

EVALDO ZAGONEL

**IMPLANTAÇÃO DO FLUXO UNITÁRIO DE PEÇAS NUMA CÉLULA
DE USINAGEM: ESTUDO DE CASO POR MEIO DE SIMULAÇÃO**

**CURITIBA
2006**

EVALDO ZAGONEL

**IMPLANTAÇÃO DO FLUXO UNITÁRIO DE PEÇAS NUMA CÉLULA
DE USINAGEM: ESTUDO DE CASO POR MEIO DE SIMULAÇÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Gechele Cleto

**CURITIBA
2006**

TERMO DE APROVAÇÃO

EVALDO ZAGONEL

IMPLANTAÇÃO DO FLUXO UNITÁRIO DE PEÇAS NUMA CÉLULA DE USINAGEM: ESTUDO DE CASO POR MEIO DE SIMULAÇÃO

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Engenharia Mecânica, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Anselmo Chaves Neto
UFPR

Prof. Dr. Osiris Canciglieri Junior
PUC-PR

Prof. Dr. Roberto Max Protil
PUC-PR

Prof. Dr. Marcelo Gechele Cleto
PG-MEC / UFPR
Presidente

Curitiba, 25 de maio de 2006

Dedico este trabalho à minha esposa Regina Lúcia e aos meus filhos Pedro Henrique, Lucas e Natalia por serem meu alicerce e a razão da minha existência.

AGRADECIMENTOS

Para a realização deste trabalho foi necessário contar com a preciosa contribuição de muitas pessoas e entidades. Eu agradeço profundamente:

- A Deus, meu melhor companheiro.
- À minha esposa e aos meus filhos pelo amor, compreensão e incentivo durante o longo tempo que precisei estar ausente para me dedicar a este trabalho;
- Aos meus pais por terem-me transmitido os valores que mais prezo e que me serviram de base para ser o que sou hoje;
- Aos meus irmãos por terem me ajudado a construir o meu caráter;
- À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade a mim concedida de crescer como profissional e como pessoa;
- Ao Prof. Dr. Marcelo G. Cleto pela contribuição com apoio e sugestões durante a realização deste trabalho;
- Aos professores das disciplinas do mestrado pela competência e incentivo;
- Aos professores, coordenadores e colaboradores do PG-Mec pelo apoio e incansável dedicação ao aprimoramento do programa;
- Aos colegas do mestrado pelo compartilhamento de conhecimentos e o incentivo a seguir em frente e não desistir da jornada;
- À banca examinadora pela valorosa contribuição com a análise e sugestões para a melhoria desta dissertação;
- À empresa Robert Bosch Ltda. pela disponibilização de recursos, em especial ao Sr. Wilson Roberto V. Miccoli, MSc, pelo incentivo e suporte que permitiram-me conciliar o meu trabalho diário com o mestrado, bem como aos meus colaboradores pelo apoio, paciência e incentivo neste período;
- A Jorge Tomio Sakai pela valorosa contribuição na construção e aprimoramento do modelo de simulação;
- Às Faculdades SPEI pelo incentivo ao aprimoramento profissional e aos meus alunos que direta ou indiretamente me motivaram a realizar este trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE SIGLAS	xiii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 RESTRIÇÕES	3
1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA	4
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 A PRODUÇÃO EM MASSA	9
2.1.1 Histórico	9
2.1.2 O Fordismo	10
2.1.3 O Declínio da Produção em Massa	12
2.2 A PRODUÇÃO ENXUTA	13
2.2.1 Histórico	13
2.2.2 Os Pilares do Sistema Toyota de Produção (STP)	15
2.2.3 Os Princípios da Produção Enxuta	18
2.2.4 As Ferramentas e Técnicas da Produção Enxuta	19
2.3 A TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC)	45
2.3.1 Histórico	45
2.3.2 Os Princípios da Teoria das Restrições	46
2.3.3 O Sistema de Programação Tambor - Pulmão - Corda (TPC)	50
2.3.4 O Processo de Melhoria Contínua e o Processo de Raciocínio TOC	51
2.3.5 A Contabilidade de Ganhos	53
2.4 A SIMULAÇÃO DE PRODUÇÃO	53
2.4.1 Origem da Simulação	53
2.4.2 Aplicações Práticas	56
2.4.3 Funcionamento e Terminologia da Simulação	57
2.4.4 Verificação e validação de modelos de simulação	60
2.4.5 O Software ProModel	62
2.5 CONFIABILIDADE	65
3 METODOLOGIA DO TRABALHO	68
3.1 FORMULAR O PROBLEMA E PLANEJAR O ESTUDO	69
3.2 COLETAR DADOS E DEFINIR O MODELO	69
3.3 VALIDAR O MODELO	75
3.4 CONSTRUIR O PROGRAMA DE COMPUTADOR E VERIFICAR	75
3.5 EXECUTAR SIMULAÇÕES PILOTO PARA ANÁLISE	84
3.6 VALIDAR OS RESULTADOS	84
3.7 PLANEJAR OS EXPERIMENTOS	84
3.8 RODAR AS SIMULAÇÕES (REPLICAÇÕES)	88
3.9 ANALISAR OS DADOS DE SAÍDA	89
3.10 DOCUMENTAR, APRESENTAR E IMPLEMENTAR OS RESULTADOS	89

4 EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO E COLETA DOS DADOS	89
4.1 PRIMEIRA ETAPA.....	89
4.2 SEGUNDA ETAPA.....	108
4.3 TERCEIRA ETAPA.....	110
4.4 QUARTA ETAPA.....	111
4.5 QUINTA ETAPA.....	112
4.6 SEXTA ETAPA.....	113
4.7 SÉTIMA ETAPA.....	114
4.8 OITAVA ETAPA.....	115
4.9 NONA ETAPA.....	117
4.10 DÉCIMA ETAPA.....	118
4.11 DÉCIMA PRIMEIRA ETAPA.....	119
4.12 DÉCIMA SEGUNDA ETAPA.....	120
4.13 DÉCIMA TERCEIRA ETAPA.....	121
4.14 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	123
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	173
5.1 CONCLUSÕES.....	173
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	175
GLOSSÁRIO	177
REFERÊNCIAS	179
APÊNDICES	184

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - TAMANHO DO LOTE ECONÔMICO	42
FIGURA 2.2 - RELAÇÃO ENTRE RECURSOS GARGALOS E NÃO-GARGALOS.....	47
FIGURA 2.3 - COMPONENTES DO TEMPO DISPONÍVEL.....	48
FIGURA 2.4 - LOTE DE TRANSFERÊNCIA IGUAL AO LOTE DE PROCESSAMENTO.....	49
FIGURA 2.5 - LOTE DE TRANSFERÊNCIA DIFERENTE (1/3) DO LOTE DE PROCESSAMENTO	49
FIGURA 2.6 - RELAÇÃO ENTRE O ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO E O MODELO DE SIMULAÇÃO.....	60
FIGURA 2.7 - CURVA DA “BANHEIRA” OU DE FALHAS AO LONGO DO TEMPO	66
FIGURA 3.1 - MODELO DA CÉLULA DE MANUFATURA USADA PARA O ESTUDO	70
FIGURA 3.2 - VISÃO DA CÉLULA DE MANUFATURA NO MODELO DE SIMULAÇÃO.....	81
FIGURA 4.1 - TEMPO TAKT E DE CICLO NO PRIMEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA	91
FIGURA 4.2 - TEMPO TAKT E DE CICLO NO SEGUNDO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA	94
FIGURA 4.3 - TEMPO TAKT E DE CICLO NO TERCEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA....	97
FIGURA 4.4 - TEMPO TAKT E DE CICLO NO QUARTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA.....	100
FIGURA 4.5 - TEMPO TAKT E DE CICLO NO QUINTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA.....	103
FIGURA 4.6 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA PRIMEIRA ETAPA (TEÓRICO)	106
FIGURA 4.7 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA PRIMEIRA ETAPA (ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO)	106
FIGURA 4.8 - ESTOQUE PULMÃO NA MÁQUINA GARGALO NA SEGUNDA ETAPA.....	109
FIGURA 4.9 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA SEGUNDA ETAPA (REAL)	123
FIGURA 4.10 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA TERCEIRA ETAPA (REAL)	125
FIGURA 4.11 - CAPACIDADES DA CÉLULA NAS TRÊS PRIMEIRAS ETAPAS	126
FIGURA 4.12 - WIP MÉDIO NAS TRÊS PRIMEIRAS ETAPAS	127
FIGURA 4.13 - WIP MÁXIMO NAS TRÊS PRIMEIRAS ETAPAS.....	128
FIGURA 4.14 - VARIAÇÃO DO OEE NAS TRÊS PRIMEIRAS ETAPAS	128
FIGURA 4.15 - VARIAÇÃO GRAU DE OCUPAÇÃO DOS OPERADORES NAS TRÊS PRIMEIRAS ETAPAS	129
FIGURA 4.16 - VARIAÇÃO DO <i>LEAD TIME</i> NAS TRÊS PRIMEIRAS ETAPAS.....	129
FIGURA 4.17 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA QUARTA ETAPA (REAL)	130
FIGURA 4.18 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA QUINTA ETAPA (REAL).....	132
FIGURA 4.19 - CAPACIDADES DA CÉLULA NAS TERCEIRA, QUARTA E QUINTA ETAPAS	133
FIGURA 4.20 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA SEXTA ETAPA (REAL)	135
FIGURA 4.21 - WIP MÉDIO NAS SEGUNDA E SEXTA ETAPAS	136
FIGURA 4.22 - VARIAÇÃO DO <i>LEAD TIME</i> NAS SEGUNDA E SEXTA ETAPAS	136
FIGURA 4.23 - CAPACIDADES DA CÉLULA NAS SEGUNDA E SEXTA ETAPAS.....	137
FIGURA 4.24 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA SÉTIMA ETAPA (REAL)	138
FIGURA 4.25 - WIP MÉDIO NAS TERCEIRA, SEXTA E SÉTIMA ETAPAS	139
FIGURA 4.26 - VARIAÇÃO DO <i>LEAD TIME</i> NAS TERCEIRA, SEXTA E SÉTIMA ETAPAS.....	140
FIGURA 4.27 - CAPACIDADES DA CÉLULA NAS TERCEIRA, SEXTA E SÉTIMA ETAPAS.....	141
FIGURA 4.28 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA OITAVA ETAPA (REAL)	142
FIGURA 4.29 - CAPACIDADES DA CÉLULA NAS QUARTA, SÉTIMA E OITAVA ETAPAS.....	143
FIGURA 4.30 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA NONA ETAPA (REAL).....	144
FIGURA 4.31 - WIP MÉDIO NAS QUINTA, OITAVA E NONA ETAPAS	145
FIGURA 4.32 - VARIAÇÃO DO <i>LEAD TIME</i> NAS QUINTA, OITAVA E NONA ETAPAS	146
FIGURA 4.33 - CAPACIDADES DA CÉLULA NAS QUINTA, OITAVA E NONA ETAPAS	146

FIGURA 4.34 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA DÉCIMA ETAPA (REAL)	148
FIGURA 4.35 - WIP MÉDIO NAS SEGUNDA, SEXTA E DÉCIMA ETAPAS.....	149
FIGURA 4.36 - VARIAÇÃO DO <i>LEAD TIME</i> NAS SEGUNDA, SEXTA E DÉCIMA ETAPAS.....	149
FIGURA 4.37 - CAPACIDADES DA CÉLULA NAS SEGUNDA, SEXTA E DÉCIMA ETAPAS.....	150
FIGURA 4.38 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA 11. ^a ETAPA (REAL)	151
FIGURA 4.39 - WIP MÉDIO NAS 3. ^a , 7. ^a E 11. ^a ETAPAS.....	152
FIGURA 4.40 - VARIAÇÃO DO <i>LEAD TIME</i> NAS 3. ^a , 7. ^a E 11. ^a ETAPAS	153
FIGURA 4.41 - CAPACIDADES DA CÉLULA NAS 3. ^a , 7. ^a E 11. ^a ETAPAS	154
FIGURA 4.42 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA 12. ^a ETAPA (REAL)	155
FIGURA 4.43 - WIP MÉDIO NAS 8. ^a , 11. ^a E 12. ^a ETAPAS.....	156
FIGURA 4.44 - VARIAÇÃO DO <i>LEAD TIME</i> NAS 8. ^a , 11. ^a E 12. ^a ETAPAS	156
FIGURA 4.45 - CAPACIDADES DA CÉLULA NAS 8. ^a , 11. ^a E 12. ^a ETAPAS.....	157
FIGURA 4.46 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA 13. ^a ETAPA (REAL)	158
FIGURA 4.47 - WIP MÉDIO NAS 5. ^a , 9. ^a , 11. ^a E 13. ^a ETAPAS	159
FIGURA 4.48 - VARIAÇÃO DO <i>LEAD TIME</i> NAS 5. ^a , 9. ^a , 11. ^a E 13. ^a ETAPAS	160
FIGURA 4.49 - CAPACIDADES DA CÉLULA NAS 5. ^a , 9. ^a , 11. ^a E 13. ^a ETAPAS.....	161
FIGURA 4.50 - RELAÇÃO ENTRE N° DE <i>SET-UP'S</i> DIÁRIOS E O TAMANHO DOS LOTES NAS 5. ^a , 9. ^a , 11. ^a E 13. ^a ETAPAS	162
FIGURA 4.51 - N.º MÁXIMO DE <i>SET-UP'S</i> DIÁRIOS PARA ATENDER À DEMANDA POR ETAPA	162
FIGURA 4.52 - GRÁFICO COMPARATIVO DOS INDICADORES DOS 5.º CENÁRIOS DAS 13 ETAPAS.....	168

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1.1	- ETAPAS DA PESQUISA CIENTÍFICA.....	7
QUADRO 2.1	- GRAUS DE AUTOMAÇÃO DAS MÁQUINAS.....	23
QUADRO 2.2	- FÓRMULAS DE CÁLCULO DO OEE.....	28
QUADRO 3.1	- QUANTIDADES DE <i>SET-UP</i> 'S E PRODUTOS FABRICADOS EM CADA CENÁRIO.....	85
QUADRO 3.2	- CARACTERÍSTICAS DE CADA ETAPA DO ESTUDO.....	85
QUADRO 3.3	- MODELO DE TABULAÇÃO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO NAS SIMULAÇÕES.....	87
QUADRO 3.4	- MODELO DE TABULAÇÃO DO % DOS TEMPOS PARADOS E EM OPERAÇÃO.....	87
QUADRO 4.1	- PARÂMETROS FIXOS DA PRIMEIRA ETAPA.....	89
QUADRO 4.2	- TEMPOS DE EXECUÇÃO, <i>SET-UP</i> E OEE NO PRIMEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA.....	90
QUADRO 4.3	- TEMPOS DE EXECUÇÃO, <i>SET-UP</i> E OEE NO SEGUNDO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA.....	93
QUADRO 4.4	- TEMPOS DE EXECUÇÃO, <i>SET-UP</i> E OEE NO TERCEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA.....	96
QUADRO 4.5	- TEMPOS DE EXECUÇÃO, <i>SET-UP</i> E OEE NO QUARTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA.....	99
QUADRO 4.6	- TEMPOS DE EXECUÇÃO, <i>SET-UP</i> E OEE NO QUINTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA.....	102
QUADRO 4.7	- COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DA PRIMEIRA ETAPA).....	107
QUADRO 4.8	- PARÂMETROS FIXADOS NA SEGUNDA ETAPA.....	109
QUADRO 4.9	- PARÂMETROS FIXADOS NA TERCEIRA ETAPA.....	110
QUADRO 4.10	- PARÂMETROS FIXADOS NA QUARTA ETAPA.....	111
QUADRO 4.11	- PARÂMETROS FIXADOS NA QUINTA ETAPA.....	112
QUADRO 4.12	- PARÂMETROS FIXADOS NA SEXTA ETAPA.....	113
QUADRO 4.13	- PARÂMETROS FIXADOS NA SÉTIMA ETAPA.....	114
QUADRO 4.14	- PARÂMETROS FIXADOS NA OITAVA ETAPA.....	116
QUADRO 4.15	- PARÂMETROS FIXADOS NA NONA ETAPA.....	117
QUADRO 4.16	- PARÂMETROS FIXADOS NA DÉCIMA ETAPA.....	118
QUADRO 4.17	- PARÂMETROS FIXADOS NA 11. ^a ETAPA.....	119
QUADRO 4.18	- PARÂMETROS FIXADOS NA 12. ^a ETAPA.....	120
QUADRO 4.19	- PARÂMETROS FIXADOS NA 13. ^a ETAPA.....	122
QUADRO 4.20	- COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DA SEGUNDA ETAPA).....	124
QUADRO 4.21	- COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS TRÊS PRIMEIRAS ETAPAS).....	126
QUADRO 4.22	- COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICO E REAIS DAS SEGUNDA, TERCEIRA E QUARTA ETAPAS).....	131
QUADRO 4.23	- COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS SEGUNDA, QUARTA E QUINTA ETAPAS).....	133
QUADRO 4.24	- COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS PRIMEIRA, SEGUNDA E SEXTA ETAPAS).....	135
QUADRO 4.25	- RESUMO GERAL DOS INDICADORES OBTIDOS NAS TERCEIRA, SEXTA E SÉTIMA ETAPAS.....	139
QUADRO 4.26	- COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS QUARTA, SÉTIMA E OITAVA ETAPAS).....	142
QUADRO 4.27	- COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS QUINTA, OITAVA E	

	NONA ETAPAS).....	145
QUADRO 4.28	- COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS SEGUNDA, SEXTA E DÉCIMA ETAPAS).....	148
QUADRO 4.29	- COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS 3. ^a , 7. ^a E 11. ^a ETAPAS).....	152
QUADRO 4.30	- COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS 8. ^a , 11. ^a E 12. ^a ETAPAS).....	155
QUADRO 4.31	- COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS 5. ^a , 9. ^a , 11. ^a E 13. ^a ETAPAS).....	159
QUADRO 4.32	- RESUMO DAS HIPÓTESES LEVANTADAS EM CADA ETAPA E AVALIAÇÃO..	163
QUADRO 4.33	- COMPARAÇÃO DO NIVELAMENTO DE PRODUÇÃO NAS 13 ETAPAS DO ESTUDO.....	166
QUADRO 4.34	- REQUISITOS DE DIVERSOS CENÁRIOS PARA A CÉLULA E AS SUGESTÕES DE ETAPAS DO ESTUDO MAIS ADEQUADAS.....	170

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1	- VALORES MÍNIMOS DE OEE POR MÁQUINA PARA ATENDER À DEMANDA	75
TABELA 4.1	- DADOS DE TEMPOS OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA	92
TABELA 4.2	- INDICADORES OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA ...	92
TABELA 4.3	- INDICADORES OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA ...	94
TABELA 4.4	- DADOS DE TEMPOS OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA	95
TABELA 4.5	- INDICADORES OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA...	97
TABELA 4.6	- DADOS DE TEMPOS OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA	98
TABELA 4.7	- INDICADORES OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA.....	100
TABELA 4.8	- DADOS DE TEMPOS OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA	101
TABELA 4.9	- INDICADORES OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA	103
TABELA 4.10	- DADOS DE TEMPOS OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA	104
TABELA 4.11	- INDICADORES OBTIDOS NA PRIMEIRA ETAPA.....	105
TABELA 4.12	- RESUMO DOS INDICADORES DOS 5.º CENÁRIOS DAS 13 ETAPAS.....	167

LISTA DE SIGLAS

CIM	Manufatura integrada por computador
d	Demanda diária dos clientes no modelo
D	Índice de disponibilidade das máquinas (%)
E	Índice de eficiência das máquinas (%)
EDI	Troca eletrônica de dados
FMS	Sistema flexível de manufatura
IC	Índice de atendimento da demanda
JIT	<i>Just-in-time</i> , justo a tempo ou bem a tempo
JIT/TQC	Produção enxuta aliada à qualidade total
L	<i>Lead time</i> da célula do modelo
LER/DORT	Doenças ocupacionais
MO	Nº de operadores na célula do modelo
MPT	Manutenção produtiva total
MTBF	Tempo médio entre falhas
MTTR	Tempo de reparo
OEE	Eficiência global do equipamento
Q	Índice de qualidade das peças
QFD	Desdobramento da função qualidade
Qt	Capacidade de produção da célula em 3 turnos no modelo
R	Refugo, peças sem condições de uso
Rt	Retrabalho, peças que ainda podem ser utilizadas se usinadas novamente
STP	Sistema Toyota de Produção
Te	Tempo de usinagem nas máquinas da célula do modelo
TOC	Teoria das restrições
TPC	Sistema Tambor-Pulmão-Corda
WIP	Estoque em processo
TRF	Troca rápida de ferramentas ou <i>set-up</i> rápido

RESUMO

A introdução da filosofia de produção enxuta nas empresas de manufatura tem sido feita por meio de adaptações das formas tradicionais de trabalho às novas técnicas e ferramentas enxutas, com o intuito de minimizar os desperdícios, tais como superprodução e estoques. Dentre as técnicas e ferramentas disponíveis o arranjo físico celular e o *set-up* rápido, ou troca rápida de ferramentas, têm trazido benefícios significativos pela redução do tamanho dos lotes, objetivando o fluxo unitário de peças e, assim, o aumento da produtividade. O objetivo desta dissertação de mestrado é o de estudar o impacto da implantação do fluxo unitário de peças na capacidade, nos estoques, no tempo de atravessamento e na alocação da mão-de-obra numa célula de produção. Com isso pretende-se minimizar tanto o tempo de atravessamento na produção, quanto os prazos de entrega e viabilizar o nivelamento da produção. As conseqüências mais importantes desta mudança são o aumento da flexibilidade das empresas e a adaptação de forma mais eficaz às modificações de *mix* de produtos exigidas pelos clientes, bem como a redução dos estoques e dos custos de produção. Através da modelagem de uma célula virtual de usinagem de peças metálicas e da simulação computacional foi projetado e realizado um estudo composto de treze etapas, com cinco cenários cada. Este convergiu do lote de transferência grande e tempo de *set-up* alto para o lote de transferência unitário e tempo de *set-up* baixo. Em função dos resultados encontrados, buscou-se propor medidas para a implantação do fluxo unitário, já que através deste estudo concluiu-se que a implantação do fluxo unitário exige certos cuidados para evitar a perda de capacidade e o aumento dos custos de produção.

Palavras-chave: Produção Enxuta; Teoria das Restrições; Célula de Manufatura; Simulação; Fluxo Unitário de Peças.

ABSTRACT

The implementation of the lean production philosophy in manufacturing companies has been made by means of adaptation of the traditional forms of work to the new lean techniques and tools, with intention to minimize waste, such as overproduction and inventories. Amongst the many available techniques and tools, the cellular layout and the SMED (single minute exchange of die), also called quick set-up, have brought significant benefits to the reduction of the batch size of parts, with the goal of reaching the single piece flow and so optimize the productivity. The aim of this dissertation is to study the impact of the introduction of the single piece flow in capacity, inventory, throughput time and labor allocation in a workcell. The intention is to minimize the production lead time, as well as to increase the market response and to support the production leveling. The most important consequences of these changes are the increase of the company's flexibility due to a more efficient adaptation to the changes of product mix by the customers, as well as the decreasing of inventories and production cost. By means of simulation modeling and scenarios analysis of a virtual workcell for the machining of steel parts, it was designed and performed a study of thirteen stages with five scenarios each. It converged from the large transference lot size with long set-up times to the single piece flow with short set-up times. Through the obtained results some actions were proposed to facilitate the implementation of the single piece flow and to prevent the loss of capacity and the increase of production cost.

Key-words: Lean Production, Theory of Constraints, Manufacturing Workcell, Simulation, Single-Piece Flow.

