa um empate de dinheiro que, desse modo, deixa de estar disponível. O preço dessa falta de disponibilidade é o custo de oportunidade do capital da empresa que habitualmente é superior à taxa de juro de crédito bancário.

Dentro das despesas financeiras convém não ignorar também os seguros. O prémio de seguro é geralmente calculado com base no valor médio do Inventário. Assim, as despesas financeiras, quer do capital empatado quer dos seguros, são proporcionais ao nível de Inventário médio.

O Custo de Encomenda resume-se basicamente ao custo provocado pela necessidade de *setup* do equipamento. São custos operacionais e representam-se como uma percentagem do tempo de produção perdido: perda do tempo da operadora e perda de utilização das máquinas. Os tempos de *setup* são dependentes da dimensão do lote pois, quanto menor este for, maior é o número de *setups* a efectuar.

O Custo de Transporte é um custo que representa o tempo perdido a ir buscar o próximo lote a ser processado, a arrumá-lo, a colocá-lo na máquina, a retirá-lo da máquina, a transportá-lo para uma outra zona, etc. As despesas burocráticas (por exemplo, venda do lote em SMS ou preenchimento da Folha de Produção e do *Lot Traveller*) também devem ser consideradas dentro desta parcela do Custo Total.

Tendo em conta a complexidade da linha de produção em estudo e a existência de múltiplas variáveis intercorrelacionadas entre si, a utilização da fórmula de optimização do lote de fabrico é uma ferramenta pouco flexível e que fornece resultados pouco ajustados à realidade. Este facto é ainda agravado pela dificuldade detectada na obtenção de valores essenciais, tal como a taxa de posse do Inventário.

Dada a possibilidade de recorrer a uma ferramenta de simulação, o TestSim/X, este será o instrumento utilizado para a optimização do tamanho de lote. A simulação da linha de fabrico será o método utilizado para a optimização do lote de fabrico.

INTRODUÇÃO À SIMULAÇÃO

Breves apontamentos sobre os conceitos de Simulação e Modelação.

Fazer a análise de modelos e proceder a tarefas de simulação foi, desde sempre, uma das opções básicas que o Homem utilizou para compreender a realidade que o rodeia. Mas, fazer disso um instrumento de trabalho sistemático para o desenvolvimento da ciência foi uma aquisição relativamente recente do pensamento humano.

Aliás, utilizar a modelação e a simulação como ferramenta para a aprendizagem no plano profissional é ainda mais recente e teve desenvolvimentos significativos nas últimas décadas. O advento da informática, como recurso de apoio, deu um impulso significativo à utilização da modelação e simulação experimental.

Podemos afirmar que o método de Simulação é o ultimo método a ser utilizado mesmo sendo um método bastante comum e de uso generalizado. Geralmente apenas é utilizado quando os problemas de decisão, devido ao seu tipo de estrutura ou à sua complexidade, são dificeis de analisar através de outros métodos.

Mas antes de tudo, convém clarificar estes dois conceitos: ***modelação*** e ***simulação***. Modelação é, basicamente, a construção de modelos, enquanto que a simulação é uma "imitação da realidade". Mas estes dois conceitos estão intimamente ligados e não podem ser dissociados.

O principal objectivo da simulação é reproduzir um determinado sistema através de um modelo que:

1. imite a sucessão de estados pelos quais esse sistema passa,
2. e registe as medidas relevantes de utilidade ou eficiência.

Após a construção do modelo, são testadas as diferentes hipóteses alternativas e é feita uma avaliação comparativa das medidas de *performance* pré-definidas.

Resumidamente, podemos referir que a simulação é uma técnica que possui diversas vantagens:

1. É uma técnica facilmente compreensível por parte dos agentes de decisão;
2. O processo de construção do modelo obriga os agentes de decisão a um estudo aprofundado de todas as variáveis e suas interacções, o que leva a uma melhor compreensão do problema real;
3. Tem uma elevada flexibilidade, o que permite analisar mudanças mesmo ao nível estrutural do sistema, o que não seria possível no sistema real.

Mas não podemos ignorar que esta técnica não é perfeita e também tem os seus inconvenientes:

1. O resultado de um modelo de simulação apenas exprime uma relação momentânea, resultante da conjugação aleatória de uma certa sucessão de estados das diferentes variáveis que compõem o sistema. Isto é, um modelo de simulação não permite uma formulação directa e inequívoca das medidas de *performance* relativamente às variáveis de decisão, do tipo

$$U = f(xi, yi)$$

U - Medida de performance
x_i, y_i - *Variáveis de decisão*

2. O resultado obtidos não são precisos mas apenas uma estimativa de diversas variáveis que seguem distribuições aleatórias
3. Normalmente, a simulação exige um grande esforço computacional e um maior volume de recursos humanos e materiais.

A simulação apresenta certos problemas que o simulador deve ter o cuidado de resolver:

1. A geração de variáveis aleatórias de acordo com as distribuições adequadas.
2. A correcção e fiabilidade com que um modelo representa, em termos estatísticos, a realidade.
3. A duração do horizonte de simulação para que os resultados sejam estáveis e significativos do ponto de vista estatístico.

Uma linha de produção é um sistema cujas variáveis mudam de estado em instantes discretos. Por isso, o método de simulação a aplicar para a modelação deste sistema será o método aplicado a sistemas discretos.

O **Método dos Acontecimentos** (*Event Approach*) é a metodologia de simulação utilizada pelo TestSim/X e baseia-se na geração de acontecimentos e consecutivas mudanças de estado do sistema.

Os elementos mais importantes numa simulação segundo o Método dos Acontecimentos são:

- Os **acontecimentos** (as possíveis mudanças de estado do sistema). A identificação dos acontecimentos são o primeiro passo para a construção do modelo.
- As **entidades,** isto é, de quem depende a mudança de estado do sistema.
- As **filas de espera**, espaços físicos ou lógicos onde se colocam as entidades e que geralmente têm critérios de selecção (por exemplo, o FIFO).
- O **relógio,** elemento indispensável, tem a função de controlar a evolução de acontecimentos.

As entidades podem ainda ser caracterizadas de modo a distinguir algumas propriedades inerentes a uma determinada entidade. Por exemplo, no caso da linha produtiva do SBU 14 *Fast* é necessário caracterizar cada produto (uma entidade) relativamente ao tipo de embalagem, em Tape ou em Tubos. Essas características são designadas por **atributos**.

Para avaliar a eficiência de um sistema é necessário definir **medidas de eficiência ou *performance*,** que poderão ser de diversos tipos consoante os objectivos definidos ou os sistemas que são modelados. Alguns exemplos de medidas de eficiência, adequados a um sistema de produção são:

- % Ocupação do Equipamento
- Custo da Unidade Produzida
- *Cycle Time*
- Níveis de WIP

É importante referir ainda um dilema crítico que frequentemente se coloca ao simulador: **qual o grau de fidelidade e precisão do modelo a construir?**

Quanto maior for a fiabilidade e a precisão de um modelo de simulação, mais próximo esse modelo está da realidade e mais correctos e ajustados são os resultados obtidos através da simulação. No entanto, essa precisão dos resultados tem um preço por vezes demasiado elevado.

Quanto maior for o volume e a complexidade de dados que se introduz num modelo, maiores dificuldades encontra o simulador tanto no controlo dos resultados obtidos como na detecção de erros de modelação. Por outro lado, maiores recursos computacionais são exigidos e o *software* de simulação fica com um processamento mais lento, tornando enfadonha a tarefa de análise das diversas hipóteses alternativas.

É necessário adoptar uma solução de compromisso e desenhar o modelo com um maior detalhe nas áreas que se pretendem analisar e traçar apenas um ligeiro esboço nas áreas não relevantes para o estudo em questão

O projecto de simulação da linha de produção do SBU 5, com o objectivo de optimizar a dimensão do lote de fabrico, será orientado segundo a Metodologia de Gestão de um Projecto de Simulação incluída no Anexo I.

TESTSIM/X

Descrição do package de software, TestSim/X, utilizado para a modelação do SBU 5.

O TestSim/X é uma ferramenta de simulação que permite ao utilizador gerir operações de *Assembly* e *Test* de circuito integrados. Este *software* está essencialmente vocacionado para a indústria de semicondutores.

1. Componentes e variáveis do TestSim/X

Para construir um primeiro modelo em TestSim/X não são necessários grandes detalhes, apenas a informação essencial.

Os dados que devem obrigatoriamente ser introduzida e constituem as variáveis mais importantes de um modelo em TestSim/X resumem-se a:

- Regras da Fábrica (*Factory Rules*)
- Turnos de Laboração
- Áreas de Trabalho (*Work Areas*)
- Estações de Trabalho (*Work Stations*)
- Processos
- Períodos
- Produtos

1.1. Regras da Fábrica

As Regras da Fábrica referem-se às regras que serão utilizadas, por defeito, em todas as Estações de Trabalho. Contudo, se necessário, estas podem ser alteradas individualmente para cada Estação de Trabalho.

Estas regras condicionam o comportamento do sistema e consistem, por exemplo, na definição de :

- Número máximo de horas que um lote pode estar em fila de espera
- WIP máximo dentro da fábrica
- *Delay* médio por processo
- Regras de Sequenciamento (no caso específico da TISEP foi utilizado o FIFO)
- Regras que condicionam o *Load* de um equipamento (por exemplo, "Obrigatório Carga Completa do Equipamento")
- Regras que condicionam o *Setup* de um equipamento (por exemplo, "Lote com maior prioridade e com *setup* coincidente com lote anterior").

1.2. Turnos de Laboração

A introdução dos Turnos de Laboração consiste na definição do calendário e do horário de trabalho para cada Área de Trabalho.

1.3. Áreas de Trabalho

As Áreas de Trabalho representam espaços físicos independentes onde estão exclusivamente alocados certos recursos tais como operadoras, técnicos de manutenção e equipamentos.

Relativamente às Áreas de Trabalho é necessário definir o número de operadoras e técnicos por turno, assim como os intervalos para o lanche e o almoço. Também aqui são introduzidas as habilitações (*skills)* que cada operadora ou técnico possuem.

1.4. Estações de Trabalho (*Work Stations*)

As Estações de Trabalho são conjuntos de máquinas do mesmo tipo e com a mesma função. O equipamento é caracterizado relativamente aos seus parâmetros mais relevantes, tais como PPH (capacidade do equipamento em produção por hora), MTBF (Tempo Médio entre Avarias), MTTR (Tempo Médio de Reparação), MTBA (Tempo Médio entre Assistências), MTTA (Tempo Médio para Assistência), Tempo de *Load* (colocação do lote no equipamento) e *Unload* (retirar o lote do equipamento), Tempo de *Setup*, etc. Também é possível caracterizar as intervenções de Manutenção Preventiva a efectuar a cada equipamento.

Existem 5 tipos possíveis de *Work Stations*:

1. ***Tester***: *Work Station* que apenas contém equipamentos que fazem o teste eléctrico das unidades.

2. ***Handler/Prober***: *Work Station* que apenas contém equipamentos que manuseiam unidades. As *Handlers* são equipamentos que só funcionam quando conectados com *Testers*. Por isso, após a definição das *Work Stations*

Testers e *Handlers* é necessário fazer a correspondência entre elas através da definição de um *Test Group* (Grupo de Teste).

3. ***Burnin Oven***: O *Burnin* é uma operação que consiste em envelhecer as unidades artificialmente para testar a sua resistência. Esta inspecção é efectuada num forno e só se executa nos produtos SSOP.

4. ***General Purpose***: Esta *Work Station* aplica-se à generalidade de todos os equipamentos e foi a utilizada para modelar quase todas as Estações de Trabalho que representam os equipamentos do SBU 5.

5. ***Subcontractor***: Destina-se a operações que são efectuadas por equipamentos subcontratados. A TISEP não recorre à subcontratação de equipamentos.

1.5. Processos

A definição de um processo, ou fluxo produtivo, que um determinado lote de um produto irá seguir para ser transformado desde matéria-prima até produto acabado, consiste essencialmente numa sucessão de passos que representam a passagem pelas diferentes Estações de Trabalho da fábrica.

Uma possibilidade muito interessante que o TestSim/X oferece é a possibilidade de definir processos alternativos dentro de um mesmo processo, através do *Alternate Processing*. Isto é, permite dizer que apenas produtos com um determinado parâmetro pré-definido irão efectuar ou não um determinado passo do processo.

1.6. Períodos

Os Períodos de Produção podem ser fixados e destinam-se essencialmente para a definição da Procura ou dos *Starts*. Esta opção é particularmente útil quando a Procura não é

constante ao longo do tempo. Como esse não é o caso dos produtos do SBU 5, em que a procura definida semanalmente é bastante estável, não foi necessário recorrer aos Períodos de Produção.

1.7. Produtos

Os Produtos são os últimos dados a serem introduzidos num modelo em TestSim e caracterizam-se através de :

- Tipo de produto
- Processo produtivo utilizado
- *Stock* de Segurança
- *Die/Wafer* (número de *dies* que cada *wafer* contém)
- Tipo de embalagem
- Tipo de *Leadframe*
- Taxa de produção semanal
- Dimensão do lote de fabrico
- Procura por Período de Produção

2. Simulação de Acontecimentos em TestSim/X

O TestSim/X tem essencialmente dois tipos de acções em resposta à sucessão de acontecimentos diferentes que são continuamente gerados:

- Muda o estado associado às diferentes variáveis: lotes, equipamento e operadoras/técnicos.
- Actualiza as estatísticas que serão no fim apresentadas em relatórios.

O TestSim/X foi desenhado para gerar quatro tipos de acontecimentos:

1. **Acontecimentos que envolvem a interacção de diversas entidades.** A finalização de cada tarefa irá libertar esses recursos que serão combinados com outros recursos para a realização de novas tarefas.
2. **Acontecimentos que dependem da dinâmica interna de cada entidade.** Um exemplo bastante comum são as falhas de equipamento que ocorrem de uma forma aleatória.
3. **Acontecimentos induzidos por dados históricos.** Por exemplo, uma Manutenção Planeada ou Preventiva que é efectuada apenas após um certo número de horas de utilização de um determinado equipamento.
4. **Acontecimentos provocados pela passagem do tempo.** Os intervalos para almoçar são um bom exemplo de acontecimentos deste tipo.

Resumidamente, podemos descrever os diferentes tipos de transição de estados relativamente às principais entidades em TestSim/X:

1. Equipamento
2. Equipas de Manufactura e Manutenção
3. Lotes de produtos

2.1. Equipamento

Fundamentalmente, os diferentes estados que um equipamento pode assumir são **Ocupado (*Busy*)**, **Desocupado (*Idle*)** e **Avariado (*Down*)**, conforme se pode observar na Figura 10 que representa o diagrama de transição de estados de um equipamento em TestSim/X.

Busy é o estado que corresponde aos momentos em que um equipamento está ocupado por um lote. Se uma avaria ocorre podem acontecer duas situações alternativas:

- Se a opção "*Fails While Busy*" ("Pode Falhar Enquanto Está Ocupado") está activada, o equipamento transita imediatamente para o estado de *Down*.
- Se a opção "*Fails While Busy*" está desactivada, o equipamento acaba de processar o lote e só depois vai para o estado *Down*.

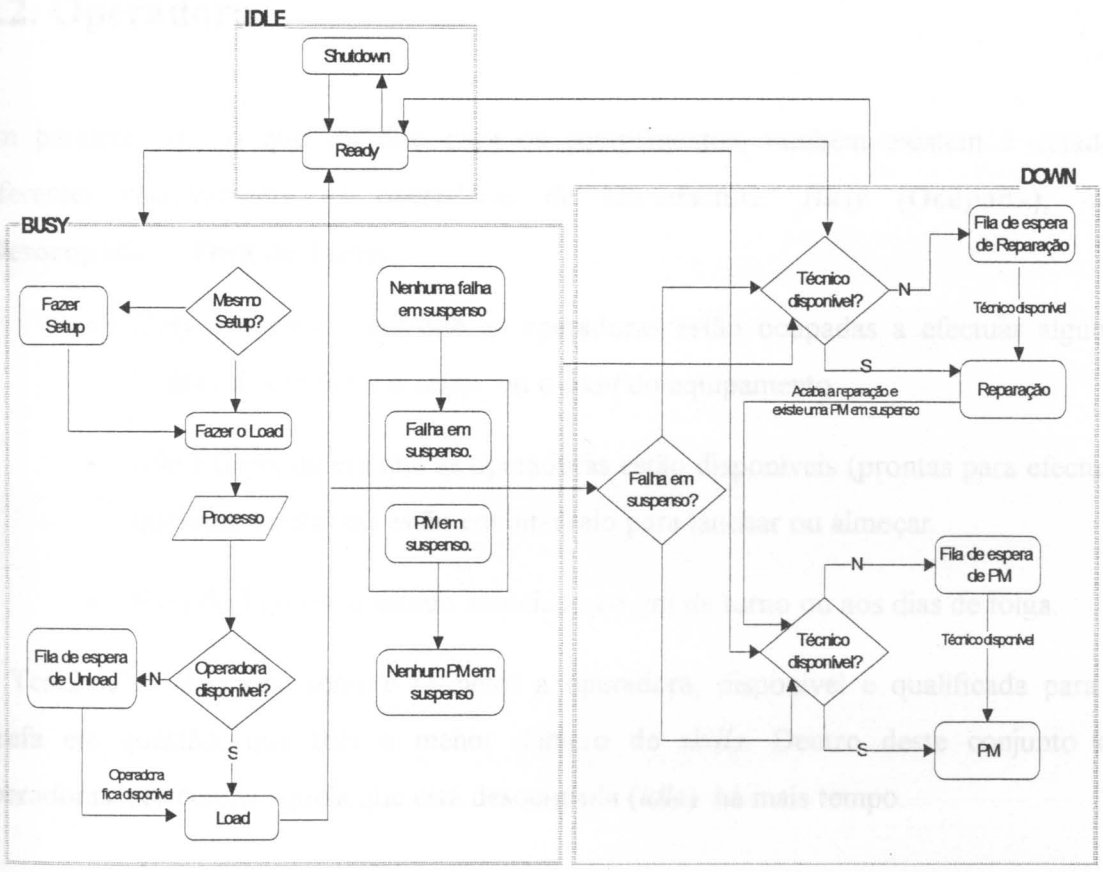


Figura 10: Diagrama de transição de estados de um equipamento em TestSim/X.

Idle é o estado em que o equipamento se encontra quando a fábrica está fechada, ou quando o equipamento não está a ser utilizado mas está apto a começar a processar (está ***Ready*- Pronto a Trabalhar**).

Down é o estado correspondente aos momentos em que o equipamento está avariado ou a ser reparado, ou quando está a ser efectuada uma manutenção programada (PM).

2.2. Operadoras

Em paralelo com o que foi dito para os equipamentos, também existem 3 estados diferentes relativamente às operadoras de Manufactura: ***Busy* (Ocupada)**, ***Idle* (Desocupada)** e **Fora de Turno**:

- *Busy* é o estado em que as operadoras estão ocupadas a efectuar alguma tarefa tal com fazer o *setup* ou o *load* do equipamento.
- *Idle* é o estado em que as operadoras estão disponíveis (prontas para efectuar qualquer tarefa) ou estão em intervalo para lanchar ou almoçar.
- Fora de Turno é o estado associado ao fim de turno ou aos dias de folga.

O TestSim/X selecciona sempre primeiro a operadora, disponível e qualificada para a tarefa em questão, que tem o menor número de *skills*. Dentro deste conjunto de operadoras, selecciona aquela que está desocupada (*idle*) há mais tempo.

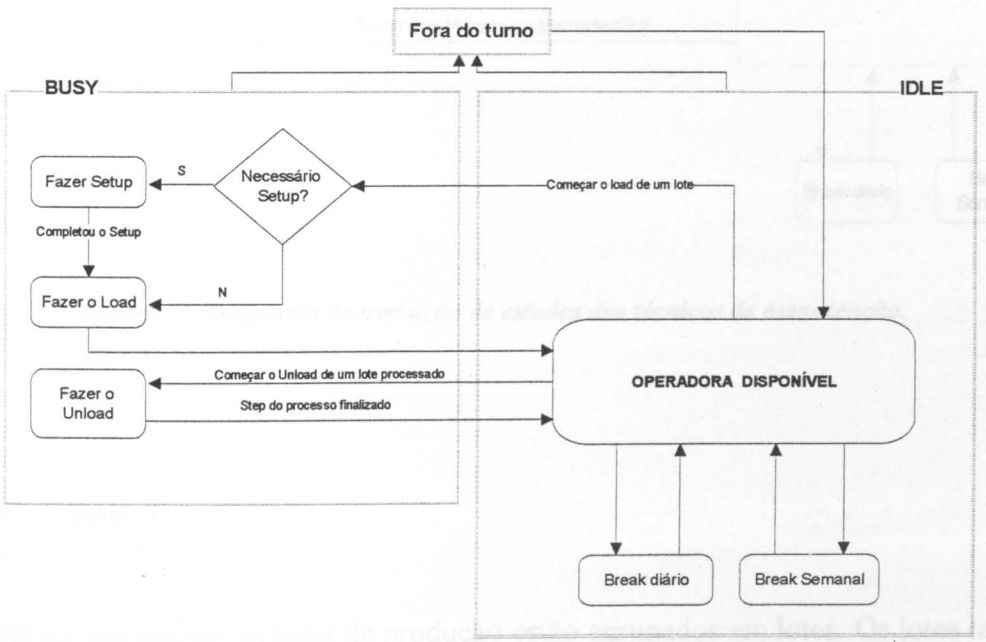


Figura 11: Diagrama de transição de estados de uma operadora de manufactura em TestSim/X.

2.3. Técnicos

Relativamente aos técnicos de Manutenção, os estados são semelhantes aos das operadoras explicados acima. Na

Figura 12 está representado o diagrama de transição de estado dos técnicos.

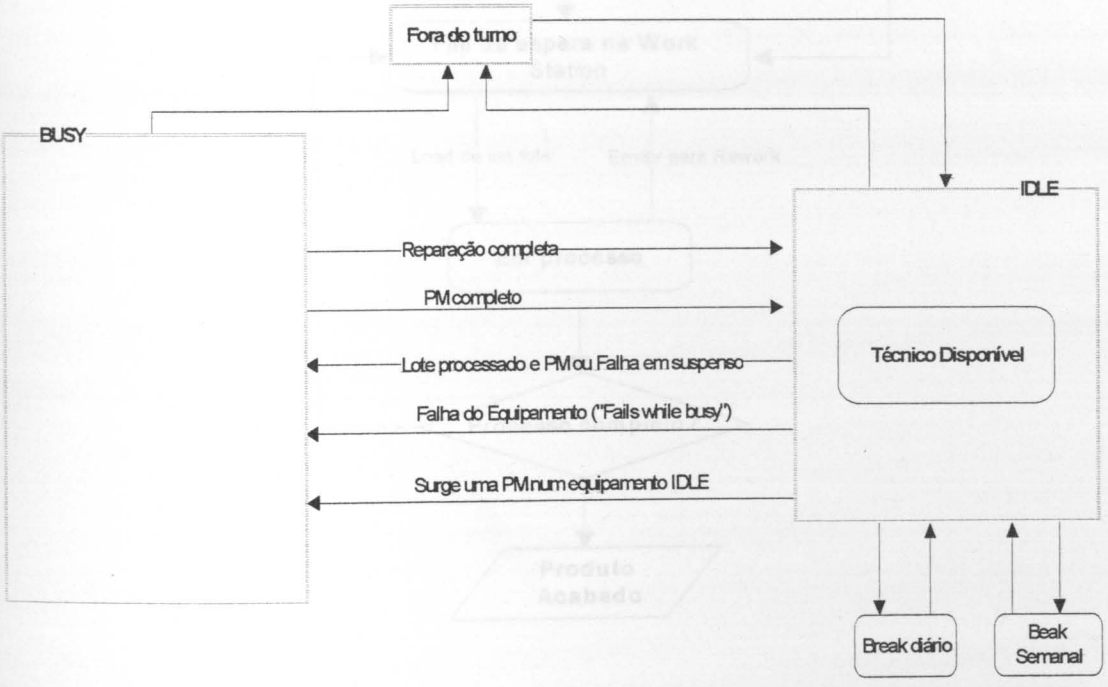


Figura 12: Diagrama de transição de estados dos técnicos de manutenção.

2.4. Produtos

Os produtos que correm na linha de produção estão agrupados em lotes. Os lotes também sofrem uma sucessão de transição de estados que essencialmente são **Em Processo** ou **Em**

Fila de Espera ou **Lote Acabado**. O diagrama de transição de estados de um lote está representado na Figura 13.

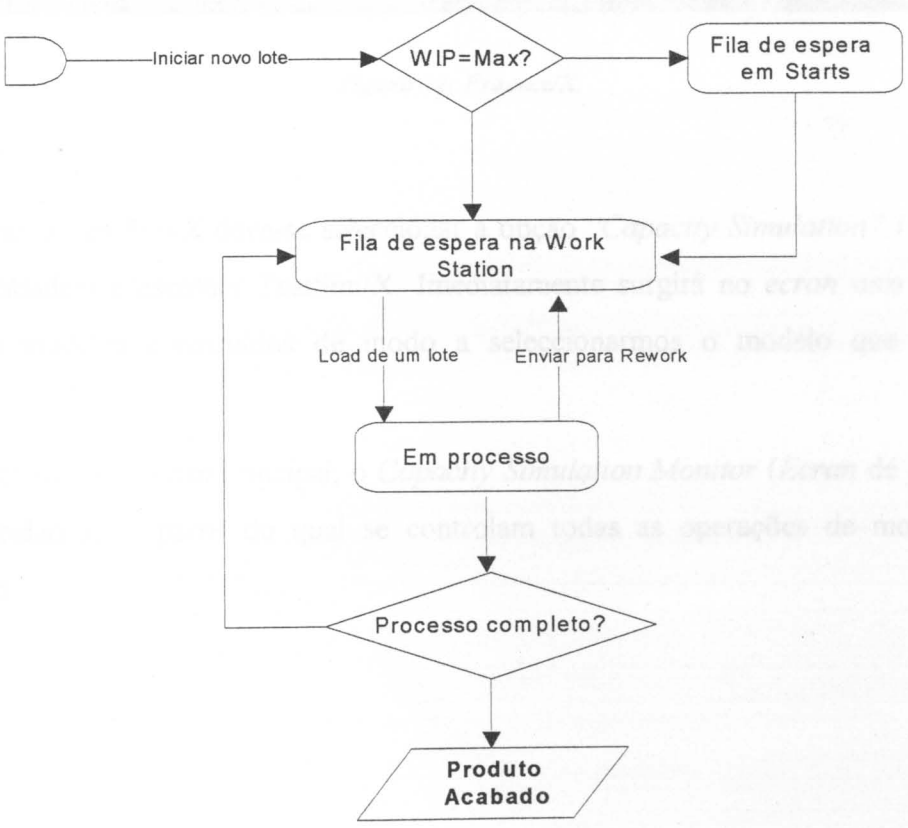


Figura 13: Diagrama de transição de estados de um lote.

3. *Interface* do TestSim/X com o utilizador

O TestSim/X é accionado através de uma interface designada por **Framex/X**, que possibilita uma poderosa gama de aplicações.

Figura 14: Framex/X.

Para iniciar o TestSim/X deve-se seleccionar a opção *"Capacity Simulation"* (Simulação de Capacidades) e escolher TestSim/X. Imediatamente surgirá no *ecran* uma lista com todos os modelos construídos de modo a seleccionarmos o modelo que queremos trabalhar.

Finalmente surge o *ecran* principal, o *Capacity Simulation Monitor* (*Ecran* de Simulação de Capacidades), a partir do qual se controlam todas as operações de modelação e simulação.

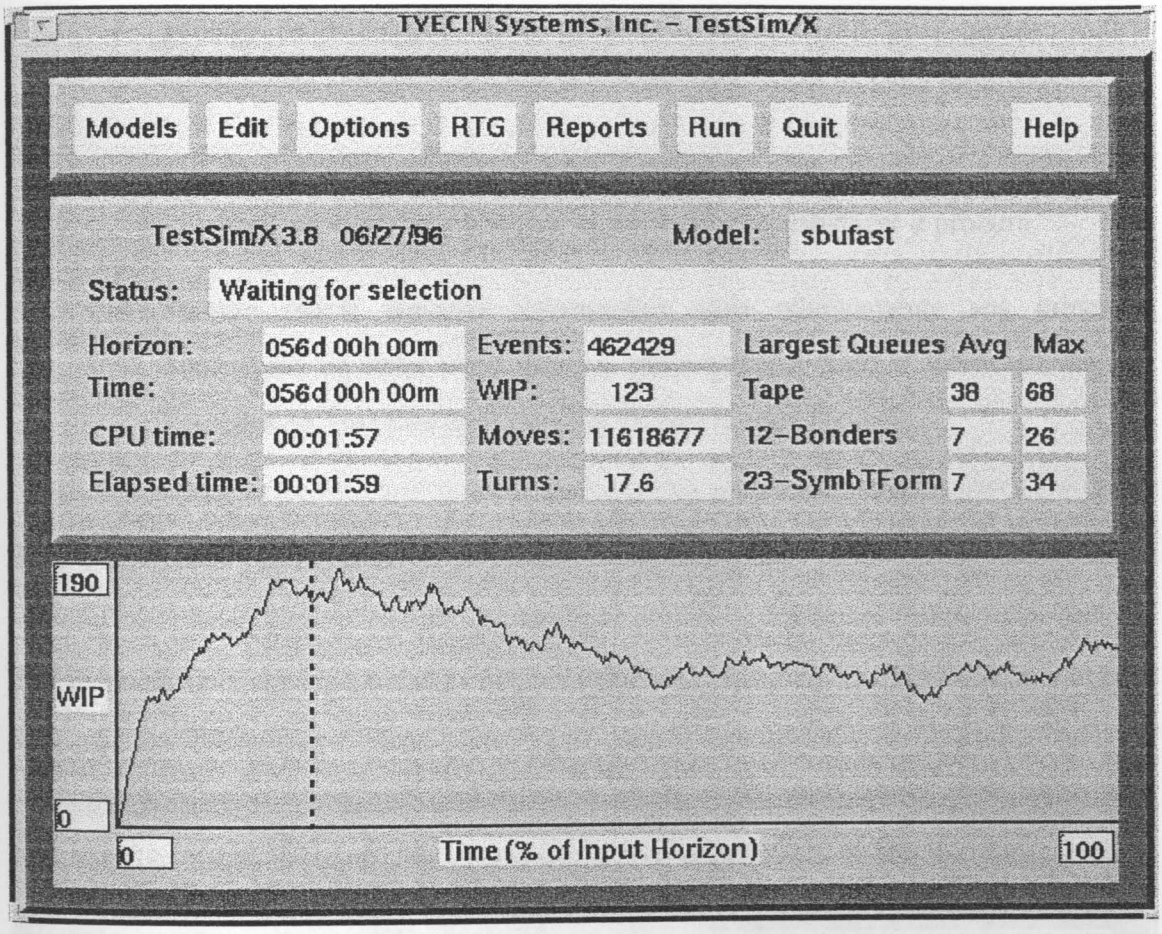


Figura 15: Capacity Simulation Monitor.

As possibilidades que este *ecran* permite obter são variadas:

- Dá acesso a todas as variáveis e parâmetros que definem um modelo de simulação, permitindo a sua introdução ou alteração, através do *Capacity Simulation Monitor Menu Bar* (Barra de Comandos do *Ecran* de Simulação de Capacidades).

- Permite seguir a evolução de cada simulação de um modelo através de um gráfico que representa o nível de WIP dentro da fábrica ao longo de todo o

período de simulação. Este gráfico é bastante útil pois permite retirar rapidamente certas conclusões acerca da capacidade da linha produtiva.

Por exemplo, se a linha subir linearmente sem estabilizar, é óbvio que o sistema modelado não tem capacidade para satisfazer a procura.

- Permite retirar algumas informações úteis relativamente aos principais *bottlenecks* da linha visto que vai mostrando, a todo o momento, as três Estações de Trabalho com uma fila de espera mais elevada.

3.1. *Capacity Simulation Monitor Menu Bar*

Este menu permite aceder a todas as opções possíveis dentro do TestSim/X. Essas opções são:

Figura 16: Capacity Simulation Monitor Menu Bar.

3.1.1. *Models*

Permite seleccionar um modelo já construído, criar um novo modelo ou copiar um modelo antigo para um modelo novo.

3.1.2. *Edit*

O botão *Edit* permite alterar ou introduzir todas as propriedades de uma fábrica que o TestSim/X consegue definir. Essas propriedades são bastante variadas e as mais importantes foram já referidas e exemplificadas na secção 1 deste capítulo.

3.1.3. *Options*

Neste menu é definida a forma como a simulação irá decorrer, isto é, qual o horizonte de simulação, as sementes para a geração das diferentes distribuições aleatórias definidas no modelo, o número de *runs* do modelo ou a percentagem de *Warm Up* (percentagem de tempo no início da simulação que não é considerado para recolha de estatísticas).

Estas opções que regem a simulação são bastante importantes e não devem ser ignoradas pois condicionam efectivamente os resultados estatísticos finais.

3.1.4. RTG (*Run Time Graphics*)

O RTG é uma apresentação gráfica da linha de produção que permite a visualização, através de diagramas de barras coloridos, dos estados sucessivos por que passam as Estações de Trabalho ou os Processos durante a simulação. Cada cor possui um significado e representa o estado em que cada equipamento se encontra.

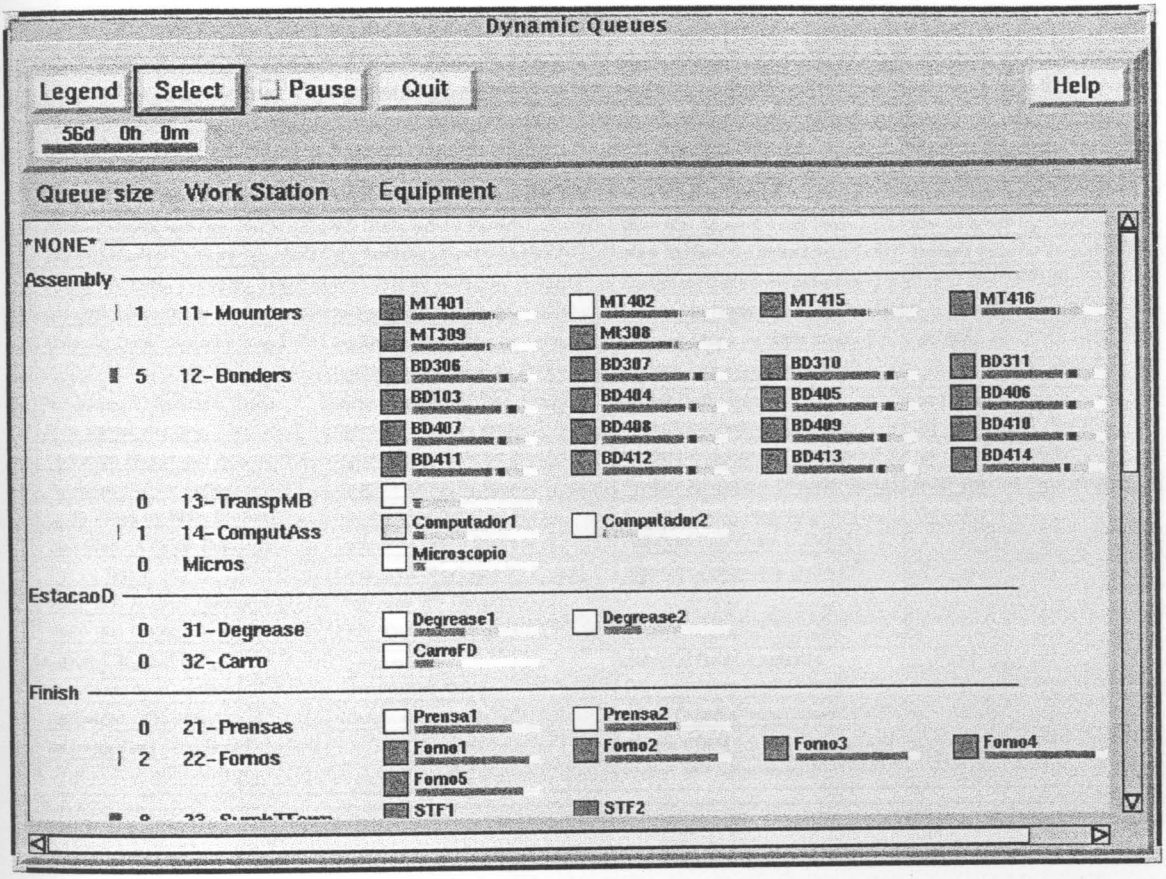


Figura 17: Run Time Graphics.