1 INTRODUÇÃO

A implantação da filosofia de produção enxuta nas empresas de manufatura, contrapondo-se à produção em larga escala e em grandes lotes, tem sido feita por meio de adaptações das formas tradicionais de trabalho às novas ferramentas disponíveis, com o intuito de minimizar os custos, especialmente com estoques devido ao desperdício de superprodução. Uma destas ferramentas, o *layout* celular ou arranjo físico celular, que concentra as máquinas na seqüência de produção e agrupa produtos em famílias, revolucionou os sistemas tradicionais de trabalho, pelos quais as máquinas eram dispostas em setores especialistas e os materiais, obrigados a atravessar muitas vezes dezenas de setores até chegar na expedição. O longo tempo de atravessamento e os grandes estoques neste tipo de arranjo físico dito funcional ou por processos, não mais atendem às necessidades do mercado atual de rapidez e flexibilidade (CORRÊA & GIANESI, 1996). Uma outra ferramenta de fundamental importância na produção enxuta é o *set-up* rápido ou troca rápida de ferramentas, a qual tem permitido que o tamanho dos lotes seja reduzido até o limite do lote unitário ou fluxo unitário de peças (*single-piece flow* ou *one-piece flow*). O estoque em processo *WIP* (*Work-in-Process*) é, assim, minimizado, aumentando o fluxo de produção e reduzindo, tanto o tempo de atravessamento pelas células (*lead-time*), quanto os prazos de entrega para os clientes. As conseqüências mais importantes dessa mudança têm sido o aumento da flexibilidade das empresas e a adaptação de forma mais eficaz às mudanças de *mix* de produção exigidas pelos clientes, bem como a redução dos estoques e dos custos de produção.

A adaptação do arranjo físico funcional para o celular em empresas de manufatura com produção intermitente (não contínua), mantendo-se a produção em lotes, pode ser realizada com certa rapidez, desde que se esteja disposto a investir na modificação do arranjo físico. Entretanto, a adaptação da linha para o fluxo unitário de peças sugerido por OHNO (1997), SHINGO (1996 e 2000) e TUBINO (1999) é desafiadora, uma vez que os tempos de paradas das máquinas, para fazer um *set-up* ou corrigir desvios (manutenção, ajustes, exames, etc) não podem mais ser encobertos pelos estoques em processo (*WIP*) e podem causar uma parada geral de toda a célula. Como conseqüência a sua capacidade produtiva se reduz, podendo comprometer o atendimento à demanda das células subseqüentes e dos

clientes. A introdução do nivelamento de produção, ou seja, da produção de lotes pequenos e constantes de todos os produtos a curtos intervalos de tempo, tem contribuído para aumentar ainda mais a influência da duração dos tempos de *set-up* na redução da capacidade de produção das células (BLACK, 1998). Pode-se ter de realizar mudanças na organização do trabalho a fim de compensar as perdas de produção decorrentes do fluxo unitário de peças, como por exemplo, a alocação de mais operadores. Eventualmente haverá necessidade de manter-se estoques estratégicos em processo, os chamados pulmões ou *buffers*, antes do recurso de menor capacidade da célula, o recurso gargalo, como forma de reduzir o impacto das paradas dos recursos não gargalos sobre ele e aumentando, deste modo, a capacidade da linha. Isto impacta num aumento do estoque em processo (WIP) e choca-se com o princípio de eliminação dos desperdícios pregado pela produção enxuta (OHNO, 1997; SHINGO, 1996; TUBINO, 1999; SLACK *et al.*, 1996). Encontrar o ponto de equilíbrio entre o tamanho do lote de peças, os estoques em processo, a capacidade da célula, o tempo de passagem e a alocação da mão-de-obra não é uma tarefa fácil e pode se tornar muito dispendiosa se realizada de forma aleatória. A simulação computacional pode ser utilizada para a análise e tomada de decisão num problema deste tipo, pois é uma ferramenta poderosa para análise de cenários e para a maximização da utilização dos recursos de uma empresa. Por estes motivos foi escolhida para a realização deste estudo.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta dissertação de mestrado é o de estudar o impacto da introdução do fluxo unitário de peças na capacidade, nos estoques, no tempo de atravessamento e na alocação da mão-de-obra numa célula de usinagem de peças metálicas por meio de simulação.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Fazer uma revisão bibliográfica sobre produção em massa, produção enxuta, teoria das restrições, simulação e confiabilidade.

- Estudar o funcionamento de uma célula de manufatura e suas características.
- Estabelecer hipóteses e parâmetros para medição dos resultados da simulação.
- Simular uma célula virtual que contenha as variáveis em estudo, predefinindo o número de operações, a quantidade de operadores, os tempos de processamento, de *set-up*, de manutenção e de exames, bem como a demanda do cliente interno.
- Simular a introdução do fluxo unitário numa célula de usinagem de peças, através da diminuição do tamanho dos lotes gradativamente e estudar o impacto no desempenho da célula (capacidade, estoques em processo, necessidade de mão-de-obra e tempo de atravessamento ou *lead time*);
- Estudar a possibilidade e os limites para o nivelamento da produção associado ao fluxo unitário de peças;
- Analisar os resultados, comprovar hipóteses e definir o tamanho dos lotes de processamento, os tempos de *set-up*, os *lead times*, os estoques pulmão (tamanho e localização no *layout*) e a quantidade de mão-de-obra na célula, de forma a atender à demanda estabelecida com fluxo unitário.
- Recomendar passos para implantar o fluxo unitário numa célula de usinagem de peças.

1.3 RESTRIÇÕES

Para a realização deste trabalho foram estabelecidas algumas restrições que serviram de ponto de partida para a modelagem do sistema. São elas:

- O *software* usado para a simulação foi o ProModel, por estar o mesmo disponível para uso na empresa onde o estudo foi realizado;
- A demanda da célula subsequente à célula simulada será constante para reduzir o número de variáveis na simulação;
- A realização deste trabalho se limitará a uma célula virtual de usinagem repetitiva e em lotes para a produção de peças metálicas. Não será realizada uma pesquisa de campo numa célula de usinagem real neste estudo, para evitar a inclusão de especificidades de um caso, as quais poderiam levar à conclusões menos genéricas.

1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA

A ciência surgiu somente a partir do século XVI. No entanto, o embasamento para o surgimento do método científico foi sendo construído desde a Antigüidade pelos egípcios, babilônios e gregos (CERVO & BERVIAN, 2002, p. 5-6).

De acordo com MARCONI & LAKATOS (2003, p. 23-24), método é um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que permitem alcançar o objetivo estabelecido pelo pesquisador de forma econômica e segura. Através dele pode-se traçar um caminho que detecte possíveis erros e auxilie na tomada de decisão. Para CERVO & BERVIAN (2002, p. 24), o método pode ser definido de forma geral como sendo um procedimento que confere uma ordem a diferentes processos para se atingir um fim desejado. Para esses autores, no âmbito científico, método é um conjunto de processos empregados para se investigar e demonstrar a verdade. Pode-se dizer, então, que o método científico ou metodologia científica é um estudo realizado através de procedimentos definidos e que conduzem à análise, pesquisa e conclusão acerca de um problema ou um questionamento real, previamente formulado.

O método científico pode ser dos seguintes tipos (MARCONI & LAKATOS, 2003, p.86-104):

- a) Indutivo – a partir de premissas e dados particulares e testados realiza-se uma generalização do conceito, ou seja, a sua extensão para os demais casos não testados. Parte-se do especial em busca do geral. A indução completa ou formal, formulada por Aristóteles, exige a observação de todos os fenômenos para se induzir a uma nova verdade. Não é aplicável na prática na maioria dos fenômenos, pois testá-los todos pode não ser viável. A indução incompleta ou científica, formulada por Galileu e aperfeiçoada por Bacon, não exige a testagem de todos os fenômenos, mas somente de uma parcela deles para se induzir a uma verdade. Neste caso se usa a amostragem para a indução de uma verdade e a amostra deve ser representativa e não tendenciosa;
- b) Dedutivo – o objetivo do método dedutivo é explicar fenômenos através de premissas já testadas. Se todas as premissas são verdadeiras, então a conclusão deve ser verdadeira. Os argumentos precisam sustentar as

premissas de modo completo (100%), pois não há meio termo. Como exemplo de método dedutivo pode-se citar os argumentos matemáticos. Através deste método e de leis e teses já aceitas, pode-se prever a ocorrência de novos fenômenos;

- c) Hipotético-dedutivo – neste método formula-se uma solução para um problema e procura-se criticá-la para eliminar os erros. Se isso não for possível, esta solução é rejeitada. Karl R. Popper define o processo hipotético-dedutivo como sendo formado por três etapas: definição do problema, proposta de uma solução (hipótese) e falseamento ou tentativa de refutação através da observação e experimentação.
- d) Dialético – o método dialético leva em consideração que nada é imutável e definitivo e que o mundo é composto por processos em constante mudança. Nesse método se aplica a negação da negação, sendo que a segunda negação não leva à afirmação original, mas à uma nova afirmação (tese ---negação---> antítese ---negação---> síntese). Adicionalmente no método dialético ocorre a passagem da quantidade para a qualidade, ou seja, a mudança não é só quantitativa, pois em determinados momentos ela torna-se qualitativa (exemplo: mudança de estado da água de líquido para vapor à temperatura de 100°C). No método dialético pressupõe-se que a contradição seja o “motor” que impulsiona a mudança de quantitativa para qualitativa. A contradição é interna e inovadora, pressupondo que os contrários formem uma unidade;
- e) Fenomenológico – aplicado às ciências sociais e à pesquisa qualitativa, tal método não é indutivo, nem dedutivo e é construído pela descrição direta de experiências. A realidade não é absoluta, mas sim relativa e dependente da sua interpretação.

De acordo com KMETEUK (2005, p. 15), é através da pesquisa sistemática, formal, controlada e crítica que se desenvolve o método científico. Segundo CERVO & BERVIAN (2002, p. 63), pesquisa é a aplicação de métodos científicos para a solução de problemas teóricos ou práticos. Para a realização de uma pesquisa científica é preciso que primeiramente se descubra um problema ou um questionamento da realidade. Este deve ser cuidadosamente analisado e delimitado

para tornar-se claro e restrito. Problemas genéricos demais podem exigir pesquisa muito ampla, longa e, eventualmente, superficial e não conclusiva. Deve-se, então, procurar teorias para embasar possíveis soluções através de pesquisa bibliográfica ou de dados empíricos já existentes. Se não for possível solucionar a questão, deve-se procurar levantar hipóteses ou teorias e testar esta solução através da produção de novos dados empíricos. Se a solução comprova as hipóteses ou a teoria a pesquisa estará terminada. Caso contrário deve-se rever as hipóteses ou a teoria e propor novas, repetindo o ciclo até que se chegue a um resultado satisfatório (MARCONI & LAKATOS, 2003, p.84-85).

Os tipos de pesquisa existentes foram listados a seguir, baseados em KMETEUK (2005, p. 16-17) e SILVA & MENEZES (2001, p. 20-22):

- a) Básica – sem uma aplicação prática ainda evidente;
- b) Aplicada – parte-se de um problema prático;
- c) Quantitativa – transforma fatos em números e utiliza métodos estatísticos para comprová-los;
- d) Qualitativa – é uma pesquisa descritiva em que o observador levanta fatos, analisa e chega a conclusões sem utilizar métodos estatísticos;
- e) Exploratória – objetiva aprofundar o conhecimento acerca de um fato ou problema a fim de se gerar hipóteses posteriores. Geralmente é feita através de pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Pode utilizar ainda entrevistas não padronizadas e análises de exemplos;
- f) Descritiva – é o levantamento de dados ou fatos da realidade, sem alterá-los, para a posterior análise das variáveis e conclusões. Usa como ferramentas a observação, a entrevista e o questionário;
- g) Explicativa – utilizada para explicar a origem e o porquê de fatos ou fenômenos e, portanto, aprofunda a realidade. Suas ferramentas são o método experimental (ciências naturais) e o observacional (ciências sociais). Muitas vezes é a continuidade de uma pesquisa descritiva;
- h) Bibliográfica – utilizada para levantar dados, fatos ou teorias, através da análise de informações já disponíveis em livros, periódicos ou na internet. Ela antecede a maioria das pesquisas científicas;
- i) Documental – realizada a partir de material que ainda não recebeu tratamento analítico;

- j) Levantamento – realizado pela interpelação direta de pessoas, quando se deseja conhecer seu comportamento;
- k) Estudo de caso – realizado quando se deseja conhecer com profundidade um fato ou fenômeno particular através da observação e análise detalhada de seu funcionamento;
- l) Pesquisa *expost-facto* – quando o experimento se realiza depois dos fatos;
- m) Pesquisa-ação – quando uma parcela representativa dos membros da situação ou problema investigado interage com o pesquisador;
- n) Pesquisa participante – quando os membros da situação ou problema investigado interage com o pesquisador;

O quadro 1.1 mostra as etapas de uma pesquisa sugeridas por alguns autores.

QUADRO 1.1 - ETAPAS DA PESQUISA CIENTÍFICA

KMETEUK (2005, p. 16-17)	MARCONI & LAKATOS, 2003, p.155-171)	SILVA & MENEZES (2001, p. 20-22)	CERVO & BERVIAN, (2002, p. 5-6)
- Escolha do tema	- Escolha do tema	- Escolha do tema	- Escolha do tema
- Delimitação do tema	- Levantamento de dados	- Revisão de literatura	- Delimitação e
- Levantamento de dados	- Formulação do problema	- Justificativa	definição dos objetivos
- Formulação do problema	- Definição dos termos	- Formulação do	- Formulação do
- Construção de hipóteses	- Construção de hipóteses	problema	problema
- operacionalização dos	- Indicação de variáveis	- Determinação de	- Formulação das
conceitos e variáveis	- Delimitação da pesquisa	objetivos	hipóteses
- seleção da amostra	- Amostragem	- Metodologia	- Levantamento
- organização dos	- Seleção dos métodos e	- Coleta de dados	bibliográfico
instrumentos de pesquisa	técnicas	- Tabulação de dados	- Apontamentos e
- Teste dos instrumentos	- Organização e teste do	- Análise e discussão	anotações
e procedimentos	instrumental de pesquisa e	dos resultados	- Coleta e análise dos
- Coleta de dados	procedimentos	- Conclusão da	dados
- Elaboração dos dados	- Coleta de dados	análise dos	- Pré-leitura
- Análise e interpretação	- Elaboração dos dados	resultados	- Leitura seletiva
dos dados	- Análise e interpretação dos		- Leitura crítica ou
- Conclusões	dados		reflexiva
	- Representação dos dados		- Leitura interpretativa
	- Conclusões		- Comentários de texto

FONTE: O autor.

A pesquisa a ser realizada no presente estudo será dos tipos aplicada, quantitativa e explicativa e será conduzida através de uma pesquisa bibliográfica e de um estudo de caso. O método a ser empregado será do tipo hipotético-dedutivo.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo dois será apresentado o resultado da revisão bibliográfica realizada sobre os sistemas de produção em massa, enxuto e teoria das restrições, bem como sobre confiabilidade e simulação de produção.

No capítulo três será apresentada a metodologia aplicada a este trabalho e a construção do modelo de simulação de uma célula de usinagem virtual.

No capítulo quatro serão realizadas as simulações dos diversos cenários e serão coletados os dados. Em seguida serão feitas as análises comparativas dos resultados, desde o trabalho com lotes de transferência grandes e tempos de *set-up* altos até o lote de transferência unitário e tempos de *set-up* baixos. O objetivo é analisar o impacto da redução do tamanho dos lotes no desempenho da célula. Ao final será feita uma análise geral dos resultados.

No capítulo cinco serão apresentadas as conclusões deste estudo e as recomendações para trabalhos futuros nesta área.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será feita uma revisão bibliográfica dos assuntos que servirão de base para este estudo e que são a produção em massa, a produção enxuta, a teoria das restrições, a simulação e a confiabilidade.

2.1 A PRODUÇÃO EM MASSA

2.1.1 Histórico

Com o advento da Revolução Industrial e a proliferação de fábricas pelo mundo, especialmente após a invenção da máquina a vapor por James Watt em 1764 e com a formalização do antigo conceito dos gregos de divisão do trabalho por Adam Smith em 1746, o trabalho artesanal foi sendo gradativamente substituído pelo trabalho mecanizado. Os custos dos produtos artesanais não podiam competir com os custos dos produtos industriais, de modo que a grande maioria dos artesãos e seus funcionários passaram a trabalhar nas fábricas. A produção artesanal na área automobilística nasceu no final do século XIX na Europa e tinha as seguintes características: pessoal altamente qualificado, organizações descentralizadas, máquinas não dedicadas, baixo volume de produção e alto custo (WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D., 1992, p. 12).

A produção artesanal somente atendia à elite da época, porém apresentava algumas características positivas como a satisfação no trabalho, a execução de tarefas ricas em conteúdo e conhecimento de todo o ciclo produtivo, desde o projeto até a operação. Além disso, oferecia perspectiva de crescimento futuro para o empregado, o qual poderia vir a se tornar autônomo e fornecedor de peças. No entanto as desvantagens da produção artesanal eram seus altos custos e sua baixa produtividade, os quais não estavam acompanhando a tendência mundial de redução de preços e aumento da demanda. Nessa época, um engenheiro americano chamado Frederick W. Taylor iniciava seus estudos a respeito da divisão do trabalho sob a ótica da ciência, a qual foi denominada mais tarde de Administração Científica. O contingente de trabalhadores do final do século XIX nos Estados Unidos era composto por pessoas sem estudo vindas do campo e por

imigrantes pobres que mal conseguiam proferir algumas palavras em inglês. Por essas razões eles eram incapazes de tomar iniciativa no trabalho. Taylor, percebendo este fato, treinou especialistas em métodos, ao quais estudaram e criaram novos métodos padrão de trabalho, adaptados à cada tarefa. A função dos trabalhadores era de seguir estes métodos da melhor forma possível e, com isso, receber seus salários proporcionais ao número de peças produzidas. Essa abordagem científica do trabalho foi uma das bases da produção em massa, criada por Henry Ford, no início do século XX (WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D., 1992). Com os trabalhos de Taylor surgiu também uma sistematização do conceito de produtividade, ou seja, da relação entre o output (produtos, ganhos) e do input (insumos, capital). Esta relação calculada de diversas formas serve até hoje para indicar o sucesso ou fracasso de uma empresa (MARTINS & LAUGENI, F.P., 2005).

2.1.2 O Fordismo

A determinação de Henry Ford de aumentar a produção e reduzir os preços dos produtos para atingir outras classes sociais, gerando o crescimento do mercado automobilístico, levou-o a investir pesadamente em duas frentes até então não exploradas, ou seja, a intercambiabilidade de peças e a facilidade de ajustagem e montagem das mesmas (WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D., 1992). Os fabricantes de peças do início do século XX estavam totalmente despreparados e forneciam peças sem qualquer chance de serem montadas sem retrabalho. Estas diferiam muito entre si, embora fossem vendidas como semelhantes. Para a produção artesanal isso não era problema, mas para Ford isso significava uma barreira ao aumento da produção e da produtividade. Graças ao trabalho intensivo de Ford foi possível padronizar as medidas das peças e o sistema de medição. Este fato, aliado ao surgimento de ferramentas mais resistentes que podiam usinar o aço pré-endurecido, eliminando as deformações das peças causadas pelo tratamento térmico, permitiu eliminar também a necessidade de adaptação de cada peça ao produto durante a montagem e derrubou os preços dos automóveis para um nível nunca antes alcançado. Ao lançar o modelo T em 1908, Ford havia incorporado duas características ao projeto de veículos, as quais seriam as bases para a produção em massa: a manufaturabilidade e a interface amigável entre o usuário e o

veículo (WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D., 1992). Além de fácil de ser montado o modelo T era muito fácil de ser consertado pelo proprietário, eliminando a necessidade de se ter um mecânico sempre à disposição e reduzindo, com isso, os custos. No ano de 1913 Ford fez sua primeira experiência movendo um carro ao longo de um percurso, onde ficavam os operadores e os materiais aguardando sua chegada. Essa experiência resultou na primeira linha de montagem móvel e reduziu o tempo de ciclo pela metade. Além disso, o volume de estoque ao longo da linha de montagem caiu drasticamente. A produção em massa trouxe muitas melhorias para as indústrias, porém trouxe consigo também algumas conseqüências (WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D., 1992; SLACK *et al.*, 1996):

- (a) Redução do tempo das operações através da simplificação das tarefas e, conseqüentemente, da necessidade de qualificação dos montadores. Este fato trouxe monotonia ao trabalho, tornando os operadores de certa forma “descartáveis” e incentivando o crescimento do sindicalismo.
- (b) Baixa flexibilidade para adaptações das linhas de produção a novos produtos e alta influência de um estágio de fabricação sobre o outro, de modo que se uma operação deixar de produzir todo o sistema é afetado.
- (c) Completa integração vertical, a qual Ford denominou de a “mão visível”, pois ele detinha controle sobre todo seu processo produtivo, desde a extração de matérias primas até a montagem final dos veículos. Este excessivo controle sobre a cadeia produtiva fez com que Ford centralizasse demais as decisões e tornasse as operações burocratizadas, lentas e difíceis de administrar.
- (d) Produção baseada na economia de escala e que somente apresentava viabilidade econômica na medida em que a produção de um mesmo produto crescia. Isso fez com que Ford limitasse a linha de produção ao modelo T e em 9 opções. O modelo A, uma nova versão do modelo lançado em 1903, somente veio ao mercado no final dos anos 20.

Cabe aqui lembrar que o termo “produção em massa” significa produzir uma grande quantidade de um número pequeno de itens diferentes. No entanto, a produção em massa levou à produção em grandes lotes de processamento como forma de aumentar a produtividade dos recursos disponíveis. Durante o período em que a produção em massa foi soberana, a decisão de produzir em grandes lotes não

era um problema, pois os custos de estoque e os longos tempos de atravessamento eram absorvidos pelo resultado operacional positivo. Quando a demanda começou a mudar para muitos tipos diferentes em pequenas quantidades, surgiu o que MARTINS e LAUGENI (2005, p.4) denominaram de “produção customizada” e a produção em grandes lotes se tornou economicamente inviável. Segundo SHINGO (1996, p.66-67) produzir grandes pedidos (em massa) é algo muito bom, pois otimiza os recursos e aumenta a produtividade, entretanto, mesmo neste caso, a decisão de produzir em pequenos lotes, ou em lotes unitários, é a mais sensata e barata. Para ele a produção em massa deveria ser chamada de produção em grandes lotes, pois foi isso que determinou o aumento excessivo dos custos e sua inviabilidade frente aos novos desafios do mercado.

2.1.3 O Declínio da Produção em Massa

No final da década de vinte o mercado norte americano já estava começando a exigir modelos diferenciados e com mais opcionais. Além disso, os altos preços do petróleo na Europa estavam forçando os consumidores a adquirir carros menores e mais econômicos. Segundo OHNO (1997, p.114), a economia americana entrou em crescimento e entre 1924 e 1926 novos elementos começaram a surgir, os quais podem ser divididos em cinco categorias:

- Plano de pagamento em prestações;
- Comércio de carros usados;
- Carcaça do tipo sedan;
- Mudança anual de modelos;
- Aperfeiçoamento das estradas.

Nessa época a empresa General Motors, fundada por William Durant, tendo à frente Alfred Sloan, conseguiu reagir mais rapidamente que a Ford e criou linhas de produtos que atendessem às novas necessidades do mercado. Adicionalmente, Sloan introduziu novos conceitos administrativos descentralizadores e, através do “gerenciamento por números”, ele e seus executivos conseguiam administrar todas as fábricas a partir de um escritório central. O conceito de produção em massa que se conhece hoje é exatamente esse, mais amplo e com especialistas tanto na

produção e engenharia (Ford), quanto nas áreas financeira e mercadológica (Sloan). O ano de 1955 é considerado o apogeu da indústria automobilística americana. A queda que se seguiu deveu-se basicamente a dois fatores: à proliferação da produção em massa no Japão e na Europa e à adoção da produção enxuta nos fabricantes japoneses, encabeçados pela Toyota (WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D., 1992).

2.2 A PRODUÇÃO ENXUTA

2.2.1 Histórico

O Sistema Toyota de Produção (STP), do qual deriva a produção enxuta, nasceu por volta de 1950 de uma necessidade. A Toyota vivia uma realidade muito diferente da Ford, pois o mercado japonês exigia a produção de muitos modelos em pequenas quantidades e a produção em massa não respondia adequadamente a esta nova demanda. Além disso, os japoneses não se identificavam com o tratamento na forma de “custos variáveis” ou “bens intercambiáveis” e, como não havia imigrantes temporários para fazer os trabalhos simples e monótonos, os sindicatos japoneses começaram a se fortalecer. Em 1950 o presidente da Toyota, Eiji Toyoda e o engenheiro Taiichi Ohno passaram três meses no complexo da Ford em River Rouge e ao voltarem ao Japão concluíram que nem o sistema de produção em massa, nem o sistema artesanal iriam ser aplicáveis à sua realidade. Era preciso adaptá-los e criar um sistema novo com características diferentes (WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D., 1992). Os recursos da Toyota eram escassos e graças à esta restrição foi necessário flexibilizar processos tais como a estamparia, a qual nos Estados Unidos eram de produção em massa. Em alguns casos haviam prensas dedicadas à uma só peça com tempos de trocas de moldes muito elevados, às vezes de muitas horas. No sistema de produção em massa os custos somente caem na medida em que os volumes de produção aumentam (economia de escala). Para a indústria automotiva esta relação foi expressa na curva de Maxcy-Silberston, citada por OHNO (1997, p.24) e por TESTANI (2002, p.11). No sistema de produção enxuta o custo por unidade cai devido a outros fatores que não o volume de produção, quais sejam, a eliminação dos estoques desnecessários e a redução drástica das

peças defeituosas. Para realizar estes objetivos a Toyota percebeu que precisava contar com o apoio e participação de todos os seus funcionários e não somente de alguns especialistas como fazia a Ford. Os japoneses são por natureza comprometidos e participativos, além de trabalharem muito bem em equipe. Estas características, aliadas à introdução em 1949 do emprego vitalício, permitiram a elaboração e aplicação com sucesso de novos modelos de organização e novas técnicas para a gestão da manufatura, conforme relacionados abaixo (WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D., 1992):

- a) Times de trabalho com um líder com funções de execução e coordenação;
- b) Autocontrole da qualidade e da limpeza realizados pelos próprios times;
- c) Círculos de controle da qualidade;
- d) Manutenção produtiva total (TPM);
- e) Autonomiação (*jidoka*);
- f) Método dos cinco porquês para a descoberta das causas raízes de um problema;
- g) *Just-in-time* (JIT) / Kanban;
- h) Melhorias contínuas (*kaizen*);
- i) *Set-up* rápido ou troca rápida de ferramentas (TRF).

Além destas, outras técnicas também estão relacionadas à produção enxuta, conforme MARTINS e LAUGENI (2005, p. 3, 463-469), quais sejam, engenharia simultânea, tecnologia de grupo, células de manufatura, QFD, parceria com fornecedores, sistemas flexíveis de manufatura (FMS), manufatura integrada por computador (CIM), *benchmarking*, consórcio modular, *housekeeping* (5 S's) e *poka-yoke* (dispositivos à prova de erros ou falhas). Pode-se acrescentar a estas a sincronização da produção, técnica com a qual se consegue exercer o *just-in-time* de maneira eficaz com a instalação dos fornecedores muito próximos ao cliente. Uma organização atualmente em uso nas indústrias automobilísticas para a sincronização da produção é o condomínio industrial. Através dele os fornecedores, também chamados de sistemistas, se instalam dentro do terreno da montadora de veículos e produzem suas peças ou sistemas com apenas algumas horas de antecedência à montagem dos veículos, entregando as peças em pequenas quantidades

diretamente na linha de montagem. Para isso são integrados ao sistema da montadora e recebem informações via EDI (troca eletrônica de dados). Adicionalmente a estas ferramentas e técnicas pode-se acrescentar também o fluxo de produção de uma peça ou fluxo unitário de peças, o trabalho padronizado, o nivelamento da produção (heijunka) e o controle visual (lâmpadas ou painéis andon). Conforme MOURA (1989, p.13), para se atingir o *just-in-time* é preciso flexibilizar a produção e reduzir os tempos de passagem ou atravessamento (*lead time*) da produção. Para isso o melhor caminho é através do fluxo unitário de peças e do agrupamento de máquinas próximas umas das outras e na seqüência de produção (célula). Com isso se reduzem adicionalmente o transporte e o estoque em processo. De acordo com WOMACK e JONES (2004, p. 48), não há como se produzir sem nivelar a produção, a fim de se evitar a formação de gargalos e de estoques pulmões nos processos anteriores para preveni-los. Desta forma podem-se produzir pequenas quantidades de peças ao longo da cadeia produtiva, facilitando o fluxo seqüencial e o JIT. Também segundo estes autores, uma técnica muito importante na produção enxuta é a transparência ou controle visual, o qual permite que todos saibam a qualquer tempo se estão atendendo o tempo takt, ou seja, se estão produzindo no ritmo das vendas. OHNO (1997, p.41) aponta o trabalho padronizado dos operadores como sendo muito importante para o controle visual no STP. É através da folha de trabalho padrão que se obtém a integração de materiais, operadores e máquinas para aumentar a eficiência da produção.

O STP ficou sendo chamado de Sistema de Produção Enxuta com a publicação do Livro “A Máquina que Mudou o Mundo” por WOMACK, JONES e ROOS em 1990 (no Brasil em 1992). Nele os autores relatam sua experiência em cinco anos de *benchmarking* da indústria automobilística mundial, comparando o sistema fordista com o sistema toyotista (STP) e justificando porque a produção enxuta é mais adequada para os dias atuais do que a produção em massa (WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D., 1992). Mais tarde, por volta de 1996, Womack e Jones escreveram o livro “A Mentalidade Enxuta nas Empresas”, onde definiram os princípios básicos do “*Lean Thinking*”, ou seja, do pensamento enxuto. No item 4.2.3 esses princípios serão apresentados e discutidos.

2.2.2 Os Pilares do Sistema Toyota de Produção

O STP tem como base a eliminação dos desperdícios e está sustentado por dois pilares: o *just-in-time* (JIT) e a automação (OHNO, 1997; WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D., 1992; SHINGO, 1996; SLACK *et al.*, 1996). Segundo SHINGO (1996, p.103), *just-in-time* significa “no momento certo”, “oportuno” e é um sistema desenvolvido na *Toyota Motor Company* pelo Sr. Taiichi Ohno, cujo objetivo é eliminar todas as atividades que consomem recursos, mas que não agregam valor ao produto e que normalmente se chamam de desperdícios (MARTINS & LAUGENI, 2005). O termo *just-in-time* foi criado pelo Sr. Kiichiro Toyoda, ex-presidente da Toyota, no ano de 1933, quando anunciou o desejo de produzir carros para o público em geral, através de um sistema de produção diferente do sistema americano de produção em massa e adaptado ao Japão (OHNO, 1997, p.103). Pelas suas características o JIT deixou de ser somente um sistema e tornou-se uma filosofia de trabalho, pois exige mudanças culturais nas pessoas e nas organizações, o que nem sempre é uma tarefa fácil de ser realizada. Conforme HAY (1992, p.26), o JIT é muito mais que um sistema de produção, é uma filosofia voltada para a eliminação dos desperdícios, das compras à distribuição. Utilizado de forma adequada o JIT se torna uma arma estratégica da empresa na medida em que direciona as ações para a redução de custos, agregação de valor e melhoria sistemática da qualidade (HAY, 1992; CORRÊA & GIANESI, 1996; LUBBEN, 1989). Segundo SLACK *et al.* (1996, p.473), o JIT, além de ser uma filosofia de produção, é também um método para o planejamento e controle das operações.

Produzir *just-in-time* significa produzir somente o produto necessário, na qualidade e quantidade necessárias, entregando o produto no momento e local certos, com um mínimo de recursos, de forma a evitar a formação de estoques ou o atraso na entrega. Com isso se espera reduzir os custos e aumentar os lucros, satisfazendo todas as expectativas do cliente. A filosofia JIT e, indiretamente o STP, identificam 7 tipos de desperdícios, quais sejam (OHNO, 1997; SHINGO, 1996; SLACK *et al.*, 1996; CORRÊA & GIANESI, 1996; RIBEIRO, 1989):

- a) Superprodução – produzir mais do que o necessário para a operação seguinte, baseado em uma demanda previsível futura, como forma de

- contornar as restrições do processo produtivo ou antecipar a produção para aumentar a produtividade dos recursos;
- b) Espera – é o tempo que os materiais aguardam em filas para serem processados, a fim de garantir altas taxas de utilização dos equipamentos. Pode ser devido às filas causadas pelos estoques intermediários ou pelo tamanho excessivo do lote de processamento. Quando há um desbalanceamento nos tempos de produção e o trabalho não for padronizado, a espera pode ser de um operador pelo término do trabalho de outro;
 - c) Transporte – é o movimento excessivo de materiais dentro do processo produtivo, causado pelas longas distâncias entre as operações ou pela má distribuição das máquinas e equipamentos;
 - d) Processamento – algumas operações são realizadas sem que agreguem valor ao produto e são frutos de um projeto ruim ou de um mau planejamento do processo produtivo. Eventualmente matérias-primas de má qualidade geram a necessidade de processamento adicional para serem utilizadas;
 - e) Estoques – são criados para ocultar falhas no processo produtivo e acabam por escondê-las e dificultar sua percepção e eliminação;
 - f) Movimentos – são deslocamentos ou operações realizados pelo operador e que não agregam valor ao produto;
 - g) Defeitos – é o pior dos desperdícios. Vem a agravar os desperdícios citados acima, uma vez que o produto não pode ser vendido e os custos agregados não podem ser compensados.

O segundo pilar do STP é a autonomação (ou *jidoka*) e significa uma automação com um toque humano ou automação humanizada (OHNO, 1997; RIBEIRO, 1989). Num sistema de produção em massa a regra é que não se deve parar a linha de produção em hipótese alguma, sem uma autorização de um superior responsável (geralmente um gerente de produção). Na ocorrência de falhas, as quais são aceitas como parte do processo e inevitáveis, as peças defeituosas não são detectadas na origem (ou na fonte) e geralmente aparecem em operações posteriores. Isso traz como consequência a necessidade de reavaliação posterior dos lotes defeituosos,

agregando custos desnecessários, gerando estoques, interrompendo o fluxo produtivo e causando atrasos nos prazos de entrega.

Ohno aplicou na Toyota um princípio que o Sr. Sakichi Toyoda inventou na sua fábrica de teares e que foi incorporado ao seu novo tear automático, contemporâneo do antigo tear mecânico. Baseado no princípio da separação do homem da máquina, o Sr. Toyoda implantou dispositivos nos teares mecânicos de forma a torná-los automáticos e a parar quando da ocorrência de qualquer tipo de falha. Através do acendimento de lâmpadas especiais chamadas de andons, os operadores eram capazes de perceber quando um tear estava com problemas, se dirigindo rapidamente até ele e reparando o defeito antes dele se alastrar e gerar custos desnecessários (OHNO, 1997, p.28). O andon é um controle visual que transmite informações importantes e sinaliza a necessidade de uma ação imediata do operador (SHINGO, 1996; OHNO, 1997, p.43). Ohno trabalhou na fábrica de teares *Toyota Spinning and Weaving* e trouxe esta idéia para a Toyota, tornando a autonomia o segundo pilar do STP. Autonomia também significa dar direito ao trabalhador de parar uma linha de produção caso encontre algum problema e não consiga solucioná-lo sozinho (SLACK *et al.*, 1996, p. 481).

Uma forma de praticar a autonomia é através da implantação de dispositivos à prova de erros e falhas, também chamados de *poka-yoke* ou *baka-yoke* (SLACK *et al.*, 1996; OHNO, 1997). De acordo com SHINGO (1996, p.55), há duas maneiras de um *poka-yoke* ser usado para corrigir erros:

- a) Método de controle – a máquina ou linha de produção pára quando o *poka-yoke* é acionado, de forma que se efetue a correção da falha.
- b) Método de advertência – um alarme soa ou uma luz acende como forma de alerta ao operador de que há um problema.

A escolha entre um e outro deve ser feita com base numa análise de custo-benefício, pois o *poka-yoke* de controle é sempre mais caro, porém mais eficaz.

2.2.3 Os Princípios da Produção Enxuta

A produção enxuta tem cinco princípios que foram estabelecidos por WOMACK e JONES (2004, p. 4-18) como sendo os princípios do pensamento enxuto. São eles:

- a) Valor – o valor deve ser especificado pelo cliente final e deve ser traduzido em termos de produto ou serviço a ser entregue por um preço específico e em um momento específico.
- b) Cadeia de valor – é o conjunto das ações necessárias para se entregar o produto certo ao cliente no prazo certo ao menor custo. Para se especificar uma cadeia de valor utiliza-se uma ferramenta chamada de mapeamento do fluxo de valor.
- c) Fluxo – após a especificação da cadeia de valor e da eliminação das operações que não agregam valor, o caminho está aberto para que o “valor flua” pela produção. O maior inimigo do fluxo de valor é a tradicional organização das empresas em departamentos e funções, onde cada funcionário trabalha pensando na otimização do seu trabalho e no aumento da produtividade do seu departamento, sem analisar o fluxo de valor como um todo e se seu desempenho está contribuindo para fazer fluir o valor em direção ao cliente. Repensar a empresa em função do fluxo de valor para o cliente é um desafio para as empresas que desejam realmente ser enxutas.
- d) Produção puxada – ao contrário do sistema tradicional de empurrar a produção, conhecido como *just-in-case* (RITZMAN, KRAJEWSKI E MOURA, 1989, p. 183), e que se baseia na produção por estimativa de demanda, o sistema de puxar a produção parte do princípio que qualquer atividade produtiva somente deve ser iniciada se houver uma solicitação do cliente. Desta forma, a operação posterior retira na anterior uma quantidade de um tipo de componente e esta, então, produz esta mesma quantidade para repor o que foi retirado. Se não houver retirada não haverá produção.
- e) Perfeição – é a busca infinita e incansável da melhoria dos processos e produtos de modo a atender da maneira mais eficaz possível o cliente e ganhar vantagem competitiva no negócio. Para isso deve-se utilizar os princípios do kaizen e do kaikaku. Kaizen é o processo de melhorias contínuas concebido por MASAOKI IMAI (1994, pg.3) e que pressupõe que nada está tão bom que não possa ser melhorado. Através de análises profundas e periódicas dos processos, geralmente em times, pode-se localizar os *mudas*, ou seja, os desperdícios, e eliminá-los gradativamente em ações de baixo custo e curto prazo. O kaikaku é uma mudança radical em um

processo qualquer (inovação), quando se percebe que o kaizen não é mais aplicável e algo novo precisa ser concebido.

2.2.4 Ferramentas e Técnicas da Produção Enxuta

Segundo LOURENÇO (2002) e TUBINO (1999), a implantação da filosofia da produção enxuta se dá pela adoção das muitas técnicas e ferramentas disponíveis e entre elas estão o fluxo unitário de peças, o nivelamento da produção, a redução dos *lead times* e o *set-up* rápido. TUBINO (1999) cita que as metas da filosofia JIT/TQC, uma outra forma de nomear a produção enxuta, devem ser consideradas sob a ótica da melhoria contínua e devem alcançar o zero em tudo (defeitos, estoques, movimentações, *lead times*, *set-ups*), além de lotes unitários.

Conforme citado no item 2.2.1 as ferramentas e técnicas da produção enxuta são inúmeras e diferem em certo grau de autor para autor. Na seqüência serão analisadas aquelas que são mais relevantes para este estudo:

- a) Células de manufatura – além de conhecidas por este nome as células de manufatura podem ser chamadas ainda de células de produção ou de arranjo físico celular. Há diversos modelos de arranjos físicos passíveis de serem adotados por uma empresa. Conforme SLACK (1996, p.213-217) os arranjos podem ser:
- Posicional ou de posição fixa (produto parado com a movimentação dos materiais, ferramentas e pessoas);
 - Por processo (concentração dos processos similares em uma mesma área para otimização dos recursos produtivos);
 - Por produto, em fluxo ou em linha (operações seqüenciais para a fabricação de um produto ou família de produtos, geralmente em linha reta);
 - Celular (os recursos para o processamento de um produto ou de uma parte dele se encontram concentrados numa área específica).

Para este autor o arranjo físico celular pode ser aplicado também em arranjos por processos, numa tentativa de trazer ordem para este arranjo complexo. A decisão sobre qual arranjo físico escolher está centrada nos fatores volume de produção, flexibilidade de *mix* e produto, custo unitário, tempo de atravessamento, facilidade de supervisão, estoque em processo e

trabalho em time. O arranjo celular tem como vantagens boa relação de custo e flexibilidade para alta variedade de produtos, menor tempo de atravessamento e facilidade para o trabalho em time. As desvantagens são o custo de reconfiguração do arranjo físico para o celular, redução dos níveis de utilização dos equipamentos e eventual necessidade de capacidade adicional, pois a célula deve ter recursos individuais para se evitar que o produto tenha de sair da célula para sofrer alguma operação e depois retornar. Isso gera custos adicionais, estoques em processo, perda de tempo e risco de qualidade pela quebra do fluxo de produção (SLACK, 1996). Segundo BLACK (1998, p. 51-53), um arranjo físico, também chamado de *layout*, pode ser de posição fixa (*project shop*), funcional (*job shop*), em linha (*flow shop*), de células interligadas ou de processamento contínuo. As células interligadas (por cartões Kanban) são atualmente aplicadas para aumentar a eficiência global da manufatura.

A técnica usada para transformar um *layout* funcional em celular é conhecida como Tecnologia de Grupo e consiste em agrupar peças ou produtos similares em famílias, os quais podem ser fabricados com processos e operações semelhantes. De acordo com MARTINS e LAUGENI (2005, p. 484), a formação das famílias de peças pode seguir três conceitos: o conceito russo desenvolvido por Mitrofanov e Sakolovski, o conceito da codificação e o conceito do fluxo do processo, sendo que este último, segundo TUBINO (1999, p.52), é o mais fácil e rápido de se utilizar. Como vantagens do arranjo celular sobre o funcional, podem-se citar o aumento da flexibilidade, aumento da qualidade e da produtividade, menor manuseio das peças/produtos, menor tempo de *set-up*, menor estoque em processo, menos esperas em filas, menor tempo de processamento, menos movimentação, melhor utilização e motivação da mão-de-obra, menor quantidade de contentores (*containers*) e menores custos de produção (BLACK, 1998; HARMON e PETERSON, 1991; MARTINS e LAUGENI, 2005; TUBINO, 1999). Um estudo realizado por HUQ, HENSLER e MOHAMED (2001, p.285) mostrou que há vantagens em se mudar do layout funcional para o celular, porém é necessário que sejam reduzidos os lotes de processamento e os tempos de *set-up* (em cerca de 70%). Caso isso não seja feito os benefícios de redução de *lead time* e de

quantidades produzidas podem desaparecer. Uma célula de manufatura tem geralmente o formato de um “U”, pois a prática mostrou que esta forma permite atingir os melhores resultados em termos de produtividade e custos, além de facilitar a comunicação entre os operadores e a visualização do todo. Células de manufatura podem ser classificadas por uma só máquina, várias máquinas (baseadas no produto ou no processo) e em células envolvendo a empresa como um todo. Elas podem ser ainda fixas, móveis (locais de trabalho sobre rodas) e virtuais (YOSHINAGA, 1998). No arranjo físico celular o número de operadores é 50 a 70% menor do que o número de máquinas existentes. Com a aproximação das máquinas, as distâncias e os percursos dos operadores diminuem proporcionalmente, permitindo a operação de várias máquinas por um mesmo operador. O tempo de processamento (atravessamento) da célula é em média 90% inferior do que no arranjo físico funcional (HARMON e PETERSON, 1991).

De acordo com BLACK (1998, p.63-70), um dos mais eficazes sistemas de manufatura é o SMCI, ou seja, Sistema de Manufatura com Células Interligadas. Trata-se de um sistema de produção de células de usinagem interligadas com as de montagem por um método de puxar a produção. O formato é em “U” para facilitar o trânsito dos operadores e permitir, através da multifuncionalidade, a operação de mais de uma máquina pelos operadores. Nestas células os ciclos geralmente são únicos e automáticos, sendo que ao término da operação as máquinas se desligam automaticamente. As características destas células são: máquinas menores, mais lentas e mais baratas, alocadas em seqüência de acordo com o processo, produção em lote unitário com operadores multifuncionais trabalhando em pé e caminhando, com tempo de ciclo determinando a taxa de produção. Em cada máquina deve ser previsto um dispositivo chamado desacoplador, no qual se coloca a peça já completada na máquina e pronta para ser encaminhada para a próxima. Com isso o operador pode trabalhar caminhando tanto no fluxo quanto no contra fluxo da célula, alimentando as máquinas e verificando a qualidade. O tipo mais simples de desacoplador chama-se “quadrado Kanban”, espaço onde uma peça é disposta após o processamento para aguardar o envio para a próxima máquina. O nome Kanban foi criado para

simbolizar o que se obtêm com o desacoplador, ou seja, controle da produção e do tempo das operações, aumentando a flexibilidade. Os desacopladores quebram a interdependência entre as máquinas, especialmente quando o balanceamento da linha não é perfeito. Servem também para executar operações de exame automático, direcionar peças individuais ou de uma família para a máquina certa, na posição certa de alimentação e, eventualmente, desligar temporariamente uma máquina, quando o limite máximo de peças for atingido (como se fosse um estoque pulmão máximo).

O grau de automação de uma célula de manufatura depende da capacidade que as máquinas têm de substituir os atributos humanos, como pode ser evidenciado no quadro 2.1 (BLACK, 1998, p.234-237). A maioria das máquinas atuais se encontram nos estágios A(2) até A(5), existindo já algumas no estágio A(6).

QUADRO 2.1 – GRAUS DE AUTOMAÇÃO DAS MÁQUINAS

GRAU DE AUTOMAÇÃO	ATRIBUTO HUMANO SUBSTITUÍDO	EXEMPLO
A(0)	Nenhum	Ferramentas e máquinas manuais
A(1)	Energia: substituição dos músculos	Máquinas e ferramentas energizadas
A(2)	Destreza: auto alimentação	Máquinas automáticas de ciclo único, dependentes do operador para preparar, carregar, iniciar, ajustar e descarregar
A(3)	Diligência: sem realimentação	Repetição de ciclos, controle por laço aberto (sem auto-correção), obedecendo a programas internos e externos. Carrega, processa e descarrega
A(4)	Julgamento: realimentação posicional	Laço fechado (auto-correção), controle numérico
A(5)	Avaliação: controle adaptativo, análise dedutiva, <i>feed-back</i>	Controle computadorizado, independência na análise de dados e decisão de ação de controle mais adequada
A(6)	Aprendizado: pela experiência	Sistemas especialistas com auto-programação limitada (a máquina aprende pela experiência)
A(7)	Raciocínio: intuição, causa e efeito	Raciocínio indutivo, inteligência artificial
A(8)	Criatividade: realiza projetos sem auxílio	Originalidade e criatividade para suprir as necessidades humanas. Não há um programa predefinido, somente linhas gerais de ação
A(9)	Dominância: supermáquinas, comanda outras	Possui todas as capacidades das anteriores e mais a de dominar o homem

FONTE: AMBER & AMBER, *Anatomy of Automation*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, EUA 1962, disponível em BLACK, 1998, p. 234.