3.1.5. *Reports*

O botão de *Reports* dá acesso a uma janela onde existe uma múltipla oferta de relatórios que se podem consultar. Estes relatórios resumem organizadamente as estatísticas recolhidas pelo TestSim/X durante a simulação. A informação concentrada nos relatórios são uma fonte de resultados valiosa e essencial, tanto em termos de validação do modelo construído, como em termos de análise comparativa dos diferentes sistemas construídos.

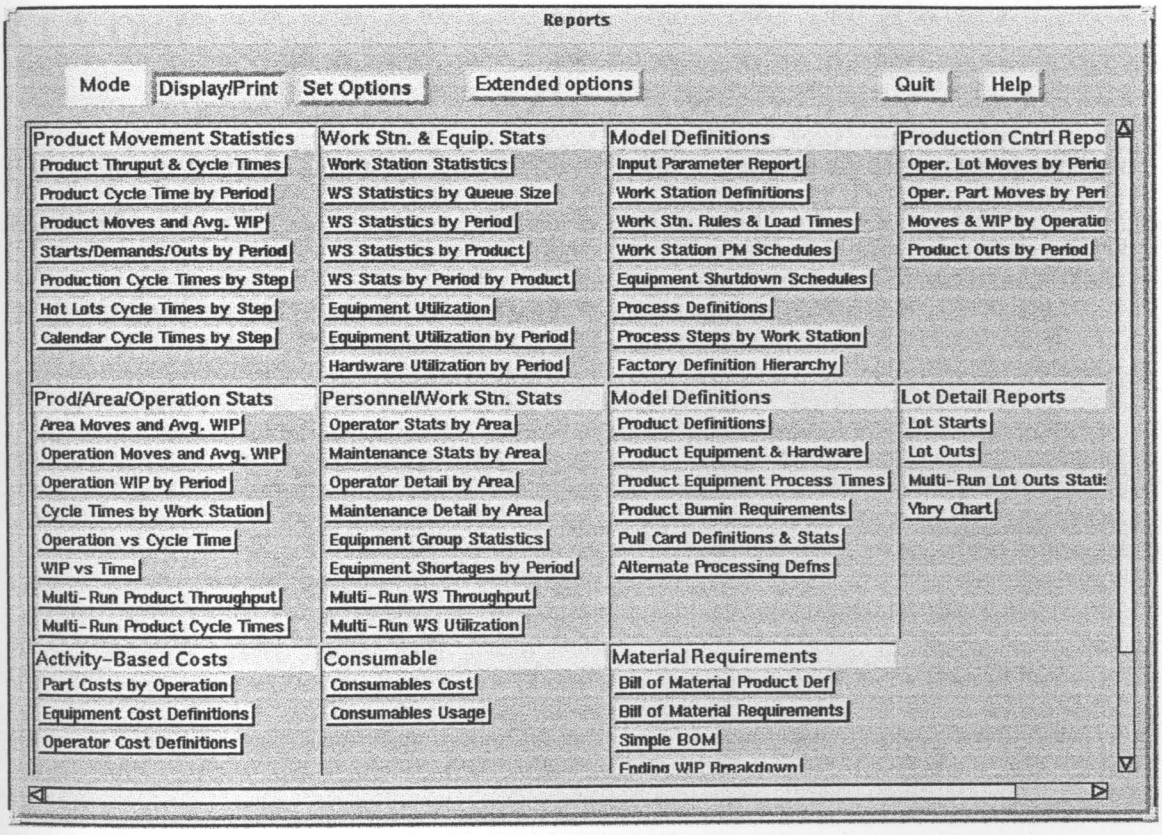


Figura 18: Reports.

Dentro da janela dos *Reports*, existe um botão designado por *Extended Options* que abre uma segunda janela onde existe a possibilidade de gerar um relatório mais extenso: o *Event Log*. Este relatório contém todos os acontecimentos gerados pelo TestSim/X, minuto a minuto. Para efeitos de validação do modelo construído é uma ferramenta bastante útil.

3.1.6. *Run*

Como o próprio nome indica, este botão faz "correr" o modelo, isto é, iniciar a simulação do modelo definido.

3.1.7. Quit

É o botão de saída do *Capacity Simulation Monitor* e permite ao utilizador abandonar o TestSim/X.

MODELAÇÃO DO SBU 5

Este capítulo descreve todas as actividades desde a recolha de dados e modelação do SBU 5 até à definição do modelo base.

A modelação da linha de fabrico do SBU 5 desenrolou-se em três fases distintas:

1. Modelação das áreas de *Assembly*
2. Modelação das áreas de *Finish* e *Degrease*
3. Modelação das áreas de *Test* e *Pack*.

Durante cada uma das fases, a recolha de dados e a construção do modelo foram tarefas efectuadas quase simultaneamente. Após a introdução de cada novo parâmetro, era avaliado o seu impacto, e quando necessário, introduzidas as devidas correcções.

No fim de cada fase, foi efectuada uma validação final dos resultados obtidos através de uma comparação objectiva com os resultados do sistema produtivo real.

A validação dos resultados de um modelo em TestSim/X incide essencialmente na validação de 3 pontos importantes:

1. Dados sobre o equipamento
2. Dados sobre a produção
3. Dados sobre as operadoras

Os resultados foram avaliados tendo por base as informações recolhidas nos relatórios do ATCS e através de críticas e comentários dos Facilitadores de Produção.(os Facilitadores de Produção possuem uma grande sensibilidade e experiência para avaliar todo o tipo de dados relativos à produção).

Na realidade, o modelo base foi sempre validado no final de cada fase de modelação, mas os resultados da validação só serão apresentados para o modelo final para evitar repetições de informação desnecessárias.

Após a modelação das áreas de *Assembly*, e antes de avançar para a segunda fase da modelação, foi idealizado e implementado um projecto de *soft-link* do equipamento de *Mount* e *Bond*, com um estudo paralelo da dimensão do lote mais adequado para esta situação. Este projecto paralelo, que ainda não foi finalizado, está descrito no Apêndice 1.

1. Recolha de Dados e Modelação das Áreas de *Assembly*

As operações de *Assembly* modeladas são o *Mount* e o *Bond*. Excluiu-se propositadamente o *Die Prep* e os *Starts* por serem áreas comuns a todos os SBUs e por não serem áreas produtivas, apenas de preparação do material para a produção.

1.1. Regras da Fábrica (*Factory Rules*)

As Regras da Fábrica são princípios básicos que irão reger o funcionamento de todas as áreas e equipamentos da linha de produção. São definidas inicialmente para todas as áreas e são regras que se aplicam por defeito, excepto quando é definida uma regra diferente para uma Estação de Trabalho específica.

As regras mais importantes que foram definidas, de acordo com as regras formais ou empíricas existentes na TISEP, são:

Regras da Fábrica	
Regra de Sequenciamento dos lotes	FIFO.
Regra de Ocupação das máquinas	Um lote de cada vez. Nunca misturar lotes com produtos diferentes.
Regra de Setup do equipamento	Se possível, mesmo produto.

Quadro 3: Regras da Fábrica aplicadas por defeito em TestSim.

1.2. Turnos de Laboração

A TISEP é uma fábrica que funciona em laboração contínua. Todas as funções ligadas directamente à Produção funcionam segundo 3 turnos diários de oito horas de trabalho que se distribuem segundo os seguintes horários:

- 1° Turno: 7h15m - 15h15m
- 2° Turno: 15h15m - 23h15m
- 3° Turno: 23h15m - 7h15m.

Existe ainda o chamado Turno de Dia que se aplica aos restantes funcionários. Estes cumprem um horário fixo, de Segunda a Sexta, das 8h45m às 17h15m.

O CWW (*Compressed Working Week*) é o calendário elaborado anualmente, dedicado aos funcionários que cumprem um dos três turnos descritos acima. Esse calendário faz um escalonamento dos dias de trabalho pelas quatro equipas de manufactura existentes. Existem quatro equipas de manufactura em todos os SBUs e para todos os turnos (equipas

A, B, C e D), tendo cada equipa um horário anual de trabalho específico definido pelo CWW. O CWW de 1996 está representado no Anexo II.

Embora existam 4 equipas de manufactura, diariamente apenas existem 3 equipas em laboração (excepto ao Domingo quando só existem 2 equipas), enquanto que a quarta equipa goza os seus dois dias de folga semanais. Os dias de folga variam de semana para semana. Assim, se esta semana uma equipa não trabalha à segunda-feira e à terça-feira, então na semana seguinte os seus dias de folga serão a quarta-feira e a quinta-feira, e assim sucessivamente.

1.3. *Work Area* "Assembly"

A Área de Trabalho definida em TestSim, o "Assembly", é a área física correspondente à sala de 10K.

Existem quatro tipos de salas de trabalho na TISEP:

- *Clean Room* 1K: São *salas limpas* que contêm menos de 1.000 ppm (partes por milhão) de partículas no ambiente. São locais extremamente controlados que obrigam à utilização de vestuário e equipamento especial. O vestuário utilizado consiste num fato anti-estáctico, botas anti-estácticas, luvas e máscara.
- *Clean Room* 10K: Estas *salas limpas* contêm menos de 10.000 ppm de partículas no ambiente. O vestuário e o equipamento utilizado é igual ao referido para as salas 1K.
- *Clean Room 100K*: É uma *sala limpa* com menos de 100.000 ppm de partículas no ambiente. Como as regras de limpeza do ar não são tão exigentes, o vestuário requerido resume-se a uma bata anti-estática, uma touca e uma máscara. Apenas se destina à produção de produtos Samsung.

- Sala Não Controlada: É uma área de grande dimensão com ambiente não controlado. Mesmo assim, é obrigatório utilizar batas anti-estáticas.

Em toda a fábrica, incluindo escritórios e áreas de lazer, é obrigatória a utilização de sapatos de fábrica anti-estáticos.

Numa Área de Trabalho estão alocados um certo número de recursos, sendo os mais importantes os seguintes:

- as equipas de manufactura (operadoras),
- os técnicos de manutenção e reparação,
- as Estações de Trabalho e os diferentes equipamentos.

As Estações de Trabalho e seus equipamentos são um tópico a desenvolver separadamente na secção seguinte.

Equipas de Manufactura

Relativamente às equipas de manufactura, é necessário definir o número médio de operadoras por turno, assim como as suas folgas diárias e semanais.

Analisando o CWW, e conhecendo o número de operadoras por equipa e por turno para o SBU 5, obteve-se uma média de 4 a 5 operadoras presentes por dia, na área de *Assembly*, excepto ao Domingo em que o número médio de operadoras desce para 3. No 3º. Turno, o número médio de operadoras também é inferior e isto deve-se ao facto de existir uma certa resistência por parte das operadoras em trabalhar no horário nocturno. De qualquer forma, estão a ser tomadas medidas para equilibrar os recursos de produção ao longo das 24 horas.

O número médio de operadoras para uma semana de trabalho está resumido no Quadro 4 e estes resultados foram confirmados com os Facilitadores de Produção.

	1º Turno			*2º Turno*			*3º Turno*		
Dia	*Início*	*Duração(h)*	*Operad.*	*Início*	*Duração (h)*	*Operad.*	*Início*	*Duração (h)*	*Operad.*
Segunda	7:00	8	5	15:00	8	4	23:00	8	3
Terça	7:00	8	4	15:00	8	5	23:00	8	3
Quarta	7:00	8	5	15:00	8	4	23:00	8	3
Quinta	7:00	8	4	15:00	8	5	23:00	8	3
Sexta	7:00	8	5	15:00	8	4	23:00	8	3
Sábado	7:00	8	4	15:00	8	5	23:00	8	3
Domingo	7:00	8	3	15:00	8	3	23:00	8	2

Quadro 4: Turnos de Trabalho da Área deTrabalho "Assembly".

Ao longo de um dia de trabalho existem intervalos. Resumidamente, considerou-se que existiam dois intervalos: o primeiro intervalo é mais curto, apenas para um pequeno café e tem uma duração aproximada de 20 minutos; o segundo intervalo, mais longo, é a chamada hora de almoço e dura cerca de 40 minutos. Como é conveniente manter sempre uma operadora na linha para controlar a evolução do equipamento e dos lotes, os intervalos das operadoras estão intercalados ao longo do turno.

Tomando como ponto de partida todos estes dados, estabeleceu-se um horário que representasse da forma mais realista possível as folgas das operadoras. Um exemplo da distribuição das folgas ao longo do dia por todas as operadoras está organizado no Quadro 5.[5] para uma situação em que existem 5 operadoras de manufactura na área de *Assembly*

[5] No Quadro 5, as colunas Início representam o número de horas após começar o turno em que se inicia o intervalo (por exemplo, 2 horas após o início do turno a Operadora 1 inícia o seu primeiro intervalo que durará 20 minutos).

	1º Intervalo		*2º Intervalo*		*Leitura do Online*	
Operadora	*Início*	*Duração*	*Início*	*Duração*	*Início*	*Duração*
1	2:00	20 min	4:00	40 min	6:00	14 min
2	2:00	20 min	5:00	40 min	4:00	14 min
3	2:30	20 min	5:00	40 min	2:00	14 min
4	2:30	20 min	6:00	40 min	0:00	14 min
5	3:00	20 min	6:00	40 min		

Quadro 5: Intervalos das operadoras de Assembly.

A Leitura do *Online* não corresponde a um momento de descanso mas sim à leitura de documentos retirados do sistema, de 2 em 2 horas, designados por *Online* e *Shopping List*. Assim, durante um turno de 8 horas existem 4 leituras destes documentos.

O *Online* é um documento que mostra a situação actual de toda a linha em termos de WIP. É uma boa ferramenta para controlo e planeamento operacional do sistema produtivo. Funciona segundo um sistema JIT (*Just In Time*, um sistema de planeamento de produção que, em linhas gerais, consiste em produzir apenas quando as áreas finais estão com falta de material), e tem o objectivo de evitar situações de falta ou excesso de material, especialmente nas áreas finais.

A *Shopping List* é um documento que contém uma listagem por ordem prioritária dos lotes que é necessário produzir área por área. A regra de prioridade estabelecida é o FIFO, isto é, os lotes que saíram há mais tempo dos *Starts* são os lotes mais prioritários, excepto quando existem lotes urgentes.

Na TISEP as tarefas das operadoras não se resumem às operações de manufactura. Com o "*Empowerment*" surgiram tarefas importantes que actualmente são parte da rotina de trabalho de todas as operadoras e que ocupam, semanalmente, uma certa percentagem de tempo:

1. as reuniões de GAT, onde as operadoras se reúnem semanalmente para discutir problemas de produtividade e qualidade.
2. os treinos em diferentes equipamentos, uma tentativa de aumentar a polivalência das operadoras e a flexibilidade da linha.

Através de uma avaliação do tempo total gasto em média por semana e por operadora, em reuniões e em treinos, definiu-se a distribuição das actividades extra de cada operadora por semana. Estas extra-actividades são contabilizadas no TestSim/X como Intervalos Semanais (*Weakly Breaks*) e representam tempos em que as operadoras, embora presentes, não estão ocupadas em tarefas de produção.

Os tempos médios gastos por actividade e por operadora em reuniões de GAT e em treinos, para cada turno, estão resumidos no Quadro 6 e aplicam-se às operadoras de todas as áreas. Estes tempos médios foram obtidos calculando o valor médio por semana de todas as horas de treino e reuniões previstas para o ano de 1996 para todas as operadoras do SBU 5.

Turnos	*Reuniões GAT / Semana*	*Treinos / Semana*
1° Turno	60 min	160 min
2° Turno	60 min	160 min
3° Turno	60 min	160 min

Quadro 6: Duração média por semana das Reuniões de GAT e dos treinos.

As reuniões e treinos foram distribuídos ao longo da semana por todas as operadoras de cada turno. Por exemplo, para o 1º turno, que contém 6 operadoras no total das 4 equipas de manufactura, elaborou-se o seguinte esquema de folgas semanais:

	Treinos			*Reuniões GAT*		
Dia	*Início*	*Duração*	*Operadoras*	*Início*	*Duração*	*Operadoras*
Segunda	7:00	160 min	1	14:00	60 min	1 e 2
Terça	7:00	160 min	2	14:00	60 min	3 e 4
Quarta	7:00	160 min	3	14:00	60 min	5
Quinta	7:00	160 min	4	14:00	60 min	6
Sexta	7:00	160 min	5	14:00	60 min	
Sábado	7:00	160 min	6	14:00	60 min	
Domingo						

Quadro 7: Distribuição das Reuniões de GAT e dos Treinos ao longo da semana para cada operadora.

Como o Domingo é um dia em que existe um menor número de operadoras, considerou-se que não se efectuavam treinos ou reuniões nesse dia.

Técnicos de Manutenção e Reparação

Os técnicos de manutenção também trabalham segundo o CWW. Mas enquanto que as equipas de manufactura estão dedicadas apenas a um SBU, os técnicos trabalham para todos os SBUs indiferentemente. Foi com base na percentagem de avarias que as máquinas do SBU 5 têm relativamente aos outros SBUs (estes valores foram obtidos com base em

dados históricos) que se concluiu que, em média, o número de técnicos para o SBU 5 são 2. Evidentemente este valor médio não tem o mesmo grau de precisão que os valores obtidos para as operadoras. Contudo, como os técnicos não são uma variável de decisão, não é necessário um estudo muito profundo sobre os seus horários de trabalho. Os dados introduzidos são apenas estimativas mas não comprometem a validade dos resultados obtidos com a simulação.

Dia	*1º Turno*	*2º Turno*	*3º Turno*
Segunda a Domingo	2	2	2

Quadro 8: Número médio de Técnicos para o SBU 5 na Área de Assembly.

Por suposição, considerou-se que as folgas diárias e semanais dos técnicos de reparação são iguais às folgas das operadoras, já definidas no Quadro 5 e no Quadro 7.

1.4. Estações de Trabalho (*Work Stations*) e Equipamento

Quase todos os parâmetros relativos ao equipamento são introduzidos na opção *Work Stations* do TestSim/X.

Na Área de Trabalho de "Assembly" foram definidas cinco Estações de Trabalho:

1. **"Micros"**
2. **"13-TransporteMB"**
3. **"14-ComputadorAss"**
4. **"11-Mounters"**

5. **"12-Bonders"**

As Estações de Trabalho principais são "11-Mounters" e a "12-Bonders". Estas duas Estações contêm os equipamentos que executam as duas principais operações de *Assembly*, o *Mount* e o *Bond*. As restantes podem ser designadas por secundárias ou auxiliares.

Expliquemos separadamente cada Estação de Trabalho definida para a Área de Trabalho "Assembly".

1.4.1. "Micros"

A Estação de Trabalho "Micros" contém todos os microscópios existentes no *Assembly*. Os microscópios são utilizados para efectuar inspecções de qualidade aos lotes processados e para efectuar tarefas de *Rework* (Reprocessamento) dos lotes.

Existem 4 microscópios que são utilizados indiscriminadamente por todos os SBUs.

1.4.2. "13-TransporteMB"

Esta Estação de Trabalho não contêm nenhum equipamento. Trata-se apenas de um artifício para representar uma tarefa que ocupa apenas o tempo duma operadora. Essa tarefa consiste no transporte dos lotes da Estação de Trabalho "11-Mounter" para a Estação de Trabalho seguinte, "12-Bonder".

1.4.3. "14-ComputAss"

O "ComputAss" engloba todos os computadores presentes na área de *Assembly*. Esses computadores podem ser utilizados por todos os SBUs e destinam-se à "venda" do lote em SMS (transição, ao nível informático, de um lote de uma área para a área seguinte).

O SMS, como já foi referido, é um sistema computadorizado de monitorização da produção. O fluxo produtivo de um lote em SMS está marcado por uma série de fases de produção que constituem o fluxo produtivo (*flow*) de um determinado produto. Cada produto tem um fluxo produtivo previamente definido.

A venda de um lote em SMS representa uma transição do lote de um *logpoint*[6] para o *logpoint* seguinte. Nas vendas em SMS as operadoras registam no sistema todos os dados relativos às operações efectuadas pelo lote, como, por exemplo: número da operadora que manuseou o lote, número da máquina onde o lote foi processado, etc. São as vendas de um lote em SMS que permitem que o *Online* consiga avaliar, em cada momento, onde estão as carências ou os excessos de inventário ao longo de toda a linha.

Os produtos do SBU 5 seguem apenas dois fluxos produtivos: o 2001 e o 3001. A única diferença existente entre estes dois fluxos reside na área de Embalagem dos Lotes (*Pack*). Enquanto que uns lotes são embalados em tubos (operação *Pack Tubos*), os outros lotes são embalados em bobines (operação *Pack Reel*). Os principais *logpoints* dos fluxos produtivos 2001 e 3001 dos produtos 14 Fast estão representados no Anexo II.

[6] Um *logpoint* corresponde a uma operação do fluxo produtivo de um determinado lote em que, depois de finalizada, a operadora deve efectuar a transição do lote no computador, isto é, efectuar a "venda" do lote ao SMS.

1.4.4. "11-Mounters"

A "11-Mounters" representa a Estação de Trabalho que contem as máquinas de *Mount*. Estas máquinas efectuam a primeira operação de produção modelada em TestSim/X, o *Mount*. O *Mount* consiste na "colagem" dos circuitos das *wafers* nos *die pads* (zonas dos *lead frames* onde assentam os *dies*), através de uma pasta resinosa, a *epoxy*.

Cada uma das *Work Stations* que contém equipamento será caracterizada relativamente a:

1. Parâmetros do equipamento
2. *Setup* do equipamento
3. Manutenção Preventiva

Parâmetros do Equipamento

Existem 6 *Mounters* (equipamentos que executam a operação de *Mount*) para o SBU 5. Como todos os equipamentos são semelhantes, os diversos parâmetros que os caracterizam são iguais.

Os principais parâmetros a introduzir no modelo de TestSim/X são:

- **Gross PPH ou PPH Teórico:** Este parâmetro caracteriza a capacidade teórica de cada máquina, isto é, o número de unidades por hora que uma *Mounter* seria capaz de produzir sem interrupção. Por oposição, existe um outro indicador, o **PPH Real**, que indica qual a capacidade real de uma máquina. O PPH Real não é um dado a introduzir na modelação de um sistema em TestSim, mas antes um indicador da veracidade dos resultados obtidos com o modelo de simulação.

$$Net\ PPH = \%Ocupacao\ Maquina \times Gross\ PPH$$

- **MTBA:** É o Tempo Médio Entre Assistências (em minutos). Geralmente um equipamento necessita da intervenção da operadora para resolução de pequenos problemas: encravamentos, retirar unidades defeituosas, etc. Este parâmetro indica o tempo médio em minutos entre duas assistências da operadora a um mesmo equipamento.
- **MTTA:** É o Tempo Médio Para Assistência (em minutos).
- **MTBF:** É o Tempo Médio Entre Avarias (em horas). As avarias de um equipamento são problemas mais graves e implicam sempre a intervenção de um técnico.
- **MTTR:** É o Tempo Médio Para Reparação (em horas).
- ***Delay* ou Tempo Médio de Atraso:** O *Delay* é o tempo médio de atraso do processo. O tempo de processamento de um lote de fabrico numa determinada Estação de Trabalho com equipamentos cuja capacidade é definida em unidades por hora, é calculado através da dimensão do lote e do PPH Teórico introduzido.

  $$Tempo\ Processamento\ (h) = Dimensao\ Lote\ (unid) \times PPH\ Teorico\ (unid/h)$$

  Contudo, o processo pode ter diversos atrasos. Esses atrasos devem-se essencialmente à necessidade de se executarem tarefas extras que ocupam simultaneamente a máquina e a operadora, mas que não são tarefas de processamento do lote. Algumas dessas tarefas são: colocar material na máquina, ajustamentos da máquina, activar o equipamento, etc.
- ***Load Time* ou Tempo de Carga:** Empiricamente, deveria ser o tempo médio que demora a colocar o lote na máquina. Mas, na realidade, o funcionamento

interno do TestSim/X inclui o Tempo de Carga e o Tempo de Descarga*Unload Time* dentro do tempo de processamento do lote.

Por exemplo, se um lote tem 1000 unidades e uma máquina tem a capacidade de produzir 1000 unidades por hora, com um Tempo de Carga de 10 minutos e um Tempo de Descarga de 10 minutos, então o TestSim/X considera que o tempo de processamento do lote é de 40 minutos e o somatório do Tempo de Carga e do Tempo de Descarga é de 20 minutos.

Sendo assim, adoptou-se que as tarefas verdadeiramente ditas de Carga e Descarga de um lote estariam contabilizadas em Tempo Médio de Atraso do Processo.

- ***Unload Time* ou Tempo de Descarga:** Empiricamente, é o tempo médio para retirar o lote da máquina, mas, tal como o Tempo de Carga, é utilizado para contabilizar outro tipo de tarefas (tarefas que decorrem em paralelo com o processamento do lote pela máquina como, por exemplo, efectuar inspecões de qualidade).

- ***Max Queue Time* ou Tempo Máximo em Fila de Espera:** É o tempo máximo de espera de um equipamento desde que chega um lote até que começa a processá-lo. Genericamente, é utilizado quando se definem algumas Regras da Fábrica específicas para uma determinada Estação de Trabalho. Um exemplo dessas Regras é:

  Regra de *Setup* do equipamento = "*Obrigatório Mesmo Produto*": Um novo lote só pode ser introduzido no equipamento se o seu produto for igual ao do lote anterior, caso contrário o lote fica em fila de espera até que o Tempo Máximo em Fila de Espera seja atingido. Nessa altura, se

não tiver aparecido um lote com o mesmo produto, o lote em fila de espera começa a ser processado efectuando-se o *setup* do equipamento.

Estes parâmetros foram quantificados e introduzidos no modelo em TestSim para todos os equipamentos. Os Quadros relativos a estes parâmetros definidos em TestSim estão contidos no Anexo IV. No Quadro 9 está um exemplo, para o caso presente das *Mounters*, dos Quadros que representam todos os parâmetros do equipamento descritos acima.

Parâmetros	*Descrição*	*Unidade de Medida*	*Distribuição Estatística*	*Valor Médio*
Número de máquinas	*Mounters*			6
PPH Teórico	Capacidade Teórica da Mounter	Unid/hora	Nenhuma	4.900
MTBA	Tempo Médio entre Assistências	Minutos	Exponencial Negativa	27
MTTA	Tempo Médio para Assistir	Minutos	Exponencial Negativa	0,9
MTBF	Tempo Médio entre Avarias	Horas	Exponencial Negativa	30,4
MTTR	Tempo Médio para Reparação	Horas	Exponencial Negativa	0,35
Delay	Tempo Médio de Atraso por Operação	Minutos	Exponencial Negativa	4
Load Time	Tempo para colocar o material na máquina (Tempo de Carga)	Minutos		2
Unload Time	Tempo para retirar material da máquina (Tempo de Descarga)	Minutos		1
Max Queue Time	Tempo máximo em Fila de Espera	Horas		0

Quadro 9: Parâmetros das Mounters.

O PPH Teórico foi um valor obtido através de medidas e avaliações efectuadas com a máquina em funcionamento. Os valores obtidos e os cálculos efectuados estão condensados no Anexo.V. O PPH Teórico introduzido no modelo de TestSim corresponde a ≈ 90% do valor final calculado.

O MTBF, o MTTR, o MTBA e o MTTA são valores retirados dos relatórios do ATCS. No Anexo VI está descrito o que é o ATCS e o sistema de comunicação que existe entre o ATCS, o MAC (*interface* entre ATCS e o equipamento) e as máquinas.

O Tempo Médio de Atraso e o Tempo de Carga e Descarga dos lotes são valores que resultam da agregação de diversas tarefas consecutivas executadas pela operadora quando coloca ou retira um lote de uma *Mounter*. Os tempos dessas tarefas são os valores médios de cronometragens efectuadas na linha de fabrico. Foram agregadas amostras de tempos para todas as operações de produção do SBU 5. No Anexo VI estão os tempos médios recolhidos para cada tarefa que compõem o processo produtivo do SBU 5.

Durante a fase de recolha de tempos, foi feito um esforço para obter valores realistas, isto é, as observações foram efectuadas com diferentes máquinas, diferentes produtos, diferentes operadoras e em diferentes dias.[7]

Setup do equipamento

Sempre que um produto é introduzido numa *Mounter*, existem certas especificações que a máquina deve cumprir para que o novo lote seja processado correctamente:

[7] Os tempos das operações de *Mount*, *Bond* e *Test* foram retirados de um estudo efectuado por Fernanda Lopes integrado num projecto de Reengenharia da Fábrica.

- **Programa de *Mount*:** se o novo lote tiver um produto diferente do lote anterior, a operadora deverá reprogramar a *Mounter*. Cada produto tem o seu programa de *Mount* específico.

- ***Pick-Up*:** O *pick-up* é uma pequena peça de borracha que se aplica na extremidade do braço da cabeça da *Mounter* para transporte dos *dies* da *wafer* para o *lead frame*. Consoante o tamanho do *die*, é necessário um tipo de *pick-up* específico. Existem 7 tipos de *pick-up* diferentes para os produtos do SBU 5.

- **Agulha de *Epoxy*:** A agulha que coloca o *epoxy* da seringa para o *lead frame* varia com o produto que a *Mounter* está a processar.Existem cerca de 7 agulhas de *epoxy* possíveis para os produtos de 14 Fast.

- ***Lead frame*:** O *lead frame* é a fita metálica onde a *Mounter* vai colocar o *die*. Consoante o tipo de produto e a forma do *die*, é utilizado um *lead frame* diferente. Sempre que um novo lote exige um novo *lead frame*, é necessário substituir os *lead frames* da *Mounter*. Nos produtos do SBU 5 existem três tipos de *lead frames* diferentes (PD4103, PD4104 e PD4105).

Essencialmente, e dadas as hipóteses de introdução de dados relativos a tempos de *setup* que o TestSim oferece, podem ser modelados três tipos de *setup*:

1. ***Setup Type* ou *Setup* por Tipo de Produto:** Sempre que um produto diferente é colocado numa máquina é necessário recalibrá-la.

   Em Mount, o *Setup Type* refere-se à reprogramação da *Mounter* pois cada produto tem o seu próprio programa de *Mount*. O tempo necessário para a introdução do novo programa é de ≈ 3 minutos.

2. ***Setup* por *Lead Frame*:** Sempre que um novo lote exige um *lead frame* diferente, é necessário contabilizar o tempo de mudança do *lead frame*. Este *setup* só é utilizado nos equipamentos de *Assembly* (*Mounters* e *Bonders*)

   Em *Mount*, o tempo para mudança do *lead frame* é ≈ 1,5 minutos.

3. ***Setup by Spec* ou *Setup* por Especificação:** O *Setup by Spec* refere-se às situações em que é necessário calibrar a máquina devido às Especificações de cada produto.

   Em *Mount*, as especificações para o processamento de um produto resumem-se a: agulha de *epoxy* e tipo de *pick-up*. Essencialmente foram definidas no modelo de TestSim as seguintes *Specs* (ou Especificações) de *Mount*:

Especificação	*Pick-Up*	*Agulha de Epoxy*
MT1	100100	21
MT2	125125	20
MT3	075075	22
MT4	100100	22
MT5	100100	2x22
MT6	125125	21
MT7	150225	2x20
MT8	150225	20

Quadro 10: Especificações de Mount definidas em TestSim.

Os tempos para mudança do *pick-up* e da agulha de *epoxy* são, respectivamente, 0,3 e 2 minutos.

Manutenção Preventiva

As máquinas de *Mount* sofrem diversas intervenções de Manutenção Preventiva ao longo do tempo. Mas, como são acontecimentos espaçados ao longo do ano, não é conveniente modelar essas intervenções visto não serem acontecimentos rotineiros. Esta foi a atitude adoptada para todos os equipamentos introduzidos no modelo de TestSim.

Relativamente às *Mounters*, apenas será considerado como manutenção preventiva a mudança da seringa de *epoxy*, que é efectuada uma vez por dia. A seringa de *epoxy* é o pequeno reservatório de *epoxy* colocado máquina de *Mount*. Esta mudança, efectuada aproximadamente de 24 em 24 horas, não exige a intervenção de um técnico, sendo efectuada por uma operadora.

No Anexo VIII estão representadas detalhadamente todas as intervenções de Manutenção Preventiva dos Equipamentos definidas no modelo de TestSim

1.4.5. "12-Bonders"

A Estação de Trabalho "12-Bonders" contém os equipamentos que executam a segunda operação modelada em *Assembly*. Essa operação, o *Bond*, consiste na ligação eléctrica, em fio de ouro, dos contactos do *die* ao *lead frame*.

Parâmetros do Equipamento

Existem 16 máquinas de *Bond* idênticas a produzirem produtos do SBU 5. Os principais parâmetros desses equipamentos estão resumidos no Quadro III do Anexo IV.

Setup do Equipamento

As especificações que uma *Bonder* deve cumprir, relativamente a um novo lote que inicia a sua produção, resumem-se aos seguintes pontos:

- **Programa de *Bond*:** Se a *Bonder* não estiver devidamente programada, não é capaz de efectuar os alinhamentos correctos entre os *bonding pads* (zonas do *lead frame* onde é feita a soldadura em fio de ouro) e os contactos do *die* de modo a não comprometer a ligação eléctrica entre os pinos do *lead frame* e o circuito. Cada produto tem um programa de *Bond* específico pois cada circuito tem uma geometria própria.
- **Fio de ouro:** Existem certos produtos que exigem um fio de ouro diferente, mais grosso. Para o SBU 5, apenas se utilizam 2 tipos de fio de ouro.
- ***Insert*:** É uma pequena peça que se aplica nas *Bonders* de acordo com o *lead frame* de cada produto. Desta forma, as *Bonders* podem processar todos os tipos de *lead frame*.

Foram modelados três tipos de *Setup*, à semelhança do que foi feito para as máquinas de *Mount*:

1. ***Setup Type*:** Sempre que um novo produto é colocado numa *Bonder*, é necessário introduzir o programa de *Bond* respectivo. Essa operação demora sensivelmente 9 minutos.
2. ***Setup* por *Lead frame*:** Se o produto de um novo lote tem um *lead frame* diferente do anterior, é necessário colocar um novo *Insert*.

3. ***Setup by Spec*:** A especificação associada a um determinado produto pode exigir a mudança de fio de ouro. Foram definidas apenas duas *Specs* de *Bond*, correspondentes aos dois tipos de fio de ouro que existem:

Especificação	*Fio de Ouro*
BD1	24.9
BD2	29.9

Quadro 11: Especificações de Bond definidas em TestSim.

A mudança de fio de ouro é uma tarefa relativamente demorada (cerca de 13 minutos).

Manutenção Preventiva

Apenas se considerou como manutenção preventiva as situações em que a bobine de fio de ouro acaba e tem de ser substituída. Geralmente uma bobine de ouro é substituída após produzir aproximadamente 35.000 unidades. Essa intervenção é efectuada pela própria operadora.