Uma célula de manufatura pode ser balanceada ou não. Balancear significa igualar os tempos de processamento e de acordo com BLACK (1998, p. 101) uma célula não precisa ser necessariamente balanceada, porém nenhum tempo de processamento individual pode ser maior do que o tempo takt, ou seja, maior do que o ritmo de vendas. O tempo takt será abordado mais adiante.

MILTENBURG (2001, p. 201-214) realizou um estudo sobre os tipos de células de manufatura em forma de “U” e também uma pesquisa em 114 células no Japão e nos Estados Unidos. Na média elas tinham 10,2 máquinas e 3,4 operadores, sendo que 25% delas eram controladas por um único operador, caminhando no sentido do fluxo de produção. Os resultados mostraram que o trabalho em células é mais rentável que o tradicional, pois apresentou na média 75% de aumento na produtividade, 86% menos WIP, 75% menos tempo de *lead time* e 83% menos defeitos.

- b) Polivalência ou multifuncionalidade – Conforme TUBINO (1999, p.152-154) a polivalência ou multifuncionalidade dos operadores se dá quando todos têm capacidade para executar as diferentes rotinas de trabalho da célula, não sendo necessário fixá-los num ou noutro posto de trabalho específico. Isso é obtido através de treinamento intensivo e rodízio de tarefas dentro da célula. A polivalência facilita o trabalho padronizado, que será visto mais adiante, bem como evita problemas ergonômicos, como a repetição excessiva de movimentos dos mesmos grupos de músculos, cujas conseqüências são as doenças ocupacionais também chamadas de LER/DORT, responsáveis por boa parte dos afastamentos de operadores do trabalho. A polivalência facilita também a organização de grupos autônomos de trabalho. Segundo IIDA (1990, p.316-319) os operadores são organizados em grupos e assumem a responsabilidade pela divisão do trabalho e pelo resultado da produção. Isso contribui para o aumento da qualidade dos produtos e do contato social entre os operadores, melhorando a cooperação entre eles. Outro benefício é a redução da monotonia de algumas tarefas repetitivas e da fadiga precoce. Quando nem todos os operadores são aptos a realizar todas as tarefas, pode-se lançar mão dos “coringas”, os quais, segundo ALVAREZ e ANTUNES (2003, p.14) são operadores multifuncionais e habilidosos, capazes de

realizar todas as tarefas da linha. Na falta de algum operador, nos períodos de descanso ou nos horários de refeição estes ocupam os locais dos operadores ausentes até seu retorno. De acordo com PROBST; RAUB; ROMHARDT (2002, p. 137) o trabalho em grupo facilita o compartilhamento e a distribuição do conhecimento entre os operadores, permitindo a realização de tarefas mais complexas. No passado o êxito era medido pela capacidade do indivíduo de solucionar problemas isoladamente. Hoje o que vale é a contribuição de cada um na sua equipe. O trabalho em grupos pode também ser chamado de trabalho em times, onde a liderança é compartilhada e os objetivos pessoais são sobrepostos pelos objetivos do time. Em suma, a polivalência apresenta as seguintes vantagens (TUBINO, 1999; MARTINS e LAUGENI, 2005).:

- O compromisso dos operadores com o trabalho;
- A redução da fadiga e do estresse;
- A disseminação do conhecimento;
- A melhor aplicação das técnicas da qualidade total como o CCQ (círculos de controle da qualidade);
- A melhoria geral da qualidade dos produtos;
- A flexibilidade e o desenvolvimento do espírito de equipe;
- A possibilidade de introduzir uma remuneração variável mais justa e baseada no desempenho da equipe.

Como forma de facilitar a visualização do andamento do trabalho e da ocorrência de problemas na linha de produção utiliza-se de quadros de avisos ou sinalizadores chamados *andons*. Estes quadros, geralmente luminosos e coloridos permitem que se tenha um controle visual mais eficaz e se possa reagir rapidamente na ocorrência de anomalias ou quando a produção está atrasada em relação ao tempo takt da linha. Em alguns casos o *andon* é associado a um temporizador para sincronizar o tempo de ciclo de todos os processos, garantindo que um novo ciclo seja começado por todos ao mesmo tempo e facilitando a produção em fluxo unitário sem estoques intermediários. Este sistema é conhecido como *Yo-I-Don*, ou seja, “pronto-colocado-adiante” (TUBINO, 1999, p. 154-155).

- c) Autocontrole da qualidade – a qualidade pode ser definida de forma simplificada como a adequação ao uso, ou seja, a entrega de um produto ou serviço exatamente de acordo com o que o cliente deseja (JURAN, 2004 p.11). A qualidade deve nascer no projeto do produto ou serviço e deve ser alcançada pela aplicação de metodologias que tornam projeto e processos produtivos mais robustos e menos sujeitos à variabilidade e a defeitos. Como exemplos de metodologias da qualidade podem ser citados a FMEA, análise do modo de falha e seus efeitos, o QFD, desdobramento da função qualidade e o DOE, delineamento de experimentos. Conforme Philip Crosby, a qualidade pode ser definida como a conformidade com normas e especificações (MARTINS e LAUGENI, 2005). Para que a conformidade possa ser comprovada durante a produção é preciso aplicar-se alguma forma de controle da qualidade. A mais tradicional é feita através da retirada de uma peça do processo e a medição das características importantes para a função do produto. Pode-se aplicar também o CEP, o controle estatístico do processo, que consiste na retirada periódica de amostras, em geral de quatro a cinco elementos cada. As peças são, então, medidas e a média e o desvio-padrão ou a amplitude são calculados e marcados num gráfico conhecido como carta de controle CEP (MARTINS e LAUGENI, 2005). Se acaso alguma causa não aleatória venha a ser identificada durante a produção, esta deve ser eliminada antes de se prosseguir produzindo. Com o desenvolvimento do conceito de Controle de Qualidade Total por Feigenbaum na década de 1950, a idéia antiga de que a qualidade deveria ser controlada por inspetores do departamento da qualidade foi sendo gradativamente substituída por este novo modelo de controle de qualidade, o autocontrole. Dentro deste modelo o operador é “dono” da qualidade daquilo que está produzindo e pode reagir rapidamente no caso da detecção de desvios. Os problemas de qualidade são detectados precocemente, e evita-se a proliferação e a contaminação de outros processos, o que só aumenta os custos de produção e compromete os prazos de entrega. Em casos graves, o problema somente é identificado pelo cliente, gerando enormes desperdícios, tanto financeiros, quanto de imagem.
- d) Manutenção produtiva total (TPM ou MPT) – a qualidade depende diretamente do estado de conservação das máquinas e equipamentos e a

manutenção tradicional corretiva, não atende mais às necessidades das empresas de trabalhar com zero defeito. Além disso, a produtividade precisa ser constantemente melhorada para garantir competitividade e, para isso, é preciso que as máquinas tenham disponibilidade máxima. As quebras e paradas para manutenção corretiva diminuem a capacidade de produção dos processos produtivos e exigem, muitas vezes, investimentos em novas máquinas que poderiam ser certamente postergados. De acordo com NAKAJIMA (1988) apud SLACK *et al.* (1997, p. 639), a manutenção produtiva total deve ser realizada através do envolvimento de todos os funcionários por meio de atividades de pequenos grupos (APG). Esta abordagem é semelhante à da gestão da Qualidade Total, onde cada funcionário é envolvido com a qualidade que produz. Também de acordo com NAKAJIMA (1988) apud DAL, TUGWELL e GREATBANKS (2000, p. 1489) a MPT é baseada em três conceitos inter-relacionados, quais sejam a maximização da eficiência dos equipamentos, a manutenção autônoma pelos operadores e atividades de pequenos grupos. Segundo Slack (1997, p. 639-643), há cinco metas a serem perseguidas pela MPT: a melhoria da eficácia das máquinas, a manutenção autônoma, o planejamento da manutenção, o treinamento e a gestão da qualidade das máquinas desde o projeto. O trabalho se inicia pela detecção das falhas, passa pela análise das causas e pela recuperação das falhas, finalizando no trabalho de prevenção. Conforme MARTINS e LAUGENI (2005, p. 469), a MPT vai muito além de uma simples metodologia para manutenção. Trata-se de uma filosofia gerencial que muda o comportamento e organização dos funcionários, tanto da manutenção, quanto da produção e que determina uma nova abordagem para o tema. Os princípios fundamentais são a melhoria das pessoas, das máquinas e a qualidade total. A MPT deve atacar as seis grandes perdas típicas de qualquer equipamento de produção (NAKAJIMA, 1988 apud DAL, TUGWELL e GREATBANKS, 2000, p. 1490-1491; MARTINS e LAUGENI, 2005, p.469-471),:

- Perda 1 – quebras, ou seja, paradas para manutenção corretiva que levam à redução da capacidade e da produtividade;

- Perda 2 – ajustes (*set-up*), ou seja, preparo das máquinas para um novo lote de peças, diferente do anterior;
- Perda 3 – pequenas paradas / tempo ocioso para ajustes rápidos da máquina em decorrência da variação dos parâmetros do processo no tempo ou por interrupções rápidas devido a inúmeras causas (por exemplo, distração do operador, falta momentânea de operador, falta de peças para processar, etc);
- Perda 4 – baixa velocidade devido a inúmeras causas (exemplo, ferramental com desvio de qualidade);
- Perda 5 – qualidade insatisfatória devido a desvios das especificações do projeto, podendo ser recuperados (retrabalho) ou não (refugo);
- Perda 6 – perdas com *start-up*, ou seja, produtos que são usados para fazer o ajuste da máquina no início do dia ou após um novo *set-up*.

Cada perda acima descrita gera uma redução da quantidade de itens produzidos, pois diminui o tempo realmente produtivo da máquina.

Uma forma de acompanhar o desempenho de uma máquina é através do uso do índice OEE, que significa *Overall Equipment Effectiveness*, ou seja, Eficiência Global do Equipamento. O OEE é composto por três parcelas ID, IE e IQ, ou seja, pelos índices de disponibilidade, de eficiência e de qualidade. As perdas 1 e 2 irão compor o ID, as perdas 3 e 4, o IE e as perdas 5 e 6, o IQ, conforme demonstrado na quadro 2.2:

QUADRO 2.2 – FÓRMULAS DE CÁLCULO DO OEE

$OEE = ID * IE * IQ$	
Índice de disponibilidade	$ID = \frac{TO}{TTD} = \frac{TTD - (perda_1 + perda_2)}{TTD}$
Índice de eficiência	$IE = \frac{TO - (perda_3 + perda_4)}{TO}$
Índice de qualidade	$IQ = \frac{quant._de_itens_produzidos - (perda_5 + perda_6)}{quant._de_itens_produzidos}$
$TO = tempo\ de\ operação$ $TTD = tempo\ total\ disponível = disponibilidade\ possível - paradas\ programadas$ $TO = TTD - paradas\ por\ quebras\ e\ por\ ajustes\ (perda\ 1 + perda\ 2)$	

FONTE: Adaptado de MARTINS & LAUGENI, 2005, p. 470-471.

O OEE é citado por KENYON, CANEL e NEUREUTHER (2005, p.263-264) como um dos fatores chaves da redução de custos e do aumento da produtividade; conseqüentemente, também do lucro líquido. Os autores

avaliam o impacto do tamanho dos lotes em fatores que diretamente influenciam o OEE, como quantidades produzidas, WIP, lucro, custos operacionais e *lead time*. O OEE é utilizado em muitas empresas para o cálculo de produtividade e há divergências quanto à metodologia do cálculo. De acordo com DAL, TUGWELL e GREATBANKS (2000, p. 1489), há muitos custos escondidos na produção e o OEE é uma ótima ferramenta para localizá-los. Ele serve como ferramenta de *benchmarking* para comparação de desempenho entre linhas de produção, bem como serve para localizar as máquinas que precisam da aplicação de MPT.

Não há um consenso sobre qual o índice mínimo ideal de OEE e na literatura se encontram valores desde 30% até 85%. O valor mais aceito atualmente é o de 85% que foi estabelecido por NAKAJIMA (1988) apud DAL, TUGWELL e GREATBANKS (2000, p. 1491). Ele é composto por 90% de disponibilidade, 95% de eficiência e 99% de qualidade ($0,90 * 0,95 * 0,99 = 0,85$).

O índice de disponibilidade (ID) pode ser calculado desconsiderando-se os tempos planejados como manutenção preventiva, isto é, subtraindo-os da disponibilidade possível como apresentado na fórmula da tabela 2.2. No entanto, estes tempos são também muitas vezes tratados como desperdícios e podem deixar de ser subtraídos da disponibilidade possível, levando a um índice de disponibilidade ID menor e, conseqüentemente, a um OEE também menor. Esta decisão cabe à gerência de produção.

O índice de eficiência (IE) leva em consideração o ciclo de produção da máquina e a velocidade desta em relação ao planejado. Se o ciclo estiver mal calculado o resultado pode afetar positivamente ou negativamente o IE e deve ser periodicamente recalculado para evitar decisões errôneas. Este índice também é afetado por pequenas paradas para reajustes da máquina (reportadas ou não) e por descuido do operador que levam a máquina a parar sem necessidade. Quando uma linha apresenta encadeamento das operações, como é o caso de uma célula, as máquinas mais rápidas, ditas não-gargalos, sofrem paradas esporádicas por falta de peças para processar ou por falta de mão-de-obra (operador ocupado atendendo outras máquinas). Como conseqüência o IE das máquinas não-gargalos será sempre menor do

que o IE da máquina gargalo. Não se pode esperar que máquinas encadeadas numa célula tenham o mesmo IE, pois tal exigência levaria ao desperdício de alto estoque em processo (WIP). Ao se limitar o WIP máximo entre as operações estar-se-á limitando também o ritmo de produção das máquinas não-gargalos. Em se considerando o ID e o IQ iguais para todas as máquinas de uma célula, pode-se afirmar que os OEE's individuais das máquinas não-gargalo serão sempre menores do que o OEE da máquina gargalo.

O índice de qualidade (IQ), por sua vez, leva em consideração a relação entre as peças fabricadas conforme especificação e as peças não conformes. O conhecimento deste índice permite a tomada de ações de melhoria da qualidade de forma mais rápida e eficaz. Este índice pode ser também uma referência da qualidade da operação de *set-up*, pois as peças perdidas em exames para liberar a máquina para produção após o mesmo são consideradas no IQ.

O OEE leva vantagem sobre outras métricas de produtividade, pois é mais transparente e permite localizar mais facilmente os problemas e gerar ações mais focadas na melhoria contínua. O estudo de campo realizado por DAL, TUGWELL e GREATBANKS (2000, p. 1489-1499) numa fábrica de *airbags* para veículos concluiu que, apesar de haver divergências quanto ao cálculo e aplicação do OEE nos vários ramos da indústria, esta é uma ferramenta excelente para acompanhar as melhorias nos processos de produção. Apesar disso, não se deve eliminar outras métricas tradicionais, pois elas podem se complementar. Outro ponto importante é que a aplicação do OEE é dispendiosa e exige treinamento dos operadores, coleta de dados precisa e cálculos diários para ser eficaz. Com isso sua aplicação deve se restringir às linhas de produção com grandes volumes, nas quais o aumento da capacidade produtiva traz benefícios financeiros para a empresa.

- e) Kanban – Kanban é uma palavra japonesa que equivale a cartão ou sinal. Ele é a base do sistema de puxar a produção que se contrapõe ao sistema tradicional de empurrar a produção, típica da era da produção em massa. Conforme OHNO (1997, p.46), o Kanban é uma ferramenta para operacionalizar o JIT e começou com um pedaço de papel dentro de um

envelope de vinil retangular, com informações sobre coleta, transferência e produção de componentes e produtos acabados. A idéia foi tirada dos supermercados americanos e aplicada na Toyota até as últimas conseqüências. Segundo MOURA (1999, p.25), trata-se de um sistema de autocontrole da produção que dispensa outros controles paralelos ou sistemas computacionais. A aplicação do Kanban vai além da informação de quando produzir e fornecer. Ele serve também para melhorar a produtividade, pois reduz o estoque no processo e expõe os problemas a serem solucionados. Na sua forma mais simples o Kanban serve para informar a um fornecedor externo ou interno quando um cliente necessita de material. De acordo com SLACK *et al.* (1997, p. 486) e TUBINO (2000, p. 198) há basicamente três tipos de cartões Kanban:

- Kanban de transporte ou de requisição – serve como uma requisição de material a ser retirado do processo anterior;
- Kanban de produção – serve como uma ordem de produção para que um material retirado para uso possa ser produzido e repostado no supermercado, ou seja, no estoque onde ele é armazenado;
- Kanban de fornecedor – é semelhante ao Kanban de transporte, porém serve para avisar a um fornecedor que ele precisa enviar determinado material.

O Kanban pode eliminar os estoques de peças no almoxarifado e substituí-los por pequenos supermercados de peças próximas ao ponto de consumo (RIBEIRO, 1989, p. 41). Algumas empresas preferem não utilizar o cartão Kanban e sim somente o princípio que ele encerra. Neste caso, o espaço onde determinado material ocupa no chão da fábrica é chamado de “quadrado Kanban” e sempre que o mesmo se esvazia pelo consumo do material ali disponibilizado, o processo fornecedor o repõe. Para informação sobre esta reposição pode-se usar diferentes meios, como por exemplo, o código de barras ou o envio do contenedor (ou contentor) vazio para o processo fornecedor. O mais importante é obter uma sincronização dos processos de forma que todos produzam somente o necessário, no momento e nas quantidades necessárias para abastecer o cliente. Uma empresa cujos processos estejam próximos e integrados não tem necessidade de uso do

Kanban, pois a informação é rápida e transparente. Fazendo uma comparação com um trem, os vagões sendo os processos e a locomotiva, o cliente, o Kanban é o elo que manter os vagões ligados à locomotiva. Se não houver este elo entre os vagões a locomotiva se desloca e os vagões permanecem parados. Quando os processos estão muito próximos este elo é simples de construir, pois a comunicação fica facilitada eliminando, muitas vezes o próprio Kanban. Entretanto, quando os processos estão afastados, ou quando muitos processos fornecem em paralelo para um ou mais processos subseqüentes, por exemplo, para uma linha de montagem, a comunicação da necessidade do cliente tem de ser construída através do Kanban.

Quando se trabalha com muitos produtos numa mesma linha de produção há necessidade de se criar um mecanismo que permita ao operador tomar a decisão sobre o que dar prioridade. Para isso existe o painel kanban onde os cartões de produção são afixados no momento em que um contentor de peças é retirado do supermercado para uso. O painel kanban deve estar o mais próximo possível do operador que precisa desta informação. No painel Kanban deve haver tantos espaços para a colocação de cartões, quanto for a quantidade de cartões de produção calculada. Esta deve coincidir também com a quantidade de espaços para os contentores no supermercado, de forma que, a qualquer tempo, se possa calcular o estoque em processo (WIP) apenas lendo os painéis Kanban. A quantidade de estoque máximo de cada peça a ser mantida no supermercado é calculada em função da demanda diária, do *lead time* de reposição, da capacidade do contenedor e de um coeficiente ou estoque de segurança. As fórmulas são (CORRÊA & GIANESI, 1996, p.95; MOURA, 1999, p.93-95; SLACK, 1997, p.489):

$$K_m = \frac{(DxTe)}{A}(1+X) \quad \text{e} \quad K_p = \frac{(DxTp)}{A}(1+X) \quad \text{ou} \quad K = \frac{D*(Te+Tp)}{A}(1+X)$$

- Km = número de cartões Kanban de movimentação
- Kp = número de cartões Kanban de produção
- K = número total de cartões Kanban (movimentação + produção)
- D = demanda (peças / dia)
- Te = tempo de espera (fração decimal de um dia)

- T_p = tempo de processamento (inclui set-up) de um contenedor (fração decimal de um dia)
- A = capacidade do contenedor (número de peças)
- X = fator de segurança

O objetivo deve ser sempre manter o menor número de cartões Kanban no sistema e, conseqüentemente, o menor volume de estoque em processo. Para isso o coeficiente de segurança e a própria quantidade de cartões devem ser periodicamente reavaliados e readaptados, pois o custo de estoque em processo é alto. De acordo com (MOURA, 1999, p. 136-137), dentre os custos de estoque o pior é o de processo (WIP). Estoques de matéria-prima sem uso e de produto acabado, podem ser vendidos e seus custos parcial ou totalmente recuperados. Entretanto, os estoques em processo, que já agregaram custos de produção, não podem ser mais vendidos, pois já não são, nem matérias-primas aproveitáveis, nem produtos utilizáveis. Seu valor para efeito de desova é somente o de sucata. Além disso, quanto mais estoque em processo existir, maiores serão os *lead times* e menor a flexibilidade do processo para atender à demanda.

O painel Kanban deve ter sempre uma coluna reservada para cada peça a ser produzida no local. Cada coluna deve ter uma forma de prender os cartões Kanban, seja por pino, por imã, ou outro meio seguro qualquer, de forma que não haja risco de eles se soltarem e se perderem. O fundo de cada coluna do painel deve ser pintado com as cores verde na parte inferior, amarelo no meio e vermelho na parte superior. Os cartões são colocados de baixo para cima, ocupando primeiramente a área verde, depois a amarela e por fim a vermelha. A área verde indica que não há necessidade de produção imediata do item, mas já se pode produzi-lo, pois está havendo consumo. A área amarela indica que o item já deve ser produzido com certa urgência e a área vermelha indica que já se está consumindo o estoque de segurança, portanto deve-se produzir o item com a máxima urgência.

No sistema tradicional de “empurrar”, a programação da produção é feita, após o cálculo da previsão de produção, o chamado Plano Mestre de Produção, feito a partir da previsão de demanda. São, então, geradas as encomendas de produção e enviadas para cada etapa do processo para que

estas iniciem a produção. Como estas etapas não estão sincronizadas, haverá necessidade de se utilizar outros meios para informar ao operador o que ele deve fazer e em que seqüência. No JIT a programação e o seqüenciamento das encomendas são realizados apenas para a linha de produção final e toda produção e movimentação anteriores são realizadas através da “puxada” do sistema Kanban. As regras de funcionamento do Kanban são as seguintes (TUBINO, 2000, p.203-204):

- Regra 1 – o processo subsequente deve retirar no processo antecedente os itens de sua necessidade, somente na quantidade e no tempo necessários;
- Regra 2 – o processo antecedente somente pode produzir o que o subsequente requisitar (não se deve de forma alguma superproduzir);
- Regra 3 – somente produtos que estão conforme as especificações podem ir para o supermercado;
- Regra 4 – a quantidade de cartões Kanban deve ser minimizada;
- Regra 5 – o sistema kanban deve se adaptar às pequenas variações da demanda. Esta é uma grande vantagem sobre o sistema empurrado, para os quais estas flutuações se tornam difíceis de administrar por um setor central de programação e controle da produção (PCP).

A implantação do Kanban exige alguns cuidados, a começar pelo envolvimento e comprometimento das pessoas em muitos setores como os de produção (operadores, chefes e gerentes), de PCP, de manutenção, de gestão da qualidade, de engenharia industrial e de logística. O sistema depende quase que exclusivamente do conhecimento do seu funcionamento, da disciplina na aplicação e da reação imediata aos problemas que certamente aparecerão com a diminuição dos estoques em processo. É aconselhável que seja nomeado um coordenador geral para acompanhamento de todas as atividades e do cronograma de implantação. Segundo RIBEIRO (1989, p. 69), a experiência japonesa sugere que este coordenador deve ser necessariamente da área de produção para o resultado ser mais eficaz. Outras ações importantes para uma implantação bem sucedida do Kanban são (MOURA, 1999, p. 140-141):

- Dinamizar o fluxo de materiais, eventualmente com um rearranjo físico em células de manufatura;

- Unir os fluxos de material à montagem final através dos cartões Kanban e dos supermercados estrategicamente distribuídos;
 - Reduzir os tempos de *set-up*;
 - Melhorar o controle do processo com a redução dos defeitos;
 - Implantar a manutenção preventiva e “celular”, ou seja, parar para manutenção preventiva todas as máquinas de uma célula ao mesmo tempo, pois a manutenção de uma implica necessariamente na parada de todas;
 - Treinar os operadores para serem multifuncionais;
 - Balancear o programa de montagem final (nivelamento);
 - Estender o sistema para os fornecedores.
- f) Nivelamento da produção (*heijunka*) – Segundo SLACK *et al.* (1997, p. 489) *heijunka* é uma palavra japonesa que significa nivelamento do planejamento da produção, através do qual o *mix* e o volume de produção se tornam constantes ao longo do tempo. De acordo com BLACK (1998, p.195) nivelar significa planejar e executar uma programação de produção parelha com a distribuição igual de produtos a cada hora ou a cada dia. Para que a produção enxuta seja efetivamente implantada é preciso tanto nivelar, como também balancear e sincronizar a produção. Balancear vem em primeiro lugar e tem a ver com o tempo, isto é, com o cálculo do tempo takt da produção para atender á demanda e regular as células de produção para que trabalhem todas com o mesmo tempo takt. Após o balancear deve-se nivelar a produção para que se produzam pequenos lotes e se ganhe rapidez e flexibilidade. Por fim deve-se, sincronizar todas as células com a linha de produção final, de forma que não se formem grandes estoques intermediários. Nivelar é, portanto, uma forma de suavizar a produção, evitando flutuações ou picos que vão se espalhar pelos processos precedentes, gerando superprodução e estoque em excesso, ou seja, desperdícios. SHINGO (1996, p.158-159) cita o seguinte exemplo de nivelamento da produção: suponha que uma determinada linha fabrique os produtos A, B e C e que as demandas mensais são respectivamente 100.000, 200.000 e 300.000 unidades. Conforme a lógica da produção em massa seria melhor planejar a produção das 100.000 unidades de A nos dez primeiros dias do mês, as 200.000 unidades de B nos dez dias seguintes e as 300.000

unidades de C nos últimos dez dias. Isso iria “otimizar” as máquinas da linha e evitar a realização de muitos *set-up*’s altos e caros. Por outro lado, iria gerar também grandes estoques em processo, além de estoque de produto acabado, pois certamente o cliente não iria querer as 100.000 unidades de A ou as 200.000 de B de uma só vez. Com a redução dos tempos de *set-up* para valores de um dígito, ou seja, de menos de 10 minutos, podem-se quebrar as encomendas em lotes menores a serem produzidos a cada intervalo pré-definido. Uma alternativa seria produzir 1/3 do lote de A, 1/3 do lote de B e 1/3 do de C nos primeiros dez dias do mês, repetindo isso nos restantes vinte dias. Isso iria diminuir os estoques e melhorar o fluxo de produção. Indo mais além seria possível dividir a demanda de A, de B e de C por trinta dias e produzir todos os dias um pouco de cada produto. Os estoques certamente iriam baixar significativamente e a flexibilidade, aumentar. Levando ao limite o nivelamento da produção poder-se-ia pensar em produzir uma unidade de A, depois, duas unidades de B, em seguida, três unidades de C e, assim, sucessivamente o tempo todo durante todos os dias do mês. Para isso os tempos de *set-up* também teriam de ser levados ao limite, porém ao mínimo, próximos de zero. Em alguns processos já se trabalha com este tipo de nivelamento, por exemplo, nas linhas de montagem de automóveis, e é chamado de produção mista.

O nivelamento da produção deve ser calculado para o processo final, por exemplo, para a linha de montagem de um produto e o Kanban se encarrega de nivelar a produção no restante dos processos anteriores. Para facilitar a comunicação e a transparência foi adotado, mais recentemente, o que se chama de *heijunka box*. Trata-se de um quadro onde se pré-determinam os intervalos de tempo de produção, por exemplo, diária ou horária, e onde se colocam as encomendas dos clientes conforme um nivelamento calculado. Desta forma fica claro para todos os operadores o que deve ser fabricado e quando. Pode-se dizer que o *heijunka box* é um quadro Kanban mais detalhado e preciso. Segundo SMALLEY (2004, p. 39), o *heijunka box* teve origem na área de manutenção da Toyota e foi criado para deixar bem claro aos manutentores o que teria de ser feito durante o dia e em que seqüência, conferindo uma visão global do trabalho. Com o seu uso as paradas de

manutenção preventiva puderam ser mais bem distribuídas, minimizando as interrupções da produção. O uso do *heijunka box* na Toyota tem tido sucesso também para sincronizar a produção com as dos fornecedores.

- g) *Set-up* rápido (TRF) – Conforme SLACK *et al.* (1997, p. 483) o tempo de *set-up* é o intervalo entre a parada para troca do processo de produção de um lote de peças até a produção da primeira peça boa do próximo lote. BLACK, (1999, p.131) é mais específico ao definir *set-up* como sendo o tempo decorrido desde a produção da última peça boa de um lote até a primeira peça boa do próximo lote.. O *set-up* rápido ou troca rápida de ferramentas (TRF) teve sua origem em 1950 com um estudo realizado por Shigeo Shingo no setor de prensas da planta Mazda da Toyo Kogyo em Hiroshima, fabricante de veículos de três rodas. Os *set-up*'s das prensas eram muito longos e tornaram-nas gargalos, os quais se queriam eliminar com a aquisição de mais prensas. Nesse estudo ficou evidente para o Sr. Shingo que o *set-up* pode ser de dois tipos: o externo e o interno. O tempo de *set-up* externo engloba todas as atividades que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento, tais como o transporte de matrizes (usadas e novas), preparação e disponibilização de ferramentas, pré-ajustes, etc. O tempo de *set-up* interno agrega as atividades que somente podem ser realizadas com a máquina parada. É o caso da retirada da matriz usada e a colocação e fixação da matriz nova. Os testes para verificação da qualidade das peças também devem ser realizados antes que a máquina inicie a produção regular, por isso são também considerados no *set-up* interno (SHINGO, 2000, p.42-43). De acordo com SHINGO (2000, p. 46-47) o conceito de TRF levou dezenove anos para ser desenvolvido. O maior impulso foi dado em 1969 através da Toyota ao desafiar o Sr. Shingo a reduzir o tempo de *set-up* de uma prensa de 1000 toneladas de quatro horas para menos de duas horas, como já conseguido pela Volkswagen na Europa. Em seis meses de trabalho árduo o tempo foi reduzido para 90 minutos. Ainda não satisfeita a Toyota estabeleceu uma nova meta, agora de menos de 3 minutos, o que foi conseguido após três meses pela equipe do Sr. Shingo. Com este trabalho ficou evidente que é possível reduzir quase todos os *set-up*'s para menos de 10 minutos. Esta atividade foi, então, denominada

de SMED (*Single Minute Exchange of Die*), o que significa “troca de ferramentas em um tempo inferior a 10 minutos, ou um dígito”. A implantação da TRF pode ser feita por meio de um estudo científico utilizando técnicas como a cronometragem contínua dos tempos ou a amostragem do trabalho (*work sampling*). Esta última exige grande número de repetições e se torna muitas vezes inviável. Pode-se também realizar um estudo mais detalhado diretamente no chão-de-fábrica utilizando-se a técnica de entrevistas com os operadores ou a técnica de filmagem e discussão dos detalhes do filme com os operadores (SHINGO, 2000, p.49). Independentemente da técnica utilizada, quatro estágios devem ser seguidos para se alcançar a TRF (BLACK, 1999, p. 148-149); SLACK et. al., 1997, p. 483; SHINGO, 2000, p. 50-51; TUBINO, 1999, p. 124-132):

- Estágio 1 – Identificar e separar o *set-up* interno do externo. O uso de uma planilha ou folha de verificação pode ajudar na análise. Neste primeiro estágio deve-se buscar conhecer o estado atual do *set-up* e procurar eliminar as atividades que não são absolutamente necessárias. Na prática foi comprovado que este estágio consegue eliminar de 30 a 50% do tempo de máquina parada para a execução do *set-up*;
- Estágio 2 – Converter o *set-up* interno em externo. Esta análise demanda bastante conhecimento técnico e requer modificações, tanto de procedimento de trabalho, quanto de projetos de ferramentas, fixadores, encaixes, guias, etc. A padronização neste estágio é bastante recomendada para se ganhar tempo no *set-up* interno. Como exemplo pode-se citar a pré-montagem de ferramentas e matrizes num dispositivo-padrão a ser fixado de uma só vez na máquina e as esteiras de roletes ou mesas com esferas para facilitar o deslocamento e a fixação do dispositivo;
- Estágio 3 – Simplificar e melhorar. Da mesma forma que no estágio 2, aqui também há necessidade de conhecimento técnico para analisar cada atividade do *set-up* interno e procurar meios de simplificar a tarefa. Algumas sugestões são, por exemplo, o uso de dois operadores ao invés de um para acelerar o processo, o uso de fixação com colocações finitas, ou seja, posições de ajuste pré-fixadas, e substituir os parafusos por fixadores rápidos;

- Estágio 4 – Eliminar o *set-up*. O objetivo final da TRF é, sem dúvida, o tempo de *set-up* zero, ou seja, a sua eliminação. Para se alcançar este objetivo desafiador é preciso, muitas vezes, o investimento em mudanças nos projetos dos produtos ou no agrupamento de produtos semelhantes em células de produção focalizadas ou dedicadas. Em alguns processos pode-se fabricar duas ou mais peças de uma só vez, eliminando o *set-up*, por exemplo, numa prensa cujo molde fabrica o pára-choque dianteiro de um veículo e passa a fabricar tanto o dianteiro quanto o traseiro na mesma prensagem.

Além destes quatro estágios, CORREA e GIANESI (1996, p.84) enfatizam a necessidade de se praticar muito o novo método estabelecido para um *set-up* de forma a adquirir rapidez como se faz com os tempos de execução das tarefas de operação. BLACK (1999, p.145) reforça isso sugerindo que além da prática os operadores sejam capacitados a procurar sempre melhorar os métodos dos *set-up*'s e reduzir seus tempos.

FOGLIATTO e FAGUNDES (2003, p.163-181) realizaram uma pesquisa das diversas metodologias de implantação da TRF e propuseram uma nova mais abrangente. Os estágios são:

- Estratégico – convencimento da alta gerência, definição das metas, escolha e treinamento da equipe de implementação e estabelecimento da estratégia de implementação;
- Preparatório – escolha do produto, processo e operação pilotos;
- Operacional – análise da operação, separação do *set-up* interno do externo, conversão de *set-up* interno em externo, prática e padronização do novo método, eliminar ajustes e, se possível, eliminar o *set-up*;
- Consolidação – implantar a TRF em todos os processos e operações da empresa.

Esta metodologia foi testada numa empresa do ramo moveleiro e os resultados foram os seguintes: redução média dos tempos de *set-up* de 83%, redução do lote econômico de processamento de 367 para 154 peças e a redução do custo unitário do *set-up* de R\$ 1,30 para R\$ 0,23.

HAASE E KIMMS (2000, p.159-169) realizaram um estudo para determinar o tempo de *set-up* ideal para uma máquina de usinagem de forma a

maximizar sua produção e minimizar os custos. Como se tratava de um gargalo e o investimento para aquisição de uma segunda máquina seria proibitivo, eles desenvolveram uma metodologia de cálculo matemático para determinar a seqüência ideal de pedidos que minimizasse as paradas da máquina para *set-up*, aumentando sua disponibilidade. Isso vai ao encontro dos princípios do OPT e da Teoria das Restrições (TOC) que serão vistos no item 2.3.2.

- h) Fluxo de produção de uma peça ou fluxo unitário de peças – Conforme citado no item 2.2.2 as células de manufatura trazem inúmeros benefícios para os processos, entre eles a redução dos estoques em processo e do *lead time*. Estas melhorias combatem os desperdícios de superprodução, espera e estoque, além do desperdício de produtos defeituosos, por evitarem que um defeito se alastre pelo lote (ANDERSON, 2004). Entretanto, segundo SHARMA e MOODY (2003, p.106-107), a simples aproximação das operações pode gerar apenas “fluxo falso”, pois mantém altos os estoques em processo e os desperdícios. Não basta reagrupar as máquinas em células, é preciso que se reduza também o lote de transferência entre as operações. O fluxo unitário, ou por lote de transferência de uma peça, permite um fluxo real e mais rápido, além de representar um avanço em relação ao sistema de produção por lotes e ser um dos pontos mais desafiadores da produção enxuta. As falhas do sistema podem ser mais rapidamente encontradas e sanadas, gerando, com isso, maior produtividade. TAJ *et al.* (1998, p. 973-978) verificaram através de simulação que o rearranjo do *layout* de uma linha para formação de uma célula causou queda de produtividade, pois as máquinas e os processos não estavam preparados para a mudança. É preciso reduzir os tempos de paradas de máquinas, inclusive de *set-up* para se atingir a produtividade desejada e algumas vezes os projetos das máquinas têm de ser adaptados. De acordo com CORRÊA e GIANESI (1996, p. 96) e com MOURA (1999, p.13), para se atingir o JIT é preciso duas condições. A primeira é a da flexibilidade da produção e a segunda é a dos *lead times* muito pequenos, sendo que o fluxo unitário de peças é uma das ferramentas para isso, juntamente com o arranjo físico celular.

Conforme cita TUBINO (1999, p.117-118), o desperdício de espera do lote, e que gera os desperdícios de estoque em processo (WIP) são causados pelo fato de que as peças de um lote de transferência precisam esperar as restantes serem processadas, antes de seguirem para a próxima operação. Considerando uma máquina produzindo uma peça a cada 1 minuto e um lote de transferência de 3000 itens, mesmo que a primeira peça fique pronta após um minuto, ela terá de esperar as outras 2999 ficarem prontas para o lote prosseguir. Isso representa um *lead time* de 3000 minutos ou 50 horas e um WIP de 3000 peças somente nesta máquina.

Conforme SHINGO (1996, p. 68-69) a redução das esperas do lote pode ser obtida com a redução do tamanho do lote de transferência e a situação ideal é a do lote unitário. A redução do *lead time* de uma célula é alcançada com o fluxo unitário de peças, independentemente do tamanho do lote de processamento, pois na primeira operação da célula, a primeira peça processada é enviada para a segunda operação e assim por diante até completar o lote no final. As fórmulas que determinam estas duas situações são, segundo este autor, as seguintes:

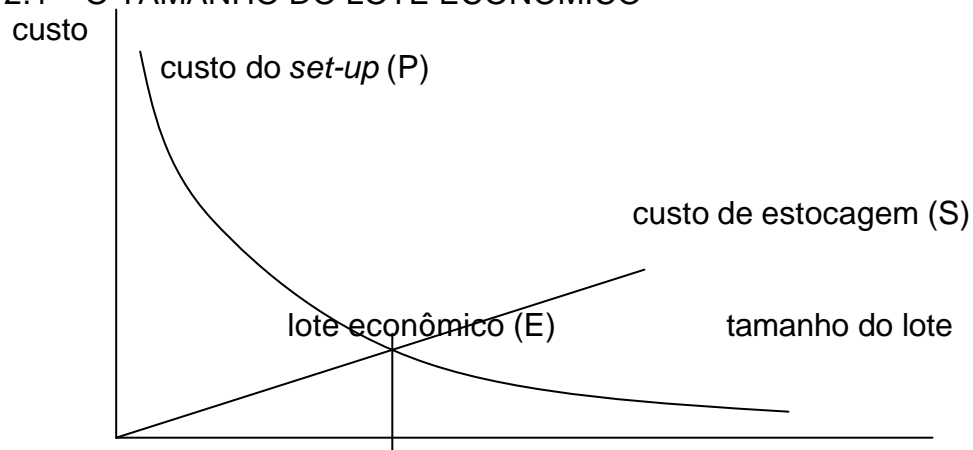
- $L1 = n * T$, sendo $L1$ o *lead time* com lote de transferência igual ao lote de processamento e maior do que um, n o número de máquinas e T o tempo de processamento do lote em cada máquina. Considerando uma célula com cinco máquinas, um lote de 500 peças e tempo de processamento de um minuto em cada uma, obtém-se um $L1$ de 2500 minutos ou 41,7 horas. Com a adoção do lote unitário de transferência entre as operações, mesmo se for mantido um lote de processamento de 500 peças, obtém-se uma grande redução do *lead time*, a saber:
- $L2 = T + (n - 1) * t$, sendo $L2$ o *lead time* com lote unitário de transferência e t o tempo de processamento de uma peça por máquina (n e T , conforme acima descritos). Para o lote de processamento de 500 peças do item I, obtém-se um *lead time* $L2$ de 504 minutos ou 8,4 horas (redução de 79,8%). Caso opte-se por um lote de processamento de 100 peças o $L2$ cai para 104 minutos ou 1,73 horas. O aumento da movimentação do operador para o transporte das peças de forma unitária (uma a uma) pode ser reduzido através de um melhor

arranjo físico da célula, diminuindo a distância entre as máquinas ou via um sistema de transferência por correia transportadora ou escorregadores.

Convém salientar que no caso II tem-se uma redução significativa do desperdício de estoque em processo (WIP), pois há uma redução do estoque entre as máquinas de 500 para uma peça. Além disso, são reduzidos os desperdícios de superprodução, de produtos defeituosos e de espera.

No passado era comum as empresas calcularem o lote econômico de processamento, ou seja, o lote que seria o ponto de equilíbrio entre os custos do *set-up* e os custos de estocagem, minimizando o desembolso financeiro. A Fig. 2.1 ilustra este conceito.

FIGURA 2.1 – O TAMANHO DO LOTE ECONÔMICO



FONTE: SHINGO, Shigeo. **Sistema de troca rápida de ferramentas**: uma revolução nos sistemas produtivos. Porto Alegre: Bookman, 2000, p. 40.

Conforme SHINGO (2000, p. 41), este cálculo era necessário, pois se partia do pressuposto de que os tempos de *set-up* não podiam ser reduzidos e sem o lote econômico ficava difícil saber se os custos estavam ou não minimizados. O lote econômico, no entanto, perde o sentido quando se implanta a TRF numa empresa e os tempos de *set-up* são amplamente reduzidos. Neste caso os custos de *set-up* passam a representar tão pouco que permitem que se trabalhe com lotes mínimos, reduzindo a estocagem e permitindo nivelar e flexibilizar a produção.

WEISSMAN (2006) relata que uma empresa americana de aviação implantou o fluxo unitário na produção de peças para aviões e precisou redesenhar as máquinas para adaptá-las à essa nova forma de produzir. Com isso as máquinas reduziram de tamanho e o exame das peças foi incluído na

operação de cada máquina a fim de não permitir que um problema se alastrasse pela linha antes de ser descoberto. Outra necessidade levantada foi de treinamento da força de trabalho, o que é importante para a detecção e correção imediata dos problemas.

- i) Trabalho padronizado – dentro da filosofia do Sistema Toyota de Produção a melhoria contínua das operações é fundamental para se atingir níveis mais elevados de produtividade. Entretanto é impossível melhorar algo que não se conhece, pelo menos, não em detalhes. Para isso foi introduzido no STP o conceito de trabalho padronizado, também chamado de trabalho padrão ou operações padrões. Esta é a principal diferença entre o trabalho padronizado e o tradicional tempo padrão das operações. Este último considera através de amostragem do trabalho, cronometragem contínua de tempos ou métodos de tempos pré-calculados (MTM) qual o tempo médio que um operador médio leva para desempenhar uma tarefa. Este tipo de análise concentra o foco na operação individual e tem uma importância muito significativa para alguns cálculos, como por exemplo, de custo de produção, de capacidade produtiva e do desempenho. Ele fornece também dados para o balanceamento da linha de produção com a demanda (MARTINS & LAUGENI, 2005, p. 84). O trabalho padronizado utiliza, portanto, os dados de estudos de tempos de operações para preparar a folha de trabalho-padrão, a qual deve conter três elementos básicos de acordo com OHNO (1997, p.40-42): o tempo takt, a seqüência do trabalho e o estoque padrão. Estes elementos serão detalhados a seguir:

- Tempo takt (*takt time*) – a palavra takt vem do alemão e significa compasso musical. Ela foi introduzida no Japão por engenheiros alemães na década de 30 com o sentido de ritmo ou compasso de produção (SHOOK, 1998 apud ALVAREZ e ANTUNES, 2001, p.6). O tempo takt é o tempo máximo necessário para fornecer uma peça e é calculado dividindo-se o tempo disponível para fabricação pela quantidade a ser produzida, conforme a demanda dos clientes. Ele é considerado o ritmo em que os clientes compram, portanto o ritmo que a produção deve seguir para atender à demanda, sem gerar estoques em processo desnecessários (ritmo da demanda).

$$tempo_takt = \frac{tempo_disponível_para_a_produção}{demanda_dos_clientes_no_mesmo_período}$$

Exemplo: para uma linha de montagem atender à demanda de 1000 peças por dia ela trabalha em três turnos, logo o tempo takt = 1440 min / 1000 peças, ou seja, 1,44 minutos / peça. Isso significa que para atender à demanda nenhuma operação da linha pode exceder 1,44 min./ peça. Conseqüentemente o tempo takt se torna o referencial, tanto para a linha de montagem, como para a sincronização de todas as linhas de produção que enviam peças para a montagem. De acordo com ALVAREZ e ANTUNES (2001, p.5), o tempo takt é a base das folhas de operações padrões e serve para garantir a cadência da produção. Utilizam-se em geral as lâmpadas ou painéis andon para sinalizar o tempo takt e o tempo atual da linha. Desta forma os operadores sabem se estão atrasados, adiantados ou no ritmo da linha final (do cliente). Alguns autores chamam o tempo takt de tempo de ciclo, mas isso não está correto. Conforme afirmam ALVAREZ e ANTUNES (2001, p.5), o de tempo de ciclo é o tempo necessário para a execução do trabalho em uma peça, ou seja, é o tempo transcorrido entre o início e o término da produção de duas peças sucessivas de um mesmo modelo (ROTHER & SHOOK, 1998). O tempo de ciclo, portanto, deve ser sempre menor do que o tempo takt para que a demanda possa ser atendida. Com um OEE de 85% na célula, por exemplo, o tempo de ciclo deve ser no máximo 85% do tempo takt. Eles nunca podem ser iguais, pois há sempre paradas de produção que causam perdas de tempo não planejadas e, conseqüentemente, aumento do tempo de ciclo médio, tais como, quebras de máquinas e de ferramentas, falta de peças, fadiga do operador, etc. Estes problemas da produção não devem ser descontados simplesmente do tempo disponível para o cálculo do tempo takt, pois isso estaria apenas encobri-ndos. O cálculo da mão-de-obra geraria uma necessidade de mais operadores do que o necessário, o que é um desperdício. Por ser o norteador das decisões de alocação de recursos e de melhorias nas operações, além de demandar rearranjos significativos em todo sistema produtivo, o tempo takt não deve ser recalculado com muita freqüência e exige uma produção nivelada. Segundo ALVAREZ e ANTUNES (2001, p.16), o Kanban faz esta

função melhor do que o tempo takt na produção em lotes. Já para a produção unitária como a de automóveis, ou internamente às células com fluxo unitário, o tempo takt tende a ser uma ferramenta de aplicação mais adequada. Isso vem ao encontro da afirmação de TUBINO (1999, p. 144) de que nos sistemas de produção JIT com *layout* celular e fluxo unitário, o tempo takt pode ser um regulador do ritmo da produção. Por outro lado, nas linhas com *layout* funcional é preciso trabalhar com o inverso do tempo takt que é a taxa de produção, dada, por exemplo, em peças / minuto. Para um tempo takt de 1,44 minutos / peça, tem-se uma taxa de produção de $(1 / 1,44)$ ou 0,69 peças / minuto.