1.5. Processos

Como já foi dito, existem duas operações modeladas em TestSim, o *Mount* e o *Bond*. Mas, para a realização dessas duas operações existe uma grande variedade de pequenas tarefas que envolvem a participação de operadora e/ou equipamento.

Essencialmente, a modelação de um processo em TestSim/X consiste na sucessão de tarefas que ocupam Estaçòes de Trabalho. De modo a simplificar o modelo de TestSim/X, as diferentes tarefas foram agrupadas em grandes tarefas segundo as suas características. Foram considerados 4 tipos de tarefas:

1. Tarefas que ocupam simultaneamente operadora e equipamento agrupadas em *Delay* (Tempo Médio de Atraso) da Estação de Trabalho.

   Por exemplo: Colocar ou retirar um lote do equipamento.

2. Tarefas que ocupam a operadora enquanto a máquina está a processar o lote agrupadas em *Load* ou *Unload Time* (Tempo de Carga ou Descarga).

   Por exemplo: Inspecções de qualidade aos lotes em processo.

3. Tarefas de processamento do lote, com ou sem intervenção da operadora.

   Por exemplo: Operação de *Mount* (o tempo de processamento fica automaticamente definido a partir do valor do PPH Teórico introduzido e da dimensão do lote).

4. Tarefas de *setup* do equipamento.

   Por exemplo: Mudança do *Insert* de uma *Bonder*.

O diagrama das tarefas que compõem as operações de *Assembly* está representado na Figura 19.

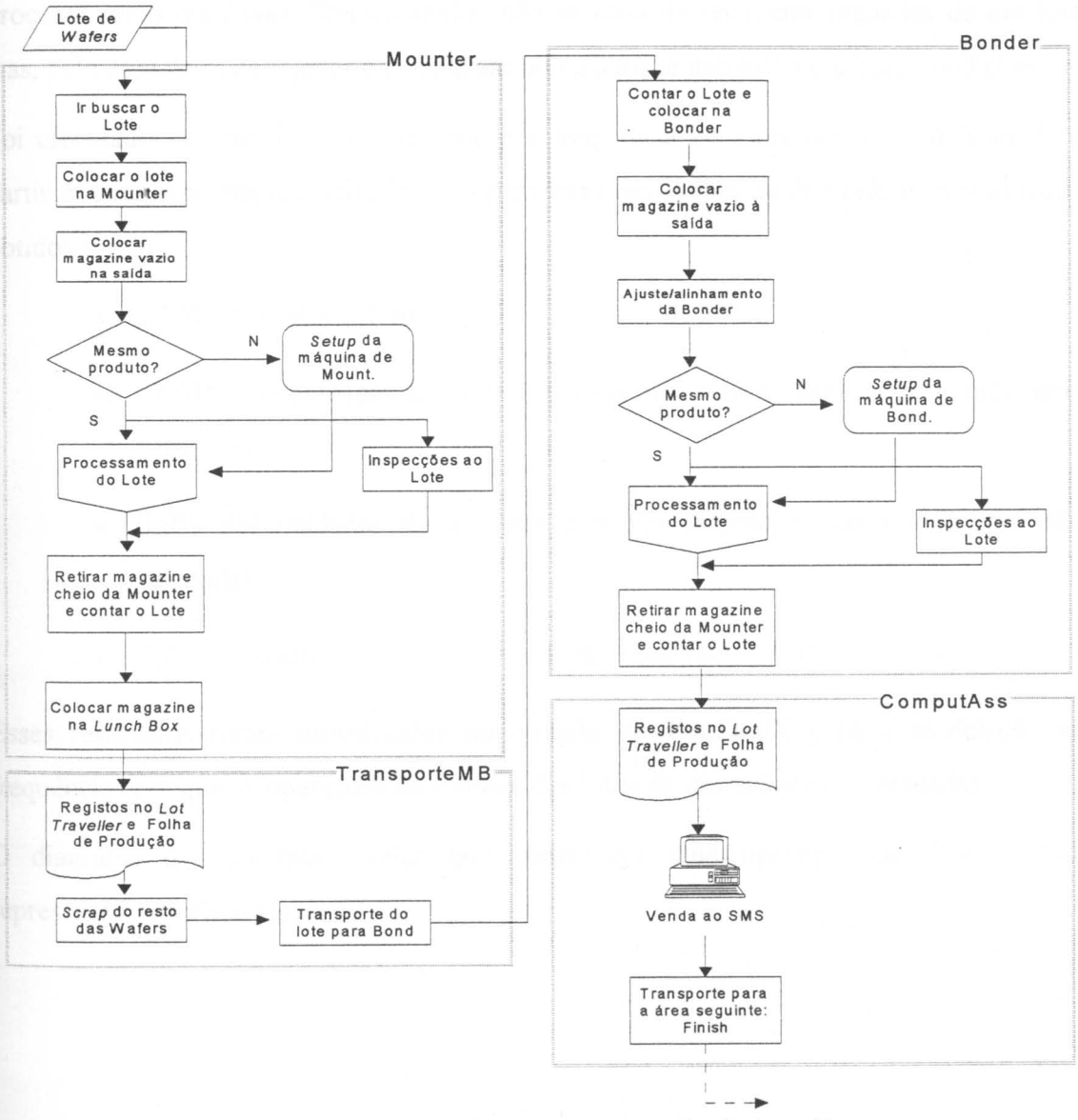


Figura 19: Diagrama das operações e tarefas de Assembly.

Os tempos introduzidos na modelação do processo em TestSim/X estão resumidos no Anexo VII.

Existe ainda um outro processo importante em *Assembly*, o *Rework* dos lotes. O *Rework* consiste na destruição voluntária das unidades defeituosas e é efectuado após o

processamento em *Bond*. Efectivamente, não se trata de recuperar unidades de um lote mas, pelo contrário, de rejeitar e inviabilizar unidades que não estão em boas condições.

Foi efectuado um estudo estatístico sobre a frequência de lotes que sofrem *Rework*, a partir dos registos manuais feitos pelas operadoras nas Folhas de *Rework*, e os resultados obtidos foram:

- 1,75% dos lotes sofrem *Rework*
- 92,01% das unidades de um lote que vai para *Rework* são inspeccionadas pela operadora
- 3,9% das unidades de um lote que são inspeccionadas em *Rework* são rejeitadas
- 0,21% dos lotes que fazem *Rework* são rejeitados a 100%

Esses resultados foram introduzidos no modelo de TestSim/X para a modelação da frequência com que as operações de *Rework* dos lotes de *Assembly* são efectuadas.

O diagrama das diversas tarefas que constituem uma operação de *Rework* está representado na Figura 20.

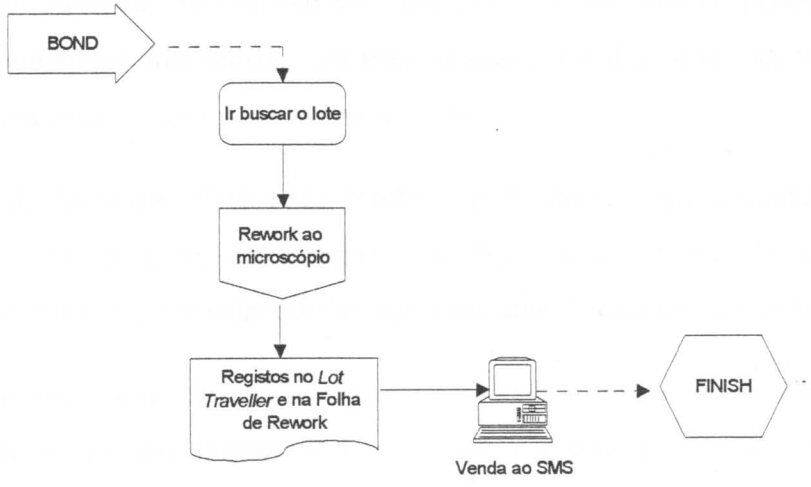


Figura 20: Diagrama das operações e tarefas de Rework de Assembly.

1.6. Produtos

Os produtos são o último *item* a modelar em TestSim/X. Evidentemente dada a grande amplitude de produtos produzidos no SBU 5, seria extremamente morosa a tarefa de modelação de todos os diferentes produtos fabricados.

A curva de Pareto dos produtos do SBU 5 já apresentada, indica que cerca de 20% dos produtos representam aproximadamente 80% da produção de 14 *Fast*. Estes 20% dos produtos são suficientes para constituir uma gama de produtos variada para o modelo de simulação do SBU 5. A partir dos dados históricos de produção dos meses de Março, Abril e Maio, foram seleccionados os 34 produtos diferentes (produtos de maior produção) que, *grosso modo*, representarão a produção total do SBU 5.

O TestSim/X permite modelar o lançamento dos produtos na linha, os *Starts*, através de diferentes alternativas:

1. De uma forma **constante**, de semana para semana

2. Por **Período**: São previamente definidos os períodos de produção em dias (podem ser uma semana, um mês ou apenas um dia), e introduzidos os *Starts* para cada um dos períodos considerados.

3. Pela **Procura**: Para cada produto, é definida a sua procura semanal. O TestSim/X toma em consideração factores como o WIP existente e a produção já realizada e define automaticamente os *Starts* de cada produto.

4. Através de um **Ficheiro**: Os *Starts* de cada produto são gerados através da leitura de um ficheiro que deve ser pré-definido e estar disponível no momento da simulação.

5. Por **Dia/Hora**: Esta hipótese permite definir que os *Starts* de cada produto serão sempre efectuados num dia específico da semana e a certas horas do dia.

Na TISEP, o Planeamento elabora semanalmente uma lista dos pedidos dos clientes, por SBU e simultaneamente define o volume de produção teórico a cumprir por cada turno. É o chamado *forecast* de produção (previsão da produção para um determinado turno).

Para o SBU 5, a previsão da produção é um valor aproximadamente constante de semana para semana e geralmente não excede as 450 mil unidades por dia. Tendo em consideração as perdas de *yield* (rejeição de unidades defeituosas), é necessário um volume mínimo de *Starts* de 465 mil unidades por dia.

Como a produção do SBU 5 não apresenta grandes oscilações de semana para semana, e de modo a simplificar o mais possível o modelo de simulação, foi seleccionada a primeira alternativa para a modelação dos *Starts* em TestSim/X.

Depois de se definir o volume total de *Starts* e os produtos a introduzir no modelo, é necessário definir o ***mix* dos produtos**, isto é, o volume de *Starts* relativo a cada produto. Esta questão é particularmente importante pois os produtos não são todos iguais. Embora os fluxos produtivos sejam os mesmos, as características próprias de cada produto exigem equipamentos e materiais específicos, o que por vezes pode significar uma restrição à produção.

As características próprias de cada produto que devem ser tomadas em consideração são:

1. **O tipo de *lead frame*:** O *mix* de *lead frames* no WIP da fábrica é um dado definido semanalmente, de acordo com a previsão de produção e os pedidos dos clientes. Este *mix* é controlado pelo *Online* apenas para as áreas de *Assembly*.

2. **A tecnologia de Test:** Os produtos do SBU 5 contêm 3 classes diferentes de tecnologias de *Test*: HSM STSI (*Single Test Single Insertion*) para circuitos integrados digitais, e LIN STSI e TL1 STSI para produtos lineares. O *mix* da tecnologia de *Test* na linha de produção é controlado, de 2 em 2 horas, pelo *Online* para o WIP de toda a fábrica.

As percentagens médias de produção de cada *lead frame* e de cada tecnologia de teste consideradas para a construção do modelo em TestSim estão representadas na Figura 21.

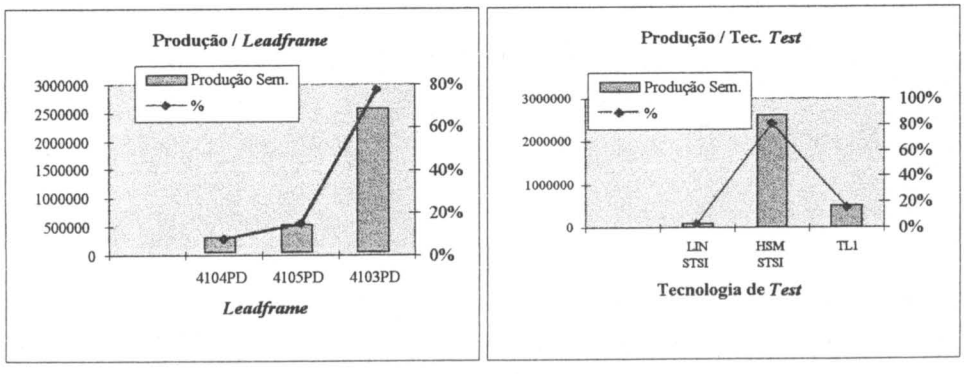


Figura 21: Gráficos da percentagem de Lead Frame e Tecnologia de Test nos produtos do modelo de TestSim.

Tomando estes dois factores em consideração, e dadas as características próprias dos produtos seleccionados, foram definidos os *Starts* por produto. A listagem dos diferentes produtos que se obteve está ordenada no Anexo IX. Por razões de privacidade da informação interna da TISEP, os produtos não foram identificados.

Outro dado importante que é necessário introduzir no modelo é o **tamanho do lote**. Inicialmente, foram efectuados estudos para a caracterização do tamanho do lote no SBU 5. As conclusões que se obtiveram foram:

- O tamanho médio do lote de fabrico é de ≈ 5.500 unidades (um lote de fabrico está sempre identificado com um *Lot Traveller*).
- O tamanho médio do lote de *wafers* que durante a operação de *Mount* será dividido nos lotes de fabrico é de ≈ 11.000 unidades.
- Em média, existem 2 *wafers* em cada lote de *wafers*.
- Em média, cada lote de *wafers* divide-se em 2 lotes de fabrico.

A partir deste estudo foram construídos os histogramas da Figura 22 e da Figura 23 e foi possível modelar o tamanho de lote actual relativo ao SBU 5.

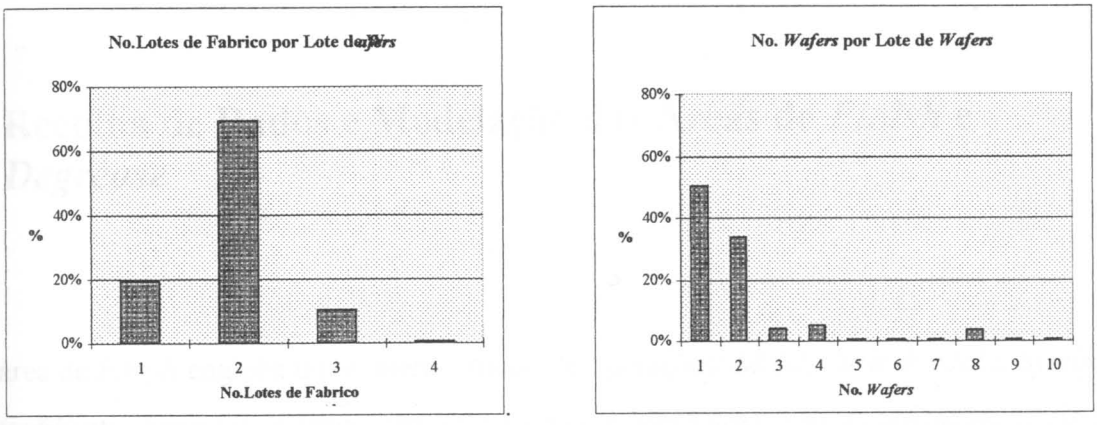


Figura 22: Histogramas relativos ao lote de wafers

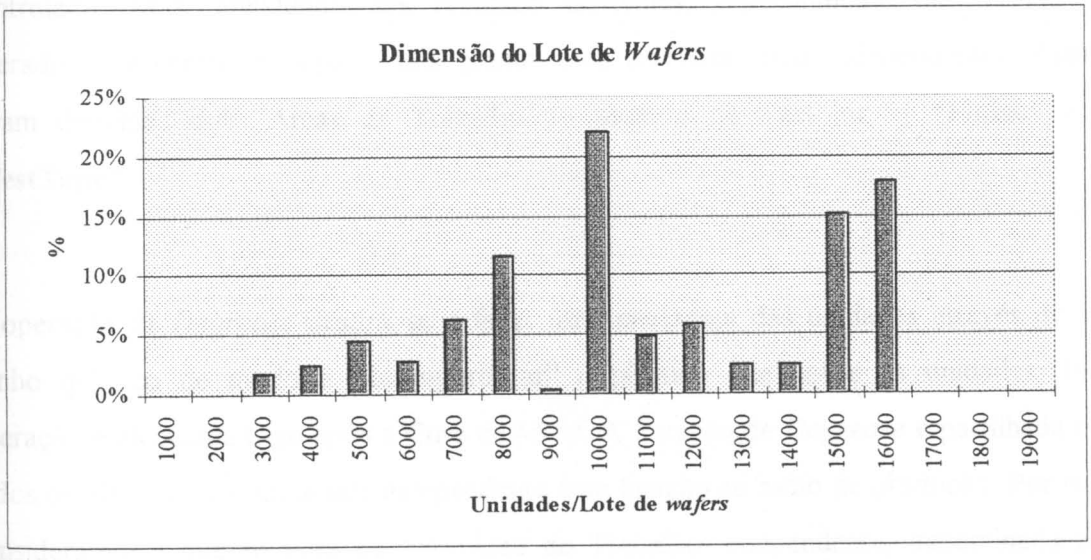


Figura 23: Dimensão média de um lote de wafers.

2. Recolha de Dados e Modelação das Áreas de *Finish* e *Degrease*

A área de *Finish* engloba um número variado de operações: *Mold*, *Cura de Mold*, *Symbol*, *Trim&Form*, *Singulate* e Inspecção V/M (Visual e Mecânica). São as operações finais de produção que se destinam basicamente a dar a forma final ao circuito.

As áreas de *Finish* e de *Test* e *Pack* ocupam uma área física comum, o salão não-controlado. Mas, atendendo aos recursos existentes, especialmente em termos de operadoras, é preferível separar esta grande área em duas áreas independentes. Assim, foram definidas duas Áreas de Trabalho no modelo de TestSim: o **"Finish"** e o **"TestTape"**.

A operação de *Degrease* destina-se a fazer uma passagem das unidades através de um banho químico de modo a "desengordurar" o plástico que cobre as unidades. Esta operação é efectuada logo após a Cura de *Mold*. A Estação de *Degrease* é partilhada por todos os SBUs e está numa sala independente com ligação ao salão de produção. Por isso, consideraremos que se trata de uma Área de Trabalho independente, denominada por **"EstacaoD"**.

Na segunda e terceira fase de modelação das áreas de produção, muitas variáveis que são comuns para toda a planta fabril já estão definidas. Essas variáveis são:

- ✓ as Regras da Fábrica
- ✓ os Turnos de Laboração

- ✓ os Produtos.

2.1.Áreas de Trabalho (*Work Areas*)

Foram definidas duas Áreas de Trabalho em TestSim/X que foram designadas por **"Finish"** e "**EstacaoD**". Estas Áreas de Trabalho, como todas as outras, têm um certo número de recursos que operam exclusivamente nessas áreas. De entre esses recursos, é dado um maior ênfase às operadoras. Os técnicos, como são um recurso partilhado por todos os SBUs, não serão modelados com exactidão e não serão considerados como uma variável de decisão.

2.1.1. Área de Trabalho "Finish"

Equipas de Manufactura

O número médio de operadoras foi definido tendo como base o CWW e as sugestões dadas pelos Facilitadores de Produção.

Relativamente ao número médio de operadoras em *Finish* durante uma semana de trabalho, foram definidos os seguintes valores médios:

	1º Turno			2º Turno			3º Turno		
Dia	*Início*	*Duração(h)*	*Operad.*	*Início*	*Duração (h)*	*Operad.*	*Início*	*Duração (h)*	*Operad.*
Segunda	7:00	8	5	15:00	8	4	23:00	8	5
Terça	7:00	8	4	15:00	8	5	23:00	8	5
Quarta	7:00	8	5	15:00	8	4	23:00	8	5
Quinta	7:00	8	4	15:00	8	5	23:00	8	5
Sexta	7:00	8	5	15:00	8	4	23:00	8	5
Sábado	7:00	8	4	15:00	8	5	23:00	8	5
Domingo	7:00	8	3	15:00	8	3	23:00	8	3

Quadro 12: Turnos de trabalho da área de Finish.

Quanto às folgas das operadoras consideraram-se as mesmas duas folgas diárias que foram consideradas para a Área de Trabalhode *Assembly*.

Apenas existe um *Online* para as áreas de *Finish*, *Degrease*, *Test* e *Pack* e apenas uma operadora destas áreas faz a sua leitura. Arbitrariamente, foi decidido que no modelo de TestSim/X seria uma operadora da Área de Trabalho "Finish" que o faria. Considerando que existem 5 operadoras na linha, a distribuição das folgas fica definida da mesma forma que a já apresentada para a Área de Trabalho anterior (ver Quadro 7).

Quanto aos intervalos semanais, são exactamente iguais aos já apresentados para o *Assembly*, pois, como já foi referido, os tempos médios avaliados por operadora e por intervalo são valores médios para todas as operadoras do SBU 5.

Técnicos de Manutenção e Reparação

Relativamente aos técnicos de manutenção e reparação que estão dedicados ao SBU 5 foi definido que existem 2 técnicos dedicados a este SBU. No entanto, este número é uma simples estimativa e não reflecte com uma grande precisão a realidade da linha.

2.1.2. Área de Trabalho "EstacaoD"

A "EstacaoD" é uma Área de Trabalho que corresponde a uma pequena sala climatizada denominada por Estação de *Degrease*. Apenas existe uma operadora para transportar os lotes dos Fornos para a Estação de *Degrease*, colocá-los no *Degreaser* e, depois da lavagem, transportá-los para a Área de Trabalho "Finish", mais especificamente para a Estação de Trabalho "23-SymbTForm".

O horário de trabalho da operadora da Estação de *Degrease*, durante cada um dos turnos de laboração, é o seguinte:

	1º Intervalo		*2º Intervalo*	
Dia	***Início (h)***	***Duração (min)***	***Início (h)***	***Duração (min)***
Segunda a Domingo	2	20	2	40

Quadro 13: Turnos de Trabalho da Estação de Degrease.

Não serão definidos quaisquer técnicos de manutenção e reparação pois, por suposição, o *Degreaser* nunca avaria e não necessita da intervenção dos técnicos.

2.2. Estações de Trabalho (*Work Stations*) e Equipamento

Foram modeladas 6 Estações de Trabalho na Área de Trabalho "Finish":

1. **"21-Prensas"**
2. **"22-Fornos"**
3. **"23-SymbTForm"**
4. **"24-Singulate"**
5. **"25-V_M"**
6. **"26-ComputFin"**

Relativamente à Área de Trabalho "EstacaoD", existe apenas uma Estação de Trabalho que contém equipamento, o **"31-Degrease"**, e existe uma Estação de Trabalho auxiliar, o "**32-Carro**", que se destina a modelar o transporte dos lotes.

2.2.1. "21-Prensas"

As Prensas de *Mold* efectuam a primeira operação às unidades após a saída da área de *Assembly*. A operação de *Mold* consiste no revestimento do *die* por um rectângulo de plástico que, além de servir como protecção, possui propriedades de dissipação do calor.

A Prensa de *Mold*, devido ao elevado número de pequenas tarefas que uma operadora tem de executar, exige a sua presença a 100%.

Parâmetros do Equipamento

O PPH Teórico da Prensa foi calculado tendo por base um PPH ideal de 17.530 unidades/hora. Este PPH ideal supõe que tanto o equipamento como a operadora não param, isto é, não existem perdas de eficiência. Mas, visto que é impossível atingir este valor já que estamos perante um equipamento que requer uma grande intervenção humana, foi considerado que o *Gross* PPH real seria cerca de 80% deste valor (esta estimativa foi confirmada pois a % Utilização do equipamento de *Mold* que o TestSim forneceu está bastante próxima da real).

Devido à presença constante da operadora, e dado que a Prensa de *Mold* é um equipamento que não requer intervenções ocasionais da operadora, como era o caso da *Mounter* ou da *Bonder*, considerou-se que tanto o MTBA como o MTTA são zero.

O *Load* e o *Unload Time* não devem ser preenchidos no modelo de TestSim pois esta é a única forma de indicar que o processo é acompanhado a 100% por uma operadora.

Setup do Equipamento

Nenhum produto tem especificações especiais que obriguem a um *setup* do equipamento. Para a Estação de Trabalho Prensas não foi modelado qualquer tipo de intervenção de *setup*.

Manutenção Preventiva

Embora as Prensas de *Mold* se situem num ambiente não-controlado, o facto de os *dies* ainda estarem desprotegidos obriga a que sejam tomadas certas protecções. Por exemplo, a Prensa de *Mold*, especialmente a zona onde os *lead frames* são colocados, deve estar

limpa de partículas. Isto obriga a uma limpeza diária da prensa feita pela operadora. É a chamada *limpeza por melamine* que demora cerca de 1h15min. Esta limpeza será modelada em TestSim/X como se se tratasse de um intervenção de manutenção preventiva.

2.2.2. "22-Fornos"

Após o *Mold*, as unidades são transportadas para os Fornos para fazer uma cura do plástico durante 5 horas, mais 20 minutos para arrefecimento dos lotes de modo a conferir ao plástico uma maior resistência.

De uma maneira geral, existem 4 fornos para o SBU 5. No entanto, esta alocação de fornos por SBU não é muito rígida, e se necessário, podem ser utilizados os outros fornos existentes na fábrica. Assim, foi considerado que existem 5 e não 4 fornos na Estação de Trabalho "22-Fornos". Cada forno tem uma capacidade máxima de 6 a 8 lotes.

Existe um horário bem definido de fecho e abertura dos fornos, independentemente do facto de o forno estar cheio ou vazio. Esse horário foi feito com a intenção de intercalar ao longo do tempo a saída de material para a operação seguinte, evitando situações de excesso ou de falta de material. Cada forno fecha de 6 em 6 horas, iniciando de imediato o processo de cura, mesmo se existe apenas um lote no seu interior.

Esta distribuição das horas de fecho e abertura dos fornos ao longo do dia, não é fácil de modelar em TestSim/X visto que esta hipótese não foi considerada pela *Tyecin*. A melhor forma encontrada para contornar este problema foi:

1. Modificando a Regra da Fábrica relativa ao *Equipment Load Rule* (regra relativa ao sequenciamento dos lotes num determinado equipamento). Em vez de "*Do Not Mix Lots*" ("Não Misturar Lotes com Produtos Diferentes") foi introduzida a regra "*Full Load Required: Multiple Products*" ("Obrigatório

Carga Completa: Múltiplos Produtos"). Esta regra obriga a que o forno só começa a funcionar quando a sua capacidade estiver esgotada e permite que lotes com produtos diferentes ocupem o mesmo forno.

2. Estabelecer que o Tempo Máximo em Fila de Espera é 1 hora, isto é, os lotes que entram no forno só podem esperar uma hora para começarem a ser processados, esteja ou não o forno cheio.

Os parâmetros relativos aos Fornos estão representados no Quadro V do Anexo IV.

Os Fornos não requerem qualquer tipo de acção de *setup* e as intervenções para Manutenção Preventiva são raras e sem impacto ao nível produtivo, por isso não foram modeladas.

2.2.3. "31-Degrease"

O *Degreaser* consiste numa sucessão de 3 banhos químicos diferentes onde os lotes vão sendo sucessivamente submergidos. O transporte dos lotes de banho para banho é feito com a ajuda de um gancho que se desloca ao longo de uma correia.

Os parâmetros relativos ao *Degreaser* estão resumidos no Anexo IV.

O *Degreaser* não exige nenhum tipo de *setup e n*ão foi definida nenhuma intervenção de Manutenção Preventiva.

2.2.4. "32-Carro"

O "32-Carro" é uma Estação de Trabalho da Área de Trabalho "EstacaoD" que se destina apenas a modelar o transporte dos lotes dos Fornos para o *Degreaser* e o transporte dos lotes do *Degreaser* para o equipamento de *Symbol Trim&Form*.

2.2.5. "23-SymbTForm"

Após a Cura de *Mold*, o lote vai para a Estação de *Degrease*, onde é lavado, voltando outra vez para a Área de Trabalho "Finish" onde continuará o seu processamento. A Estação de Trabalho seguinte que o lote vai ocupar é a "23-SymbolTform". Esta Estação de Trabalho tem uma tripla função: simbolizar, cortar e conformar as unidades.

Anteriormente, esta Estação de Trabalho era formada por dois equipamentos diferentes e independentes: o *Symbol* e o *Trim&Form*. Mas de modo a aumentar a produtividade da linha, estes dois tipos de equipamento foram ligados através de um tapete rolante, transformando-se numa só máquina. Como o equipamento de *Symbol* tinha uma menor capacidade de fabrico, o *Gross* PPH deste módulo ficou definido pelo *Gross* PPH da *Symbol*.

Parâmetros do Equipamento

A introdução dos diferentes parâmetros para o módulo de *Symbol TrimForm* foram avaliados tendo em atenção os parâmetros da máquina de *Symbol* e o parâmetros da máquina de *Trim Form*.

Por exemplo, para o cálculo do MTBF foi adoptada a seguinte fórmula:

BIBLIOTECA F.E.

$$\frac{1}{MTBF} = \frac{1}{MTBF_{Symbol}} + \frac{1}{MTBF_{TForm}}$$

A mesma fórmula se aplica para o cálculo do MTBA.

Quanto ao cálculo do MTTR e do MTTA, foi feita uma média ponderada:

$$MTTR = \%Avarias_{Symbol} \times MTTR_{Symbol} + \%Avarias_{TForm} \times MTTR_{TForm}$$

Todos os parâmetros do equipamento da Estação de Trabalho "23-SymbTForm" estão resumidos no Anexo IV.

Setup do Equipamento

A *Laser Matrix* é o equipamento utilizado para a simbolização das unidades. O símbolo relativo ao produto de cada lote é obtido através de uma máscara de vidro que se coloca no interior da *Laser Matrix*. Assim, sempre que um novo lote tem um produto diferente do lote anterior, é necessário que a operadora:

1. escolha a nova máscara
2. coloque a máscara dentro da *Laser Matrix*.

O equipamento não exige mais nenhum tipo de *setup*. E, como a mudança de *setup* só é exigida quando existe uma mudança de produto, apenas se definiu para a Estação de Trabalho "SymbolTForm" um ***Setup Type*** com um valor médio de 2 minutos.

Manutenção Preventiva

Não foram definidas intervenções de Manutenção Preventiva para os equipamentos de *Symbol Trim&Form*.

2.2.6. "24-Singulate"

Quando as unidades já estão com a sua conformação final vão para a *Singulater* para serem individualizadas.

Até agora as unidades estavam presas entre si através dos *lead frames* e eram transportadas em *magazines*. A partir do momento em que são individualizadas, passam a ser transportadas em placas.

Parâmetros do Equipamento

A *Singulater* é uma máquina bastante rápida, e como recebe apenas os lotes que saem do módulo de *Symbol Trim&Form*, a sua percentagem de utilização é muito baixa. Isto é facilmente compreensível quando se compara o PPH Teórico da *Symbol Trim&Form* com o da *Singulater*.

O *Gross* PPH da *Singulater* foi um valor obtido através da cronometragem do tempo que demora cada máquina a singularizar as unidades de 4 *lead frames* (280 unidades). Para ambas as máquinas que operam no SBU 5, o *Gross* PPH encontrado foi sensivelmente o mesmo e aproxima-se das 50 mil unidades por hora (ver AnexoV)

Os valores do MTBA e do MTTA desta Estação de Trabalho assim como da anterior foram o resultado de um estudo elaborado com o auxílio das operadoras. Durante 3 dias

intercalados foi pedido aos 3 turnos que preenchessem, através da marcação de cruzes, uma folha de registo de modo a assinalar todas as intervenções efectuadas e o tempo aproximado que essas intervenções demoravam. No Anexo X está definido o método de cálculo do MTBA e MTTA para os equipamentos de *Symbol*, *Trim&Form* e *Singulate*.

No Quadro VIII do Anexo IV estão representados todos os parâmetros da Estação de Trabalho "24-Singulate".

2.2.7. "25-V_M"

A Inspecção V/M é efectuada numa mesa especial onde são colocadas as placas com as unidades já singularizadas. Os defeitos mais comuns que são detectados são: fissuras, *bent leads* (pinos tortos), porosidades no plástico e unidades mal simbolizadas.

A Inspecção V/M é efectuada apenas por uma operadora, e para além da mesa de V/M, não exige mais nenhum equipamento especial.

Parâmetros do Equipamento

A Inspecção de V/M, inspecção visual do lote a 100%, na realidade não é efectuada por nenhum equipamento e sim por uma operadora.

Os parâmetros introduzidos em TestSim relativos à Estação de Trabalho "25-V_M" estão detalhados no Quadro IX do Anexo IV.

O valor do PPH Teórico de cada posto de V/M foi obtido através de cronometragens das operadoras em processo. O valor inicialmente calculado (bastante superior ao valor introduzido no modelo) teve de ser corrigido pois as operadoras de V/M são frequentemente interrompidas durante o seu trabalho. Além disso, como o trabalho é

bastante desgastante, é quase impossível manter um ritmo elevado durante um turno inteiro.

Não foi definido nenhum tipo de *setup* do equipamento, dado que o processamento de um lote em V/M não exige requisitos especiais. Também não foram definidas intervenções de Manutenção Preventiva visto que esta Estação de Trabalho não contém equipamentos, na verdadeira acepção da palavra.

2.2.8. "26-ComputFin"

Após o *Mold* e depois da Inspecção de V/M, o lote deve ser vendido ao SMS. As vendas ao SMS são efectuadas na Estação de Trabalho "26-ComputFin" que contém apenas 1 computador.

2.3. Processos

Quando os lotes saem da Estação de Trabalho "25-V_M", as unidades já apresentam a sua forma definitiva e já passaram um primeiro teste, a inspecção a defeitos visuais e mecânicos (V/M).

As operações que foram modeladas em TestSim/X estão representadas esquematicamente na Figura 24.

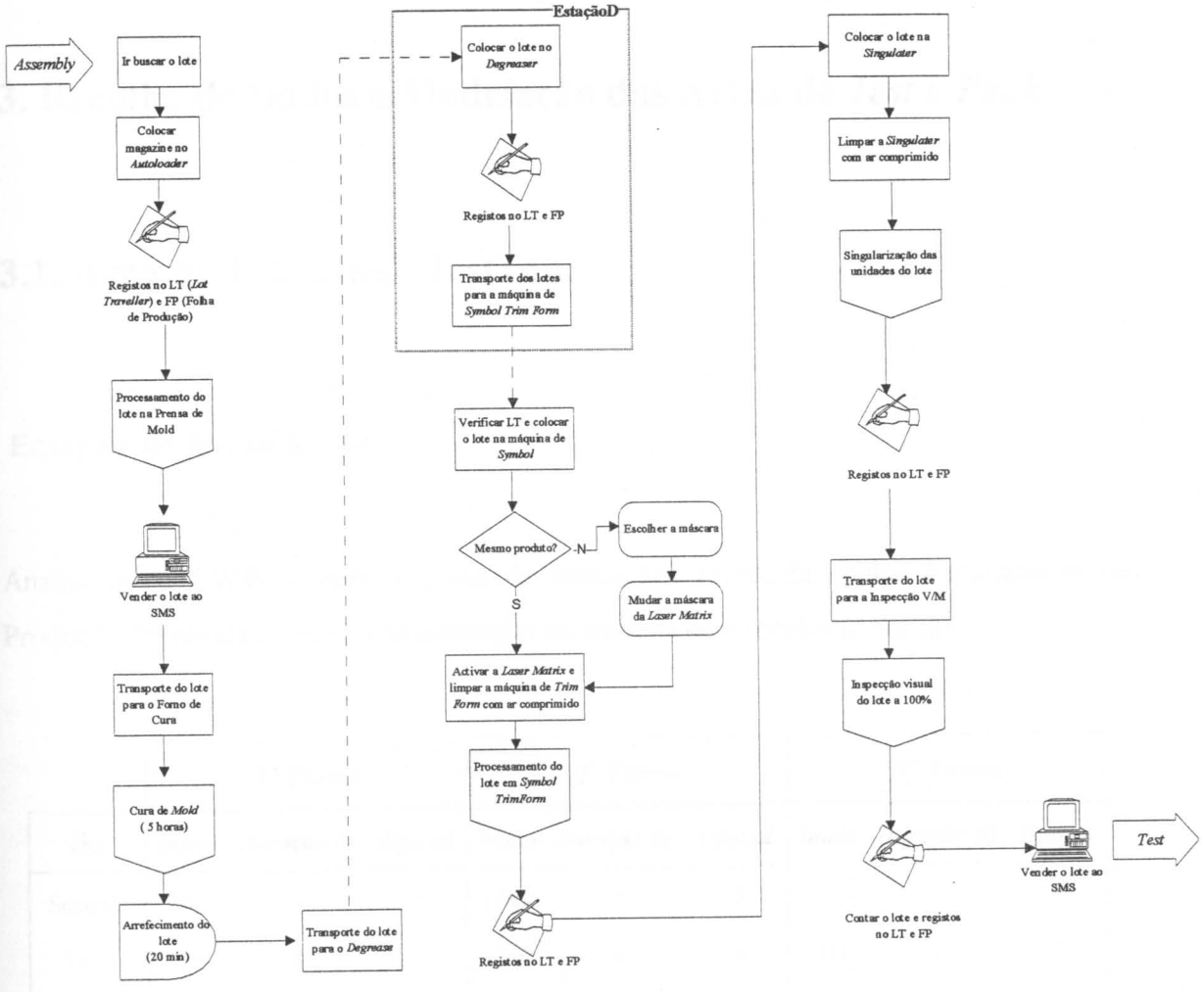


Figura 24: Diagrama dos processos das áreas de Finish e Degrease.

3. Recolha de Dados e Modelação das Áreas de *Test* e *Pack*

3.1. Área de Trabalho "TestTape"

Equipas de Manufactura

Analisando o CWW e com a ajuda de indicações fornecidas pelos Facilitadores de Produção foi obtida a seguinte distribuição do número de operadoras por dia:

	1º Turno			*2º Turno*			*3º Turno*		
Dia	*Início*	*Duração(h)*	*Operad.*	*Início*	*Duração (h)*	*Operad.*	*Início*	*Duração (h)*	*Operad.*
Segunda	7:00	8	5	15:00	8	5	23:00	8	5
Terça	7:00	8	5	15:00	8	5	23:00	8	5
Quarta	7:00	8	5	15:00	8	5	23:00	8	5
Quinta	7:00	8	5	15:00	8	5	23:00	8	5
Sexta	7:00	8	5	15:00	8	5	23:00	8	5
Sábado	7:00	8	5	15:00	8	5	23:00	8	5
Domingo	7:00	8	3	15:00	8	3	23:00	8	3

Quadro 14: Horários de Trabalho da área de TestTape.

Os intervalos diários ou semanais são idênticos aos já referidos para a Área de Trabalho "Assembly".

Técnicos de Manutenção e Reparação

Foi considerado que existem 2 técnicos para a Área de Trabalho "TestTape", um técnico dedicado aos equipamentos de *Test* e o outro para os equipamentos de *Pack*. Este número é um pouco excessivo pois os técnicos existentes dividem a sua atenção por todos os SBUs.

3.2. Estações de Trabalho (*Work Stations*) e Equipamento

Na *Área de Trabalho* "TestTape" efectuam-se as duas últimas operações do processo de fabrico dos circuitos integrados do SBU 5: o *Test* e o *Pack*.

O *Test* é uma operação mais complexa. Envolve a intervenção de operadoras, de uma *Tester*, de uma *Handler* e de *Hardware* (cabos ou *boards*). A modelação da área de *Test* em TestSim/X envolve a definição de um *Test Group*.

Um Grupo de Teste consiste numa combinação de *Testers*, *Handlers* e *Hardware*. Previamente é necessário definir dois tipos de Estações de Trabalho: Estação de Trabalho com *Testers* e Estações de Trabalho com *Handlers*. O *Hardware* é definido para cada produto e para cada combinação de *Testers* e *Handlers*.

Os produtos do SBU 5 apenas utilizam dois tipos de *Testers*: as *Testers HSM* e as *Testers TL1*. Foram assim definidas duas Estações de Trabalho com a designação de **"TestHSM"** e **"TestTL1"** respectivamente.

As *Handlers* da linha de 14 Fast são todas *Handlers* STG. Uma *Handler* pode ser ligada a quaquer um dos tipos de *Tester*. Contudo, na realidade isso não é permitido. Para simplificação do processo fixou-se cada *Handler* a uma ou duas *Testers*. Existem 3

Handlers ligadas simultaneamente a uma *Tester* HSM e a uma *Tester* TL1 e 4 *Handlers* ligadas apenas a uma *Tester* HSM. O primeiro grupo de *Handlers* ficou modelado na Estação de Trabalho **"HandlersTL1"** enquanto que o segundo grupo formou a Estação de Trabalho **"HandlersHSM"**.

O *Pack* é uma operação que consiste na embalagem do material. Como já foi dito, os lotes, consoante as especificações do cliente, podem ser embalados de duas formas: em bobines ou em tubos.

Quando a embalagem é efectuada em bobines, o que corresponde a cerca de 86% de todas as unidades produzidas, utilizam-se máquinas de *Tape&Reel*. Quando o material é embalado em tubos, o equipamento utilizado é a *LIS*. Por isso, houve necessidade de definir duas Estações de Trabalho diferentes para a modelação da operação de *Pack*: a **"Tape"**, que contém as *Tape&Reel*, e a **"LIS"**, que contém a máquina de embalagem em tubos.

Dentro da Área de Trabalho "TestTape" foram ainda definidas mais 3 Estações de Trabalho que, emboram não representem equipamentos, são essenciais para a modelação do processo de fabrico:

1. **"ComputTeste"**
2. **"PreTape"**
3. **"MesaLis".**

3.2.1. "TestHSM"

Parâmetros do Equipamento

O número de *Testers HSM* não são 7, como está definido no modelo de TestSim, mas sim 4. O que na realidade foi modelado foram os terminais de *Test* das *Testers* HSM que estão efectivamente a ser utilizados, isto é, que estão ligados a uma *Handler*.

Uma *Tester HSM* possui 4 terminais de *Test* que podem ser ligados a *Handlers* diferentes. Contudo, nunca se verificam situações em que todos os terminais de uma *Tester HSM* estão a ser utilizados.

Todos os parâmetros das *Testers HSM* podem ser consultados no Anexo IV.

Setup do Equipamento

As *Testers* e as *Handlers* são equipamentos que obrigam a um certo número de calibrações da máquina sempre que se inicia um novo lote com um produto diferente. Foram definidos nesta Estação de Trabalho dois tipos de *setup* diferentes:

- ***Setup Type***, que obriga a uma calibração sempre que um novo produto é introduzido. Um novo produto geralmente obriga a que as operadoras troquem o *hardware* que faz a interface entre as *Testers* e as *Handlers*. Esta tarefa tem uma duração de cerca de 3 minutos.
- ***Setup by Spec***, que depende das especificações próprias dos produtos do lote anterior e do novo lote.

O *Test* das unidades em *Testers HSM* pode ser feito à temperatura ambiente (25° C) ou a alta temperatura (80° C). Conforme as especificações de cada produto, poderá ser necessário elevar ou reduzir a temperatura. Consideraremos que existem dois tipos de *Specs* diferentes: **Ambiente** e **Temperat**. Ambiente corresponde ao teste eléctrico efectuado a 25° C e Temperat corresponde ao teste a 80° C.

- Os tempos introduzidos para modelar a passagem de Temperatura para Ambiente, e vice-versa, são:

Spec 1	*Spec 2*	*Tempo de Setup (min)* *Spec 1 - Spec 2*	*Tempo de Setup (min)* *Spec 2 - Spec 1*
Ambiente	Temperat	25	60

Quadro 15: Especificações da operação de Test HSM.

Manutenção Preventiva

Foi modelada apenas uma intervenção de Manutenção Preventiva: a passagem dos diagnósticos das *Testers* HSM.

De 8 em 8 horas, as *Testers* HSM e as *Handlers* (se ligadas a *Testers* HSM) interrompem o seu funcionamento e executam os diagnósticos, isto é, auto-avaliam se estão a funcionar correctamente.

A passagem dos diagnósticos é feita com a intervenção de uma operadora e demora cerca de 2 minutos.

3.2.2. "TestTL1"

Esta Estação de Trabalho contém as *Testers* que apenas efectuam o *Test TL1*.

Parâmetros do Equipamento

Embora só existam 2 *Testers TL1* foram modeladas 4 *Testers* pois cada uma possui 2 terminais de *Test*.

O *Gross* PPH das *Testers* TL1 é inferior ao das *Testers* HSM devido ao tipo de produto que é testado. Nas *Testers* TL1 os circuitos testados são todos lineares enquanto que o *Test* HSM é feito maioritariamente por produtos digitais, menos complexos.

Todos os parâmetros destes equipamentos estão condensados no Quadro XII do Anexo IV.

Setup do Equipamento

Na Estação de Trabalho "TestTL1" será definido um ***Setup Type***, que obriga a uma calibração sempre que um novo produto é introduzido (mudança de *hardware*). A exemplo do que foi definido na Estação de Trabalho anterior o *Setup Type* tem uma duração de 3 minutos.

Como os produtos que fazem *Test TL1* são sempre testados à temperatura ambiente não é necessário definir ***Setup by Spec***, contrariamente ao que foi definido na Estação de Trabalho "TestHSM".

Manutenção Preventiva

Nas *Testers TL1* não são passados diagnósticos de auto-avaliação como acontece nas *Testers HSM*. Como não existe mais nenhum tipo de intervenção de manutenção com carácter rotineiro, não foi definido em TestSim nenhuma Manutenção Preventiva para esta Estação de Trabalho.

3.2.3. "HandlersHSM" e "Handlers TL1"

As *Handlers* são equipamentos modelados em TestSim em Estações de Trabalho do tipo *Handler/Prober*.

Parâmetros do Equipamento

As *Handlers HSM* são as *Handlers* que apenas estão ligadas a *Testers HSM*. Existem 3 *Handlers HSM*. Por outro lado, as 4 *Handlers TL1* podem ser conectadas a *Testers HSM* e a *Testers TL1*. As *Handlers* das duas Estações de Trabalho são exactamente iguais.

Os únicos parâmetros que podem ser definidos para os equipamentos do tipo *Handler/Prober* são: MTBF, MTTR, MTBA e MTTA. Todos os restantes parâmetros são definidos na Estação de Trabalho do tipo *Tester*. Também não é possível definir a duração ou o tipo de *setup* do equipamento ou intervenções de Manutenção Preventiva.

Todos os parâmetros definidos para estas duas Estações de Trabalho estão resumidos no Anexo IV.

3.2.4. "Tape"

As máquinas de *Tape&Reel* embalam e selam as unidades em bobines. Para além da função de embalagem, estas máquinas também fazem uma inspecção a 100% às unidades. Através de uma câmara, verificam dois parâmetros:

- o símbolo do circuito integrado,
- a existência de pinos tortos.

Quando alguma anomalia é detectada pelo visor do equipamento, a máquina pára e a operadora retira a unidade defeituosa.

Cada bobine tem capacidade apenas para 2.500 unidades, o que obriga a que, dentro do processamento do mesmo lote, a operadora retire a bobine já cheia e a substitua por uma vazia. O tempo de embalagem das unidades numa bobine corresponde a 25 minutos.

Actualmente esta operação, juntamente com a operação de *Bond*, é um dos *bottlenecks* do SBU 14 *Fast* devido ao elevado número de intervenções que esta máquina exige às operadoras. Apenas com uma presença humana constante é possível aumentar a *performance* deste equipamento.

Parâmetros do Equipamento

Os parâmetros da *Tape&Reel* introduzidas no modelo de TestSim estão agregados no Anexo IV.

No Anexo X está detalhado o cálculo do MTBA e do MTTA da *Tape&Reel* obtido através da cronometragem dos tempos de assistência das operadoras às máquinas.

Setup do Equipamento

Cada produto tem um símbolo próprio que é colocado no plástico do circuito integrado através da máquina de *Laser Matrix*. Para que a *Tape&Reel* efectue a inspecção ao símbolo, é necessário que a operadora programe a máquina para o fazer. Assim, sempre que um lote com um novo produto é introduzido na máquina, a operadora deve redefinir o símbolo que a *Tape&Reel* tem em memória.

A introdução do símbolo do produto de cada lote é uma operação executada sempre que se introduz um novo produto na *Tape&Reel*. Foi definido em TestSim um ***Setup Type*** de 2 minutos.

Manutenção Preventiva

Não foi modelada nenhuma intervenção de Manutenção Preventiva para as *Tape&Reel*.

3.2.5. "LIS"

A *LIS* é o equipamento destinado à embalagem do material em tubos. Simultaneamente, as unidades são inspeccionadas por *bent leads*, isto é, a LIS verifica a existência de unidades com pinos tortos, rejeitando-as automaticamente.

Como apenas uma pequena percentagem da produção é embalada em tubos, apenas existe uma máquina *LIS* no SBU 5 que, mesmo assim, está subaproveitada.

Parâmetros do Equipamento

Todos os parâmetros relativos à *LIS* estão representados no Anexo IV, a exemplo do que foi feito para todas as Estações de Trabalho anteriores.

Os valores do MTBA e do MTTA foram obtidos da mesma forma que os valores de MTBA e MTTA da *Tape&Reel*, através de cronometragens na linha (ver Anexo X).

Setup do equipamento

Não é necessário efectuar nenhum tipo de *setup* ao equipamento sempre que se coloca na *LIS* um lote com um produto diferente.

Manutenção Preventiva

Embora não seja necessário efectuar nenhum *setup* ao equipamento sempre que um novo lote é colocado na máquina, as operadoras, sempre que iniciam o seu turno, devem efectuar uma recalibração da máquina. Essa intervenção, a que se pode chamar de Manutenção Preventiva, demora cerca de 2 minutos, e é feita aproximadamente, de 8 em 8 horas.

3.2.6. "ComputTeste"

Esta *Work Station* engloba os 4 computadores que as operadoras da Área de Trabalho "TestTape" podem utilizar. Estes computadores são utilizados para um grande número de tarefas:

- Geração do *Lot Traveller* de *Test*: Quando o lote chega a *Test* é necessário gerar um novo *Lot Traveller* que será preenchido apenas pelas operadoras de *Test* e de *Pack*.

- Activar *Lot Code 1*: Quando o lote chega à área de *Test* já está no final do seu processo produtivo e existe necessidade de lançar um novo lote em produção. Activar o *Lot Code 1* representa colocar o lote invisível para o *Online*. Desta forma, o *Online* vai sentir um *deficit* de WIP e vai pedir aos *Starts* que lancem um novo lote para o *Die Prep*.

- Extrair Label de Qualificação: Após o teste eléctrico das unidades, o computador deve gerar uma etiqueta que confirme que o lote está qualificado. Durante o teste eléctrico de um lote, a Tester faz automaticamente um teste mais rigoroso (com programas de QC) a uma pequena amostra aleatória de unidades (315 unidades). Um lote é qualificado quando nenhuma unidade é rejeitada durante os testes de QC. Se o lote é desqualificado, então uma nova amostra de 315 unidades é retestada apenas com os programas de QC.

- Venda do lote ao SMS de *Test* para *Pack*.

- Efectuar *Combines*: Quando dois ou mais lotes chegam ao mesmo tempo à operação de *Tape&Reel*, estes lotes podem ser combinados num só e embalados ao mesmo tempo desde que o número total de unidades do novo lote não exceda as 17.500 unidades. O mesmo acontece em *Test* mas o número máximo de unidades combinadas é de 9.000 unidades.

- Retirar etiqueta com *Leftovers*: Como não podem existir embalagens incompletas, as unidades que sobram de cada lote são armazenadas em prateleiras e utilizam-se para completar futuros lotes incompletos. Assim, antes que a operadora coloque um lote numa *Tape&Reel* ou na *LIS*, deve ir

ao computador ver a localização do *leftover* do produto para o colocar com o lote.

- Retirar as etiquetas com código de barras: É necessário gerar no computador as etiquetas com códigos de barras que identificarão o lote quando este for enviado para o armazém. As eqtiquetas com código de barras são colocadas nas caixas que transportam as bobines e os tubos.
- Gerar novo *leftover* (*Control 2*): No fim do lote, se sobram unidades, é necessário gerar um novo l*eftover* e colocá-lo na prateleira.
- Venda do lote ao SMS de *Pack* para o *Shipping* (Expedição).

3.2.7. "PreTape"

O "PreTape" é uma *Work Station* que representa todas as operações que a operadora deve fazer antes de introduzir o lote na máquina de *Tape&Reel*. Essas operações são:

- Contar os *leftovers*,
- Registos iniciais no *Lot Traveller* e na Folha de Produção,
- Confirmar as etiquetas com código de barras que identificarão o lote com os dados no *Lot Traveller*.

3.2.8. "Mesa Lis"

A operadora que assiste a máquina de LIS vai colocando os tubos que vão saindo numa mesa e vai fechando-os com um *pin*. Depois de verificar se os tubos estão completos, vai

colocando-os nas caixas. Estas operações são efectuadas pela operadora ao mesmo tempo que a *LIS* processa o lote.

3.3. Processos

A modelação dos processos de *Test* e *Pack*, principalmente no que se refere ao *Test* foi bastante complexa e houve um esforço na simplificação de todos os passos modelados.

O *Test* é um processo influenciado por diversas variáveis:

- Tipo de equipamento utilizado
- Tipo de *Hardware* de *interface*
- Tecnologia de *Test*: *HSM STSI, LIN HSM e TL1 STSI*
- Tipo de produto
- Testes de Qualidade

Todos os processos modelados estão representados na Figura 25.

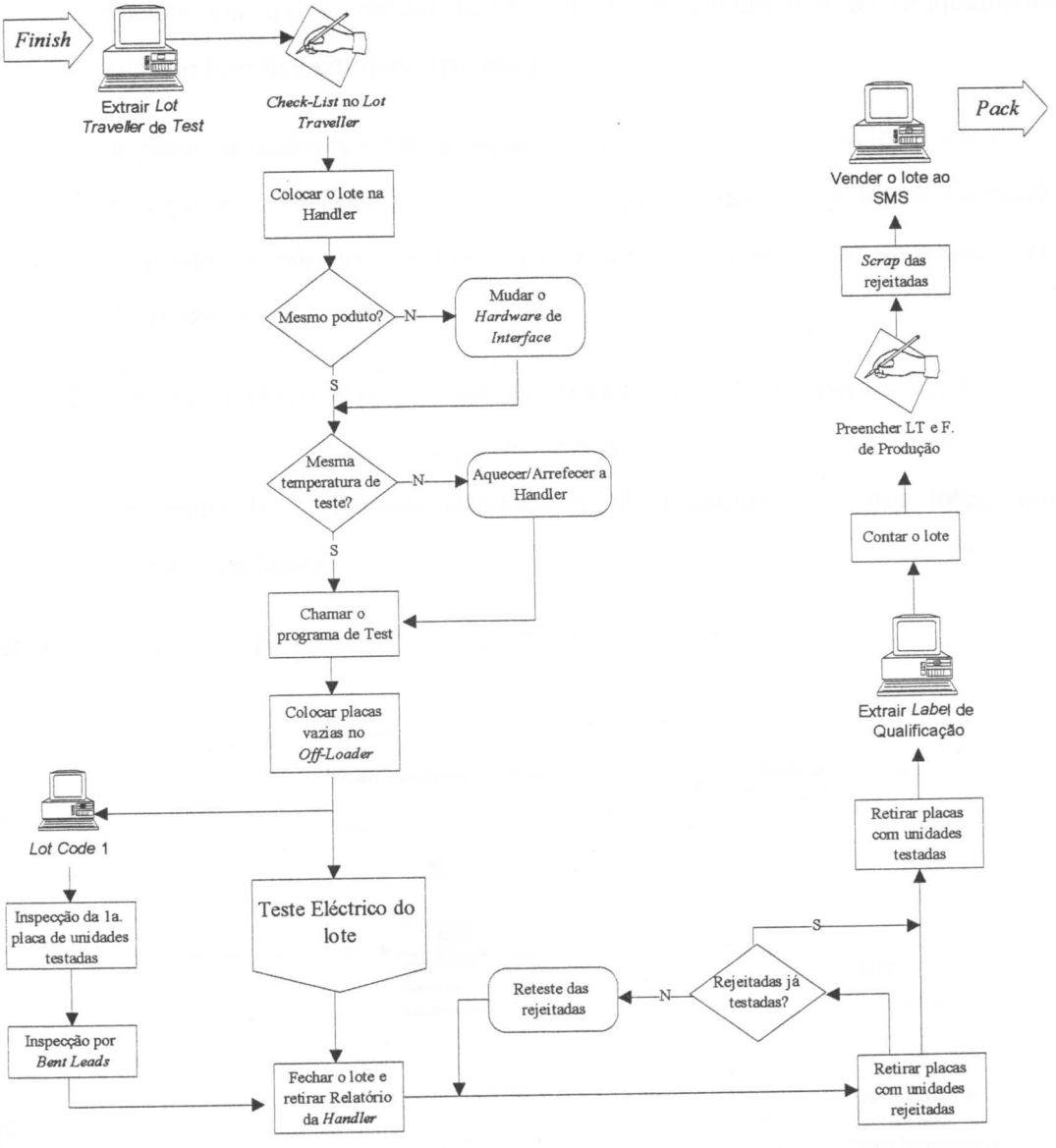


Figura 25: Descrição das operações e tarefas de Test.

As particularidades mais importantes que se registam na operação de *Test* também foram modeladas no modelo de TestSim. Essas particularidades são:

1. Se um lote não for qualificado pois uma ou mais unidades não passaram os testes de QC, é necessário voltar a testar 315 unidades não-rejeitadas do lote

apenas com os programas de QC. Se o lote continuar a ser desqualificado, então o lote fica em *Hold* (parado).

A partir de dados históricos, conclui-se que cerca de 4% dos lotes que passam na operação de Teste Eléctrico são desqualificados e têm de ser retestados. Contudo, o número de lotes que ficam em *Hold* é tão pequeno que é desprezável.

2. Certos produtos digitais, que são testados a altas temperaturas, fazem um segundo teste a uma pequena amostra de 800 unidades à temperatura ambiente. É a chamada Amostra STSI e apenas 50% dos lotes desses produtos a fazem.

Estas duas situações estão descritas no esquema da Figura 26.

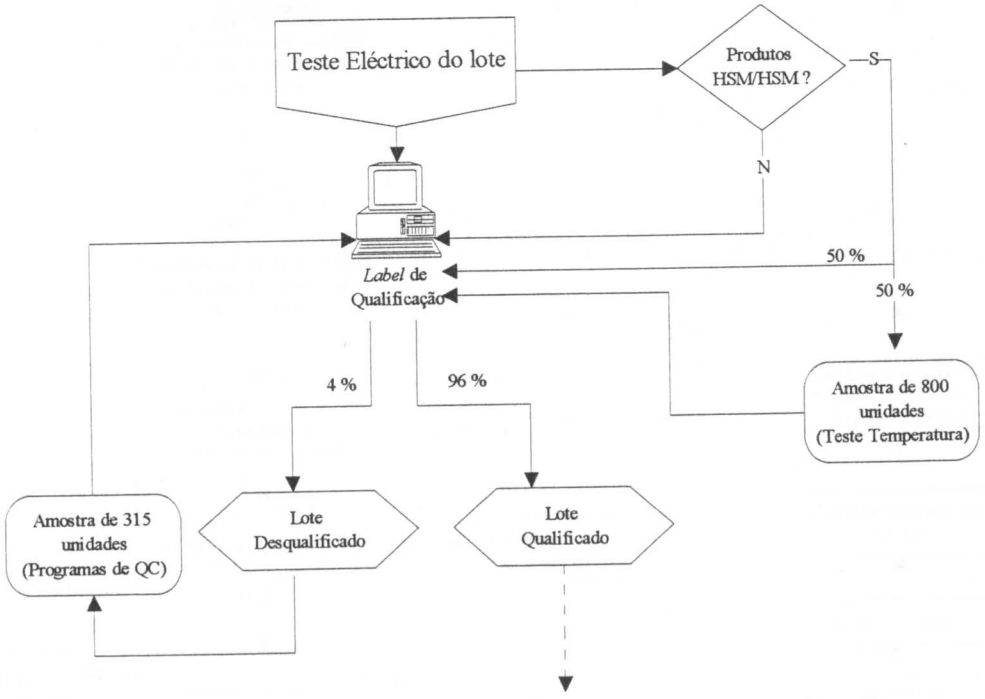


Figura 26: Operações correspondentes ao reteste da Amostra de QC e ao reteste da Amostra STSI.

Após o *Test*, o lote segue para o *Pack* onde será embalado. Cerca de 86% dos lotes são embalados em bobines e vão ocupar as máquinas de *Tape&Reel* enquanto que os restantes lotes serão embalados em tubos na *LIS*.

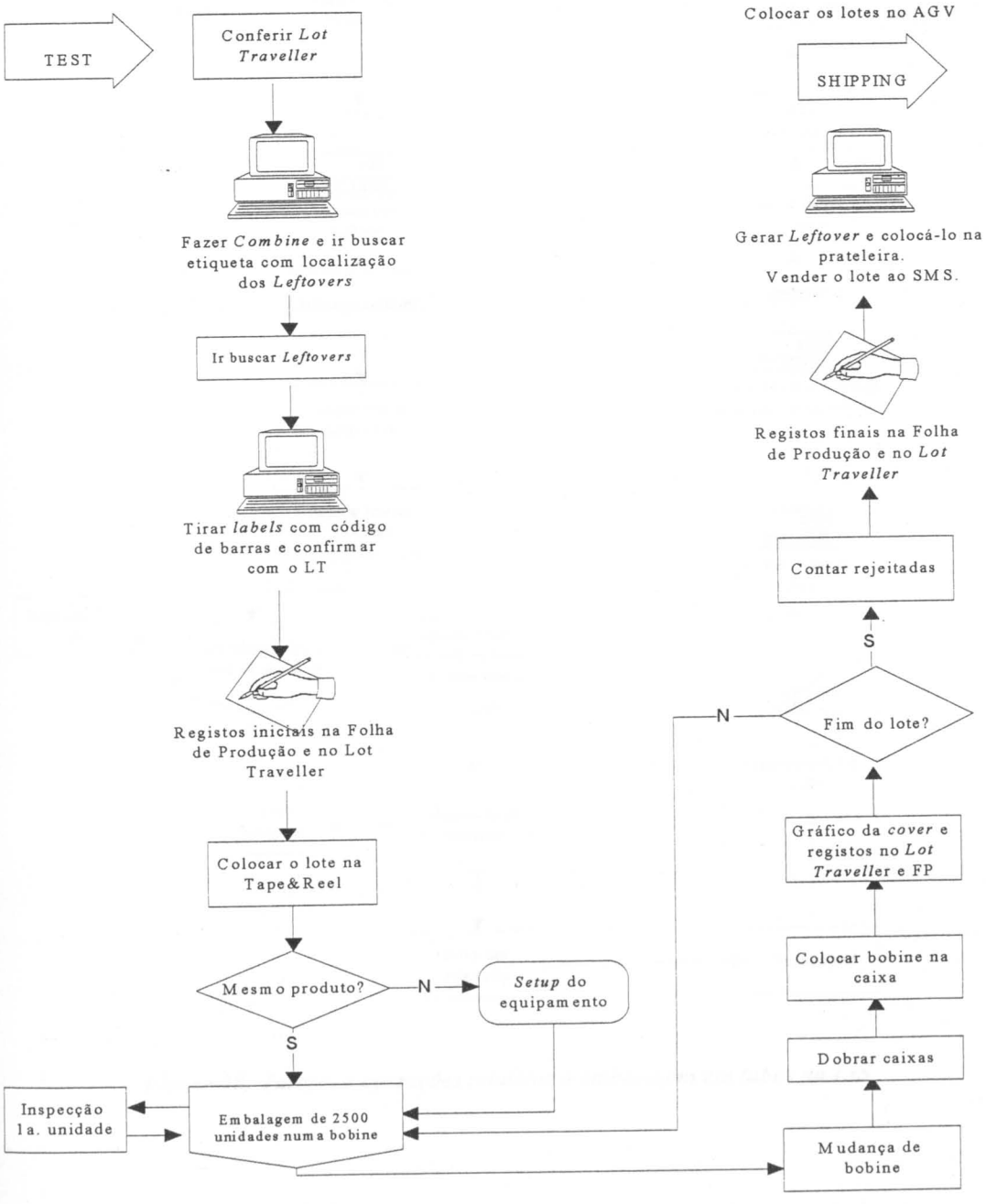


Figura 27: Tarefas e operações na área de Tape&Reel.

Relativamente à embalagem em tubos, todas as tarefas estão descritas na Figura 28.

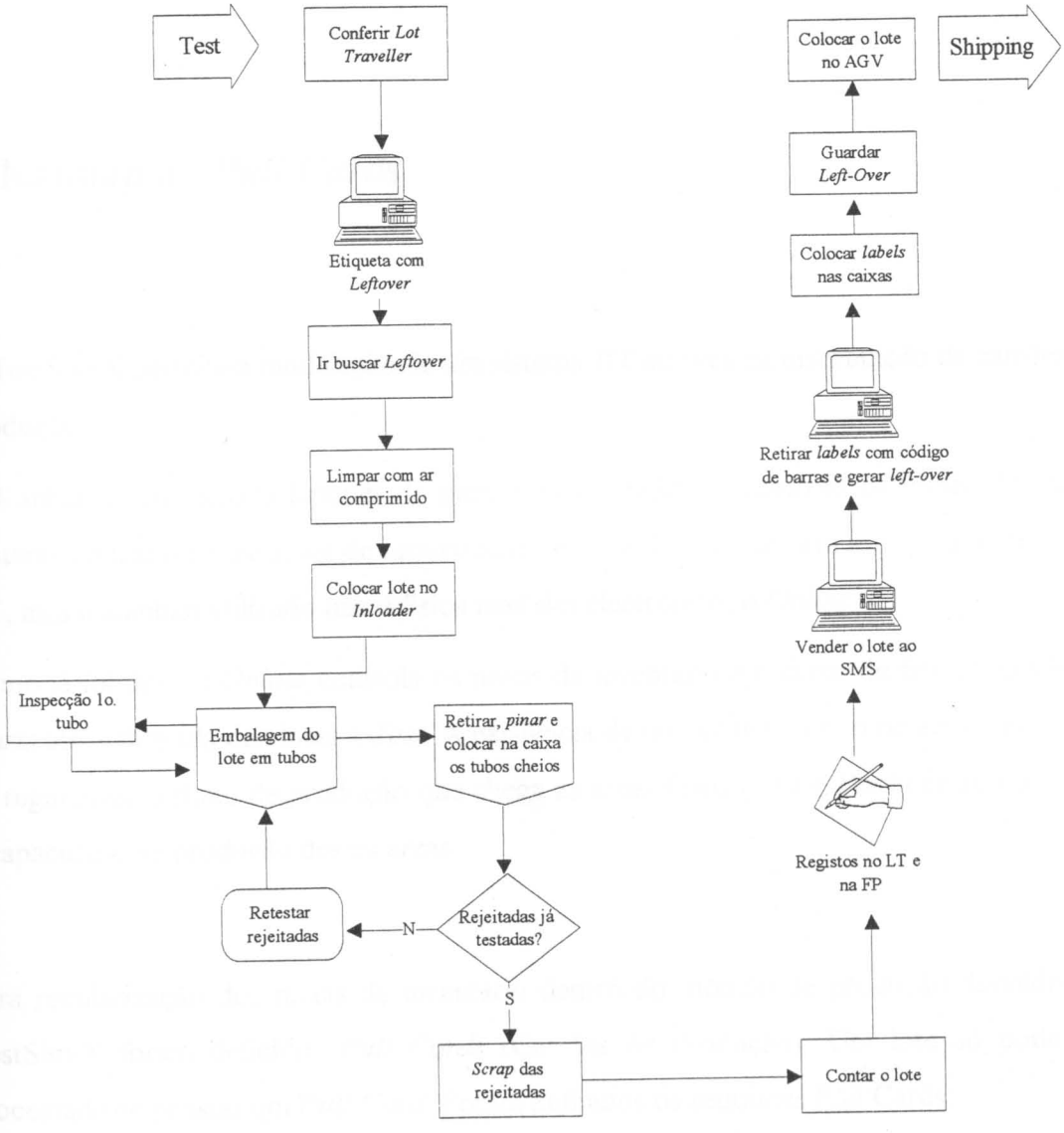


Figura 28: Tarefas e operações relativas a embalagem em tubos na LIS.

No Anexo VII estão detlhadas todas as tarefas de todas as operações que compõem o processo produtivo dos produtos do SBU 5 e que foi definido em TestSim com a designação de **"SOIC_14Fast".**

4. Kanban ou *Pull Cards*

O TestSim/X permite a modelação de um sistema JIT através da distribuição de cartões de produção.

O Kanban é um método japonês de gestão de inventário e controlo da produção que é bastante aplicado na indústria de semicondutores. Na TISEP também impera uma filosofia JIT, mas o Kanban utilizado não é físico mas sim electrónico, o *Online*.

Como já foi dito, o *Online* controla os níveis de inventário em curso de fabrico desde os *Starts* até à chegada dos lotes a *Test*. A existência de um Kanban tem o objectivo principal de regularizar o fluxo de produção que chega às áreas finais (*Test* e *Pack*) de acordo com a capacidade de produção destas áreas.

Para regularização dos níveis de inventário dentro do modelo de produção definido em TestSim/X foram definidos *Pull Cards* (Cartões de Produção). Um lote só pode ser processado se possuir um *Pull Card*. Foram definidos os seguintes Pull Cards:

Operação	*Pull Cards*
Mount	25
Bond	40
Mold	100
Cura de Mold	
Degrease	
Symbol Trim Form	
Singulate	
Inspecção V/M	
Test	-1
Pack	

Quadro 16: Pull Cards definidos no modelo de TestSim.

O "**-1**" correspondente à operação de *Test* destina-se a devolver as *Pull Cards* para as áreas anteriores de modo a possibilitar a entrada de novos lotes em produção.

5. *Work Area* "ZDummy"

Para a modelação de operações fictícias e de Estações de Trabalho não reais, foi definida uma Área de Trabalho, a "ZDummy", que não contem operadoras ou técnicos nem equipamento.

Dentro desta "Área de Trabalho" foram definidas 2 Estações de Trabalho: a **"Divisao"** e o **"Kanban"**.

A Estação de Trabalho "Divisao" foi um artifício utilizado para a modelação da divisão (*split*) do lote de *wafers* (com uma dimensão de 15.000-16.000 unidades) nos lotes de fabrico (≈ 5.500 unidades).

A Estação de Trabalho "Kanban" foi utilizada para estabelecer as fronteiras dentro do fluxo produtivo total em que o nível de WIP é controlado pelos *Pull Cards*.

6. Validação Final do Modelo de Simulação

Após a recolha de todos os dados e de os introduzir de uma forma estruturada no TestSim ficou definido o modelo final do SBU 5. Este modelo tem a designação de **"sbufast"**.