- Seqüência do trabalho – definição do conteúdo básico e da seqüência de operações que um determinado operador deverá executar para atender o tempo takt. Ela deve compor a folha de operações padrões a ser colocada na linha de produção como referencial de treinamento dos operadores. Portanto, a seqüência do trabalho é diretamente dependente do tempo takt. Se ele aumenta ou diminui, a supervisão deve rever e atualizar a folha de operações padrões, treinar os operadores novamente e determinar se há necessidade ou sobra de mão-de-obra.
- Estoque padrão – é a quantidade de peças que deverá ser mantida em cada operação, a fim de garantir o atendimento do tempo takt (estoque em processo ou WIP)

O trabalho padronizado permite melhorar o treinamento dos operadores e auxilia-os a participar de forma mais ativa no planejamento do trabalho e acompanhamento do trabalho. Esta transparência abre espaço para a melhoria contínua.

2.3 A TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC)

2.3.1 Histórico

Na década de 70 Eliyahu Goldratt, um físico israelense, foi convidado por um parente para tentar ajudá-lo na sua empresa fabricante de gaiolas para pássaros que estava se saindo muito mal. Aplicando seus conhecimentos da física, ele analisou a gestão da produção da empresa e desenvolveu um sistema que aumentou largamente a produção, sem onerar as despesas operacionais (NOREEN,

SMITH, e MACKEY, 1996, p.5). Este sistema de programação da produção foi chamado de OPT (Tecnologia da Produção Otimizada) que consistia num sistema MRP com capacidade finita, o qual se tornou sinônimo de Teoria das Restrições ou TOC (CORRÊA & GIANESI, 1996, p.143). Ficou constatado na prática que o uso deste *software* não garantia o sucesso da empresa quando os processos não eram suficientemente conhecidos e não estavam estabilizados. Além disso, tratava-se de um sistema caro e fechado, conhecido como “caixa preta”, e que tornava o cliente dependente do fornecedor do serviço. Outro ponto crítico era o desconhecimento total das pessoas sobre os conceitos defendidos pela TOC, o que levou Goldratt escrever e lançar um livro tratando do assunto. Assim, com o livro “A Meta”, GOLDRATT & COX (1992) conseguiram difundir os conceitos de recursos gargalos, não gargalos e o processo de raciocínio da Teoria das Restrições. Mais tarde o processo de raciocínio TOC foi assunto para mais livros de Goldratt, como “Mais que Sorte... Um Processo de Raciocínio”, no qual trata de assuntos mais estratégicos e aplicação da TOC em marketing. Seguindo a linha de trazer conceitos e princípios mostrando sua aplicabilidade prática através de romance, Goldratt lançou o livro “Corrente Crítica”, através do qual demonstra como a TOC pode ser aplicada a projetos. Na seqüência a TOC foi sendo compreendida e outros livros foram sendo lançados, não somente por Goldratt, além de artigos e cursos de treinamento, sobre a TOC aplicada à logística de distribuição e à contabilidade. A partir de 1991 Goldratt começou a concentra-se em ensinar as pessoas mais detalhadamente o processo de raciocínio da TOC para a solução de problemas, que é ainda pouco utilizado pelas empresas, por ser pouco conhecido. Hoje o Instituto Avraham Y. Goldratt oferece programas educacionais e de treinamento de curta, média e longa duração a respeito da TOC.

2.3.2 Princípios da Teoria das Restrições

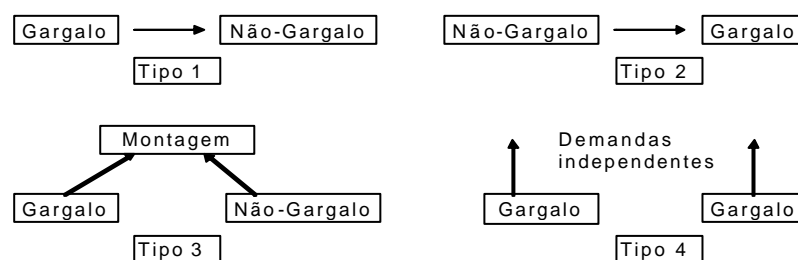
A TOC parte do princípio de que o objetivo de qualquer empresa é ganhar dinheiro sempre. Conforme BERTAGLIA (2003, p.393), todo sistema tem pelo menos uma restrição que o impede de obter uma quantidade infinita daquilo que tem como objetivo. No caso de uma empresa com fins lucrativos, isso se traduz em lucros infinitos. Se um administrador deseja melhorar o desempenho do seu negócio

ele tem somente uma escolha, ou seja, descobrir suas restrições, gerenciá-las e reduzi-las. Portanto uma definição de restrição, também chamada de gargalo, poderia ser qualquer coisa que limita o desempenho de um sistema, ou, conforme Goldratt, qualquer coisa que limita um sistema, evitando que o mesmo consiga um maior desempenho em relação à meta e não atinja resultados infinitos. As restrições podem ser físicas, humanas, políticas culturais ou de mercado (NOREEN, SMITH, e MACKEY, 1996). Quando algo, por exemplo, um recurso, não restringe um sistema ele é chamado de não-restrição ou não-gargalo.

A TOC obedece à nove princípios básicos, utilizados no *software* OPT, conforme CORRÊA & GIANESI (1996, p.163):

- 1) Balanceie o fluxo e não a capacidade – para isso é fundamental que se conheçam os gargalos e se balanceie o fluxo e não a capacidade de cada recurso individualmente. O que faz a diferença é um fluxo contínuo e balanceado de materiais (esta meta vai ao encontro da filosofia da produção enxuta). Segundo MOURA (1999, p.227) a TOC tem como lema que “a somatória dos ótimos individuais ou locais não é igual ao ótimo global”. Isso se contrapõe à teoria da mão invisível de Adam Smith de que se cada um fizer o que é melhor para si, todos sairão ganhando.
- 2) A utilização de um recurso não-gargalo não é determinada por sua disponibilidade, mas por alguma outra restrição do sistema (um gargalo) – a figura 2.2 apresenta as diversas relações entre gargalos e não-gargalos.
- 3) Utilização e ativação de um recurso não são sinônimas – ativar um recurso não-gargalo para produzir mais do que um recurso gargalo não é utilizar o recurso, pois não contribui para o sistema, somente gera mais estoque, aumentando o tempo de ciclo e os custos.

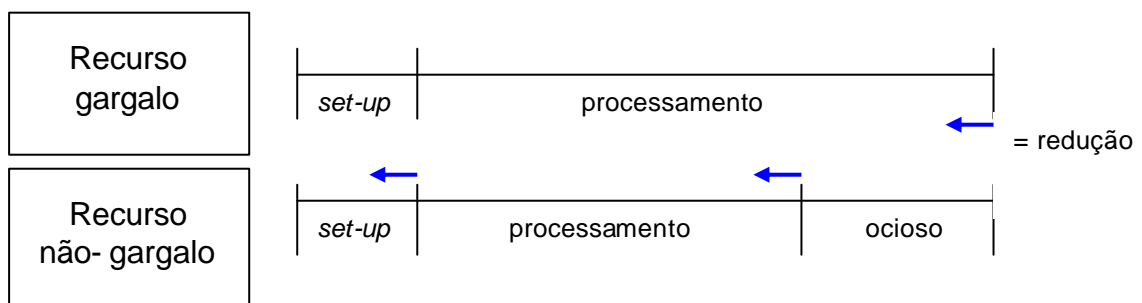
FIGURA 2.2 – RELACÃO ENTRE RECURSOS GARGALOS E NÃO-GARGALOS



FONTE: Adaptado de CORRÊA & GIANESI (1996, p.145)

- 4) Uma hora ganha num recurso-gargalo é uma hora ganha para todo o sistema, logo, uma hora perdida num recurso gargalo é uma hora perdida para todo o sistema – reduzir o tempo de *set-up* de um recurso não-gargalo somente aumenta o tempo de ociosidade deste e não melhora o desempenho do sistema.
- 5) Uma hora ganha num recurso não-gargalo é só uma miragem – conforme a figura 2.3 a redução do tempo de *set-up* de um recurso não gargalo somente tem sentido se for para reduzir o tamanho dos lotes de processamento e aumentar a variação do *mix* de produtos de forma a fazer chegar material mais depressa no gargalo. Com isso se evita a sua parada por falta de material. O cálculo do lote econômico perde o sentido tanto para recursos gargalos, quanto não-gargalos. O mais importante é processar no gargalo o máximo que o recurso permite de forma a otimizar ao máximo sua utilização.

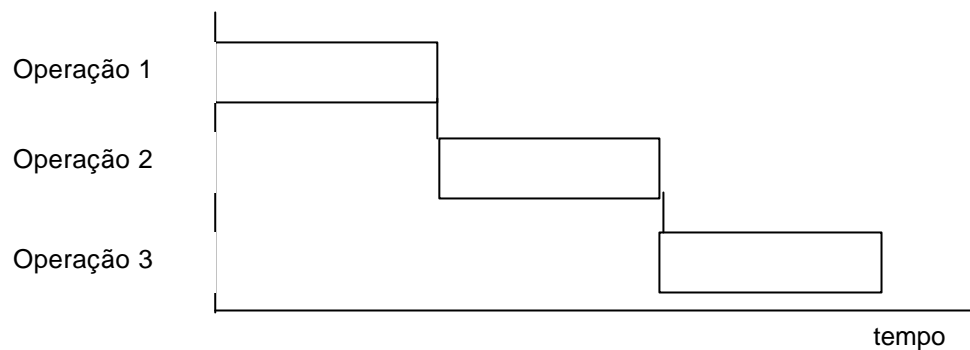
FIGURA 2.3 – COMPONENTES DO TEMPO DISPONÍVEL



FONTE: adaptado de CORRÊA & GIANESI (1996, p.147)

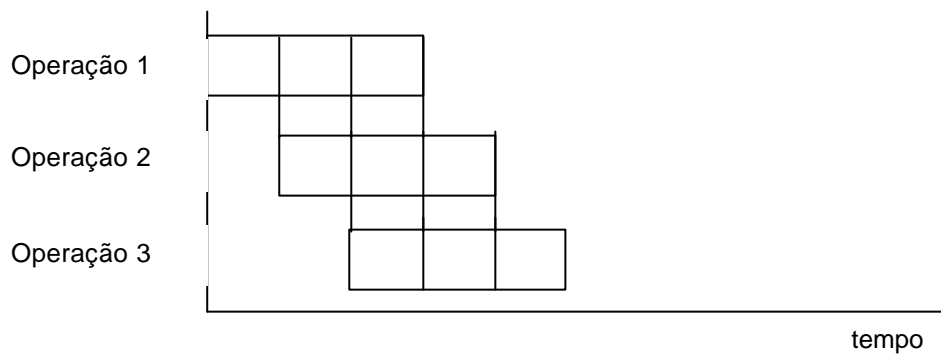
- 6) Um lote de transferência pode não ser, e freqüentemente não é, igual ao lote de processamento – um lote de processamento é aquele entre dois *set-up*'s. Já o lote de transferência é uma fração do de processamento e deve ser minimizado para melhorar o fluxo de produção e diminuir os estoques em processo (WIP) e os *lead times*. Isso está demonstrado nas figuras 2.4 e 2.5.

FIGURA 2.4 – LOTE DE TRANSFERÊNCIA IGUAL AO LOTE DE PROCESSAMENTO



FONTE: CORRÊA & GIANESI (1996, p.150)

FIGURA 2.5 – LOTE DE TRANSFERÊNCIA DIFERENTE (1/3) DO LOTE DE PROCESSAMENTO



FONTE: CORRÊA & GIANESI (1996, p.150)

- 7) O lote de processamento deve ser variável e não fixo – para se definir o lote de processamento deve-se levar em consideração as características do processo.
- 8) Os gargalos não só determinam o fluxo do sistema todo, mas também definem seus estoques – as flutuações estatísticas são eventos aleatórios que ocorrem nos processos produtivos e que influenciam o resultado global. Eventos como, incerteza na operação, falta de consistência do operador, quebras de máquinas e/ou ferramentas e problemas de qualidade, ocorridas numa operação acabam por influenciar as operações posteriores. Quando estes eventos atingem o gargalo, todo o sistema fica prejudicado. Para se evitar isso deve-se proteger o gargalo com um estoque pulmão de tempo (*time buffer*) em pontos estratégicos do processo produtivo. O mais comum é o estoque pulmão de tempo imediatamente antes do gargalo de forma a absorver as flutuações estatísticas geradas nas operações anteriores. A

medida que o efeito destas flutuações diminuem, este estoque pulmão pode ser reduzido, por exemplo, pela introdução da manutenção preventiva e produtiva total (MPT) e a redução das paradas de máquina para manutenção corretiva ou troca de ferramentas quebradas.

- 9) A programação de atividades e a capacidade produtiva devem ser consideradas simultaneamente e não seqüencialmente. *Lead times* são o resultado da programação e não podem ser assumidos a priori – A programação da produção conforme a TOC e através do *software* OPT é feita levando-se em consideração as capacidades dos recursos e priorizando a otimização da produção no gargalo. Conseqüentemente os *lead times* não podem ser previamente determinados, já que dependem das filas nos estoques pulmão e da forma como a programação é realizada.

2.3.3 O Sistema de Programação Tambor-Pulmão-Corda (TPC)

Na TOC a filosofia de programação da produção se chama Tambor-Pulmão-Corda se diferencia do JIT/Kanban na medida em que centraliza os estoques pulmão antes dos gargalos e em alguns pontos que protegem os gargalos das flutuações estatísticas. O Kanban é um método de puxar a produção (*pull system*) e a programação é nivelada e liberada para a linha final que irá puxar as demais. O TPC, por outro lado, é um método chamado de puxar-empurrar (*push-pull system*), pois considera que o pulmão é que deve ter sua produção planejada e nivelada para puxar as operações anteriores. As operações posteriores são empurradas pelo gargalo, uma vez que tem capacidades maiores e somente irão processar aquilo que o gargalo fornecer. No método TPC o “tambor” é quem dá o ritmo de produção, portanto é o gargalo ou também chamado de RRC, ou recurso crítico de capacidade. O “pulmão” é o estoque antes do gargalo e a “corda” é uma forma de comunicação entre o gargalo e a primeira operação. Em outras palavras, à medida que o gargalo (tambor) processa peças, ele abre espaço no estoque (pulmão), o qual é repostado pelas operações anteriores quando elas recebem esta informação (corda). A corda pode ser, por exemplo, a esteira de uma linha de montagem (sistema fordista), o retorno dos cartões Kanban de produção das peças usadas pelo gargalo a um painel estrategicamente colocado na primeira operação ou um painel andon com a

informação do tempo de ciclo do gargalo (NOREEN, SMITH, e MACKEY, 1996; GOLDRATT & COX, 1996; GOLDRATT & FOX, 1992, BERTAGLIA, 2003).

2.3.4 O Processo de Melhoria Contínua e o Processo de Raciocínio TOC

Para uma boa gestão de um sistema de produção a TOC recomenda que sejam seguidos os cinco passos seguintes (NOREEN, SMITH, e MACKEY, 1996, p.44-48; BERTAGLIA, 2003, p.394):

- 1) Identificar as restrições do Sistema – localizar o(s) gargalo(s) através de uma análise ou mapeamento do processo. Muitas vezes pode acontecer que se descubra que a restrição está fora da empresa, por exemplo, no mercado. Numa análise mais cuidadosa é possível que se descubra que na realidade a real restrição está em alguma política de marketing da empresa que precisa ser mudada. É relativamente grande a quantidade de restrições que as políticas ou a cultura da empresa criam. É necessário que se esteja preparado para realizar algumas mudanças de paradigmas para quebrar estas restrições. Neste caso deve-se pular os passos 2 e 3 e ir direto ao passo 4;
- 2) Explorar as restrições do sistema – procurar alternativas para aumentar a capacidade do gargalo através de ações gerenciais, tais como, aumento da mão-de-obra no gargalo (se possível), revezamento no horário de almoço e intervalos de descanso de forma que o gargalo não pare, redução dos tempos de parada e tempos ociosos no gargalo devido a *set-up's* e a problemas de qualidade de material e de confiabilidade das máquinas, uso de técnicas da pesquisa operacional para otimizar o gargalo, etc;
- 3) Subordinar qualquer outra coisa à decisão acima – todos os recursos não-gargalos devem ser subordinados ao recurso gargalo de forma que se mantenham mínimos os estoques em processos e os *lead times* e se garanta um fluxo balanceado. Aqui vale o primeiro princípio da TOC “balanceie o fluxo e não a capacidade”;
- 4) Elevar as restrições – se as ações para explorar o gargalo já foram tomadas e ainda persiste a restrição para atender o cliente, deve-se tomar novas ações, agora de “quebra do gargalo”. Alguns exemplos são o aumento de mais um

turno de trabalho, a liberação de horas extras, a aquisição de nova máquina, a terceirização de parte do trabalho para outras empresas capacitadas, etc. É importante o estudo do custo-benefício destas ações antes de serem tomadas;

- 5) Voltar ao passo 1, não deixe que a inércia seja a maior restrição no sistema – após a elevação ou “quebra” de um gargalo, o novo gargalo deverá ser rapidamente identificado para que o processo continue. É preciso ficar atento ao fato de que uma restrição não-gargalo possa estar muito próxima de um gargalo e as ações de “quebra” deste ficam praticamente sem efeito, pois imediatamente esta nova restrição aparece e limita os benefícios. Ao se fazer um mapeamento deste processo no passo 1 este fato já deve ficar transparente. O processo de raciocínio TOC inicia pelas perguntas: “O que mudar?”, “Para o quê mudar?” e “Como mudar?” Para responder à essas perguntas deve-se lançar mão de ferramentas analíticas formais desenvolvidas por Goldratt a serem usadas em conjunto ou separadamente. São elas (NOREEN, SMITH, e MACKEY, 1996, p.151-182):

- Árvore da realidade atual (o que mudar) – trata-se de um mapa de causa-efeito através do qual, partindo-se de muitos efeitos se cheguem a poucos “problemas cerne”, ou seja, problemas básicos.
- Diagrama de dispersão de nuvem – é um mapa que verifica porque um determinado problema cerne apresenta um conflito e não pode ser resolvido sem uma concessão, chamada de negociação “perde-perde” por Goldratt.
- Árvore da realidade futura – trata-se de um mapa que define quais ações podem solucionar o problema cerne. Com essa ferramenta são testadas estas ações pra se ter certeza de que são realmente as soluções corretas e que não se está introduzindo novos problemas.
- Árvore de pré-requisitos – nela vai se verificar quais obstáculos podem ser vislumbrados ao se adotar as ações para solução dos problemas e quais as melhorias a serem feitas até se chegar a ações concretas e que minimizem o risco de falhas;
- Árvore de transição – é o plano de ação para a implementação das soluções encontradas. Segundo pesquisa realizada em várias empresas por NOREEN, SMITH, e MACKEY (1996, p.178) as ações definidas a partir da

Árvore de pré-requisitos foram mais consistentes e apresentaram um índice mínimo de rejeição ou fracasso em comparação com outras ações implantadas sem essa análise.

2.3.5 A Contabilidade de Ganhos

Tradicionalmente se usam os custos para avaliar uma empresa e os parâmetros gerenciais de avaliação do negócio se baseiam normalmente no lucro líquido, na taxa de retorno do capital sobre o investimento (RRI) e no fluxo de caixa. A contabilidade de custos por absorção apresenta uma limitação importante às melhorias obtidas pela TOC, pois não considera o aumento no inventário (estoques) no resultado e sim a redução do preço por unidade que ele representa e acaba por incentivar o acúmulo de inventário na empresa. Goldratt propõe uma mudança conceitual e sugere a adoção dos seguintes parâmetros: ganho, inventário e custo operacional. O ganho é todo o capital gerado pelo sistema através das vendas e é a diferença entre o faturamento e os custos totalmente variáveis (matérias-primas). Inventário é todo capital investido na compra de matérias-primas a serem transformadas em produtos vendáveis. Por fim, despesas operacionais é todo capital gasto para transformar inventário em ganho. Estes parâmetros mostram que o aumento do estoque em processo é nocivo, pois aumenta as despesas operacionais do sistema. Através destes parâmetros fica mais facilmente identificável quais ações desde as estratégicas até as operacionais que realmente trazem melhoria no ganho ou somente aumento de inventário e de despesas operacionais (GOLDRATT & FOX, 1992, p.20-33; NOREEN, SMITH, e MACKEY, 1996, p.14-25).

2.4 A SIMULAÇÃO DE PRODUÇÃO

2.4.1 Origem da Simulação

A literatura indica que desde os povos mais antigos já se procurava simular a natureza e os seres vivos através da escultura, da pintura, da escrita e da matemática. O método analítico é até hoje utilizado para modelar, compreender fenômenos e procurar encontrar soluções adequadas a problemas. Entretanto, na

área administrativa este método apresenta algumas desvantagens consideráveis. A maior delas é a necessidade de abstração excessiva para a modelagem, de forma que o modelo não mais retrata a realidade. Para garantir a isomorfia, ou seja, uma proximidade da realidade suficientemente grande para os resultados serem confiáveis, se faz necessário o uso de simulação computacional (PROTIL, 2001 p. 1536). A origem da simulação de sistemas se deu no início dos anos 40 com o projeto da bomba atômica.

Sistema para este estudo será considerado um conjunto de objetos ou entidades, ou seja, pessoas e máquinas, que possuem alguma interação ou interdependência de forma a atingir um objetivo (LAW e KELTON, 1991 p. 3). Segundo estes autores um sistema pode ser discreto ou contínuo. Será discreto quando suas variáveis se alteram somente de tempos em tempos e contínuo, quando estas se alteram continuamente ao longo do tempo.

Simular significa reproduzir o funcionamento de um sistema, com o auxílio de um modelo que permita testar hipóteses sobre o valor de variáveis controladas. Para PRADO (1999 p. 93), simular significa compreender as características de um sistema através de outro sistema similar. Simulação, segundo este autor, é uma técnica para se chegar à solução de um problema através da análise de um modelo que apresenta características similares ao real fazendo-se uso da computação digital. Simulação, conforme BATEMAN *et al.* (1999, p.2) é um processo de experimentação com um modelo que retrate um sistema real, a fim de se verificar como ele reagiria às modificações propostas. A simulação é uma área multidisciplinar e seus métodos encontram aplicação em diversos campos, tais como: informática, engenharia da produção, ciências administrativas, pesquisa operacional, estatística, engenharia de sistemas, biologia, etc. Segundo os autores Bietham e Shannon citados por PROTIL (2001, p. 1537), simulação é uma técnica numérica, que utiliza um modelo lógico-matemático, baseado em um sistema real, para realizar experimentos dinâmicos com a ajuda de um computador. O objetivo maior da simulação é compreender e descrever o comportamento de um sistema real quando se modificam as variáveis que o compõe e delimitam.