Após a conclusão de todas as fases de modelação, é necessário efectuar uma validação final dos resultados obtidos com o modelo. Embora cada nova introdução de dados seja imediatamente avaliada, é necessário uma validação definitiva do modelo final pois não nos podemos esquecer que as variáveis de um modelo de simulação estão intercorrelacionadas entre si.

A validação será efectuada em duas fases:

1. Validação de todo os parâmetros e processos definidos através do *Event Log*.
2. Validação das estatísticas finais obtidas a partir da simulação do modelo.

O horizonte de simulação considerado foi de 120 dias, um horizonte bastante vasto e que dá garantias de que as estatísticas recolhidas são consistentes. Após a simulação, foram consultados todos os relatórios de saída de dados e validados os resultados.

6.1. Validação a partir do *Event Log*

O TestSim/X permite gerar um relatório bastante útil, o *Event Log*, que relata, minuto a minuto, todos os acontecimentos gerados durante a simulação. Este relatório permite acompanhar o percurso de um lote, desde que é gerado até que o seu processamento ficar completo. Isto permite detectar se algum parâmetro foi mal introduzido ou se os dados que compõem o modelo de simulação não representem aceitavelmente a realidade apesar de as estatísticas finais contidas nos relatórios estarem coerentes com a realidade.

Por se tratar de um documento extremamente detalhado e longo, não será reproduzido aqui neste relatório.

6.2. Validação a partir dos Relatórios de TestSim/X

Os relatórios gerados pelo TestSim/X agregam todos os resultados que um modelo produz em estatísticas facilmente compreensíveis, tais como, o nível de WIP médio de uma Área de Trabalho, *Cycle Time* médio de um lote, Taxa de produção semanal, % Utilização dos equipamentos e % Ocupação das operadoras.

A maior parte destes resultados foram validados a partir da sensibilidade e experiência dos Facilitadores de Produção, por falta de outra fonte de informação credível.

Essencialmente foram validados três tipos de resultados, conforme já referido: resultados sobre o equipamento, resultados sobre a produção e resultados sobre as operadoras.

6.2.1. Resultados sobre o Equipamento

As estatísticas referentes ao equipamento resumem-se a:

- % Utilização do Equipamento (*% Busy*)
- *% Setup*
- % Falta de Operadora (*% No Operator*)
- % Falta de Material (*% No WIP*)
- % Avarias ou PM (*% Down*)
- % Assistências ao Equipamento (*% Assist*)

Relativamente aos principais equipamentos definidos no modelo de TestSim, o modelo de simulação reproduziu as seguintes estatísticas:

Operação	*% Busy*	*% Setup*	*% No Op.*	*% No WIP*	*% Down*	*% Assist*
Mount	60.7%	2.2%	10.9%	21.8%	2.2%	2.2%
Bond	66.3%	3.6%	11.7%	8.0%	8.5%	1.9%
Mold	63.5%	0.0%	1.6%	28.4%	6.5%	0.0%
Cura de Mold	89%	0.0%	0.0%	11%	0.0%	0.0%
Symbol Trim Form	54.5%	2.0%	27.2%	10.7%	2.9%	2.7%
Singulate	17.3%	0.0%	17.6%	63.0%	1.0%	1.1%
V/M	55.2%	0.0%	9.0%	35.8%	0.0%	0.0%
Test (Handlers)	58.7%	7.4%	10.5%	22.4%	0.7%	0.3%
Tape&Reel	62.4%	0.9%	30.3%	0.0%	3.8%	2.6%
LIS	25.3%	0.0%	10.6%	62.8%	0.1%	1.2%

Quadro 17: Estatísticas sobre os equipamentos resultantes o modelo de simulação.

Estes resultados estão sensivelmente de acordo com os resultados reais dos equipamentos na linha.

6.2.2. Resultados sobre as Operadoras

As operadoras são um recurso muito importante numa fábrica de *Assembly Test*, como é o caso da TISEP. Relativamente à percentagem de ocupação das operadoras durante uma semana, o TestSim forneceu os seguintes valores médios para cada uma das *Work Areas* definidas:

Turno	*Assembly*	*Finish*	*TestTape*
1º Turno	59%	68%	85%
2º Turno	58%	76%	85%
3º Turno	74%	66%	88%
Média Global	63%	70%	86%

Quadro 18: Estatísticas referentes à ocupação das operadoras resultantes do modelo de TestSim.

Durante uma semana típica de trabalho a ocupação das operadoras ao longo das 3 Áreas de Trabalho apresentou a seguinte configuração:

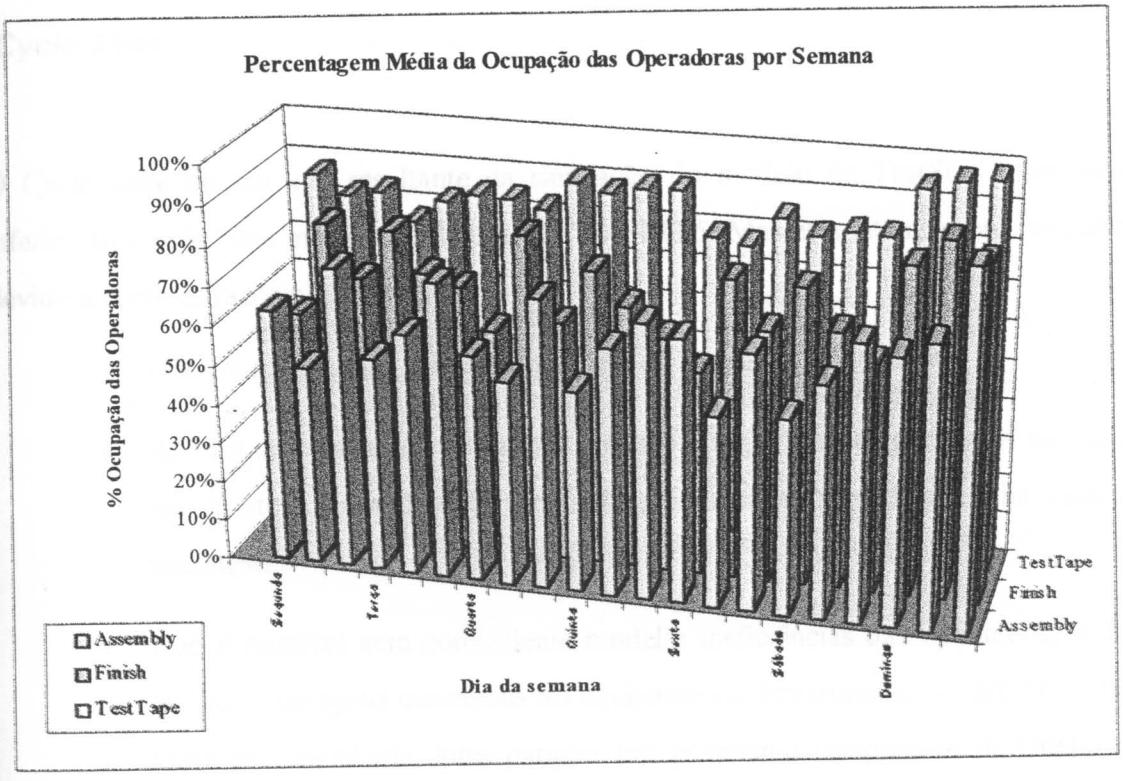


Figura 29: Distribuição da percentagem de ocupação semanal das operadoras, por Work Area, resultante do modelo de TestSim.

6.2.3. Resultados sobre a Produção

Os dados sobre a produção referem-se basicamente a três parâmetros de *performance*:

1. *Cycle Time* Médio de um lote
2. Nível Médio de WIP por área
3. Taxa de produção diária

Cycle Time

O *Cycle Time* de um lote resultante da simulação do modelo de TestSim é um valor inferior ao *Cycle Time* médio real de um lote do SBU 5. Mas esta situação era previsível devido a diversas razões:

- Não foi modelada a primeira operação de produção, o *Die Prep*;
- As filas de espera nas operações que são compartilhadas por todos os SBUs não existem no modelo de simulação pois apenas foi modelada uma linha de produção;
- Não é possível nem conveniente modelar ineficiências das operadoras e dos técnicos, paragens ocasionais do equipamento, interrupções da produção por parte de Engenharia, lotes parados por problemas inesperados de Qualidade ou atrasos e descuidos próprios de um dia normal de trabalho. Um modelo de simulação não consegue imitar fielmente a realidade, apenas o faz com um grau de certeza mais ou menos elevado.

O *Cycle Time* médio de todos os lotes gerados pelo modelo de simulação foi 31,2 horas com um desvio padrão de 14,8 horas.

No sistema real, o *Cycle Time* corresponde a cerca de 48 horas. Contudo o *Cycle Time* teórico, tempo de processamento de um lote sem filas de espera, é inferior a 24 horas.

Taxa de Produção Diária

A taxa de produção diária é semelhante ao valor real da linha de fabrico e corresponde ao *forecast* de produção definido (450 mil unidades por dia).

A taxa de produção diária relativa a cada operação obtida no final da simulação em TestSim está representada no gráfico da Figura 30.

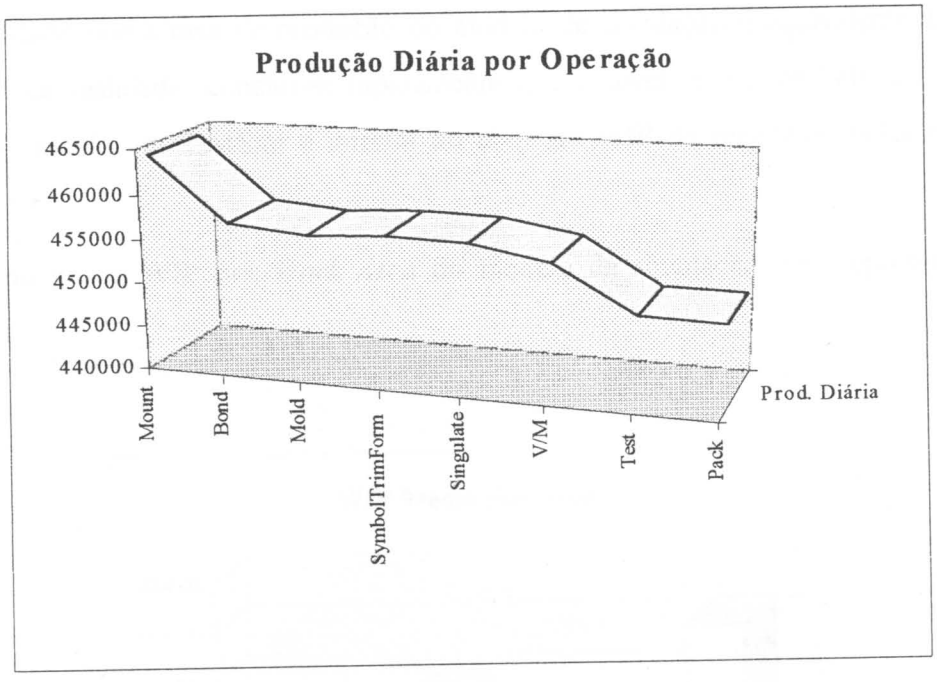


Figura 30: Taxa de produção diária por operação resultante do modelo de TestSim.

As perdas de produção, de operação para operação, devem-se à acumulação de inventário em curso de fabrico e a perdas em *scrap* (unidades rejeitadas nas inspecções de Qualidade efectuadas pelas operadoras e/ou equipamentos).

Nível Médio de WIP

O nível médio de WIP é proporcionalmente correspondente ao *Cycle Time* desde que a taxa de produção diária se mantenha constante. Essa é a *Regra de Little* que se pode exprimir segundo a fórmula escrita abaixo.

$$Taxa\ Producao = \frac{WIP}{Cycle\ Time}$$

Assim, e dado que a taxa de produção do modelo de simulação é equivalente à taxa de produção da realidade, conclui-se rapidamente que o nível médio de WIP resultante a partir do modelo em TestSim é inferior ao nível de WIP da realidade, pelas razões já enumeradas.

O nível médio de WIP por *Work Area* do modelo de simulação está representado na Figura 31.

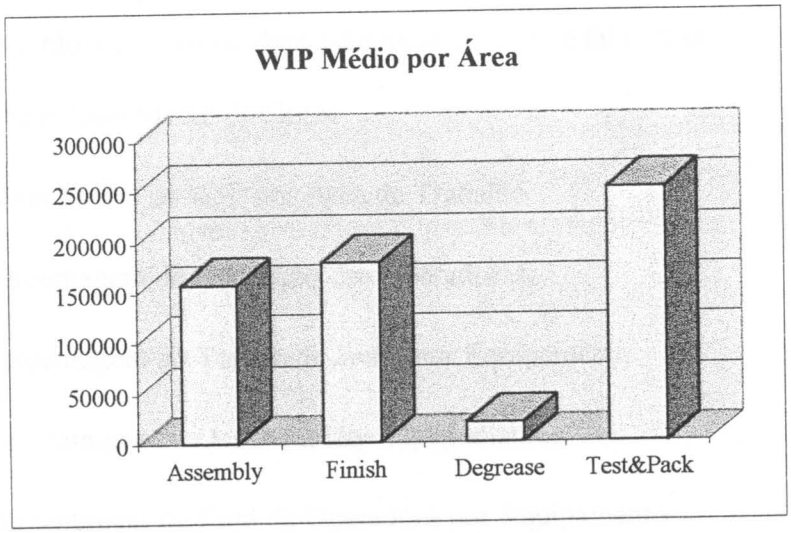


Figura 31: Nível médio de WIP por Work Area resultante do modelo em TestSim.

Após a validação final do modelo base, é possível avançar para a fase seguinte do projecto de simulação: a análise "*What If*".

ANÁLISE "*WHAT IF*"

Construção, a partir do modelo base, de cenários alternativos relativamente à dimensão do lote de fabrico.

Após a validação do modelo base em TestSim relativo ao SBU 5, podemos definir os diversos cenários alternativos de estudo.

No esforço de optimização do lote de fabrico serão consideradas diferentes alternativas para o tamanho do lote que serão avaliadas a partir de certos critérios de *performance*. Os critérios que guiarão a escolha da dimensão ideal do lote de fabrico são:

- *Cycle Time* Médio dos lotes
- Nível Médio de WIP por Área de Trabalho
- Percentagem de Ocupação das Operadoras
- Percentagem do Tempo de *Setup* por Equipamento
- Percentagem de Ocupação dos Equipamentos
- Percentagem de Falta de Operadora por Equipamento
- Taxa de Produção

Com base no modelo de simulação já definido e validado, foram construídos novos modelos em que todos os lotes tinham uma dimensão de lote constante. Os diferentes modelos construídos têm como principal diferença entre si os tamanhos de lote.

Foram estudadas as seguintes dimensões:

- Lotes de **3.000** unidades
- Lotes de **5.000** unidades
- Lotes de **5.500** unidades (tamanho do lote actual)
- Lotes de **6.000** unidades
- Lotes de **7.000** unidades
- Lotes de **9.000** unidades: A partir desta dimensão, um só *magazine* (8.400 unidades) não é suficiente para transportar um lote. Por isso, foi necessário aumentar proporcionalmente os tempos de transporte relativos às áreas iniciais.
- Lotes de **10.000** unidades: A partir desta dimensão, uma *Lunch Box*, material que transporta as placas com as unidades de um lote, não é suficiente pois a sua capacidade máxima é 9.000 unidades. Identicamente, foi necessário aumentar os tempos de transporte dos lotes nas áreas finais.
- Lotes de **11.000** unidades
- Lotes de **12.000** unidades
- Lotes de **13.000** unidades
- Lotes de **14.000** unidades

Para cada um dos modelos definidos foi necessário reavaliar o número de *Pull Cards* definidos para controlo do WIP.

Todos os modelos foram simulados para um período de tempo de 56 dias. Os resultados obtidos relativamente aos critérios de avaliação definidos foram resumidos em gráficos de modo a facilitar a sua leitura.

1. Análise de Cenários Alternativos

1.1. Cycle Time *versus* Taxa de Produção

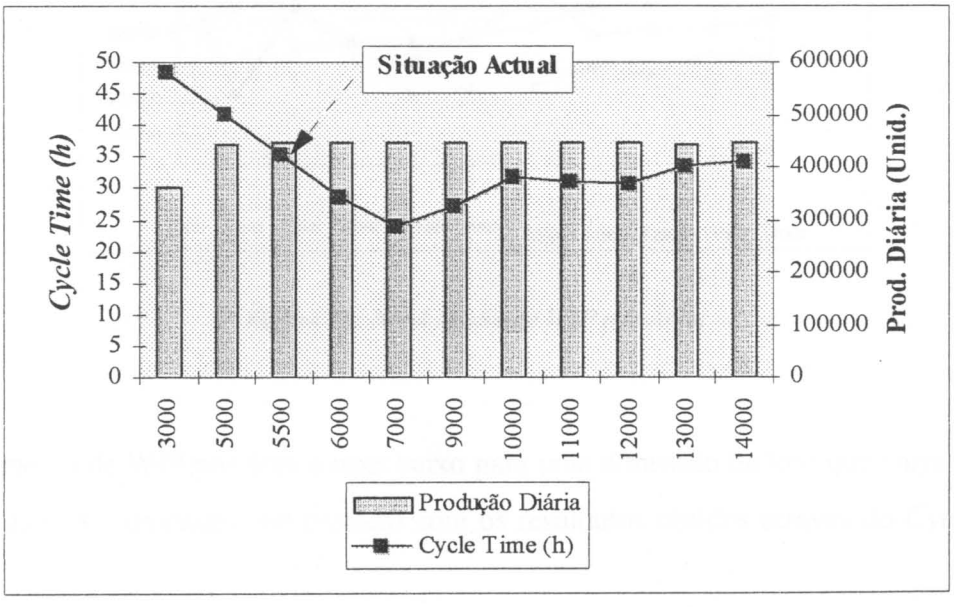


Figura 32: Cycle Time Médio relativamente à Taxa de Produção Diária.

Em termos de *Cycle Time*, e considerando que a taxa de produção é sempre constante, (com excepção da situação em que o tamanho de lote desce abaixo das 5.000) unidades, os cenários mais positivos apontam para um tamanho de lote entre as 6.000 e as 9.000 unidades por lote.

1.2. Nível Médio de WIP

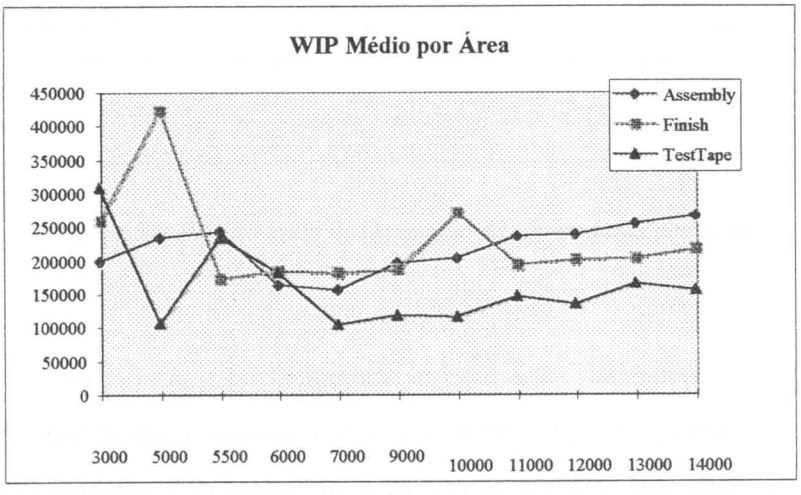


Figura 33: Nível Médio de WIP por Área.

O nível médio de WIP por área é mais baixo para uma dimensão de lote que varia entre as 6.000 e as 9.000 unidades, em paralelo com os resultados obtidos através do *Cycle Time* Médio.

1.3. Ocupação das Operadoras

O gráfico da Figura 34 representa a percentagem de ocupação das operadoras para as diferentes Áreas de Trabalho definidas em TestSim.

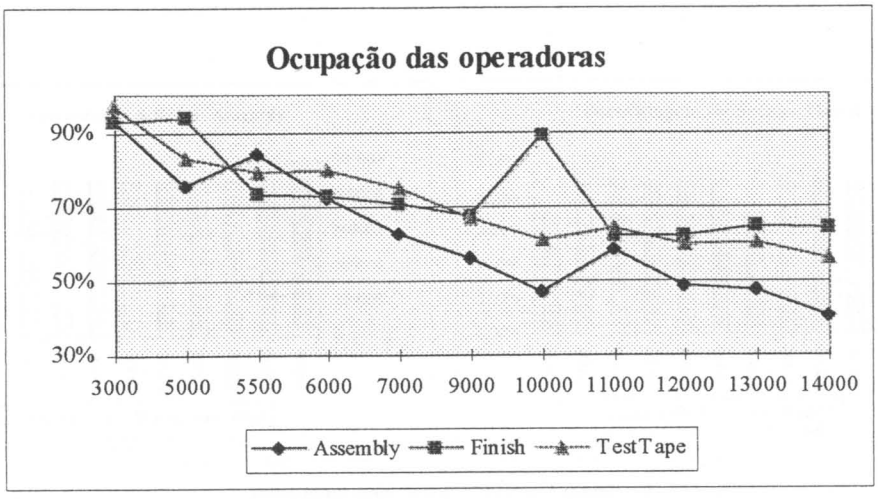


Figura 34: Percentagem de Ocupação das operadoras por Área.

Pelo gráfico verifica-se que a percentagem de ocupação das operadoras vai diminuindo gradualmente à medida que o tamanho de lote aumenta. Apenas quando o tamanho do lote é igual a 10.000 unidades é que esta situação não se verifica. Isso deve-se ao facto de os tempos de transporte aumentarem subitamente devido à necessidade de se utilizarem 2 *magazines* e 2 *lunch boxes* (necessidade de se utilizar mais material de transporte dos lotes).

Mas mesmo considerando essa excepção, verifica-se que é benéfico, do ponto de vista das operadoras, um aumento do tamanho do lote desde que este não se torne tão grande que impossibilite o seu carregamento.

1.4. Tempo de *Setup* do Equipamento *vs* Taxa de Produção

Os tempos médios de *setup* para cada equipamento vão naturalmente diminuir com o aumento do lote de fabrico. Este facto é particularmente visível para as operações de *Bond*, de *Symbol* e de *Test*.

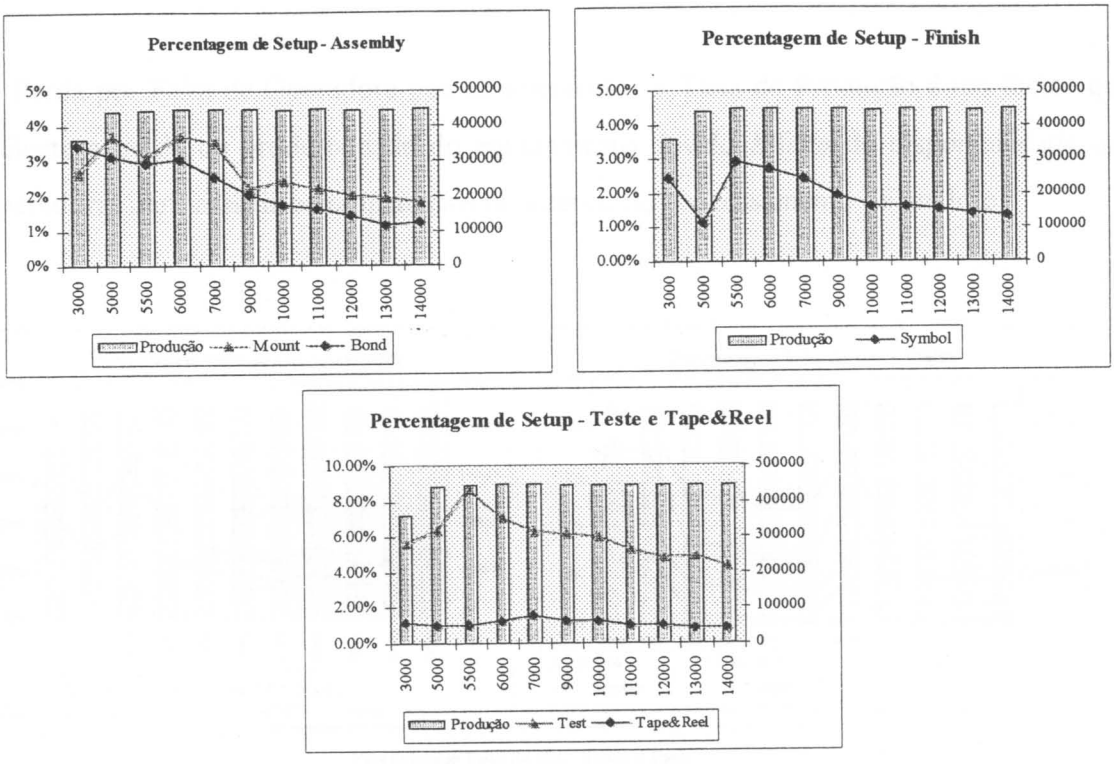


Figura 35: Percentagem de Setup por tipo de equipamento relativamente à Taxa de Produção Diária.

1.5. Utilização do Equipamento *versus* Taxa de Produção

A Utilização do Equipamento é semelhante para todos os cenários analisados, o que deriva do facto de a taxa produtiva ser sensivelmente constante. Como não é um factor decisivo, é preferível ignorar este critério de *performance*.

1.6. Perda por Falta de Operadora *vs* Taxa de Produção

A Perda por Falta de Operadora por Equipamento vs Taxa de Produção é um factor que reflecte a perda de produtividade do equipamento devido à falta de disponibilidade das operadoras para assistir o equipamento ou intervir no processamento de um lote.

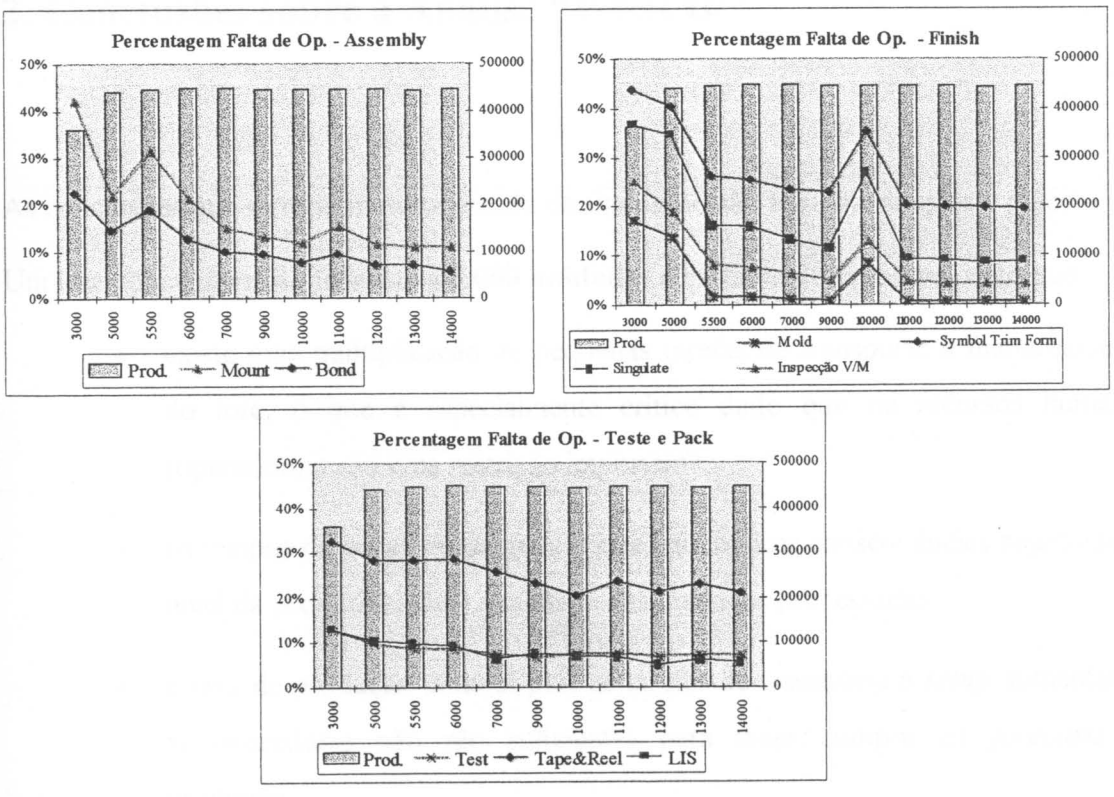


Figura 36: Perda por Falta de Operadora por Equipamento relativamente `a Taxa de Produçào Diária.

Este gráfico apresenta resultados semelhantes aos apresentados no gráfico sobre a ocupação das operadoras da Figura 36. Conforme o tamanho do lote aumenta, as operadoras estão menos ocupadas, excepto quando o tamanho do lote é igual a 10.000 unidades.

É curioso observar que o aumento da ocupação das operadoras, quando o tamanho do lote é igual a 10.000 unidades, se deve exclusivamente à área de *Finish*. De certo modo esta situação é compreensível, visto que esta área compreende um maior número de equipamentos diferentes o que obriga o lote a um maior número de transportes de operação para operação.

2. Conclusões sobre a Análise "What If"

As conclusões que se retiram deste estudo de simulação são bastante simples e objectivas.

Um lote com **dimensão inferior a 5.000 unidades** é bastante desfavorável visto que:

- existe uma multiplicação de pequenas tarefas de transporte e manuseamento do lote, o que é especialmente crítico dado que os recursos humanos (operadoras) são uma restrição importante.
- os tempos de *setup* aumentam, o que vai implicar consequências negativas ao nível da produtividade e qualidade das unidades processadas.
- a taxa de produção diminui pois as tarefas de transporte e *setup* aumentam e as operadoras não são suficientes para fazer cumprir os *forecasts* da produção.
- há um potencial aumento da entropia no sistema devido à geração de uma multiplicidade de lotes com produtos diferentes que se vai reflectir no aumento do nível médio de WIP e do *Cycle Time*.

Efectivamente o modelo de TestSim revela que um lote muito pequeno não é uma boa decisão. Contudo, existe uma tendência dos sistemas produtivos modernos em apostar em lotes mais reduzidos pois isso pode trazer diversas vantagens:

- Rapidez de resposta aos pedidos do cliente.
- Maior flexibilidade de produção.
- Rápida detecção de problemas de qualidade (potencial aumento do *yield* do processo).

No entanto, e dadas as características próprias do sistema produtivo da TISEP, um lote demasiado pequeno iria certamente comprometer a produtividade da fábrica.

Por outro lado, não é conveniente que a **dimensão do lote supere as 8.400 unidades** (capacidade de um *magazine* de *Assembly*). Pela análise do gráfico da Figura 32, verifica-se que os lotes com dimensões superiores a 9.000 unidades possuem um maior *Cycle Time* e obrigam à existência de um maior volume de inventário em curso de fabrico.

Apesar de as operadoras aumentarem a sua disponibilidade com lotes de fabrico de grande dimensão, isto não traz implicações positivas em termos de redução do WIP ou de aumento da produção, antes pelo contrário. Além disso, um lote de fabrico muito elevado pode originar um aumento dos custos de perda de flexibilidade da produção, isto é, perda da velocidade de reacção da fábrica na resposta a novas alterações aos processos, na satisfação de novas encomendas, na produção de novos tipos de produtos ou na resolução de problemas súbitos.

Neste momento, a partir dos gráficos e dos resultados obtidos pelos modelos que representam as diversas hipóteses de dimensão do lote de fabrico, é possível formular uma

conclusão concreta sobre qual a melhor dimensão do lote de fabrico para a linha de 14 *Fast*.

COMENTÁRIOS FINAIS

Considerações finais sobre a dimensão ideal do lote de produção e possíveis implementações para o futuro.

Efectivamente, dada a avaliação efectuada entre os diversos cenários alternativos definidos relativamente aos critérios de *performance* definidos, tudo leva a afirmar que a dimensão ideal do lote de fabrico está dentro de uma gama que varia entre as **6.500** e as **7.500** unidades. Estes valores não devem ser encarados como valores fixos, mas apenas indicadores de dimensões do lote mais favoráveis para a produção de circuitos integrados de 14 pinos na linha do SBU 5.

Curiosamente, também se conclui que os lotes de fabrico actuais da TISEP, na linha do SBU 5, se aproximam bastante da dimensão ideal. É verdade que a dimensão média actual é um pouco inferior (cerca de 5.500 unidade), mas por outro lado, existe uma elevada percentagem de lotes cuja dimensão média é de $\approx$ 7.000 unidades.

Relativamente à dimensão ideal dos lotes de fabrico para os restantes SBUs, penso que se pode tomar esta gama de valores como um bom indicador (excepto para o SBU 1, de produtos SSOP), mas para resultados mais fiáveis, é fundamental efectuar um estudo semelhante ao que foi efectuado para a linha do SBU 5.

Para o futuro seria recomendável que a dimensão média do lote se aproximasse mais da gama de valores definida. No entanto, julgo que antes de uma melhoria ao nível do lote de fabrico, é preferível optar por uma melhoria do sequenciamento da produção.

Aliás, é essencial conjugar a optimização do tamanho do lote com uma melhoria do lançamento dos lotes na linha. Este é um dos objectivos actuais da TISEP bem presente no projecto actual de implementação dos Módulos de *Assembly*.

Acredito que a produtividade da TISEP vai ter uma inflexão bastante positiva se se apostar em novas tecnologias de apoio à produção, mais dinâmicas e flexíveis, que controlem e direccionem o fluxo de lotes de forma mais inteligente. A aposta numa maior integração do equipamento e numa maior autonomia das operadoras é favorável a um acompanhamento activo da evolução constante dos métodos, tecnologias e processos.

Últimos Comentários

Ao terminar este estágio, sinto realmente que, durante estes últimos sete meses, passei por um período muito enriquecedor tanto pessoal como profissionalmente. Esta experiência veio consolidar a minha formação académica e forneceu-me uma nova perspectiva sobre a realidade industrial e empresarial de uma grande empresa.

A aplicação activa das novas ideias e técnicas de gestão em diversas vertentes da actividade da TISEP, foi uma surpresa muito positiva e ofereceu-me a possibilidade de assistir à implementação e frutificação dos conceitos adquiridos durante os cinco anos de licenciatura.

Agradeço à FEUP, especialmente ao Departamento de Gestão e Engenharia Industrial,

e à TISEP a realização deste estágio.

BIBLIOGRAFIA

Tyecin Systems (1996). *TestSim/X User's Manual Release 3.8*, manual de treino do testSim/X.

Silva, C. Moreira. *Simulação*.

Gonçalves, J. F. (1993). *Sistemas Produtivos*.

Vasconcelos, B. Calafate (1992). *Planeamento da Produção*.

Aires, A. J. Machado e A. S. G. Oliveira (1996). *Modelação e Simulação Computacional*, Edições ASA.

Simões, J. M. (1995). Artigo incluído em As 1000 Maiores Empresas do Norte, suplemento económico de Novembro do Jornal de Notícias.

TISEP (1995). *Candidatura ao Prémio de Excelência 1995*.

TISEP. Manuais de Treino.

TISEP. Manual de Qualidade.

GLOSSÁRIO

A

Assembly: Processo de montagem de circuitos integrados antes do encapsulamento do *die*.

ATCS: Sistema informático onde estão armazenados programas para os equipamentos e outros parâmetros.

B

***Back-End*:** Conjunto das áreas de *Mold*, *Symbol*, *Trim&Form* e *Solder Dip*.

***Bond*:** Operação de soldadura do fio de ouro ao circuito integrado.

***Bonding Pad*:** Alumínio exposto, normalmente em forma de quadrado, onde se faz a ligação do *lead frame* ao *die*.

C

***Chip*:** O mesmo que *die*.

Cycle Time: Tempo de processamento dos lotes em uma ou mais áreas.

D

Die: Cada circuito de uma *Wafer*.

***Die Pad*:** Zona do *lead frame* onde assenta o *die*.

Die Prep: Operação em que os *dies* são individualizados e preparados para montagem.

***Down Time*:** Tempo de paragem do equipamento.

E

***Epoxy*:** Pasta resinosa com características adesivas para fixar os circuitos ao *lead frame*.

F

FCST: *Forecast*, objectivo de produção, qualidade ou *yield* a atingir num determinado período.

FIFO: *First In First Out*, o primeiro a entrar é o primeiro a sair, regra utilizada no controlo de lotes ou materiais.

***Flow*:** Sequência de operações do processo de fabrico.

H

***Hold*:** Documento que assinala a paragem de um lote.

J

JIT: *Just In Time*, processo de controlo do *Cycle Time* do fluxo de material.

L

***Lead*:** Ponta metálica do circuito integrado que faz a sua ligação com o resto do circuito.

Linear: Circuito integrado do tipo analógico.

***Lead Frame*:** Fita metálica onde se monta o *die*. Serve de suporte e de contacto do circuito integrado com o exterior.

***Lot*:** Lote, grupo de unidades a processar conjuntamente.

***Lot Traveller*:** Documento que acompanha o lote, descrevendo as suas características.

***Lunch Box*:** Contentor de *magazines* usados no *Assembly*.

***Logpoint*:** Representa um passo do processo e é o código de cada uma das fases de um processo.

M

MAC: Sistema de interface entre o ATCS e as máquinas.

***Magazine*:** Carregador de *lead frames* utilizado nas máquinas de *Assembly*.

***Mold*:** Operação onde os circuitos são protegidos através da injecção de *mold compound* (plástico especial).

***Mount*:** Operação que consiste na colagem do *die* ao *lead frame*.

MTBA: Tempo médio, em minutos, entre paragens do equipamento.

MTBF: Tempo médio, em horas, entre avarias do equipamento.

MTTA: Tempo médio, em minutos para assistir o equipamento.

MTTR: Tempo médio, em horas, para reparar um equipamento.

P

***Package*:** Encapsulamento do circuito integrado.

Papel *Lint Free*: Papel que não liberta partículas para o meio ambiente.

***Parent*:** Nome que designa produtos com igual processamento nas áreas de *Assembly*.

PEM: Departamento que tem como responsabilidade a manutenção do equipamento.

***Pick-Up*:** Pequena peça de borracha que se aplica na extremidade do braço da cabeça da *Mounter* para transporte dos *dies* da w*afer* para o *lead frame*.

PPH: Produção por hora (partes por hora).

PPM: Partes por Milhão (unidade de medida da Qualidade).

R

***Rail*:** Parte exterior do *lead frame* que mantém todas as unidades ligadas mecanicamente.

RCP: *Rapid Cure Process*, uma cura rápida da *epoxy*.

***Rework*:** Operação de recuperação do material processado indevidamente.

S

***Scrap*:** Material que não segue o processo, devido a ter problemas de qualidade.

Simbolização (*Symbol*): Operação que consiste na identificação na unidade do tipo de circuito que está a ser processado.

***Software*:** Programas que regem o funcionamento do equipamento.

SOIC: *Small Outline Integrated Circuits*.

SSOP: *Shrink Small Outline Package*.

***Solder Dip*:** Operação que consiste na cobertura dos pinos do *lead frame* com solda.\

SMS: Sistema informático de gestão da manufactura utilizado na TISEP.

***Spec*:** Especificação, documento que contém instruções obrigatórias para um determinado processo ou material.

***Stitch*:** Soldadura do fio de ouro ao *lead*.

T

Teste Eléctrico: Operação que consiste em seleccionar os circuitos electricamente.

V

V/M: Área de inspecção visual sobre a qualidade física dos circuitos integrados.

W

***Wafer*:** Fatia de silício na qual são impressos os *dies*.

Y

***Yield*:** Rendimento da produção.

ANEXOS

ANEXO I

📖 Metodologia da Simulação

Gestão de um Projecto de Simulação

Apresentação da metodologia seguida na orientação do projecto de modelação e simulação do SBU 5 com o objectivo de optimizar o lote de fabrico.

Um projecto de simulação deve sempre ser estruturado segundo uma determinada metodologia.

A metodologia seguida para a construção do modelo que representa o SBU 14 *Fast* foi inspirada no manual de TestSim/X e está segmentada em diferentes fases consecutivas e interligadas:

1. Definição, formulação e análise do problema
2. Planeamento do projecto de simulação
3. Modelização de todas as actividades de produção
4. Análise *"What If"*
5. Apresentação dos resultados
6. Implementação acompanhada e consolidação dos resultados.

Na Figura I está representado o diagrama das principais tarefas que compõem um projecto de simulação.

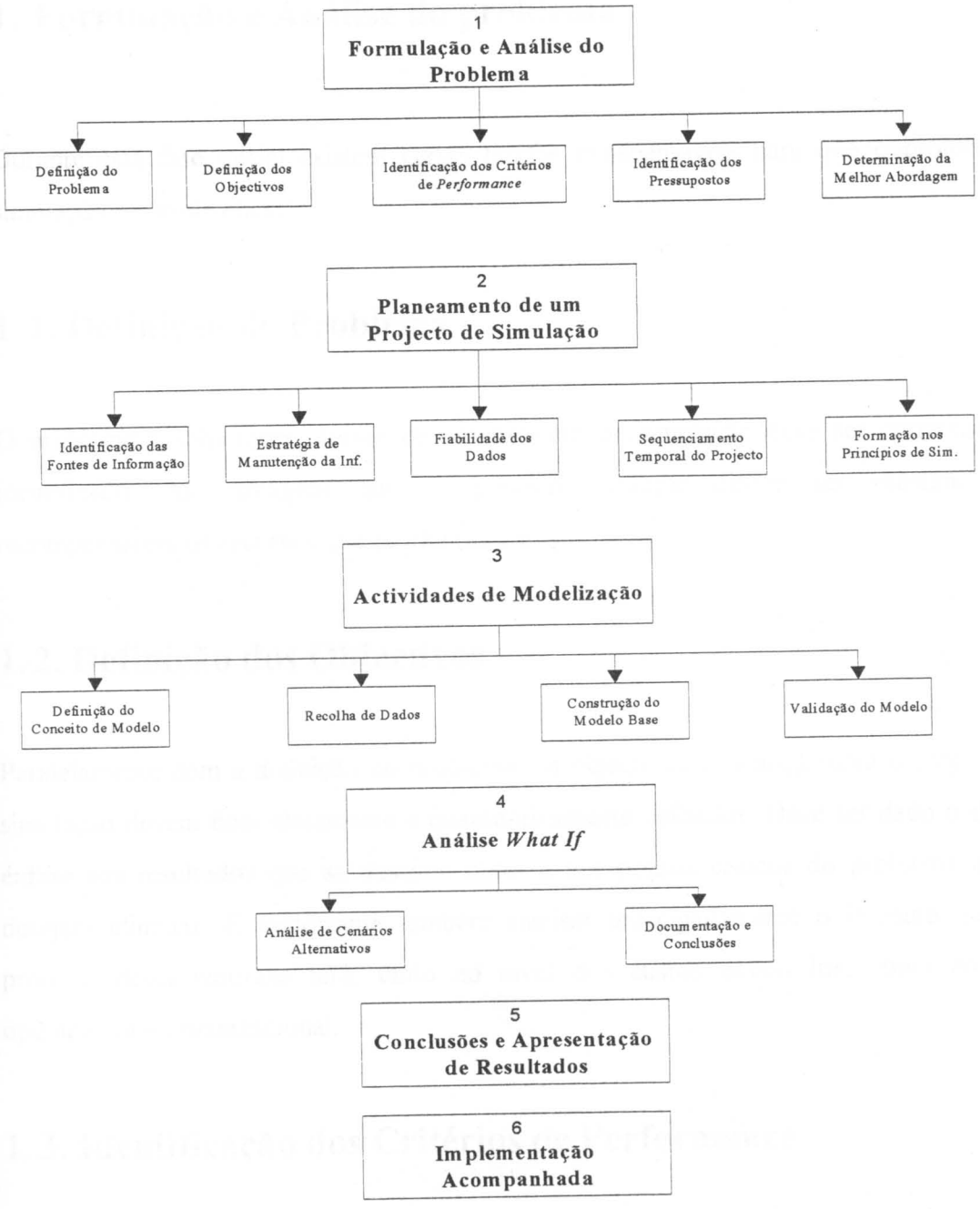


Figura I: Diagrama da Metodologia da Simulação.

Seguidamente será feita uma descrição sumária das diversas fases da metodologia seguida para o desenvolvimento do projecto de simulação.

1. Formulação e Análise do problema

Durante esta fase inicial existem certas tarefas indispensáveis para que o projecto de simulação se revele eficaz :

1.1. Definição do Problema

O problema a solucionar através de um projecto de simulação deve ser correctamente identificado. As vantagens que se prevêem alcançar devem ser substanciais e recompensarem os recursos que se irão utilizar.

1.2. Definição dos Objectivos

Paralelamente com a definição do problema, os objectivos a alcançar com o projecto de simulação devem ficar claramente e quantitativamente definidos. Deve ser dado o devido ênfase aos resultados que se desejam obter e aos pontos críticos do problema que se desejam eliminar. É importante também analisar antecipadamente o impacto que um projecto desta natureza terá, tanto ao nível dos custos envolvidos, como ao nível operacional e organizacional.

1.3. Identificação dos Critérios de Performance

Existem diversos parâmetros que poderão servir como critérios para avaliar a *performance* da fábrica. Alguns exemplos são o WIP, o *Cycle Time*, os níveis de produção e de produtividade, os custos, etc. Os critérios escolhidos devem estar de acordo com o tipo de problema que se pretende eliminar e com os objectivos a atingir.

1.4. Identificação dos Pressupostos do Projecto

Num projecto de simulação existem certos pressupostos que se devem adoptar de modo a:

- não tornar o modelo demasiado complexo e difícil de analisar,
- e, por uma questão de economia de esforços e recursos.

É preferível adoptar inicialmente um número elevado de pressupostos e restrições que gradualmente se poderão relaxar.

1.5. Determinação da Abordagem Apropriada e Escolha da Ferramenta de *Software* a utilizar

Muitas vezes, quando os problemas não são demasiado complexos e as variáveis do projecto não têm um carácter dinâmico um simples modelo estático é suficiente para realizar a análise pretendida.

No entanto, para responder à variação interactiva de múltiplas variáveis de um sistema complexo, a simulação é a melhor solução. Por esta razão, esta foi a ferramenta seleccionada para a optimização da dimensão do lote de fabrico.

2. Planeamento de um Projecto de Simulação

Após a fase inicial de identificação dos objectivos e escolha das ferramentas a utilizar, é necessário fazer um planeamento mais detalhado das tarefas a realizar durante o projecto de simulação.

2.1. Análise e Identificação das Fontes de Informação

As fontes de informação que se utilizarão durante a fase de recolha de dados, serão as bases de dados de produção, os diversos relatórios existentes que contêm os níveis de WIP, a produção atingida e os níveis de *yield*, os relatórios retirados das bases de dados do equipamento (por exemplo, relatórios do ATCS), as Especificações existentes, estudos de tempos e métodos, entrevistas às operadoras e aos engenheiros de manufactura, sem esquecer a observação *in loco*.

2.2. Desenvolvimento de uma estratégia de manutenção da informação

Foi fundamental criar uma base de dados intermédia, em *MsExcel* e em *MsAccess*, onde se pode ter acesso a toda a informação recolhida e onde se podem efectuar rapidamente as correcções e as actualizações necessárias. É nestas bases de dados que é efectuado o processamento e consolidação de toda a informação.

2.3. Fiabilidade dos Dados

O factor Fiabilidade de Dados é uma questão a não ser ignorada pois os dados a introduzir no modelo deverão ser o mais correctos possíveis. É inútil possuir um grande volume de informação se essa informação não tiver um mínimo de credibilidade.

2.4. Sequenciamento Temporal das Fases do Projecto

É conveniente definir previamente o escalonamento temporal de um projecto de simulação, definindo certas etapas intermédias a cumprir. Este plano deve ser usado durante todo o projecto para monitorização dos resultados, medição do progresso e acompanhamento de todas as actividades.

2.5. Formação nos Princípios Básicos da Simulação

É necessário que o responsável pelo projecto de simulação esteja bem elucidado em questões básicas sobre a simulação. Deve existir também um domínio razoável da utilização do *software* de simulação e um conhecimento profundo de todas as possibilidades que esse *software* oferece.

3. Actividades de Modelação

Esta fase consiste essencialmente na construção do modelo base. Naturalmente, deve existir uma sequência metódica na construção de um modelo de simulação. As principais tarefas estão descritas à frente, segundo uma ordem cronológica.

3.1. Definição do Conceito de Modelo

É necessário analisar de uma forma estruturada o conceito de modelo, isto é, decidir qual o grau de detalhe que se pretende atingir e definir as fronteiras do sistema.

3.2. Recolha de Dados

A recolha de todos os dados é uma tarefa morosa mas que não deve ser descuidada. Toda a informação recolhida deve ser o mais fiável e credível possível.

As consultas aos elementos de cada departamento são uma forma de recolha de dados e/ou validação de dados já obtidos por outros meios (bases de dados, consulta de relatórios e outros documentos, etc.).

3.3. Construção do Modelo Base

A construção do modelo deverá ser feita apenas por uma pessoa de modo a manter uma certa consistência. No entanto, é necessário manter uma *interface* contínua com todos os departamentos da empresa.

Após a introdução de cada parâmetro no modelo deverá ser avaliado o seu impacto. Se necessário, poderão ser feitas análises de sensibilidade e introduzidas eventuais correcções.

3.4. Validação do Modelo

Os modelos de simulação geralmente são construídos de uma forma gradual e contínua, isto é, cada segmento do modelo que é construído é testado e validado antes de se iniciar a construção do segmento seguinte.

A construção e validação de um modelo ao longo do tempo deve seguir o esquema indicado:

1. Começar com um modelo determinístico:

   i) Confirmar os *Cycle Times* teóricos

   ii) Confirmar as perdas em *yield*.

1. Adicionar os parâmetros estocásticos, um a um, validando sempre a introdução de um novo parâmetro (por exemplo, o MTBF ou o MTBA).

2. Avaliação gradual do modelo através dos critérios de *performance* pré-definidos.

Quando o modelo estiver completamente construído, é necessário avaliar o comportamento agregado de todos os parâmetros na sua globalidade. Esta fase é um processo interactivo e possíveis melhoramentos podem e devem ser introduzidos.

No fim deste passo de avaliação e consolidação dos resultados, o modelo base fica concluído. Este modelo servirá como estrutura para a construção dos modelos que representarão as diversas alternativas de sistemas de produção que queremos testar.

4. Análise *What If*

Uma análise *What If* consiste em construir, segundo certos critérios previamente adoptados, diversos cenários alternativos que podem constituir uma solução para o problema inicial. Basicamente, são propostas diversas alternativas possíveis e analisam-se os resultados obtidos através de uma comparação objectiva de certos parâmetros.

4.1.Análise de Cenários Alternativos e Experimentação

A obtenção dos objectivos de um projecto de simulação pode ser alcançada através de diferentes hipóteses. Aliás, é sempre conveniente desenvolver diversos modelos alternativos.

Após a construção de todos os modelos, a partir do mesmo modelo base já validado, simulam-se todos os modelos um certo número de vezes, nas mesmas condições de aleatoriedade. Os resultados obtidos através de cada um devem ser comparados segundo os mesmos critérios de *performance*. A partir desta avaliação comparativa determina-se a melhor solução para a resolução dos problemas iniciais.

4.2. Documentação e Conclusões

A documentação a coleccionar durante todo o projecto deve abranger todos os itens descritos abaixo:

- Objectivos e pressupostos
- Parâmetros introduzidos no modelo
- Desenho de experiências (cenários alternativos)
- Resultados obtidos com cada modelo
- Conclusões
- Grau de incerteza e risco

5. Conclusões e Apresentação de Resultados

A apresentação de resultados deve focar os seguintes pontos:

- Objectivos do projecto
- Descrição do problema resolvido
- Apresentação da metodologia seguida
- Vantagens da solução proposta
- Alternativas rejeitadas e porquê
- Solicitação de sugestões que melhorarão futuros projectos de simulação.

6. Implementação Acompanhada

A implementação da solução adoptada deverá ser seguida de perto de modo a que a velocidade de resposta a possíveis problemas seja a mais elevada possível. Os resultados obtidos através do estudo de simulação devem ser comparados e correlacionados com os resultados observados no sistema real.

ANEXO II

📖 CWW (*Compressed Working Week*)

HORÁRIO DE TRABALHO PARA 1996

REVISÃO

	01/01 a 06/01						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -			H	1	0	0	1	1
B -			H	0	1	1	1	1
C -			H	1	1	1	0	0
D -			H	1	1	1	1	1

	07/01 a 13/01						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	1	0	0	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	1	1
C -	1	1	1	0	0	1	1
D -	0	1	1	1	1	0	0

	14/01 a 20/01						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	0	0
C -	1	0	0	1	1	1	1
D -	1	1	1	0	0	1	1

	21/01 a 27/01						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	0	0
B -	0	1	1	0	0	1	1
C -	0	1	1	1	1	1	1
D -	0	0	0	1	1	1	1

	28/01 a 03/02						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	1	1	1	0	0	1	1
B -	1	0	0	1	1	1	1
C -	0	1	1	1	1	0	0
D -	0	1	1	1	1	1	1

	04/02 a 10/02						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	1	0	0	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	1	1
C -	1	1	1	0	0	1	1
D -	0	1	1	1	1	0	0

	11/02 a 17/02						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	0	0
C -	1	0	0	1	1	1	1
D -	1	1	1	0	0	1	1

	18/02 a 24/02						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	H	1	1	0	0
B -	1	1	H	0	0	1	1
C -	0	1	H	1	1	1	1
D -	1	0	H	1	1	1	1

	25/02 a 02/03						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	0	0	1	1
B -	0	0	0	1	1	1	1
C -	0	1	1	1	1	0	0
D -	0	1	1	1	1	1	1

	03/03 a 09/03						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	1	0	0	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	1	1
C -	1	1	1	0	0	1	1
D -	0	1	1	1	1	0	0

	10/03 a 16/03						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	0	0
C -	0	0	0	1	1	1	1
D -	0	1	1	0	0	1	1

	17/03 a 23/03						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	0	0
B -	1	1	1	0	0	1	1
C -	0	1	1	1	1	1	1
D -	1	0	0	1	1	1	1

	24/03 a 30/03						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	1	1	1	0	0	1	1
B -	1	0	0	1	1	1	1
C -	0	1	1	1	1	0	0
D -	0	1	1	1	1	1	1

	31/03 a 06/04						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	1	0	0	1	1	H	F
B -	0	1	1	1	1	H	F
C -	1	1	1	0	0	H	F
D -	0	1	1	1	1	H	0

	07/04 a 13/04						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	H	1	1	1	1	1	1
B -	H	1	1	1	1	0	0
C -	H	0	0	1	1	1	1
D -	H	1	1	0	0	1	1

	14/04 a 20/04						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	0	0
B -	1	1	1	0	0	1	1
C -	0	1	1	1	1	1	1
D -	1	0	0	1	1	1	1

	21/04 a 27/04						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	1	1	1	0	H	1	1
B -	1	0	0	1	H	1	1
C -	0	1	1	1	H	0	0
D -	0	1	1	1	H	1	1

	28/04 a 04/05						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	0	0	H	1	1	1
B -	0	1	1	H	1	1	1
C -	0	1	1	H	0	1	1
D -	0	1	1	H	1	0	0

	05/05 a 11/05						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	0	0
C -	1	0	0	1	1	1	1
D -	1	1	1	0	0	1	1

	12/05 a 18/05						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	0	0
B -	1	1	1	0	0	1	1
C -	0	1	1	1	1	1	1
D -	1	0	0	1	1	1	1

	19/05 a 25/05						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	1	1	1	0	0	1	1
B -	1	0	0	1	1	1	1
C -	0	1	1	1	1	0	0
D -	0	1	1	1	1	1	1

	26/05 a 01/06						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	1	0	0	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	1	1
C -	1	1	1	0	0	1	1
D -	0	1	1	1	1	0	0

	02/06 a 08/06						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	H	1	1
B -	0	1	1	1	H	0	0
C -	1	0	0	1	H	1	1
D -	1	1	1	0	H	1	1

	09/06 a 15/06						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	H	1	1	1	0	0
B -	0	H	1	0	0	1	1
C -	0	H	1	1	1	1	1
D -	0	H	0	1	1	1	1

	16/06 a 22/06						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	1	1	1	0	0	1	1
B -	1	0	0	1	1	1	1
C -	0	1	1	1	1	0	0
D -	0	1	1	1	1	1	1

	23/06 a 29/06						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	H	1	1	1	1	1
B -	0	H	1	1	1	1	1
C -	0	H	F	F	F	F	F
D -	0	H	1	1	1	1	0

	30/06 a 06/07						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	1	0
C -	0	F	F	F	F	F	F
D -	0	1	1	1	1	1	1

	07/07 a 13/07						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	1	1
C -	0	F	F	F	F	F	F
D -	0	1	1	1	1	1	0

	14/07 a 20/07						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	0
B -	0	1	1	1	1	1	1
C -	0	F	1	1	1	1	1
D -	0	F	F	F	F	F	F

	21/07 a 27/07						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	1	0
C -	0	1	1	1	1	1	1
D -	0	F	F	F	F	F	F

	28/07 a 03/08						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	0
B -	0	1	1	1	1	1	1
C -	0	1	1	1	1	1	1
D -	0	F	F	F	F	F	F

	04/08 a 10/08						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	F	F	F	F	F	F
B -	0	1	1	1	1	1	1
C -	0	1	1	1	1	1	0
D -	0	F	1	1	1	1	1

	11/08 a 17/08						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	F	F	F	H	F	F
B -	0	1	1	1	H	1	1
C -	0	1	1	1	H	1	1
D -	0	1	1	1	H	1	0

	18/08 a 24/08						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	F	F	F	F	F	F
B -	0	1	1	1	1	1	1
C -	0	1	1	1	1	1	1
D -	0	1	1	1	1	1	0

	25/08 a 31/08						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	F	1	1	1	1	1
B -	0	F	F	F	F	F	F
C -	0	1	1	1	1	1	0
D -	0	1	1	1	1	1	1

	01/09 a 07/09						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	0
B -	0	F	F	F	F	F	F
C -	0	1	1	1	1	1	1
D -	0	1	1	1	1	1	1

	08/09 a 14/09						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	1
B -	0	F	F	F	F	F	F
C -	0	1	1	1	1	1	1
D -	0	1	1	1	1	1	0

	15/09 a 21/09						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	0	0	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	1	1
C -	0	1	1	0	0	1	1
D -	0	1	1	1	1	0	0

	22/09 a 28/09						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	0	0
C -	1	0	0	1	1	1	1
D -	1	1	1	0	0	1	1

	29/09 a 05/10						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	0	H
B -	1	1	1	0	0	1	H
C -	0	1	1	1	1	1	H
D -	1	0	0	1	1	1	H

	06/10 a 12/10						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	0	0	1	1
B -	0	0	0	1	1	1	1
C -	0	1	1	1	1	0	0
D -	0	1	1	1	1	1	1

	13/10 a 19/10						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	1	0	0	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	1	1
C -	1	1	1	0	0	1	1
D -	0	1	1	1	1	0	0

	20/10 a 26/10						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	0	0
C -	0	0	0	1	1	1	1
D -	0	1	1	0	0	1	1

	27/10 a 02/11						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	H	0
B -	1	1	1	0	0	H	1
C -	0	1	1	1	1	H	1
D -	1	0	0	1	1	H	1

	03/11 a 09/11						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	1	1	1	0	0	1	1
B -	1	0	0	1	1	1	1
C -	0	1	1	1	1	0	0
D -	0	1	1	1	1	1	1

	10/11 a 16/11						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	1	0	0	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	1	1
C -	1	1	1	0	0	1	1
D -	0	1	1	1	1	0	0

	17/11 a 23/11						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	1
B -	0	1	1	1	1	0	0
C -	1	0	0	1	1	1	1
D -	1	1	1	0	0	1	1

	24/11 a 30/11						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	0	0
B -	1	1	1	0	0	1	1
C -	0	1	1	1	1	1	1
D -	1	0	0	1	1	1	1

	01/12 a 07/12						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	H	1	1	0	0	1	1
B -	H	0	0	1	1	1	1
C -	H	1	1	1	1	0	0
D -	H	1	1	1	1	1	1

	08/12 a 14/12						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	H	0	0	1	1	1	1
B -	H	1	1	1	1	1	1
C -	H	1	1	0	0	1	1
D -	H	1	1	1	1	0	0

	15/12 a 21/12						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	1	1	1	1	1	0
B -	0	1	1	1	1	0	0
C -	0	0	0	1	1	1	1
D -	0	1	1	0	0	1	1

	22/12 a 28/12						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	F	F	H	F	F	F
B -	0	F	F	H	F	F	F
C -	0	F	F	H	F	F	F
D -	0	F	F	H	F	F	F

	29/12 a 31/12						
	D	S	T	Q	Q	S	S
	-	-	-	-	-	-	-
A -	0	F	F				
B -	0	F	F				
C -	0	F	F				
D -	0	F	F				

LEGENDA — ANO - 1996

1 : DIA DE TRABALHO
0 : DIA DE FOLGA
F : DIA DE FERIAS
H : DIA FERIADO

EQUIPA A
EQUIPA B
EQUIPA C
EQUIPA D

ANEXO III

📖 *Logpoints* dos Produtos do SBU 14 *Fast*

Logpoints do SBU 5

Os principais l*ogpoints* para cada *flow* dos produtos 14 *Fast* são:

SMS Logpoint	*Operações*	*2001*	*3001*
4000	*Starts*	X	X
4100	*Die Prep*	X	X
4300	*Mount + Bond*	X	X
4700	*Mold*	X	X
6030	Cura de *Mold + Degrease + Symbol + TrimForm + Singulate + V/M*	X	X
7000	*QTest*	X	X
9080	*Pack* Tubos	X	
9080	*Pack Reel*		X
9150	*Final L/A*	X	X
9900	*Shipping*	X	X

Quadro I: Logpoints dos processos do SBU 5.

ANEXO IV

- Parâmetros das *Mounters*
- Parâmetros das *Bonders*
- Parâmetros das Prensas de *Mold*
- Parâmetros dos Fornos de Cura de *Mold*
- Parâmetros dos *Degreasers*
- Parâmetros das máquinas de *Symbol TrimForm*
- Parâmetros das *Singulaters*
- Parâmetros das *Testers HSM*
- Parâmetros das *Testers TL1*
- Parâmetros das *Handlers*
- Parâmetros das *Tape&Reel*
- Parâmetros da *LIS*

1. *Work Station* "11-Mounter"

Parâmetros	*Descrição*	*Unidade de Medida*	*Distribuição Estatística*	*Valor Médio*
Número de máquinas	*Mounter*			6
Gross PPH	Capacidade Teórica da *Mounter*	Unid/hora		4.900
MTBA	Tempo Médio Entre Assistências	Minutos	Exponencial Negativa	27
MTTA	Tempo Médio Para Assistir	Minutos	Exponencial Negativa	0,9
MTBF	Tempo Médio Entre Avarias	Horas	Exponencial Negativa	30,4
MTTR	Tempo Médio de Reparação	Horas	Exponencial Negativa	0,35
Delay	Tempo de Atraso Médio por Operação	Minutos	Exponencial Negativa	4
Load Time	Tempo para colocar o material na máquina	Minutos		2
Unload Time	Tempo para retirar material da máquina	Minutos		1
Max Queue Time	Tempo Máximo em Fila de Espera	Horas		0

Quadro II: Parâmetros das Mounters.

2. *Work Station* "12-Bonder"

Parâmetros	*Descrição*	*Unidade de Medida*	*Distribuição Estatística*	*Valor Médio*
Número de máquinas	*Bonder*			16
Gross PPH	Capacidade Teórica da *Bonder*	Unid/hora		1.718
MTBA	Tempo Médio Entre Assistências	Minutos	Exponencial Negativa	13,3
MTTA	Tempo Médio Para Assistir	Minutos	Exponencial Negativa	0,6
MTBF	Tempo Médio Entre Avarias	Horas	Exponencial Negativa	8,9
MTTR	Tempo Médio de Reparação	Horas	Exponencial Negativa	0,73
Delay	Tempo de Atraso Médio por Operação	Minutos	Exponencial Negativa	2
Load Time	Tempo para colocar o material na máquina	Minutos		3
Unload Time	Tempo para retirar material da máquina	Minutos		2
Max Queue Time	Tempo Máximo em Fila de Espera	Horas		0

Quadro III: Parâmetros das Bonders.

3. *Work Station* "21-Prensas"

Parâmetros	*Descrição*	*Unidade de Medida*	*Distribuição Estatística*	*Valor Médio*
Número de máquinas	Prensa de *Mold*			2
Gross PPH	Capacidade Teórica da Prensa de *Mold*	Unid/hora		15.000
MTBA	Tempo Médio Entre Assistências	Minutos	Exponencial Negativa	0
MTTA	Tempo Médio Para Assistir	Minutos	Exponencial Negativa	0
MTBF	Tempo Médio Entre Avarias	Horas	Exponencial Negativa	92,8
MTTR	Tempo Médio de Reparação	Horas	Exponencial Negativa	1,98
Delay	Tempo de Atraso Médio por Operação	Minutos	Exponencial Negativa	0
Load Time	Tempo para colocar o material na máquina	Minutos		
Unload Time	Tempo para retirar material da máquina	Minutos		
Max Queue Time	Tempo Máximo em Fila de Espera	Horas		0

Quadro IV: Parâmetros das Prensas de Mold.

4. *Work Station* "22-Fornos"

Parâmetros	Descrição	Unidade de Medida	Distribuição Estatística	Valor Médio
Número de máquinas	Forno de Cura de Mold			5
Gross PPH	Capacidade Teórica do Forno de Cura	Unid/hora		Tempo de Processo [1]
MTBA	Tempo Médio Entre Assistências	Minutos	Exponencial Negativa	0
MTTA	Tempo Médio Para Assistir	Minutos	Exponencial Negativa	0
MTBF	Tempo Médio Entre Avarias	Horas	Exponencial Negativa	0
MTTR	Tempo Médio de Reparação	Horas	Exponencial Negativa	0
Delay	Tempo de Atraso Médio por Operação	Minutos	Exponencial Negativa	0
Load Time	Tempo para colocar o material na máquina	Minutos		0
Unload Time	Tempo para retirar material da máquina	Minutos		0
Max Queue Time	Tempo Máximo em Fila de Espera	Horas		1 [2]

Quadro V: Parâmetros dos Fornos de Cura de Mold.

[1] O tempo de processamento do lote é constante (não depende da dimensão do lote) e fica definido pelo *Process Time* (Tempo de Processo) introduzido na definição do processo.

[2] A Regra "*Equipment Load Rule*" (regra aplicada ao sequenciamento dos lotes numa Estação de Trabalho) foi alterada para "*Multiple Products: Full Load Required*" ("Produtos Múltiplos: Obrigatório Carga Completa do Equipamento").

5. *Work Station* "31-Degrease"

Parâmetros	*Descrição*	*Unidade de Medida*	*Distribuição Estatística*	*Valor Médio*
Número de máquinas	*Degreaser*			2
Gross PPH	Capacidade Teórica do *Degreaser*	Unid/hora		Tempo de Processo
MTBA	Tempo Médio Entre Assistências	Minutos	Exponencial Negativa	0
MTTA	Tempo Médio Para Assistir	Minutos	Exponencial Negativa	0
MTBF	Tempo Médio Entre Avarias	Horas	Exponencial Negativa	0
MTTR	Tempo Médio de Reparação	Horas	Exponencial Negativa	0
Delay	Tempo de Atraso Médio por Operação	Minutos	Exponencial Negativa	10
Load Time	Tempo para colocar o material na máquina	Minutos		0
Unload Time	Tempo para retirar material da máquina	Minutos		0
Max Queue Time	Tempo Máximo em Fila de Espera	Horas		0

Quadro VI: Parâmetros dos Degreasers.

6. *Work Station* "23-SymbTForm"

Parâmetros	*Descrição*	*Unidade de Medida*	*Distribuição Estatística*	*Valor Médio*
Número de máquinas	*Symbol TrimForm*			2
Gross PPH	Capacidade Teórica da *Symbol Trim Form*	Unid/hora		15.435
MTBA	Tempo Médio Entre Assistências	Minutos	Exponencial Negativa	49,2
MTTA	Tempo Médio Para Assistir	Minutos	Exponencial Negativa	1,08
MTBF	Tempo Médio Entre Avarias	Horas	Exponencial Negativa	54,5
MTTR	Tempo Médio de Reparação	Horas	Exponencial Negativa	2,32
Delay	Tempo de Atraso Médio por Operação	Minutos	Exponencial Negativa	4
Load Time	Tempo para colocar o material na máquina	Minutos		1
Unload Time	Tempo para retirar material da máquina	Minutos		0
Max Queue Time	Tempo Máximo em Fila de Espera	Horas		0

Quadro VII: Parâmetros das máquinas de Symbol Trim&Form.

7. *Work Station* "24-Singulate"

Parâmetros	*Descrição*	*Unidade de Medida*	*Distribuição Estatística*	*Valor Médio*
Número de máquinas	*Singulater*			2
Gross PPH	Capacidade Teórica da *Singulater*	Unid/hora		50.000
MTBA	Tempo Médio Entre Assistências	Minutos	Exponencial Negativa	20,4
MTTA	Tempo Médio Para Assistir	Minutos	Exponencial Negativa	0,6
MTBF	Tempo Médio Entre Avarias	Horas	Exponencial Negativa	98,6
MTTR	Tempo Médio de Reparação	Horas	Exponencial Negativa	3,48
Delay	Tempo de Atraso Médio por Operação	Minutos	Exponencial Negativa	0,86
Load Time	Tempo para colocar o material na máquina	Minutos		1
Unload Time	Tempo para retirar material da máquina	Minutos		0
Max Queue Time	Tempo Máximo em Fila de Espera	Horas		0

Quadro VIII: Parâmetros das Singulaters.

8. *Work Station* "25-V_M"

Parâmetros	*Descrição*	*Unidade de Medida*	*Distribuição Estatística*	*Valor Médio*
Número de máquinas	Mesa de V/M			2
Gross PPH	Capacidade Teórica da Mesa de V/M	Unid/hora		17.000
MTBA	Tempo Médio Entre Assistências	Minutos	Exponencial Negativa	0
MTTA	Tempo Médio Para Assistir	Minutos	Exponencial Negativa	0
MTBF	Tempo Médio Entre Avarias	Horas	Exponencial Negativa	0
MTTR	Tempo Médio de Reparação	Horas	Exponencial Negativa	0
Delay	Tempo de Atraso Médio por Operação	Minutos	Exponencial Negativa	1,44
Load Time	Tempo para colocar o material na máquina	Minutos		
Unload Time	Tempo para retirar material da máquina	Minutos		
Max Queue Time	Tempo Máximo em Fila de Espera	Horas		0

Quadro IX: Parâmetros das Mesas de V/M.