Para melhorar o desempenho de um sistema real utiliza-se o que PRADO (1999, p. 15) define como modelagem de sistemas e que é o eficiente e otimizado funcionamento do mesmo em termos de custo e de satisfação do cliente. A

modelagem remonta aos tempos de Isaac Newton e seu grande impulso ocorreu com o desenvolvimento de computadores, ou seja, é um fenômeno relativamente novo. Isso não permitiu ainda que se chegasse a um consenso em torno das terminologias envolvidas. A modelagem pode envolver mudanças de instalações, arranjo físico, de equipamentos, automatização, alocação de mão-de-obra, etc, que impactem na tomada de uma decisão gerencial envolvendo investimento de capital. O que se pretende, portanto, com o uso da simulação é ter a possibilidade de tomar uma decisão antecipadamente à realização de uma ação, de modo a se evitar erros e custos desnecessários.

Na modelagem de sistemas se dá muita atenção aos gargalos para se atingir o seu balanceamento ideal. As técnicas para modelagem de sistemas mais conhecidas são a teoria das filas e a simulação. A teoria das filas analisa as diversas modalidades de filas existentes e estabelece fórmulas para o cálculo do dimensionamento ótimo do sistema a fim de manter as filas minimizadas. Originalmente a teoria das filas foi desenvolvida por Erlang na Dinamarca para dimensionar centrais telefônicas e muitas décadas mais tarde foi aplicada a outros problemas de filas (bancos, pedágios, hospitais, consultórios, etc). A desvantagem do uso desta teoria é sua complexidade matemática e a exigência de estabilidade no fluxo de chegadas às filas e no atendimento, o que nem sempre se evidencia na prática. A simulação permite que se modele um sistema muito mais próximo do real, aumentando a confiabilidade nos resultados e nas decisões.

A confiabilidade e a disponibilidade de um sistema podem ser avaliadas e determinadas através de simulação. Sendo conhecidos o tempo médio entre falhas (MTBF) e o tempo médio de reparo (MTTR), pode-se simular o funcionamento de um equipamento e planejar a manutenção preventiva, inclusive com a análise de custo versus disponibilidade (PRADO, 1999 p.20).

Com a intensificação da necessidade de realização de pesquisa operacional para otimização de sistemas, por vezes muito complexos, e pela disponibilidade de computadores de grande capacidade de processamento e softwares amigáveis, hoje a simulação se tornou uma técnica largamente utilizada (PRADO, 1999 p. 15-20).

A simulação pode ser de dois tipos, estocástica e determinística. A simulação estocástica prevê que as variáveis de saída (dependentes) sofrem alterações quando as variáveis de entrada (independentes) apresentam variações aleatórias.

Neste caso para se obter um resultado confiável é preciso que se rode o modelo várias vezes a fim de se obter valores de saída suficientes para uma análise de confiabilidade. Neste caso a probabilidade de ocorrência dos valores das variáveis de saída é menor do que um. A simulação determinística pode ser considerada uma simplificação da estocástica, quando as variáveis de saída apresentarem resultados com probabilidades de ocorrência exatamente iguais a um (PROTIL, 2001 p. 1538).

Hoje existem no mercado *softwares* de simulação muitos abrangentes, rápidos e amigáveis, tais como, Arena, ProModel, Automod, Witness, entre outros. O ProModel da Promodel Corporation, utilizado nesta dissertação de mestrado, é um destes *softwares*.

2.4.2 Aplicações Práticas

A grande aplicação da simulação nos dias de hoje está na pesquisa operacional, onde se procura a otimização de sistemas através do estudo de alternativas de dados de entrada e do respectivo *output*, ou seja, os dados de saída. Testar sistemas produtivos e de logística de forma prática é totalmente inviável economicamente e apresenta alto risco de falhas e interrupções indesejadas. LEMOS (1999), realizou estudos através de simulação para determinar o número de cartões kanban para uma linha de produção e LOURENÇO (2002) aplicou simulação para a implantação da produção enxuta numa linha de produção não seriada. CZARNECKI & NICOLAS (2000, p.1-6) realizaram uma aplicação de simulação para auxiliar no mapeamento do estado atual de uma linha de perfil tradicional e uma alternativa com os princípios da produção enxuta. O resultado foi a obtenção de informações preciosas para a determinação e testagem do estado futuro da linha.

NILSSON, MONTEVECHI e DUARTE (2003, p.1-6) realizaram um experimento com simulação para encontrar o layout adequado para uma célula de usinagem de anéis de ferro fundido. Partindo da linha atual foi proposta uma alternativa com as mesmas quantidades de máquinas e operadores, porém com novo layout. Através da simulação se comprovou que haveria ganhos, porém o gargalo ainda assim estaria bloqueado. Uma nova alternativa foi testada, agora com uma máquina e um operador a mais na célula e ficou comprovado que, mesmo com estes investimentos os ganhos de produtividade viabilizavam as mudanças.

Alguns estudos reportados por RIVERO & PIEDRAHITA (2001, p.41-141), demonstram a gama enorme de aplicações de simulação em diversos processos produtivos e logísticos. Um estudo interessante realizado foi a aplicação de simulação para a melhoria da produtividade de uma linha de produção. O modelo e a avaliação foram baseados nos conceitos da Teoria das Restrições de Goldratt. Outros estudos apresentados por estes autores foram:

- Modelagem de caixas de banco (atendimentos pessoal e automático) através do conceito da Teoria das Filas a fim de determinar o nível de atendimento e o tamanho máximo das filas;
- Modelagem de sistemas dos tipos empurrado e puxado, tendo sido usados os conceitos de MRP, JIT, TPC (tambor-Pulmão-Corda da TOC) e Conwip (sistema puxado em que uma peça entra no sistema somente se e quando uma peça sai do sistema, mantendo o estoque pulmão sempre constante). Conforme a simulação executada o melhor desempenho foi obtido com o Conwip;
- Modelagem de carga e descarga de caminhões para melhoria do desempenho de uma empresa
- Modelagem de rotas para transporte de cargas.

A aplicação da simulação como ferramenta para tomada de decisão ainda não está largamente difundida nas empresas, pois o investimento em software ainda é alto. Além disso, sua aplicação demanda conhecimento profundo e nem todos os softwares são suficientemente simples e amigáveis aos usuários. McLEAN & LEONG (2001 p. 1478-1486) realizaram um estudo sobre os tipos de interfaces que poderiam ser padronizadas a fim de reduzir a complexidade dos softwares e permitir sua aplicação nas empresas de forma mais simples, barata e eficaz.

2.4.3 Funcionamento e Terminologia da Simulação

Nos estudos analíticos procura-se sempre quantificar algo para resolver um problema dentro de um processo ou sistema e as variáveis matemáticas são usadas para isso. Considerando que a representação da variável “tempo de ciclo” de uma peça numa máquina é TCO e que o “total de peças produzidas em 960 minutos” (dois turnos) é TPA, a representação matemática da relação entre estas variáveis é $TPA = 960 / TCO$ (total de peças produzidas por dia).

De acordo com as regras ou instruções estabelecidas as variáveis podem assumir valores específicos. Considerando ainda o exemplo acima, e que o tempo de ciclo é de um minuto/peça, tem-se que a máquina possui capacidade para produzir 960 peças por dia. Supondo que se deseja saber quando e quanto a produção ultrapassou 960 peças por dia, deve ser criada uma nova variável, por exemplo, EXCO cuja fórmula matemática é $EXCO = TPA - 960$. A instrução para este caso deve ser: Se $TPA > 960$, então $EXCO = TPA - 960$. Caso TPA assumisse um valor 1000, seria calculado $EXCO = 1000 - 960$, resultando em 40 peças. Ao final de 960 minutos a variável TPA deve ser zerada para caracterizar o término de um dia de trabalho.

Um evento é qualquer acontecimento importante para análise do fenômeno simulado e pode ser, por exemplo, a chegada de um cliente a uma fila de banco, a entrada ou saída de uma peça numa máquina, a quebra de um equipamento, etc. A simulação de eventos discretos é considerada um processo repetitivo e é composta de instruções com características estocásticas ou determinísticas. Através das instruções e das mudanças das condições causadas por eventos, as variáveis são calculadas e apresentadas de forma numérica ou gráfica. Segundo BATEMAN *et al.* (1999, p. 12), um modelo de simulação de eventos dinâmicos e discretos é aquele que muda ao longo de tempo em instantes distintos e que segue a seguinte seqüência de instruções:

- a) Determina o evento que virá na seqüência;
- b) Ajusta uma variável temporal num valor igual ao tempo deste evento;
- c) Atualiza as variáveis estatísticas envolvidas;
- d) Efetua os cálculos;
- e) Programa o tempo para próxima ocorrência do evento.

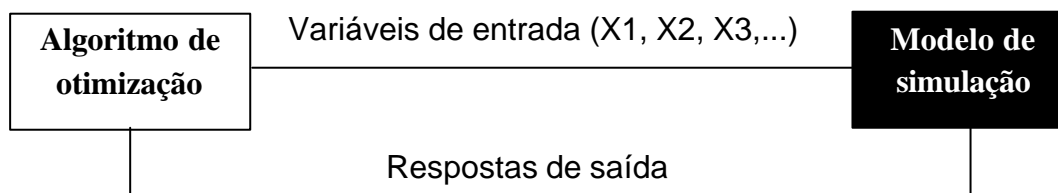
De acordo com HARREL *et al.* (1997, p. 17-22) e BATEMAN *et al.* (1999, p.15-20) a terminologia da simulação pode ser resumida da seguinte forma:

- a) Estado do sistema – conjunto de variáveis estocásticas e determinísticas que descrevem um sistema num dado momento;
- b) Evento discreto – evento que ocorre num único momento;
- c) Relógio de simulação (*clock*) – dispositivo de controle temporal para simulação de eventos discretos;
- d) Evento contínuo – é uma ação ininterrupta e variável ao longo do tempo;

- e) Modelo estático – não é afetado e, portanto, não muda com o tempo;
- f) Modelo dinâmico – é afetado pelo tempo e as variáveis apresentam valores diferentes ao longo do tempo;
- g) Modelo de *loop* aberto – não há retro alimentação do sistema com valores das variáveis de saída;
- h) Modelo de *loop* fechado – os valores das variáveis de saída vão retro alimentar o modelo na próxima etapa;
- i) Simulação *steady-state* – ocorre quando os eventos dependem de uma estabilização que ocorre ao longo do tempo e depois permanecem assim até que os eventos cessem. Exemplo, uma linha de produção trabalhando 3 turnos e todos os dias do mês. Neste caso há necessidade de um tempo de pré-aquecimento para se chegar à condição de trabalho estável;
- j) Simulação *terminating* – a simulação cessa quando determinado evento ocorre. Exemplo, uma linha de produção trabalhando em 2 turnos, ou em 3 turnos, mas não nos finais de semana e ao final do dia ou da semana, a linha é esvaziada;
- k) Período de aquecimento ou de pré-aquecimento (*warm-up*) – é o tempo de simulação para que o modelo atinja o estado de estabilidade e os dados estatísticos comecem a ser coletadas;
- l) Ciclos e sementes de números aleatórios – cada número é calculado a partir de outro preliminar, sendo o inicial chamado de semente de número aleatório. Os números aleatórios com valores entre zero e um são responsáveis pela extração de valores das distribuições de probabilidades que irão proporcionar ao modelo seu comportamento estocástico;
- m) Rodada do modelo – é a simulação por um período de tempo pré-estabelecido e com um único conjunto de números aleatórios. A duração de cada rodada depende de cada situação e não deve ser nem muito curta (modelo tendencioso), nem muito longa (desperdício de tempo de processamento);
- n) Replicações – é o número de rodadas do modelo com diferentes sementes de números aleatórios, quando se trabalha com simulação estocástica e *terminating*, de forma a se obter confiabilidade nos resultados. Para o caso de *steady-state* pode ser dispensável;

- o) Cenários – é o conjunto de valores das variáveis de entrada que devem ser pré-fixados para se obter os valores das variáveis de saída. Para cada cenário obtêm-se diferentes resultados na simulação e é função do modelista analisar os resultados e decidir pelo término ou continuidade do estudo;
- p) Otimização da simulação – os dados das variáveis de saída servem de parâmetro para modificar os dados de entrada de tal forma que, após várias replicações se obtenha a solução ótima para o problema. Para isso é preciso que se estabeleça uma função objetivo que analisa o desempenho do modelo, podendo ser a maximização ou a minimização de alguma variável. Por exemplo, a maximização da capacidade de uma máquina, a maximização do lucro de um processo, a minimização do custo de um serviço ou a minimização do uso da mão-de-obra. A figura 2.6 mostra a relação entre o algoritmo de otimização e o modelo de simulação. Nota-se que a simulação ocorre em *looping*, ou seja, em círculos, até que a melhor resposta seja encontrada. Ao se colocar os resultados num gráfico a maximização será representada pelos picos e a minimização, pelos vales.

FIGURA 2.6 - RELAÇÃO ENTRE O ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO E O MODELO DE SIMULAÇÃO



FONTE: BATEMAN *et al.* **A simulação: aprimorando os sistemas.** São Paulo: Belge, 1999 p. 19)

2.4.4 Verificação e validação de modelos de simulação

Um modelo de simulação deve refletir corretamente o sistema real que pretende imitar de forma a conferir confiabilidade aos resultados. Para isso os passos de verificação e de validação do modelo são importantes e devem ser seguidos. De acordo com BATEMAN *et al.* (1999, p.39) a verificação de um modelo é o ato de testá-lo para certificar-se de que ele funciona adequadamente. Ela pode ser feita por meio de uma rodada de simulação em baixa velocidade e pelo monitoramento de

sua operação. Através da animação e de janelas de dados abertas no modelo pode-se verificar se entidades do modelo circulam e se os eventos ocorrem conforme planejado. O recurso de rastreamento evento a evento pode também ser utilizado, porém pode consumir tempo excessivo do modelista. LAW e KELTON (1991, p.299) definem verificação como sendo o ato de avaliar se o modelo conceitual de simulação foi corretamente traduzido num programa de computador.

A validação de um modelo pretende aumentar sua confiabilidade em relação ao sistema real em estudo (LAW e KELTON, 1991, p.299). Se um modelo é válido as decisões tomadas através dele podem ser consideradas confiáveis e similares às que se tomariam com o sistema real. Segundo BATEMAN *et al.* (1999, p.39-40), a validação deve ser feita com a participação de especialistas que vão confirmar se as variáveis e suposições inseridas no modelo refletem a realidade. Dados de entrada históricos podem também ser utilizados para rodar o modelo e a comparação dos dados de saída com os do sistema real irão possibilitar a validação do modelo. LAW e KELTON (1991, p.307-314) sugerem que o desenvolvimento de um modelo de simulação deve seguir os três passos de Naylor e Finger para que seja validado mais facilmente:

- O primeiro passo é a construção de um modelo que seja compreensível e pareça razoável para os conhecedores do sistema. Para isso é preciso que o modelista converse com especialistas, observe o sistema real, considere as teorias existentes, utilize resultados de modelos de simulação similares e utilize sua experiência e intuição;
- O segundo passo é a testagem quantitativa inicial dos dados de saída se os dados de entrada foram alimentados por alguma distribuição de probabilidade. Neste caso deve-se usar gráficos e testes de bondade-de-ajuste para se ter certeza de que estes estão corretos e refletem o sistema em estudo. Neste passo pode-se também realizar uma análise de sensibilidade através da modificação dos dados de alguma variável de entrada para saber se afeta significativamente os dados de saída. Se este for o caso deve-se tratar esta variável com mais cuidado no modelo. Se for do interesse do modelista realizar uma análise de sensibilidade de mais de uma variável, ele deve utilizar um projeto de experimentos estatísticos;

- O terceiro passo é a comparação dos dados de saída do modelo com os dados de saída do sistema real, se ele existir. Este passo pode se tornar pouco eficaz se o modelo for mais simplificado que o sistema real, o que ocorre em muitos casos. Testes de hipóteses e a construção de intervalos de confiança para as diferenças podem não ser apropriados. A melhor opção, nestas situações, é realizar o *Turing test*, ou seja, apresentar os dados de saída do modelo e os do sistema real separadamente para os especialistas e pedir para os identifiquem e opinem sobre os dados do modelo. As discrepâncias normalmente aparecem e podem ser corrigidas.

2.4.5 O Software ProModel

Este *software* desenvolvido pela ProModel Corporation e usado neste estudo roda sobre plataforma *Windows* e apresenta animação gráfica de forma a facilitar ao modelador e aos interessados a visualização do funcionamento do modelo e a sua validação. Para a criação do modelo pode-se optar por utilizar os ícones existentes na biblioteca do *software* ou trabalhar sobre o *layout* real da área simulada, como por exemplo, uma linha de produção existente. Para isso deve-se importar o *layout* do sistema CAD original (*Computer Aided Design*) para dentro do *software* e fixá-lo como base para a criação do modelo. Isso cria uma visão familiar e facilita a compreensão. A construção do modelo é feita pela definição dos seguintes pontos (HARREL, 1997, p. 26-34):

- a) Gráficos de fundo – é base sobre a qual se faz a construção do modelo, podendo ser através do uso dos ícones da biblioteca ou da importação do *layout*, como acima citado;
- b) Entidades (*entities*) – são os itens processados pelo sistema em estudo e que requerem o uso dos seus recursos, podendo ser peças, contentores de peças, produtos, pessoas, documentos, etc. Se uma entidade for transportada durante a passagem pelo sistema, a sua velocidade e seu percurso devem ser definidos;
- c) Locais (*locations*) – são os locais fixos por onde as entidades passam e sofrem algum processamento ou ficam em espera. Podem ser máquinas, postos de montagem de produtos, mesas cirúrgicas, guichês de atendimento,

- locais para exame de qualidade, locais para filas de entrada ou saída ou para armazenagem, etc. Devem ser definidos para cada local o tempo de permanência, a quantidade de entidades que podem estar presentes ao mesmo tempo, a quantidade de locais semelhantes e que realizam o mesmo processamento em paralelo, a regra de enfileiramento e as estatísticas que se pretende acompanhar. Estas podem ser visualizadas em tempo real pela inclusão de janelas junto aos locais. Adicionalmente é possível através de cores visualizar no modelo quando um local está em uso (processamento), parado (quebrado ou em *set-up*), ocioso (falta de peças ou mão-de-obra) ou bloqueado (falta de espaço para peças prontas);
- d) Processamento (*processing*) – define as instruções ou regras de ação em cada local do modelo e para cada entidade. Nele constam os tempos de espera e de processamento, a necessidade de chamar de recursos (como mão-de-obra ou transporte), a necessidade de agrupar ou desagrupar as entidades, as regras de roteamento quando se tem dois percursos possíveis e a lógica de envio para o próximo local;
 - e) Chegadas (*arrivals*) – define quais entidades, como, quanto e quando chegam em cada local. A frequência e a quantidade de chegada de uma entidade num local podem ser definidas por uma distribuição de probabilidades, por um ciclo constante, por sentenças lógicas ou pela leitura direta de uma planilha externa ao modelo;
 - f) Recursos (*resources*) – são pessoas, equipamentos ou transportadores utilizados para auxiliar a realização das ações de processamento. Podem ser fixados num local ou compartilhados. Deve-se definir os percursos de cada recurso, o seu tempo de permanência em cada local e para cada entidade, bem como a priorização do seu uso (por exemplo, o gargalo da linha tem a preferência no uso da mão-de-obra);
 - g) Redes de percurso (*path network*) – é a malha de movimentação possível dentro do sistema a ser percorrido pelas entidades e pelos recursos. Devem ser definidos também parâmetros de velocidade, distância, filas e ultrapassagem;

- h) Turnos (*shifts*) – define a quantidade de horas a serem trabalhadas e os dias do calendário. Caso haja alguma parada programada, por exemplo, refeição, esta deve ser também pré-estabelecida;
- i) Variáveis (*variables*) – são os dados de entrada e de saída do modelo e que podem ser demonstrados no gráfico de fundo para acompanhamento da simulação. Servem para uma variedade de cálculos a serem executados no modelo;
- j) Atributos (*attributes*) – são informações associadas às entidades e aos locais para distingui-los dos demais durante o processamento. Servem também para capturar informações à medida que uma entidade se move no sistema;
- k) Matriz (*array*) – serve para facilitar a construção do modelo quando existem muitas informações e de tipos variados. Como exemplo pode-se citar uma matriz contendo as entidades, os locais e os tempos de processamento de cada entidade em cada local;
- l) Macros (*macros*) – são valores ou expressões numéricas utilizadas de forma repetitiva ao longo do modelo. Ao invés de digitar cada vez o valor ou a expressão, o modelador digita apenas o nome da macro. Elas servem também para facilitar a modificação de valores das variáveis de entrada para se criar novos cenários de simulação;
- m) Sub-rotinas (*subroutines*) – são programas projetados para executar algum tipo de processamento especial e devem estar na lógica do modelo. Dados ou expressões numéricas podem migrar do modelo para a sub-rotina e vice-versa;
- n) Distribuições de probabilidades – são curvas usadas para conferir aleatoriedade ao modelo estocástico. O módulo StatFit do ProModel serve para comparar dados empíricos e sugerir as curvas que melhor representam sua distribuição de probabilidade. Para a análise utiliza-se a chamada medida de bondade-de-ajuste (*goodness-of-fit*), sendo o teste qui-quadrado o mais usado para isso. As distribuições de probabilidades mais comuns são:
 - Exponencial (ou exponencial negativa) – usada para o tempo de espera e para chegadas de entidades a um sistema (exemplo, banco ou praça de pedágio). Pode ser usada para representar a variação do tempo para a realização de uma tarefa ou o tempo até falhar um componente;

- Gama – usada para representar o tempo de realização de uma tarefa n vezes independentes. Quando o parâmetro α se torna igual a 1 a distribuição gama se torna uma exponencial;
- Normal – usada para representar vários tipos fenômenos, desde que distribuídos simetricamente ao redor de um valor central e com uma variabilidade decrescente com o aumento da distância da média;
- Uniforme – usada quando a variação ocorre entre dois valores;
- Weibull – usada para questões ligadas à confiabilidade;
- Triangular – usada quando só se dispõem de três valores para um fenômeno, o mínimo, o médio e o máximo;
- Lognormal – usada para representar tempos para realização de tarefas;
- Erlang – é um caso especial da distribuição gama usado em filas para representar o tempo de serviço de várias tarefas. Quando o parâmetro k se torna 1, ela se transforma numa distribuição exponencial;
- Beta – usada para representar fenômenos de proporções. Exemplo, itens defeituosos em um lote;
- Poisson – usada para representar a taxa de chegadas de entidades num sistema;
- Binomial – usada para representar fenômenos que tenham somente duas saídas: sucesso ou fracasso. Exemplo, o número de defeitos por lote;

2.5 CONFIABILIDADE

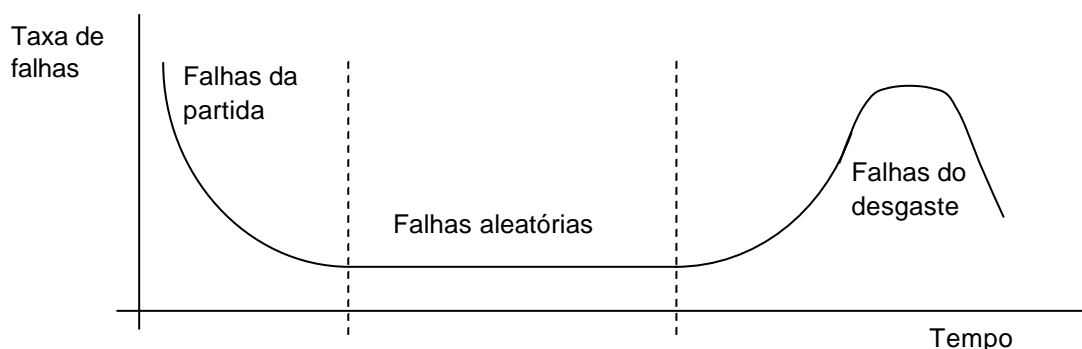
Segundo MARTINS & LAUGENI (2005, p.518) confiabilidade é a probabilidade que um sistema oferece de apresentar resposta ao que se espera dele durante um período de tempo pré-estabelecido e sob certas condições. Para SLACK (1996, p. 625), confiabilidade é uma medida do desempenho de um sistema ou de um produto/serviço de acordo com o esperado ao longo do tempo. Nota-se que confiabilidade tem uma relação estreita com qualidade e poder-se-ia dizer que a confiabilidade é a qualidade ao longo do tempo.