9. *Work Station* "TestHSM"

Parâmetros	*Descrição*	*Unidade de Medida*	*Distribuição Estatística*	*Valor Médio*
Número de máquinas	Cabeças de *Test* utilizadas das *Testers HSM*			7
Gross PPH	Capacidade Teórica da *Tester HSM*	Unid/hora		5.050
MTBA	Tempo Médio Entre Assistências	Minutos	Exponencial Negativa	0
MTTA	Tempo Médio Para Assistir	Minutos	Exponencial Negativa	0
MTBF	Tempo Médio Entre Avarias	Horas	Exponencial Negativa	403,8
MTTR	Tempo Médio de Reparação	Horas	Exponencial Negativa	0,5
Delay	Tempo de Atraso Médio por Operação	Minutos	Exponencial Negativa	2
Load Time	Tempo para colocar o material na máquina	Minutos		2
Unload Time	Tempo para retirar material da máquina	Minutos		2
Max Queue Time	Tempo Máximo em Fila de Espera	Horas		1[3]

Quadro X: Parâmetros das Testers HSM

3 Foi definido um Tempo Máximo em Fila de Espera (*Max Queue Time*) visto que uma das regras da fábrica foi alterada. O "Equipment Setup Rule" (regra que determina o *setup* do equipamento) foi alterado para "Obrigatório Produtos com a Mesma Especificação de Processo" ("*Spec Match Required*"). Isto tem por objectivo diminuir as perdas de tempo com intervenções de *Setup by Spec* desnecessárias. Contudo, se um novo lote com um produto que cumpra as especificações do equipamento não surgir em menos de uma hora, é efectuado obrigatoriamente o *setup* da máquina.

10. Work Station "TestTL1"

Parâmetros	*Descrição*	*Unidade de Medida*	*Distribuição Estatística*	*Valor Médio*
Número de máquinas	Terminais de *Test* utilizados das *Testers TL1*			4
Gross PPH	Capacidade Teórica da *Tester TL1*	Unid/hora		2389
MTBA	Tempo Médio Entre Assistências	Minutos	Exponencial Negativa	0
MTTA	Tempo Médio Para Assistir	Minutos	Exponencial Negativa	0
MTBF	Tempo Médio Entre Avarias	Horas	Exponencial Negativa	3744
MTTR	Tempo Médio de Reparação	Horas	Exponencial Negativa	0,33
Delay	Tempo de Atraso Médio por Operação	Minutos	Exponencial Negativa	2
Load Time	Tempo para colocar o material na máquina	Minutos		2
Unload Time	Tempo para retirar material da máquina	Minutos		2
Max Queue Time	Tempo Máximo em Fila de Espera	Horas		0

Quadro XI: Parâmetros das Testers TL1.

11.Work Stations "HandlersHSM"e "HandlersTL1"

Parâmetros	*Descrição*	*Unidade de Medida*	*Distribuição Estatística*	*Valor Médio*
Número de máquinas	Handlers STG			7
Gross PPH	Capacidade Teórica da Mounter	Unid/hora		
MTBA	Tempo Médio Entre Assistências	Minutos	Exponencial Negativa	32,7
MTTA	Tempo Médio Para Assistir	Minutos	Exponencial Negativa	0,42
MTBF	Tempo Médio Entre Avarias	Horas	Exponencial Negativa	139,8
MTTR	Tempo Médio de Reparação	Horas	Exponencial Negativa	0,78
Delay	Tempo de Atraso Médio por Operação	Minutos	Exponencial Negativa	
Load Time	Tempo para colocar o material na máquina	Minutos		
Unload Time	Tempo para retirar material da máquina	Minutos		
Max Queue Time	Tempo Máximo em Fila de Espera	Horas		

Quadro XII: Parâmetros das Handlers das Work Stations "HandlersHSM" e "HandlersTL1".

12.Work Station "Tape"

Parâmetros	*Descrição*	*Unidade de Medida*	*Distribuição Estatística*	*Valor Médio*
Número de máquinas	*Tape&Reel*			4
Gross PPH	Capacidade Teórica da *Tape&Reel*	Unid/hora		Tempo de Processo
MTBA	Tempo Médio Entre Assistências	Minutos	Exponencial Negativa	2,2
MTTA	Tempo Médio Para Assistir	Minutos	Exponencial Negativa	0,35
MTBF	Tempo Médio Entre Avarias	Horas	Exponencial Negativa	32,2
MTTR	Tempo Médio de Reparação	Horas	Exponencial Negativa	1,65
Delay	Tempo de Atraso Médio por Operação	Minutos	Exponencial Negativa	2
Load Time	Tempo para colocar o material na máquina	Minutos		2
Unload Time	Tempo para retirar material da máquina	Minutos		1
Max Queue Time	Tempo Máximo em Fila de Espera	Horas		0

Quadro XIII: Parâmetros da Tape&Reel.

13.Work Station "LIS"

Parâmetros	*Descrição*	*Unidade de Medida*	*Distribuição Estatística*	*Valor Médio*
Número de máquinas	Lis			1
Gross PPH	Capacidade Teórica da LIS	Unid/hora		8.570
MTBA	Tempo Médio Entre Assistências	Minutos	Exponencial Negativa	7,18
MTTA	Tempo Médio Para Assistir	Minutos	Exponencial Negativa	0,43
MTBF	Tempo Médio Entre Avarias	Horas	Exponencial Negativa	105,8
MTTR	Tempo Médio de Reparação	Horas	Exponencial Negativa	0,76
Delay	Tempo de Atraso Médio por Operação	Minutos	Exponencial Negativa	1,5
Load Time	Tempo para colocar o material na máquina	Minutos		1
Unload Time	Tempo para retirar material da máquina	Minutos		1
Max Queue Time	Tempo Máximo em Fila de Espera	Horas		0

Quadro XIV: Parâmetros da LIS.

ANEXO V

- Cálculo do *Gross PPH* da *Mounter*
- Cálculo do *Gross PPH* da *Singulater*
- Cálculo do *Gross PPH* da *LIS*

1. Cálculo do *Gross PPH* da *Mounter*

Mounter	*Unidades Processadas*	*Tempo (h)*	*Nº Dies/Wafer*	*Index Time (min)*	*Mudar Wafer (min)*	*Primeiro L. Frame (min)*	*Tempo Processo (h)*	*PPH (unid/h)*
MT308	569403	584	7322	0.0114	1	1	109	5215
MT309	922984	584	7322	0.0114	1	1	177	5215
MT401	2053400	584	7322	0.0114	1	1	394	5216
MT402	1682475	584	7322	0.0114	1	1	323	5216
MT415	16829613	584	7322	0.0114	1	1	3227	5216
MT416	2074361	584	7322	0.0114	1	1	398	5216
Média	**4022039**	**584**	**7322**	**0.0114**	**1**	**1**	**771**	**5215**

Quadro XV: Cálculo do Gross PPH da Mounter.

2. Cálculo do *Gross PPH* da *Singulater*

Máquina	*Tempo Processamento (seg)*	*Nº Unidades Processadas*	*Gross PPH*
Singulater 5	20	280	50.400
Singulater 5	20	280	50.400
Singulater 5	20	280	50.400
Singulater 6	18	280	56.000
Singulater 6	18	280	56.000
Singulater 6	18	280	56.000
Média	**19**	**280**	**53.200**

Quadro XVI: Cálculo do Gross PPH da Singulater.

3. Cálculo do *Gross PPH* da *LIS*

	Tempo de Processamento	*No Unidades Proces.*	*Gross PPH*
1	21	50	8.571
2	19	50	9.474
3	20	50	9.000
4	21	50	8.571
5	20	50	9.000
6	20	50	9.000
7	21	50	8.571
8	20	50	9.000
9	30	50	6.000
10	21	50	8.571
11	22	50	8.182
12	21	50	8.571
13	21	50	8.571
14	20	50	9.000
15	21	50	8.571
16	22	50	8.182
17	20	50	9.000
18	21	50	8.571
Média	**21,167**	**50**	**8578**

Quadro XVII: Cálculo do Gross PPH da LIS.

ANEXO VI

📖 Comunicação entre o ATCS, o MAC e o Equipamento

1. Comunicação entre o ATCS, o MAC e o Equipamento

O ATCS é uma estação SUN, que armazena os programas de *Bond* e de *Mount* e funciona simultaneamente como uma base de dados. Os dados são enviados pelo MAC, um computador que funciona como interface entre as máquinas de *Mount* e *Bond*. No entanto também tem memória, e é capaz de funcionar como uma base de dados temporários que periódicamente envia toda a informação armazenada para o ATCS. Por outro lado, o ATCS envia-lhe diversos tipos de dados, como os programas de alinhamento das máquinas de *Bond* e programas de *Mount*, que são utilizados pelas máquinas durante a produção, segundo um sistema de multiplexagem definido pelo próprio MAC.

Na Figura II está representado o esquema da comunicação bidireccional que se regista entre estas três entidades.

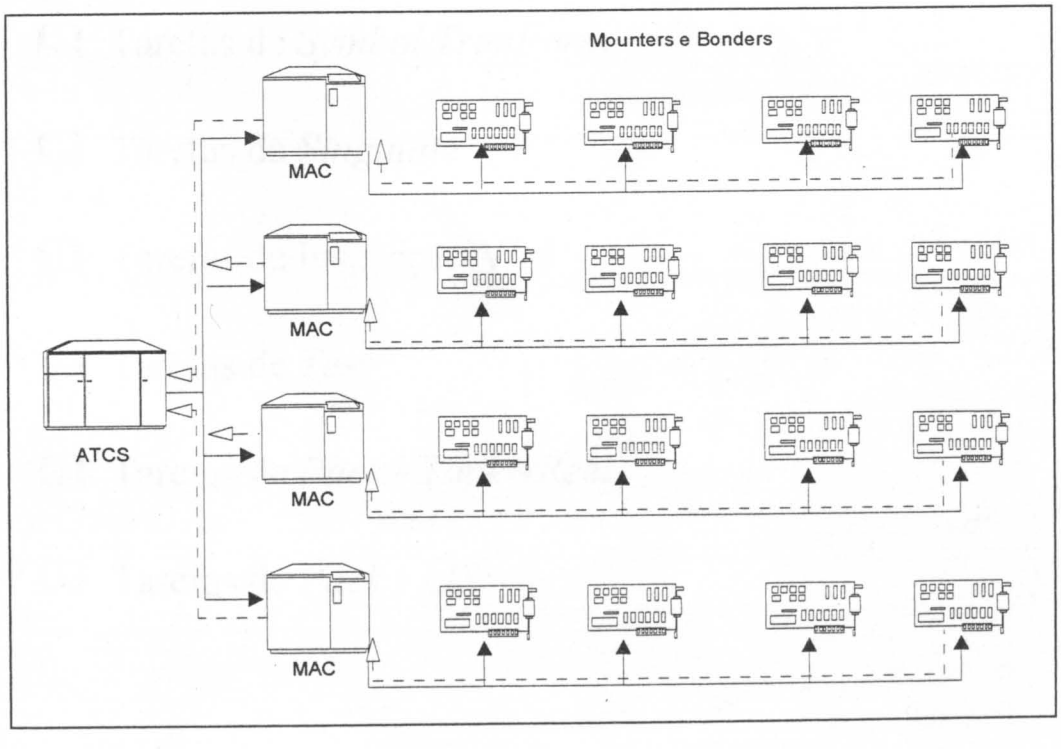


Figura II: Esquema de comunicação entre o ATCS, o MAC e as máquinas.

ANEXO VII

- Tarefas de *Mount*
- Tarefas de *Bond*
- Tarefas de *Rework* de *Assembly*
- Tarefas de *Degrease*
- Tarefas de *Symbol TrimForm*
- Tarefas da *Singulate*
- Tarefas de Inspecção V/M
- Tarefas de *Test*
- Tarefas de *Pack - Tape&Reel*
- Tarefas de *Pack - LIS*

1. *Mount*

	Tarefa	*Tipo de Tarefa*	*Tempo (min)*
1	Ir buscar o lote	*Delay*	0,20
2	Mudar a *wafer*	*Delay*	0,98
3	Colocar *magazine* vazio no *offloader*	*Delay*	0,22
4	Ajuste da máquina	*Delay*	1,55
5	Programa de *Mount*	*Setup Type*	3
6	Mudar *Leadframe*	*Setup por Leadframe*	1,42
7	Mudar *pick-up*	*Setup by Spec*	0,28
8	Mudar agulha de *epoxy*	*Setup by Spec*	2,03
9	1a. Inspecção	*Load*	1,23
10	Registos iniciais no LT	*Load*	0,37
11	2a. Inspecção e registo no LT	*Unload*	0,98
12	Retirar *magazine* cheio	*Delay*	0,07
13	Contar o lote	*Delay*	0,47
14	Colocar *magazine* na *lunch box*	*Delay*	0,12
15	Registos no LT e na Folha de Produção	*Process Time*	0,60
16	Transporte do lote para *Bond*	*Process Time*	0,15
17	Scrap dos "cadáveres" das *wafers*	*Process Time*	0,17

Quadro XVIII: Tarefas de Mount.

2. *Bond*

	Tarefa	*Tipo de Tarefa*	*Tempo (min)*
1	Contar o lote	*Delay*	0,28
2	Colocar o lote na *Bonder*	*Delay*	0,11
3	Colocar *magazine* vazio no *offloader*	*Delay*	0,22
4	Ajuste/alinhamento da máquina	*Delay*	0,85
5	Programa de *Bond*	*Setup Type*	9
6	Mudar *Insert*	*Setup por Leadframe*	2,54
7	Mudar Fio de Ouro	*Setup by Spec*	13,5
8	1a. Inspecção da máquina	*Load*	2,42
9	Registos iniciais no LT	*Load*	0,22
10	2a. Inspecção da máquina e registo no LT	*Unload*	2,19
11	Retirar lote da máquina	*Delay*	0,31
12	Contar o lote	*Delay*	0,70
13	Registos no *Lot Traveller* e na Folha de Produção	*Process Time*	0,45
14	Transporte do lote para a prateleira e cobrir	*Process Time*	0,73
15	Vender o lote ao SMS	*Process Time*	0,78

Quadro XIX: Tarefas de Bond.

3. *Rework* de *Assembly*

	Tarefa	*Tipo de Tarefa*	*Tempo (min)*
1	Ir buscar o lote	*Delay*	0,167
2	*Rework* ao microscópio	*PPH*	PPH
3	Contar o lote e registar no *Lot Traveller*	*Delay*	1,4
4	Registos na Folha de *Rework*	*Delay*	1,9
5	Transportar o lote para o posto de QA	*Delay*	0,75

Quadro XX: Tarefas de Rework de Assembly.

4. *Degrease*

	Tarefa	*Tipo de Tarefa*	*Tempo (min)*
1	Transporte até aos fornos	*Process Time*	0,20
2	Retirar os lotes dos fornos	*Process Time*	0,98
3	Preencher o Livro do Forno	*Process Time*	0,22
4	Transporte até à Estação de *Degrease*	*Process Time*	1,55
5	Colocar os lotes na grade	*Process Time*	3
6	Espera	*Delay*	1,42
7	*Degrease*	*Process Time*	
8	Preencher *Lot Traveller* e Folha de Produção	*Process Time*	0,28
9	Retirar lotes da grade e colocar no carro	*Process Time*	2,03
10	Colocar o *Lot Traveller* em cada lote	*Process Time*	1,23
11	Transporte até *Symbol*	*Process Time*	0,37

Quadro XXI: Tarefas de Degrease.

5. *Symbol Trim&Form*

	Tarefa	*Tipo de Tarefa*	*Tempo (min)*
1	Contar o lote	*Delay*	0,95
2	Escolher a máscara	*Delay*	0,30
3	Colocar fita de experiência	*Delay*	0,24
4	Mudar a máscara (mesmo produto)	*Delay*	0,28
5	Mudar a máscara (produto diferente)	*Setup Type*	2
6	Ligar a *Symbol* e limpar *TrimForm*	*Delay*	0,29
7	Confirmar fita de experiência	*Delay*	1,39
8	Inspecção primeiro *leadframe*	*Delay*	0,62
9	Preencher Lot Traveller e Folha de Produção	*Load*	0,71
10	Arrumar máscaras	*Load*	0,25
11	Levar *magazines* vazios para *Mold*	*Load*	0,43
12	Colocar *magazine* vazio no *offloader*	*Load*	0,08
13	Fim do lote	*Delay*	0,07

Quadro XXII: Tarefas de Symbol Trim&Form.

6. *Singulate*

	Tarefa	*Tipo de Tarefa*	*Tempo (min)*
1	Colocar material na máquina	*Delay*	0,21
2	Limpar a máquina com ar comprimido	*Delay*	0,108
3	Preencher *Lot Traveller* e Folha de Produção	*Load*	0,329
4	Colocar placas vazias no *offloader*	*Load*	0,367
5	Colocar placas no transportador (*lunch box*)	*Delay*	0,24
6	Transporte do lote para V/M	*Delay*	0,29

Quadro XXIII: Tarefas de Singulate.

7. Inspecção V/M

	Tarefa	*Tipo de Tarefa*	*Tempo (min)*
1	Contar o lote	*Delay*	0,75
2	Inspecção das unidades	*PPH*	PPH
3	Preencher *Lot Traveller* e Folha de Produção	*Delay*	0,69
4	Vender o lote ao SMS	*Process Time*	1,24
5	Transporte do material para *Test*	*Process Time*	0,12

Quadro XXIV: Tarefas da Inspecção de V/M.

8. *Test*

	Tarefa	*Tipo de Tarefa*	*Tempo (min)*
1	Extrair *Lot Traveller* de *Test*	*Process Time*	2,87
2	Ir buscar o lote	*Delay*	0,25
3	Chamar o lote	*Delay*	0,37
4	*Check-List* no *Lot Traveller*	*Delay*	0,25
5	Colocar material no *Inloader*	*Delay*	0,32
6	Colocar placas vazias no *offloader*	*Delay*	0,35
7	Mudar *Hardware*	*Setup Type*	3
8	Aquecimento da *Handler*	*Setup by Spec*	25
9	Arrefecimento da *Handler*	*Setup by Spec*	60
8	Activar *Lot Code 1*	*Load*	0,75
10	Inspecção de mistura	*Load*	0,30
11	Monitor de *bent leads*	*Load*	1,47
12	Inspecção por BL e registo no *Lot* Traveller	*Load*	1,73
13	Fechar o lote e retirar relatório da *Handler.*	*Delay*	0,18
14	Retirar placas Bin 1	*Delay*	0,33
15	Retirar placas de unidades rejeitadas	*Delay*	0,08
16	Extrair *Label* de Qualificação	*Process Time*	1,10
17	Contar o lote	*Process Time*	0,77
18	Preencher *Lot Traveller* e Folha de Produção	*Process Time*	1,07
19	*Scrap* das rejeitadas	*Process Time*	0,18
20	Vender o lote ao SMS	*Process Time*	1,62
21	Transportar o lote para *Pack*	*Process Time*	0,47

Quadro XXV: Tarefas de Test.

9. *Tape&Reel*

	Tarefa	*Tipo de Tarefa*	*Tempo (min)*
1	Conferir *Lot Traveller*	*Process Time*	0,50
2	Fazer cmbine e ir buscar etiqueta com *leftovers*	*Process Time*	2,07
3	Ir buscar *leftovers* e retirar tubos da caixa	*Process Time*	1,22
4	Tirar *Labels* com código de barras	*Process Time*	1,17
5	Contar *leftovers* e registo no *Lot Traveller*	*Process Time*	1,07
6	Completar placas com *leftovers* ou *vice-versa*	*Process Time*	4,12
7	Programa de *Tape*	*Setup Type*	2
8	Inspeccionar a 1a. unidade	*Process Time*	0,08
9	Registos iniciais *Lot Traveller* e Folha de Produção	*Process Time*	0,50
8	Confirmar Labels com o *Lot Traveller*	*Process Time*	0,48
10	Colocar material no *Inloader*	*Load*	0,52
11	Dobrar caixa	*Load*	0,30
12	Retirar caixa da gaveta	*Load*	0,07
13	Colocar *Label* com código de barras na caixa	*Load*	0,12
14	Colocar bobine na caixa	*Load*	0,10
15	Gráfico da *cover*	*Load*	1,25
16	Verificar gráfico da *cover*	*Load*	0,71
17	Mudar bobine (com/sem mudança de *cover)*	*Delay*	2,02
18	*Scrap* das rejeitadas	*Process Time*	0,12
19	Registos no *Lot Traveller* e Folha de Produção	*Process Time*	0,43
20	Gerar novo *leftover*	*Process Time*	1,28
21	Arrumar *leftover* na prateleira	*Process Time*	0,27
22	Vender o lote ao SMS	*Process Time*	1,59
23	Colocar o lote à saída da linha	*Process Time*	0,15
24	Colocar os lotes no AGV	*Process Time*	0,25

Quadro XXVI: Tarefas de Tape&Reel.

10.*LIS*

	Tarefa	*Tipo de Tarefa*	*Tempo (min)*
1	Verificação do Lot Traveller e registos iniciais	*Process Time*	0,51
2	Retirar etiqueta do leftover	*Process Time*	1,02
3	Ir buscar leftover	*Process Time*	0,8
4	Completar placas	*Process Time*	0,39
5	Limpar a máquina com ar comprimido	*Delay*	0,18
6	Colocar o lote no *Inloader*	*Delay*	0,37
7	Inspecção primeiro tubo	*Load*	0,39
8	Colocar tubos vazios na máquina	*Load*	0,22
9	Reteste das rejeitadas	*Delay*	0,37
8	Retirar as placas vazias	*Delay*	0,32
10	Retirar o tubo das rejeitadas	*Delay*	0,22
11	Retirar e *pinar* tubos cheios	*PPH*	PPH
12	Contar os tubos e colocar nas caixas	*PPH*	PPH
13	Contar o lote e registos no *Lot Traveller*	*Unload*	1,48
14	Scrap das rejeitadas	*Unload*	0,31
15	Vender o lote ao SMS	*Process Time*	1,14
16	Retirar *labels* com código de barras e gerar *leftover*	*Process Time*	2,02
17	Confirmar as *labels* com o *Lot Traveller*	*Process Time*	0,49
18	Colocar as labels nas caixas	*Process Time*	1,01
20	Guardar *leftover*	*Process Time*	0,45
21	Colocar o lote no AGV	*Process Time*	0,18

Quadro XXVII: Tarefas da LIS.

ANEXO VIII

📖 Intervenções de Manutenção Preventiva

1. Manutenção Preventiva (PM)

		Intervalo entre PMs							
Equip.	*Dia Inicial*	*Dias*	*Horas*	*Nº Lotes*	*Nº Unid.*	*Tempo Utiliz.*	*Duração da PM (min)*	*Operadora ?*[4]	*Descrição*
Mounter	1				45.000		3	✓	Seringa de *Epoxy*
Bonder	1				37.000		5	✓	Bobine de Ouro
Prensa de *Mold*	1	1					75	✓	Melamine
Tester HSM	1		8				2	✓	Diagnósticos de *Test*
LIS	1		8				2	✓	Recalibração

Quadro XXVIII: Intervenções de Manutenção Preventiva.

[4] Indica se a intervenção de PM é efectuada ou não por uma operadora em vez de por um técnico de manutenção.

ANEXO IX

📖 Produtos do Modelo de TestSim/X

BIBLIOTECA · FEUP

1. Produtos do SBU 5 do Modelo de TestSim/X

Produto	*Leadrame*	*Tecnologia de Test*	*Percentagem*	*Starts Semanais*
Produto 1	4104PD	LIN STSI	3.31 %	107847
Produto 2	4103PD	HSM STSI	1.56 %	50857
Produto 3	4103PD	HSM STSI	2.98 %	96947
Produto 4	4103PD	HSM STSI	3.33 %	108235
Produto 5	4103PD	HSM STSI	1.25 %	40635
Produto 6	4103PD	HSM STSI	3.48 %	113148
Produto 7	4103PD	HSM STSI	2.08 %	67851
Produto 8	4103PD	HSM STSI	1.96 %	63708
Produto 9	4103PD	HSM STSI	7.33 %	238684
Produto 10	4103PD	HSM STSI	2.51 %	81543
Produto 11	4104PD	HSM STSI	1.95 %	63586
Produto 12	4103PD	HSM STSI	6.58 %	214317
Produto 13	4103PD	HSM STSI	3.49 %	113544
Produto 14	4103PD	HSM STSI	8.28 %	269414
Produto 15	4103PD	HSM STSI	2.40 %	78218
Produto 16	4103PD	HSM STSI	0.70 %	22806
Produto 17	4103PD	HSM STSI	2.84 %	92454
Produto 18	4103PD	HSM STSI	3.96 %	128893
Produto 19	4103PD	HSM STSI	1.25 %	40824

Produto 20	4103PD	HSM STSI	12.39 %	403195
Produto 21	4103PD	HSM STSI	0.18 %	6000
Produto 22	4103PD	HSM STSI	4.10 %	133382
Produto 23	4103PD	HSM STSI	0.96 %	31334
Produto 24	4103PD	HSM STSI	0.36 %	11664
Produto 25	4103PD	HSM STSI	0.23 %	7609
Produto 26	4103PD	HSM STSI	2.08 %	67747
Produto 27	4103PD	HSM STSI	0.13 %	4369
Produto 28	4103PD	HSM STSI	0.23 %	7358
Produto 29	4104PD	HSM STSI	0.92 %	29787
Produto 30	4103PD	HSM STSI	0.55 %	18060
Produto 31	4103PD	HSM STSI	0.46 %	14841
Produto 32	4105PD	TL1	14.59 %	474745
Produto 33	4104PD	TL1	0.54 %	17600
Produto 34	4104PD	TL1	1.04 %	33799

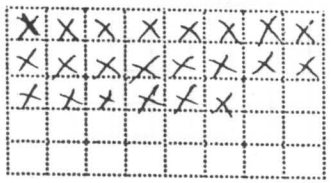
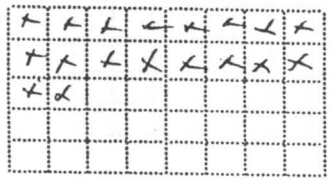
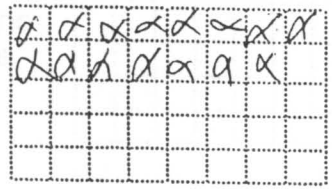
Quadro XXIX: Produtos do Modelo de TestSim/X.

ANEXO X

- Exemplo das Folhas de Registo do MTBA e MTTA da *Symbol TrimForm* e da *Singulate*
- Cálculo do MTBA e MTTA da *Symbol TrimForm*
- Cálculo do MTBA e MTTA da *Tape&Reel*
- Cálculo do MTBA e MTTA da *LIS*

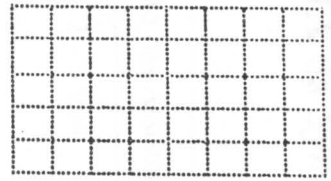
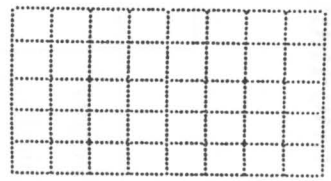
Registo das intervenções feitas pelas operadoras

Para cada intervenção faça uma cruz na grelha correspondente ao tempo que demorou a resolver o problema.
Registe por favor todas as intervenções que fizer durante o seu turno.

	Menos de 1 minuto	Entre 1 e 5 minutos	Mais de 5 minutos	
2o. Turno 9/7/96				Downtime - Ø Falta Material - Ø
3o. Turno 9/7/96				Downtime - Ø Falta Material - Ø
1o. Turno 10/7/96				Downtime - 1,5 Falta Material - X

Em caso de dúvida contactar:
Alexandra Castro (ext.2396) ou um dos facilitadores

Para cada intervenção faça uma cruz na grelha correspondente ao tempo que demorou a resolver o problema.
Registe por favor todas as intervenções que fizer durante o seu turno.

	Menos de 1 minuto	Entre 1 e 5 minutos	Mais de 5 minutos	
2o.Turno 9/7/96				Downtime - ℓ Falta de Material
3o.Turno 9/7/96				Downtime - ℓ Falta material -
1o.Turno 10/7/96				Downtime _ Falta material _

Em caso de dúvida contactar:
Alexandra Castro (ext.2396) ou um dos facilitadores

1. MTBA e MTTA da *Symbol TrimForm*

	Duração das Assistências					
	< 1 min	1 - 5 min	> 5 min	Tempo Proc. (min)	MTBA	MTTA
1	7	0	0	365	45,63	0,50
2	5	0	1	370	52,86	1,67
Média	**6**	**0**	**1**	**367,5**	**49,24**	**1,08**

Quadro XXX: MTBA e MTTA da Symbol TrimForm.

2. MTBA e MTTA da *Singulater*

	Duração das Assistências					
	< 1 min	*1 - 5 min*	*> 5 min*	*Tempo Proc. (min)*	*MTBA*	*MTTA*
1	44	11	0	150	11,25	0,9
2	22	0	0	480	20,87	0,5
3	18	0	0	480	25,26	0,5
4	15	0	0	390	24,38	0,5
Média	**24,75**	**2,75**	**0**	**97,5**	**20,44**	**0,60**

Quadro XXXI: MTBA e MTTA da Singulate.

Cálculo do MTBA e MTTA da **Tape&Reel** [5]

Tape&Reel	*MTBA Med (min)*	*MTTA Med (min)*
TR 211	3,19	0,110
TR 231	1,806	0,202
TR 221	1,218	0,195
TR 232	2,435	0,200
Média	**2,16**	**0,18**

Quadro XXXII: MTBA e MTTA da Tape&Reel.

3. Cálculo do MTBA e MTTA da *LIS* [6]

	MTBA Med (min)	*MTTA Med (min)*
Média	7,18	0,43

Quadro XXXIII: MTBA e MTTA da LIS.

5 Cálculos efectuados a partir de cronometragens efectuadas a cada uma das 4 Tape&Reel do SBU 5.
[6] Cálculos efectuados a partir de cronometragens na *LIS*.

FACULDADE DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Licenciatura em Gestão e Engenharia Industrial

Apêndice 1

Implementação dos Módulos de *Assembly*

Alexandra Castro

Maia, Outubro 1996

Projecto de Módulos de Assembly

Projecto de Reengenharia das Áreas de Assembly que decorreu em paralelo com o Estágio Curricular.

O projecto de módulos de *Assembly* insere-se dentro de um projecto mais vasto de Reengenharia das Áreas de *Assembly*.

Os módulos *soft-link* de *Mount* e *Bond* consistem numa ligação fictícia entre estes dois tipos de equipamento. Estes módulos obrigam a uma nova filosofia no processamento de um lote.

Actualmente um lote pode ser processado por qualquer uma das *Mounters* de um SBU seguindo depois para qualquer uma das *Bonders* existentes. Com a existência de módulos de *Mount* e *Bond* esta situação altera-se: um determinado lote quando sai de *Starts* tem o seu caminho já direccionado para uma determinada *Mounter* e daí segue directamente para uma das *Bonders* que lhe estão dedicadas.

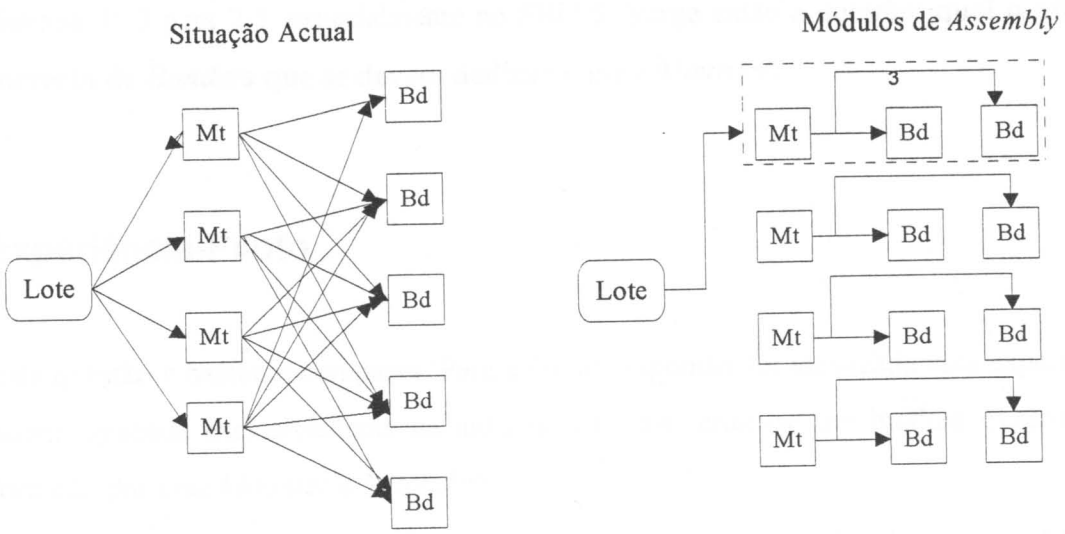


Figura A- 1: Esquema comparativo da organização de Assembly entre a situação actual e a futura situação em módulos de Assembly.

O principal problema relacionado com os módulos de *Assembly* está ligado ao balanceamento das capacidades reais entre as *Mounters* e as *Bonders*.

Em termos de capacidades teóricas podemos afirmar que uma *Mounter* tem um *Gross* PPH triplo do *Gross* PPH da *Bonder*. Em termos reais isto não é assim tão linear. Para que a capacidade real de uma máquina se aproxime da sua capacidade teórica, é necessário que as condições de trabalho sejam ideais:

- Assistência constante de uma operadora
- Rápida intervenção dos técnicos de reparação em caso de avaria
- Reduzido número de *setups* das máquinas.

Mas, dadas as restrições próprias de uma linha de produção com uma cadência produtiva elevada é difícil que todas estas condições se verifiquem simultaneamente. Por esta razão, é muito comum que a proporção entre as capacidades reais de uma *Mounter* e uma *Bonder*

diminua de 3 para 2.5, especialmente no SBU 5. Surge então a questão: **qual o número correcto de *Bonders* que se devem dedicar a uma *Mounter*?**

Experiência-Piloto

Esta questão é bastante complexa. Para a tentar responder foi idealizada uma experiência-piloto, aplicada exclusivamente na linha de 14 *Fast*: criou-se um módulo experimental formado por uma *Mounter* e 3 *Bonders*.

A experiência-piloto foi primeiro fundamentada com o auxílio de um modelo em TestSim/X, a partir do qual se estudou:

- a taxa de produção diária que os módulos de *Assembly* seriam capazes de alcançar
- o *Cycle Time* esperado e os níveis de WIP
- a percentagem de utilização das *Mounters* e das *Bonders*.
- a percentagem de ocupação relativa das operadoras.

Primeira Fase da Experiência-Piloto

Com o auxílio dos Supervisores de Produção do SBU 5, de todas as operadoras de *Assembly* do SBU 5 e com o apoio do Planeamento, foi implementada a primeira fase da experiência-piloto.

Os produtos processados nesse módulo seriam pré-seleccionados e o sequenciamento da produção teria o objectivo de minimizar ao máximo o número de *setups* do equipamento.

Por essa razão, haveria um aumento da dimensão do lote de *wafers* de 15.000 para 45.000 unidades.

Resumidamente, podemos dizer que a experiência decorreu nos seguintes moldes:

1. Objectivos da experiência:
   - ✓ Diminuição do número de setups do equipamento através de uma optimização do sequenciamento da produção.
   - ✓ Aumento da produtividade conseguida através da redução do número de *setups* e através de uma nova filosofia de processamento dos lotes.
   - ✓ Aumento da Qualidade das unidades processadas através de um melhor acompanhamento do processo de cada lote (este é um objectivo de mais longo prazo).
2. Controlo visual dos lotes: não existe nenhum auxiliar informático como o *Online* ou a *Shopping List* a conduzir os lotes ao longo do fluxo produtivo. Por esse motivo, os *Lot Travellers* dos lotes com os produtos que serão processados pelo módulo-piloto estarão identificados com uma etiqueta verde. Esta etiqueta esteve na origem do baptismo deste módulo-piloto com a designação de Módulo Verde.
3. A dimensão máxima do lote de *wafers* aumenta de ≈15.500 unidades para um limite máximo de 50.000 unidades.
4. A dimensão média de um lote aumenta de ≈ 5.500 unidades para cerca de 8.400 unidades (capacidade de um *magazine*).
5. Os produtos processados pelo Módulo Verde são escolhidos e preparados pelos *Starts* antecipadamente.

6. As operadoras de *Die Prep* e de *Mount* e *Bond* foram prevenidas para darem o máximo de atenção aos lotes que se destinam ao Módulo Verde. Deve ser garantido um abastecimento contínuo para a *Mounter* do módulo-piloto.

7. Os técnicos devem dar uma rápida atenção às avarias registadas nos equipamentos do Módulo Verde.

Foram criadas Fichas de Produção apenas relativas às máquinas do módulo-piloto que devem ser entregues aos Supervisores de Produção no fim de cada turno pois são um documento de controlo da evolução dos acontecimentos. Um exemplo da Ficha de Produção do Módulo Verde está representada no Anexo A-I.

Os produtos seleccionados com o auxílio do Planeamento, no início da experiência-piloto, para um objectivo de produção semanal da ordem das 550 mil unidades, estão representados no Quadro A- 1.

	Device	*Quant.(Ku)*	*Quant. Acum.(Ku)*	*Comentários*
1	*Device* 1	139	139	
2	*Device* 2	100	239	
3	*Device* 3	78	317	Mudança de *Pick-Up*
4	*Device* 4	160	477	Mudança da Agulha
5	*Device* 5	88	565	

***Quadro A- 1*: Produtos seleccionados para a 1ª fase da experiência-piloto.**

A experiência prolongou-se durante 4 dias e os resultados obtidos foram:

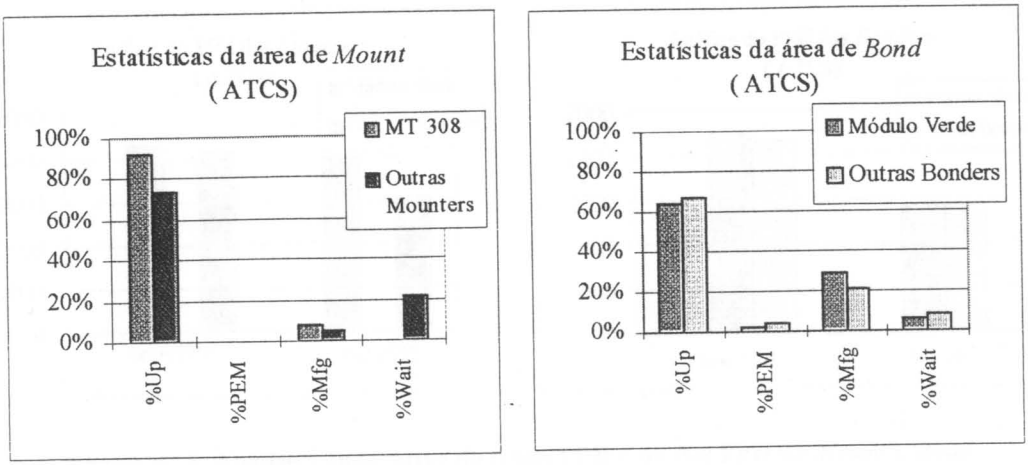


***Figura A- 2*: Estatísticas relativas ao equipamento de Mount e Bond durante a 1ª fase da experiência-piloto.**

As estatísticas descritas nos gráficos da Figura A- 2 referem-se a:

- ***% Up Time* (% Utilização do Equipamento):** Percentagem de tempo em que a máquina está ocupada a processar material.
- ***% PEM* (% Avarias + Reparações + Manutenções Programadas):** Percentagem de tempo em que a máquina está avariada ou a ser reparada.
- ***% Mfg* (% Intervenções da Manufactura):** Percentagem de tempo em que uma operadora está a intervir na máquina.
- ***% Wait* (% Falta de Material):** Percentagem de tempo em que a máquina está parada por falta de material.

Relativamente à capacidade real obtida nas *Mounters* e *Bonders*, os resultados estão descritos no gráfico da Figura A- 3.

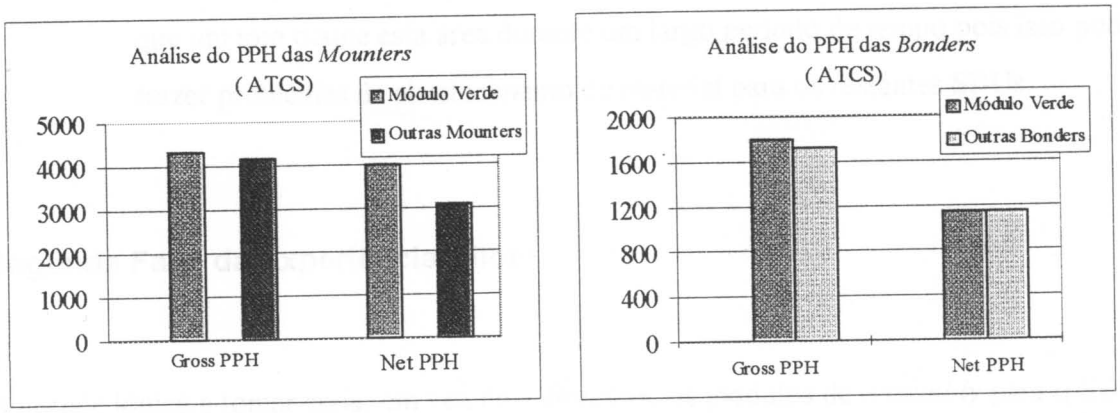


Figura A- 3*: Análise comparativa do *Gross* PPH e do *Net* PPH de *Mount* e *Bond.

Estes resultados foram obtidos através dos relatórios da base de dados de *Assembly* que retira os dados do ATCS. Os valores foram confirmados com os dados contidos nas Fichas de Produção recolhidas diariamente.

As conclusões mais importantes desta experiência foram:

- Uma *Mounter* não tem capacidade real suficiente para fornecer ininterruptamente 3 *Bonders*, principalmente quando o sequenciamento da produção é optimizado;
- A capacidade da *Mounter* do Módulo Verde (MT 308) foi bastante superior à capacidade das restantes *Mounters* do SBU 5. Isto verifica-se claramente ao observar as barras relativas ao *Net PPH* de *Mount* (Capacidade Real) da Figura A- 3.
- O *Net* PPH de uma *Mounter* aumenta bastante enquanto que o *Net* PPH de uma *Bonder* se mantém sensivelmente constante.
- Uma dimensão muito elevada do lote de *wafers* vai trazer problemas ao nível da operação de *Die Prep*. O *Die Prep* é uma área cujas máquinas, as *Saws* (Serras), não estão dedicadas a um único SBU. Por essa razão, não é benéfico

que um lote ocupe esta área durante um largo período de tempo pois isso pode trazer problemas de abastecimento de material para os restantes SBUs.

Segunda Fase da Experiência-Piloto

A atitude lógica a tomar seria: em vez de 3 *Bonders*, os módulos de *Assembly* para o SBU 5 serão formados por uma *Mounter* dedicada a 2 *Bonders*.

Para confirmar esta nova percepção foi implementada uma segunda fase da experiência-piloto. Desta vez, a experiência decorreu segundo os seguintes parâmetros:

- Uma *Mounter* dedicada a 2 *Bonders*.
- Diminuição da dimensão do lote de *Wafers* relativamente ao adoptado na experiência anterior.
- *Lot Travellers* identificados por uma etiqueta verde.

Os produtos seleccionados e preparados exclusivamente para a 2ª Fase do Módulo Verde, com a ajuda do Planeamento, foram:

	Device	*Quant. (Ku)*	*Quant. Acum. (Ku)*	*Comentários*
1	*Device* 1	25	25	
2	*Device* 2	64	89	Mudança de *Pick-Up* e Agulha
3	*Device* 3	142	231	Mudança de Agulha
4	*Device* 4	23	254	Mudança de *Pick-Up* e Agulha
5	*Device* 5	103	357	

Quadro A- 2: Produtos seleccionados para a 2ª fase da experiência-piloto.

Após a conclusão da segunda fase da experiência, obtiveram-se os seguintes resultados:

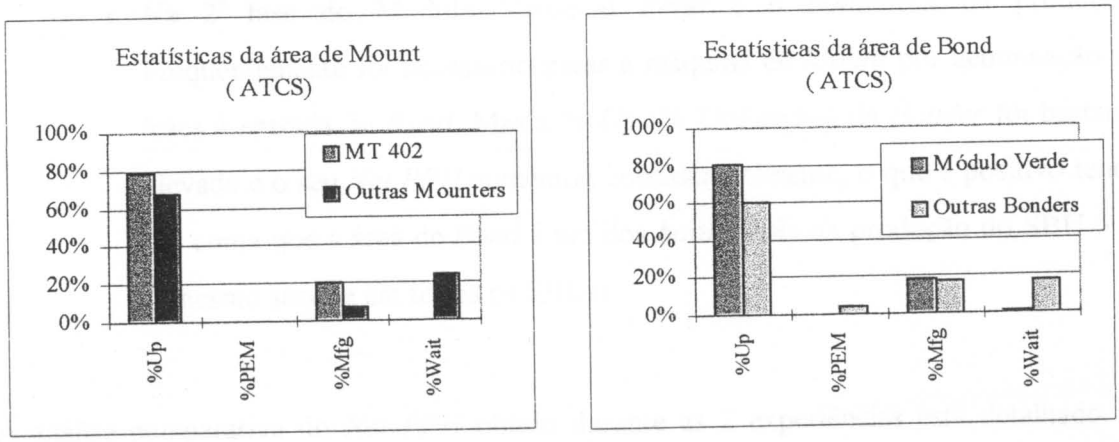


***Figura A- 4: Estatísticas relativas ao equipamento de Mount e Bond durante a 2ª fase da* experiência-piloto.**

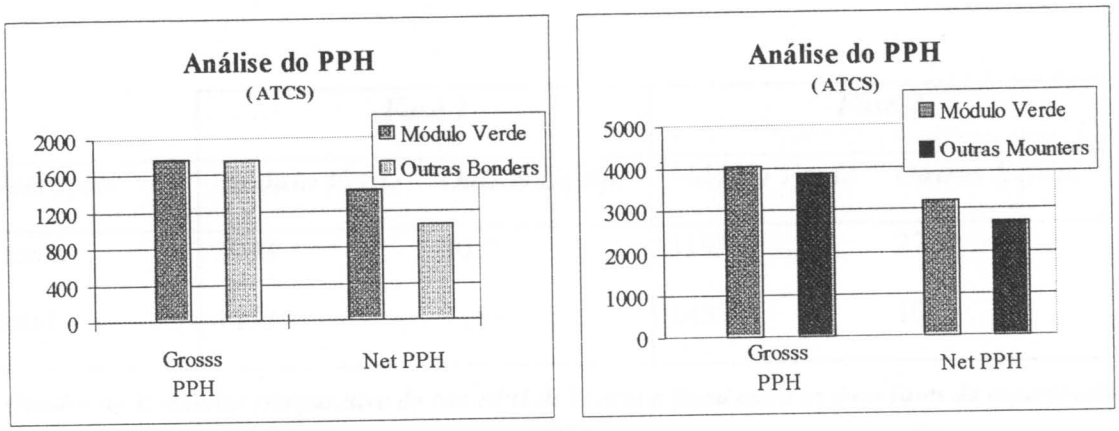


Figura A- 5: **Análise comparativa do *Gross* PPH e do *Net* PPH de *Mount* e *Bond*.**

Analisando comparativamente as duas fases da experiência, concluiu-se que:

- Na 1ª Fase do Módulo Verde o *Mount* era o *bottleneck* da produção. As *Bonders* eram subaproveitadas e a *%Wait* (Falta de Material) era bastante elevada.
- Na 2ª fase do Módulo Verde o *Bond* é o *bottleneck* da produção. Frequentemente foi necessário parar a máquina de *Mount* por acumulação de lotes à entrada de *Bond*. Mas a *% Up* (% Utilização) da *Bonder* foi bastante elevada e o seu *Net PPH* aumentou consideravelmente, o que é positivo tendo em conta que a área de *Bond* é um dos *bottlenecks* da produção do SBU 5 (e o mesmo sucede em todos os SBUs).

A análise comparativa do *Net PPH* obtido durante as 2 experiências está detalhado no Quadro A- 3.

	Fase 1		Fase 2	
Operação	*Módulo Verde*	*Outros Equip.*	*Módulo Verde*	*Outros Equip.*
Mount	3993	3075	3194	2703
Bond	1153	1153	1433	1055

Quadro A- 3: Análise comparativa do Net PPH de Mount e Bond entre as duas fases da experiência-piloto.

Em ambas as experiências os resultados foram positivos em termos de aumento da capacidade real do equipamento. Contudo, surgiram alguns problemas importantes que se devem ter em atenção:

- um ligeiro aumento do WIP, e consequente aumento do *Cycle Time*, devido a lotes em filas de espera, tanto em *Mount* (2ª Fase da Experiência) como em *Bond* (1ª Fase da Experiência).
- o desbalanceamento do módulo de *Assembly,* pois as capacidades de cada um dos equipamentos não são perfeitamente compatíveis.
- o conceito de que um lote só começa a ser processado na operação seguinte quando o processamento da operação anterior já chegou ao fim deixa de ter sentido quando estamos a tratar de uma filosofia de módulos.

  É necessário definir um *lote virtual*, apenas utilizado para a translacção do lote real entre as máquinas de *Mount* e *Bond.* Isto é, quando o número de unidades processadas em *Mount* atinge a dimensão do *lote virtual* pode ser transferido para a operação seguinte, o *Bond.* Deste modo, o mesmo lote será processado em dois equipamentos diferentes o que actualmente não é permitido pelas próprias Especificações do processo.

Após estas duas experiências, é possível enunciar as principais vantagens e desvantagens da implementação de Módulos de *Assembly* que se observaram na prática.

Principais Vantagens:

1. Minimização do *setup* através de uma optimização do sequenciamento (*scheduling*) da produção.
2. Aumento da produtividade e aumento do OEE ("*Overall Efficiency Effectiveness*") como consequência lógica de uma diminuição do tempo de *setup*.
3. Potencial impacto positivo nos níveis de Qualidade e *Yield*.

Principais desvantagens

1. Exigência de um *Online* mais sofisticado que monitorize o fluxo de produção de modo a manter a flexibilidade produtiva.
2. Potencial aumento da percentagem de Falta de Material, especialmente em *Bond*, devido a avarias do equipamento ou outros acontecimentos não planeados.
3. Menor velocidade de resposta a problemas ocasionais: lotes urgentes, avarias de longa duração ou intervenções prolongadas de Manutenção Preventiva (PM).

Online/Scheduler para *Assembly*

Uma das dificulades para a implementação dos módulos de *Assembly* reside na dificuldade de encontrar uma ferramenta informática de monitorização e sequenciamento dos lotes para os módulos de *Assembly* de modo a minimizar o tempo de *setup*.

Actualmente, o *Online* é determinado por:

1. Nível de WIP por Tecnologia de Teste (produção puxada de jusante)
2. Percentagem do tipo de embalagem sobre o somatório de WIP da fábrica.
3. Percentagem do tipo de *lead frame* sobre o somatório de WIP até *Bond*.

No futuro, o *Online* deverá ser mais dinâmico e englobar também as seguintes funções:

1. Minimização do *setup* através de uma optimização do sequenciamento da produção
2. Sequenciamento das encomendas em tempo real
3. Avaliação do estado actual de cada equipamento e capacidade para direccionar a produção para outros equipamentos/módulos se o equipamento não estiver disponível
4. Controlo do WIP nos módulos de *Mount* e *Bond*
5. Controlo do *Cycle Time* ao nível da fábrica.

Minimização do *Setup*

O novo *Online/Scheduller* deve seguir uma ordem pré-estabelecida que exija o *setup* de um equipamento apenas quando estritamente necessário, isto é, apenas quando:

- existem lotes urgentes,
- é atingido o limite de tempo que é admissível que um lote fique em fila de espera em frente de um equipamento ou estação de trabalho (este limite de tempo deve ser previamente definido),
- existem lotes com elevado *Cycle Time*,
- existe um número muito elevado de lotes em fila de espera (o número máximo de lotes em fila de espera deve ser pré-definido).

Por exemplo, o *Online* apenas obrigará à mudança do fio de ouro de uma *Bonder* (uma tarefa de setup do equipamento bastante morosa, cerca de 15 minutos) se ao fim de 1 hora não chegar nenhum lote que ocupe a máquina.

Desta forma, o número de intervenções que cada equipamento irá sofrer ao longo do dia diminuirá com consequentes impactos positivos a todos os níveis. As consequências mais evidentes e de mais curto prazo serão o aumento do MTBF e do MTBA e o aumento da disponibilidade de técnicos e operadoras.

Sequenciamento das Encomendas em Tempo Real

O novo sistema *Online/Scheduler* deve ser um sistema suficientemente dinâmico e flexível de modo que:

- identifique aquilo que já foi feito
- identifique a produção que ainda falta fazer
- reconheça as prioridades existentes
- decida, com autonomia, quais os próximos lotes a preparar e a enviar para a linha (e para que equipamento/módulo).

Avaliação do Estado Actual de cada Equipamento

O novo *software* de apoio à produção deve conseguir, em qualquer momento, reconhecer que o equipamento está avariado ou em manutenção. Deste modo, os novos lotes serão encaminhados apenas para os equipamentos/módulos que estão disponíveis.

Controlo de WIP nos Módulos de *Assembly*

O *Online* de *Assembly* não pode ignorar a sua função de controlo do WIP segundo um sistema JIT (*Just In Time*).

A produção de toda a área deve ser "puxada" tendo em consideração a capacidade da área de *Test*. Mas, também é necessário que exista um controlo do inventário de *Assembly* atendendo à capacidade de cada módulo. Se isso não acontecer, corre-se o risco de existirem módulos sobrecarregados com material enquanto que os outros estão desocupados por não terem lotes para processar.

Atendendo às capacidades próprias de cada módulo de *Assembly* deve ser definido um nível óptimo de WIP/Módulo que o *Online* deve controlar.

Controlo do *Cycle Time*

Esta função do *Online* é indissociável da anterior. O controlo do *Cycle Time* depende directamente do controlo do WIP, e vice-versa.

Assim, neste ponto, pouco mais há a acrescentar a não ser uma sugestão:

- o tamanho de lote entre *Mount* e *Bond* deve ser redefinido, isto é, criar uma noção de *lote virtual* presente apenas dentro dos módulos de Assembly e que é independente do conceito do lote de fábrica (lote SMS).

Actualmente, a TISEP tem em experiência um novo *package* de *software* da autoria da Tyecin, o TsX/OnTime, cuja estrutura é muito semelhante ao TestSim/X. As principais diferenças são os relatórios de saída do OnTime que são bastante mais específicos e permitem fazer o sequenciamento detalhado, minuto a minuto, do processamento de cada lote.

Implementação dos Módulos de Assembly

Os módulos de *Mount* e *Bond* estão neste momento já implementados em quase todos os SBUs.

Para conseguir uma diminuição do tempo de *setup* e obter maiores ganhos em produtividade definiu-se que cada módulo estaria dedicado a um tipo de *lead frame*. Deste modo, pode-se utilizar o *Online* como meio de controlar a produção para os módulos sem necessidade de adquirir já um novo *software* ou de introduzir alterações desnecessárias no *software* existente. Contudo, o *Online* actual está mais direccionada para o controlo do

WIP em termos da Tecnologia de *Test*, e a médio-longo prazo esta solução pode revelar-se insuficiente.

Para a implementação dos Módulos de *Assembly* do SBU 5, no prolongamento das duas fases da experiência-piloto, foi efectuado um estudo prévio, através de modelos de simulação construídos em TestSim/X, da melhor alternativa de implementação dos Módulos.

Foram consideradas 3 situações em análise:

- **Convencional**: Situação actual em que existem 6 *Mounters* e 16 *Bonders* e em que nenhuma *Mounter* está dedicada a 2 ou 3 *Bonders*.
- **Hipótese 1**: Formação de 6 módulos de *Assembly*, com 6 *Mounters* e 16 *Bonders*. Dois módulos formados por 1 *Mounter* e 2 *Bonders* dedicados à produção de produtos com os *lead frames* 4104PD e 4105PD, respectivamente, e quatro módulos formados por 1 *Mounter* e 3 *Bonders*, todos dedicados à produção de lotes com o *lead frame* 4103PD.
- **Hipótese 2**: Formação de 7 módulos de *Assembly*, com 7 *Mounters* (aquisição de uma nova *Mounter*) e 16 *Bonders*. Dois módulos formados por 1 *Mounter* e 2 *Bonders* dedicados à produção de produtos com os *lead frames* 4104PD e 4105PD, respectivamente, e quatro módulos dedicados ao *lead frame* 4103D, dois com 1 *Mounter* e 2 *Bonders* e outros dois com 1 *Mounter* e 3 *Bonders*.

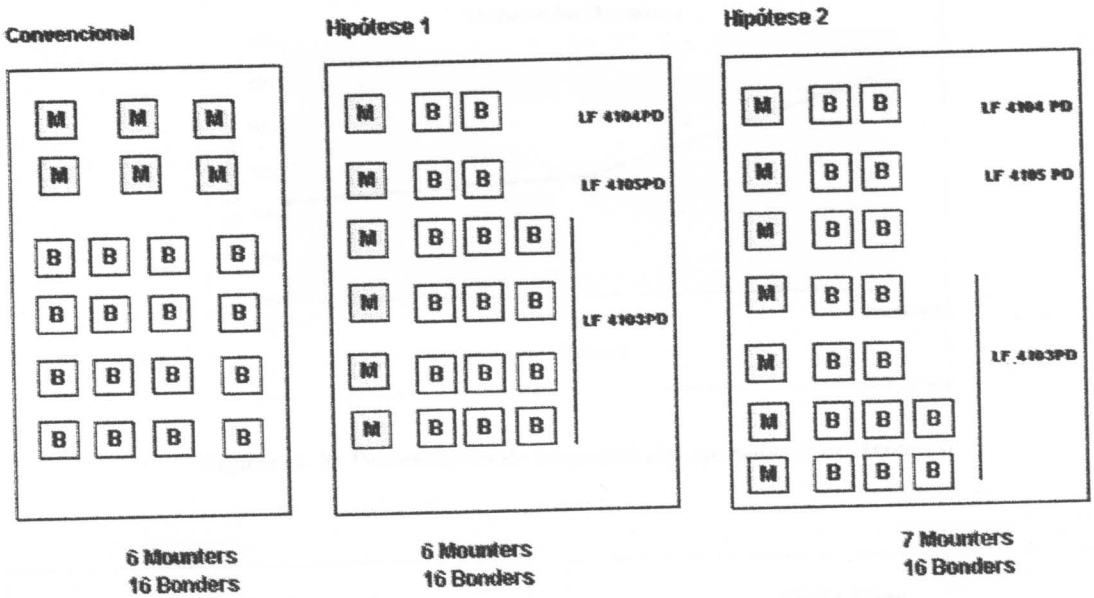


Figura A- 6: Layouts das hipóteses em análise.

Os resultados obtidos, após a modelaçào das diferentes hipóteses em TestSim estão resumidos nos gráficos da Figura A- 7, Figura A- 8 e Figura A- 9.

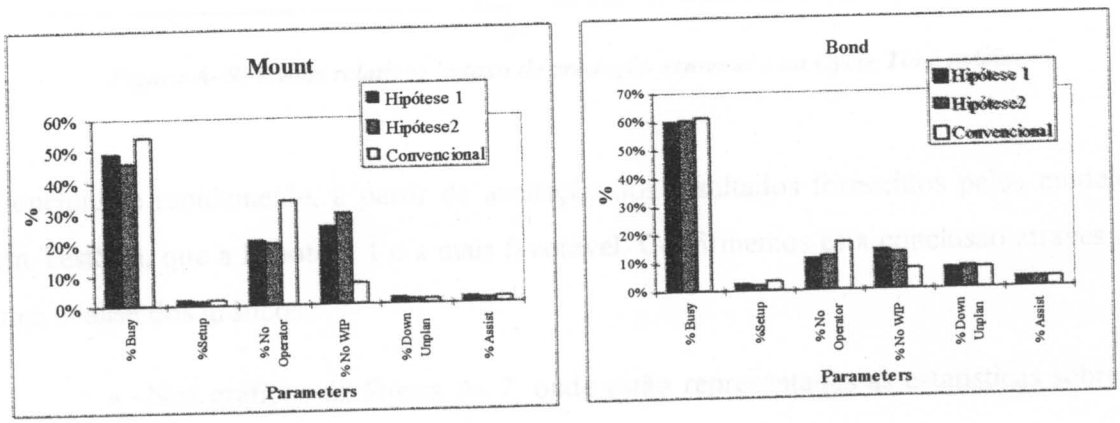


***Figura A- 7:* Estatísticas relativas aos equipamentos de *Mount* e *Bond*.**

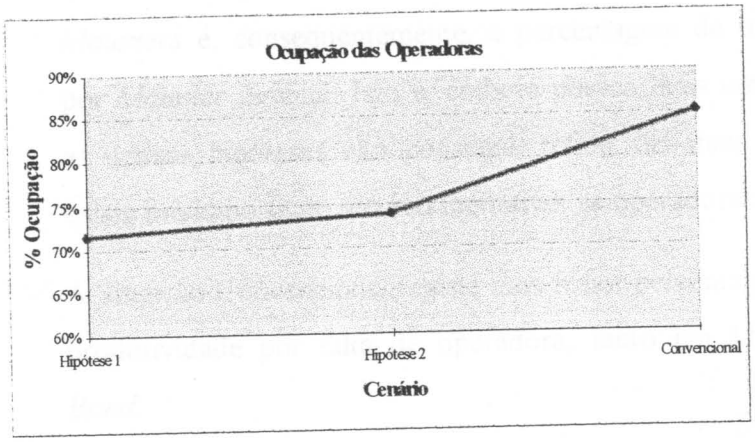


Figura A- 8: Percentagem de ocupação das operadoras de Assembly.

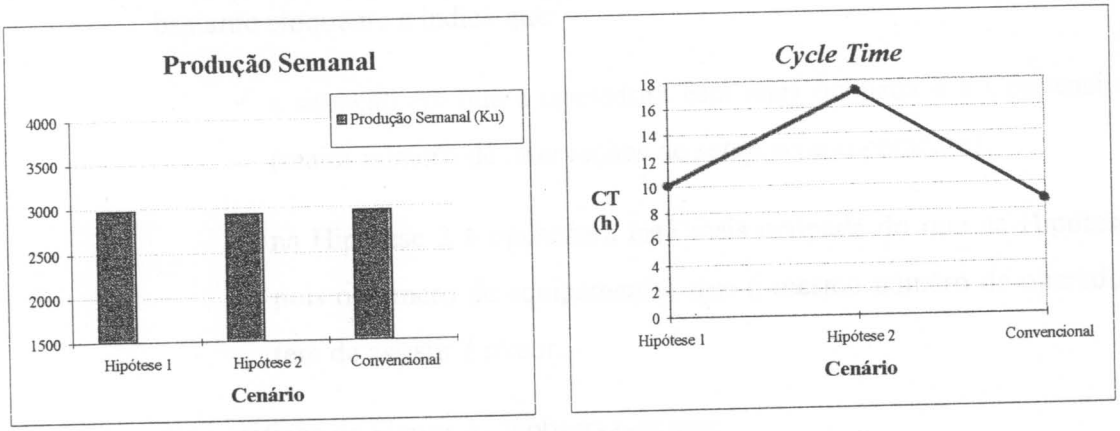


Figura A- 9: Dados relativos `a taxa de produção semanal e ao Cycle Time médio.

Concluiu-se rapidamente, a partir da avaliação dos resultados fornecidos pelos modelos em TestSim, que a Hipótese 1 é a mais favorável. Confirmemos esta conclusão através de uma análise dos gráficos:

- Nos gráficos da Figura A- 7, onde estão representadas as estatísticas sobre o funcionamento dos equipamentos dos módulos, verifica-se que:
  - ✓ A Hipótese 2, como tem mais uma *Mounter* do que as outras alternativas, tem uma maior percentagem de Falta de Material das

Mounters e, consequentemente, a percentagem de utilização média por *Mounter* diminui. Isto é, embora possua mais uma máquina que as demais hipóteses não consegue retirar daí mais produção pois existe um importante recurso limitativo: as operadoras.

✓ A Situação Convencional regista uma maior percentagem de perda de produtividade por falta de operadora, tanto em *Mount* como em *Bond*.

- No gráfico da Figura A- 8 observa-se a proporção entre a percentagem de ocupação das operadoras para cada uma das situações alternativas. A curva é bastante eloquente e indica que:

  ✓ a situação em que a operadora está mais ocupada é a Convencional (maior número de interveções de *setup* ao equipamento),

  ✓ na Hipótese 2 a operadora está mais ocupada do que na Hipótese 1 pois o número de equipamentos que o mesmo número de operadoras tem de assistir é maior.

- Nos gráficos da Figura A- 9 observa-se que:

  ✓ a taxa de produção semanal dos 3 cenários alternativos em análise são sensivelmente constantes e daqui se conclui que não vale a pena adquirir mais uma *Mounter* pois isso não faz aumentar a produção (a Hipótese 2 não traz benefícios para o aumento de produção e apresenta uma menor produtividade relativamente às outras hipóteses).

  ✓ o *Cycle Time* da Hipótese 2 é bastante elevado, por falta de recursos humanos.

A Hipótese 1, após todas as considerações citadas acima, foi a hipótese implementada na linha de *14 Fast* e neste momento está em plena fase de arranque (e com grande aceitação por parte das operadoras) após a alteração dos *layouts* da planta de fabrico.

Relativamente aos restantes SBUs, mais especificamente aos SBUs 2 e 4, estes já estão numa fase mais adiantada da implementação dos módulos de *Assembly* e já se registam alguns efeitos positivos, especialmente em termos de minimização do tempo de *setup*. O gráfico da Figura A- 10 espelha essa tendência positiva que ainda está em fase de consolidação. Neste gráfico observa-se claramente a evolução positiva que os módulos de *Assembly*, tanto no SBU 2 como no SBU 4, tiveram relativamente ao tempo médio perdido em *setup* por lote.

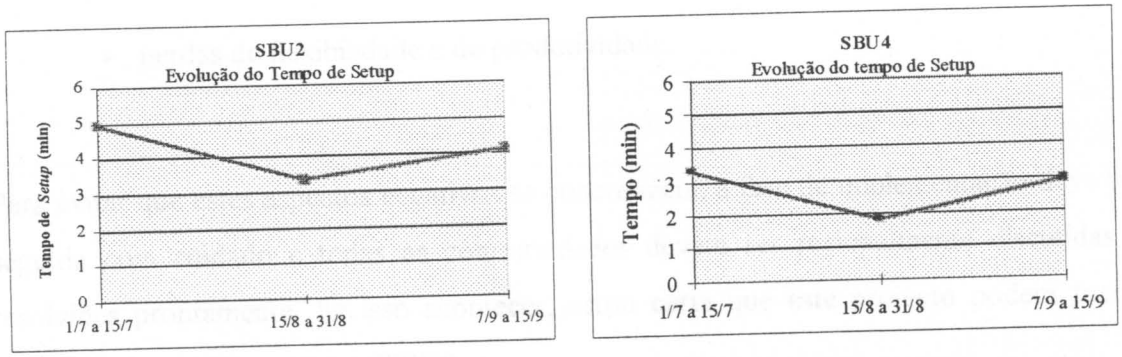


Figura A- 10: Evolução do tempo de setup médio por lote no SBU 2 e no SBU 4.

Conclusões

A implementação dos módulos de Assembly pode trazer muitas vantagens, tais como:

- maior responsabilização por parte das operadoras que acompanham a evolução do lote nos dois processos de Assembly,

- potencial impacto positivo em termos de qualidade das unidades processadas,
- aumento de produtividade e maior disponibilidade das operadoras.

Contudo, existem algumas desvantagens que esta reorganização dos equipamentos e dos métodos de produção pode implicar:

- desorganização da linha de fabrico devido a má assimilação dos novos conceitos por parte das operadoras
- deficiências ao nível da gestão operacional da linha
- exigência de um *software* mais complexo para monitorização e sequenciamento da produção
- perdas de flexibilidade e de produtividade.

Para evitar que estes aspectos negativos se concretizem, a fase de implementação deve ser seguida com cuidado e todas as contrariedades devem ser racionalmente discutidas e resolvidas prontamente. Se isso acontecer, estou certa que este projecto poderá trazer vantagens importantes para a TISEP.

ANEXO A -I

- Exemplo de uma Folha de Produção do Módulo Verde Fase 1.

- Exemplo de uma Folha de Produção do Módulo Verde Fase 2.

CONTROLO DE PRODUCAO
MODULO VERDE

DATA: 96/07/3

1o TURNO	2o TURNO	3o TURNO

MT 308

LOT No	QTY	LOT No	QTY	LOT No	QTY
6183263	1.4	6183282	1.4	6183269	2.0
6183264	8.4	6183283	8.4	6183268	8.4
6183265	8.4	6183281	7.3	6183267	8.4
6183260	6.0	6183265	6.4	6183260	6.9
6183282	7.0				
T=	31.2	t=	23.5	T=	25.7
DWT		DWT	1.2	DWT	1.1
F.MAT		F.MAT		F.MAT	

BD 306

LOT No	QTY	LOT No	QTY	LOT No	QTY
6183262	2170	6183265	3.8	6183283	1260
6183265	4550	6183283	7.1	6183269	8400
T=	6720	t=	10.9	T=	9.7
DWT	1.0	DWT		DWT	
F.MAT	3.0	F.MAT		F.MAT	

BD 307

LOT No	QTY	LOT No	QTY	LOT No	QTY
6183263	8.400	6183266	6.0	6183281	5.530
		6183281	1.7	11267	2800
	T=8400	t=	7.7	T=	8.3
DWT	0.5	DWT		DWT	
F.MAT	2.5	F.MAT		F.MAT	1.0

BD 310

LOT No	QTY	LOT No	QTY	LOT No	QTY
6183264	3850	618382	8.4	6183268	6580
6183264	8400				
T=	12250		8.4	T=	6.6
DWT		DWT		DWT	
F.MAT	0.5	F.MAT	2.5	F.MAT	4.0

DESCREVER COMENTARIOS NO VERSO

CONTROLO DE PRODUCAO
MODULO VERDE

DATA: 96/07/09

1o TURNO	2o TURNO	3o TURNO

MT ~~308~~ 402

LOT No	QTY	LOT No	QTY	LOT No	QTY
6185113	0.4	6190467	4.2	6185134	2.2
6185106	6.3	0464	7.0	6185135	7.8
6190463	8.4	6185133	7.8		
6190466	8.4	5134	5.6		10.0
6190467	4.2				
	27.7		24.6		
DWT		DWT	.5	DWT	
F.MAT		F.MAT	1.5	F.MAT	

BD ~~306~~ 403

LOT No	QTY	LOT No	QTY	LOT No	QTY
6185110	8.7	6185106	4500	6190466	2100
6185112	8.4	90466	6300	" 464	7.000
~~61~~06	1.8		10.800	" 467	1.000 = 10.100
DWT	13.9	DWT		DWT	0.4
F.MAT		F.MAT		F.MAT	

BD ~~307~~ 404

LOT No	QTY	LOT No	QTY	LOT No	QTY
6185111	7.5	6185113	3140	6190465	1.400
5113	4.7	90465	7.000	6185133	7840
	12.2		10.140	" 134	1460 = 10.700
DWT		DWT		DWT	
F.MAT		F.MAT		F.MAT	

BD 310

LOT No	QTY	LOT No	QTY	LOT No	QTY
DWT		DWT		DWT	
F.MAT		F.MAT		F.MAT	

DESCREVER COMENTARIOS NO VERSO

FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO
BIBLIOTECA
0000068061