Um produto ou serviço precisa funcionar adequadamente para ser bem aceito no mercado e isso significa que ele não poderá apresentar falhas de funcionamento. Se apresentá-las, porém, deve fazê-lo numa periodicidade tolerada pelo cliente. As

falhas são consideradas inevitáveis e são evidenciadas em todos os sistemas e processos. Podem aparecer no projeto de um produto e se alastrar por toda a cadeia produtiva até chegar ao cliente final. É imprescindível que sejam usadas ferramentas para minimizar o risco de falhas e, adicionalmente, sejam instaladas barreiras dentro dos processos produtivos para se evitar ou detectar as falhas. Conforme SLACK *et al.* (1996, p.620-623), as falhas podem ser de vários tipos, tais como, falhas de projeto, de instalações, de máquinas e equipamentos, de pessoas, de fornecedores e de clientes. Este autor afirma existirem três formas de se medir as falhas: a taxa de falhas (frequência), a confiabilidade (probabilidade de ocorrência) e a disponibilidade (tempo útil para operação sem falhas).

Segundo NAKAJIMA (1989, p. 35) pode-se dividir a ocorrência das falhas em 3 períodos distintos A, B, e C. Quando o produto é novo ele apresenta uma taxa de falhas relativamente alta devido às falhas de produto e processo que são sanadas rapidamente para assegurar o sucesso do produto no mercado. Com isso a taxa de falhas cai para um nível bem inferior, chamado de nível B. Durante o nível B o produto apresenta falhas de operação que são combatidas com treinamento adequado do usuário. Ao atingir um determinado momento os produtos começam a ter um aumento das falhas devido ao desgaste natural das peças. A taxa volta a subir rapidamente, atingindo o nível C e a substituição das mesmas é inevitável. A curva que demonstra este fenômeno chama-se curva da banheira (figura 2.7).

FIGURA 2.7 - CURVA DA "BANHEIRA" OU DE FALHAS AO LONGO DO TEMPO



FONTE: MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

De acordo com MARTINS & LAUGENI (2005, p.520), o nível A é chamado período de falhas de partida, o nível B, de período de falhas aleatórias e o nível C, de período de falhas de desgaste.

Conforme Fagundes (2004, p.2), para o estudo da disponibilidade de sistemas utiliza-se o tempo médio entre falhas MTBF, cuja origem se deu na indústria de informática. O MTBF serve para designar o tempo médio entre interrupções de serviço ou trabalho e seu cálculo pode ser feito através da fórmula abaixo:

$$MTBF = \frac{\sum (TT_n) - (TT_{n-1})}{n^{TT} - 1}$$

onde, TT_n significa o momento no tempo em que a comunicação da falha “n” ocorreu e TT_{n-1} , o momento em que a comunicação da falha “n-1” ocorreu.

O $n^{TT}-1$ significa o número de falhas reportadas menos 1. O MTTR é utilizado para se calcular o tempo médio de reparo do equipamento ou restabelecimento do serviço. Ele considera a média de tempo de cada reparo considerando o total de reparos feitos no período avaliado. A formula de cálculo é a seguinte:

$$MTTR = \frac{\sum \text{tempo_de_reparo}}{n^{TT}}$$

A partir do MTBF e do MTTR pode-se calcular a disponibilidade (D) de um equipamento ou serviço através da fórmula:

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

A disponibilidade ideal é 1 ou 100%. Ela pode representar grandes custos para uma empresa quando cai abaixo de 100%, pois diminui a capacidade do sistema e desperdiça os recursos existentes, como materiais e mão-de-obra.

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

Este estudo será realizado utilizando-se como ferramenta a simulação computacional e para isso foi feita uma pesquisa bibliográfica e coletadas as metodologias sugeridas por diversos autores. De acordo com BATEMAN *et al.* (1999, p.34-42) e HARREL *et al.* (2002, p. 34-43) a metodologia de simulação deve ser a seguinte:

- Definir o trabalho;
- Estabelecer os objetivos;
- Formular e planejar o modelo;
- Coletar os dados;
- Desenvolver o modelo;
- Verificar o modelo;
- Validar o modelo;
- Executar experimentação;
- Analisar os resultados;
- Documentar e apresentar.

Os autores RIVERO & PIEDRAHITA (2001, p.7) sugerem a seguinte metodologia:

- Planejar o estudo - objetivo, limitações, restrições, especificações e resultados esperados;
- Definir o sistema – buscar informações relativas ao fluxo de produção, tempos de execução, arranjo físico, dados de mercado, dados históricos sobre estudos anteriores;
- Construir o modelo;
- Realizar experimentações;
- Analisar os resultados;
- Relatar os resultados.

Conforme LAW e KELTON (1991, p.106-109) um estudo de simulação deve seguir dez passos com os seguintes:

- Formular o problema e planejar o estudo;
- Coletar dados e definir o modelo;

- Validar o modelo;
- Construir o programa de computador e verificar;
- Executar simulações piloto para análise;
- Validar os resultados;
- Planejar os experimentos;
- Rodar as simulações (replicações);
- Analisar os dados de saída;
- Documentar, apresentar e implementar os resultados.

Como as metodologias pesquisadas apresentam passos muito semelhantes optou-se por utilizar uma única, qual seja a dos autores Law e Kelton. A seguir serão apresentados os 10 passos aplicados neste estudo:

3.1 FORMULAR O PROBLEMA E PLANEJAR O ESTUDO

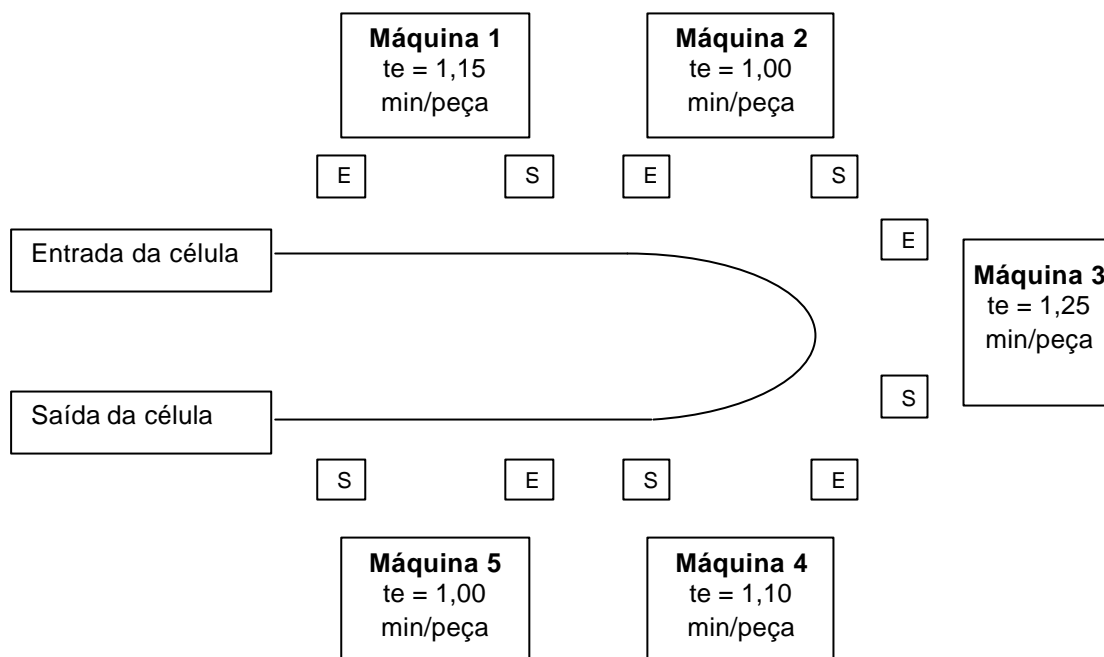
A formulação do problema e os objetivos gerais e específicos deste trabalho já foram apresentados na introdução. Pretende-se estudar o impacto da implantação do fluxo unitário de peças numa célula de usinagem utilizando-se da ferramenta de simulação computacional. O estudo consistirá do desenvolvimento de uma célula de usinagem de peças para a qual serão definidos parâmetros de funcionamento e dados de entrada no modelo. Através da simulação de cenários e coleta de dados se farão as análises dos resultados obtidos e serão efetuadas conclusões e recomendações.

3.2 COLETAR DADOS E DEFINIR O MODELO

Ao invés da realização do estudo de uma célula real, optou-se pela modelagem, simulação e análise de uma célula virtual com características pré-definidas. O intuito foi de perceber mais facilmente e de forma sistemática os impactos da introdução do fluxo unitário de peças no desempenho de uma célula de usinagem de peças genérica, sem os problemas específicos de um caso em particular.

Foi adotada como modelo para este estudo uma célula de manufatura em formato de “U”, conforme a Fig. 3.1.

FIGURA 3.1 – MODELO DA CÉLULA DE MANUFATURA USADA PARA O ESTUDO



FONTE: O autor.

Para a modelagem da célula buscou-se dados na literatura que pudessem contribuir para manter seu caráter genérico. Preferiu-se estudar uma célula de usinagem de peças ao invés de uma linha de montagem, pois em muitas destas já se faz uso do fluxo unitário de peças. Nas áreas de usinagem de peças pequenas ou médias ainda se trabalha com grandes estoques em processo (WIP) e as máquinas nem sempre são projetadas para a aplicação do fluxo unitário de peças. Muitas delas são ainda de grande porte e apresentam cabeçote múltiplo que permite a usinagem simultânea de várias peças. Para a implantação do fluxo unitário é preciso que as máquinas sejam de menor porte para serem colocadas dentro da célula e processem uma peça por vez.

As características definidas para a célula são:

- a) Cinco máquinas de usinagem de peças de aço com comando numérico (CNC), dispostas conforme a seqüência lógica das operações. As máquinas foram numeradas de um a cinco e, para este estudo, foram consideradas exatamente iguais. Foi escolhido o número cinco de máquinas por ser uma quantidade média usual, de acordo com o trabalho de GAURY, E. G. A.; KLEIJNEN, J. P. C.; PIERREVAL, H. (1998, p. 9-10). De acordo com

CONWAY *et al.* (1988) apud SOUZA, RENTES e AGOSTINHO (2002 p. 216-217) a maior parte da perda de capacidade de uma linha acontece nas 5 primeiras máquinas; nas adicionais a perda é bem mais reduzida.

- b) Produção de uma peça a cada execução ou ciclo de usinagem em cada máquina. Na prática isso nem sempre acontece, pois algumas máquinas são projetadas para executar mais de uma peça por ciclo de usinagem. Algumas vezes porque isso se faz necessário, como no caso de ciclos de usinagem longos, outras vezes porque não se aplicou o conceito de produção enxuta no projeto. A consequência é a formação de estoques intermediários indesejados (WIP);
- c) Tempos de execução diferentes e dependentes da máquina considerada a fim de simular uma situação real, uma vez que na prática é muito difícil de se conseguir um balanceamento perfeito de tempos de execução dentro de uma célula. Foi escolhida uma distribuição do tipo segmentada com grau de desbalanceamento médio dos tempos de execução (de 20 a 25%), seguindo uma classificação criada por SOUZA, RENTES e AGOSTINHO (2002 p. 216-217);
- d) Lotes de transferência inicialmente de 50 peças, depois de 10 peças e por fim de 1 peça. O lote de 50 peças foi escolhido, pois segundo estudo realizado por HUQ, HENSLER e MOHAMED (2001, p.285) até a quantidade de 55 peças há ganhos significativos na quantidade produzida por uma linha em ambiente celular, comparativamente ao *layout* funcional. Para lotes maiores o ganho é praticamente insignificante.
- e) Um supermercado de peças na entrada da célula, supondo que não há falta de peças para abastecê-la. Num caso real a célula tanto poderia ser abastecida com peças brutas vindas de um fornecedor externo, quando de peças pré-usinadas vindas de outro setor da fábrica, por exemplo, do tratamento térmico;
- f) Uma saída de peças para a célula, onde os lotes de processamento são reagrupados para serem disponibilizados para a célula seguinte;
- g) Entradas e saídas de peças em cada máquina (local para dispor o contentor de peças, também chamado de desacoplador, conforme BLACK, 1998, p.94-95);

- h) Trabalho em 3 turnos diários (24 h x 60 min = 1440 min/dia de tempo disponível). A célula não pára nos horários de refeição ou para o descanso do operador, pois ocorre a substituição do mesmo por operador “coringa” (ALVAREZ e ANTUNES (2003, p.14);
- i) Demanda (d) de 960 peças/dia. Este valor foi determinado aleatoriamente e será mantido constante durante o estudo;
- j) Tempo takt (*takt time*) de 1,5 min/peça (1440 min divididos por 960 peças).
- k) Operador não preso às máquinas, logo o tempo de execução das operações (te) é determinado somente pelo tempo da máquina, sem influência do operador;
- l) Cada máquina dispõe de um braço automático para carregamento e descarregamento das peças.

As máquinas da célula realizam a seguinte seqüência de operações:

- a) Alcançar uma peça nova do contentor de entrada e colocá-la na posição de usinagem;
- b) Usinar a peça conforme programa pré-estabelecido;
- c) Retirar a peça pronta do seu interior e colocá-la no contentor de saída;

O(s) operador(es) da célula realiza(m) as seguintes operações:

- a) Retirar um contentor de peças prontas da saída de uma máquina e colocá-lo na entrada da próxima máquina;
- b) Retirar uma peça pronta de cada máquina a cada 30 peças produzidas e fazer exames dimensionais com instrumentos de medição existentes junto às máquinas;
- c) Trocar as ferramentas gastas a cada 250 peças produzidas em cada máquina;
- d) Executar o *set-up* ou preparação das máquinas para a entrada de uma encomenda de um produto diferente, conforme a quantidade do lote de processamento;
- e) Avisar o setor de manutenção quando houver quebras de máquinas para a execução da manutenção corretiva.

A nomenclatura adotada neste estudo foi determinada conforme encontrada nas literaturas pesquisadas e em alguns casos, foi adaptada (MARTINS e LAUGENI, 2005; REFA, 1994):

- a) t_e = tempo de execução (equivale ao tempo básico dito “puro”, pois está sem acréscimos de tempos de paradas planejadas).
- b) Tempo de *set-up* = tempo de preparação da máquina para um novo lote de produção.
- c) R = refugo, peças sem condições de uso a serem sucataadas.
- d) R_t = retrabalho, peças sem condições de uso, mas que ainda podem ser utilizadas, se usinadas novamente.
- e) Q_t = capacidade de produção em 3 turnos = quantidade de peças fabricadas por dia na célula.
- f) d = demanda diária dos clientes. Para este estudo foi adotado como demanda o valor de 960 peças/dia.
- g) Índice de atendimento da demanda $IC = Q_t / d$ (deve ser sempre = 1).
- h) Tempo takt (*takt time*) = é o ritmo da demanda (tempo total disponível diariamente dividido pela demanda). Neste estudo optou-se pela unidade minutos/peça.
- i) Tempo de ciclo = é o tempo necessário para a execução do trabalho em uma peça, ou seja, é o tempo transcorrido entre o início e o término da produção de duas peças sucessivas de um mesmo modelo.
- j) WIP (*Work-in-Process*) = estoque de peças em processo dentro da célula, também chamado de estoque padrão.
- k) Contentor = recipiente com peças para seu transporte.
- l) Lote de processamento = quantidade de peças de um mesmo tipo a serem produzidas em seqüência até um novo preparo da máquina (*set-up*).
- m) Lote de transferência = quantidade de peças a serem transferidas entre as operações (se houver contentor poderá coincidir com a capacidade do mesmo).
- n) MO = n° de operadores necessários para a célula atender à demanda.
- o) L (*Lead time*) = tempo de passagem ou de atravessamento da célula.
- p) OEE = *Overall Equipment Effectiveness* ou eficiência global do equipamento (%) = é obtido pela multiplicação dos percentuais de disponibilidade, de eficiência e de qualidade ($OEE = D \times E \times Q$). Reflete o % de tempo disponível em cada máquina efetivamente usado para produzir peças de boa qualidade. Na simulação será também chamado de “% de tempo em operação”. O

cálculo do OEE será feito somente no gargalo da linha, pois é esta máquina que determina o resultado de toda a célula, conforme a teoria das restrições.

Obs.: no item 2.2.4 letra (d) foi descrito o OEE e os índices que o compõem.

Para facilitar este estudo foi retirado o "I" da frente das parcelas, isto é, o ID ficou apenas D, o IE, apenas E e o IQ, apenas Q.

- q) D = disponibilidade (%), ou seja, relação entre o tempo real trabalhado e o tempo disponível em 3 turnos de 1440 min.
- r) E = Eficiência (%) = relação entre a quantidade de peças produzidas e a quantidade esperada, calculada através o tempo de execução te.
- s) Q = Qualidade (%) = relação entre a quantidade de peças boas produzidas e a quantidade total de peças produzidas.
- t) tempo de pré-aquecimento (*warm-up*) = tempo necessário na simulação para o enchimento da linha com peças de forma a entrar em regime normal de trabalho.
- u) MTBF (*Mean Time Between Failures*) – tempo médio entre falhas. Neste estudo é o tempo médio esperado entre as paradas das máquinas para manutenção corretiva.
- v) MTTR (*Mean Time To Repair*) – Neste estudo é o tempo médio para execução da manutenção corretiva das máquinas.

Os indicadores de desempenho adotados para este estudo se baseiam em parâmetros de produtividade de células de manufatura dentro do conceito de produção enxuta, conforme a pesquisa bibliográfica:

- a) Qt = capacidade de produção em 3 turnos de trabalho = quantidade de peças fabricadas por dia na célula, considerando-se 1440 minutos de tempo disponível. Meta: atender à demanda de 960 peças/dia.
- b) WIP = estoque em processo dentro da célula. Meta = zero. Para o cálculo teórico do WIP esperado utilizou-se como regra a soma dos estoques intermediários nas entradas e saídas de cada máquina. No caso do WIP máximo, considerou-se um lote de transferência na entrada e na saída de cada máquina. Para o WIP mínimo considerou-se somente um lote de transferência na entrada de cada máquina (sem estoque na saída).
- c) MO = nº de operadores necessários. Meta = máx. 1.

d) $L = lead\ time$ da célula. Meta = o menor possível. Neste estudo será o tempo desde a entrada do lote de transferência na célula até a sua saída da última máquina. Para o cálculo teórico será usada a lei de Little, conforme STANDRIDGE (2004, p.1105), ou seja, $L = WIP / Q_t$.

e) OEE = eficiência global na máquina gargalo número 3. Meta = 100%.

Obs.: O OEE mínimo no gargalo para atender à demanda de 960 peças/dia é de 83,3%. Se os OEE's das máquinas 1, 2, 4 e 5 não alcançarem os valores da tabela 3.1, a demanda (d) não será atendida, pois estes se tornarão o novo gargalo da célula.

Fórmula para o cálculo:

$$d = \frac{(1440 * OEE_i)}{t_{ei}}, \text{ sendo } i = 1, 2, \dots, 5 \text{ (máquinas da célula), logo, } OEE_i = \frac{(d * t_{ei})}{1440} \quad (1)$$

TABELA 3.1 - VALORES MÍNIMOS DE OEE POR MÁQUINA PARA ATENDER À DEMANDA

MÁQUINA (i)	te (min)	OEEi (% mínimo)
1	1,15	76,67
2	1,00	66,67
3	1,25	83,33
4	1,10	73,33
5	1,00	66,67

FONTE: O autor.

3.3 VALIDAR O MODELO

A validação do modelo foi realizada ao mesmo tempo em que este era formulado, uma vez que suas características foram embasadas nas literaturas pesquisadas.

3.4 CONSTRUIR O PROGRAMA DE COMPUTADOR E VERIFICAR

O modelo de simulação foi desenvolvido com o *software* ProModel e a lógica do programa é a seguinte:

- a) O supermercado de peças na entrada da célula permanece sempre abastecido com peças vindas da célula fornecedora;
- b) Sempre que a máquina 1 apresente espaço para receber um lote de peças o operador retira um lote do supermercado (50, 10 ou 1 peça, conforme a etapa) e o leva até a entrada da máquina 1;
- c) Antes de iniciar a operação de usinagem o programa identifica a peça:
 - Se ela for diferente da anterior ele inicia o *set-up* chamando, para isso, o operador. Se for a mesma ele continua a análise;
 - Se for o momento de trocar a ferramenta (250.^a peça) ele pára a máquina e chama o operador. Caso contrário ele segue o próximo passo;
- d) A máquina se auto-alimenta, prende a peça, aproxima o cabeçote de usinagem, realiza a operação e coloca a peça na saída. Caso esta seja a de n.º 30, o programa chama o operador para realizar o exame de qualidade. Em paralelo ao exame a máquina segue produzindo;
- e) Quando o relógio (*clock*) atinge o tempo de 24 horas a máquina pára para a manutenção corretiva. Neste caso o operador não realiza a manutenção e sim, apenas chama o manutentor que irá realizar a tarefa. O operador segue produzindo normalmente nas outras máquinas.
- f) Após o acúmulo de peças suficiente para completar o lote de transferência de 50 ou 10 peças, o programa verifica se há espaço na entrada da máquina seguinte e chama o operador para transferir o lote. Caso a entrada da máquina seguinte não tenha espaço, o modelo não chama o operador e a máquina anterior pára por bloqueio, ou seja, por falta de espaço para dispor as próximas peças a serem usinadas. Caso o lote seja unitário este procedimento se repete a cada ciclo de usinagem.

Obs.: em todos os casos em que o operador é chamado, ele antes termina o que está fazendo para, então, se deslocar até o local. Sem esta priorização seria quase impossível completar as operações de *set-up*, exame e troca de ferramentas. Durante o tempo em que o operador está ocupado uma máquina

poderá parar por falta de peças (tempo ocioso), ou por falta de espaço para dispor as peças prontas (tempo bloqueado). Caso uma máquina gargalo e uma não-gargalo chamem o operador ao mesmo tempo, a prioridade é dada à máquina gargalo;

- g) Após completar as cinco operações o lote de transferência é disposto no supermercado de saída da célula e fica aguardando sua retirada pelo cliente interno. Para efeito de simplificação do modelo foi considerada uma demanda constante de retirada de modo a não influenciar o ritmo de trabalho da célula.

O modelo foi projetado e realizado com as seguintes características, de acordo com o exposto no item 2.4.4:

- a) Gráficos de fundo - Utilizados os ícones padrões da biblioteca do modelo.
- b) Entidades (*entities*)
- Suportes com 50 peças;
 - Suportes com 10 peças;
 - Peças individuais dos tipos A, B, C, D e E;
 - Velocidade de deslocamento de 0,85 m/s (fonte: método MTM).
- c) Locais (*locations*)
- Supermercado de entrada da linha;
 - Entradas, operações de usinagem e saídas das máquinas;
 - Saída da linha.
- d) Chegadas (*arrivals*) - Sem restrição de quantidade (infinito);
- e) Recursos (*resources*) - Quantidade de operadores (1 ou 2, conforme o cenário);
- f) Redes de percurso (*path network*) - Caminhos e distâncias predefinidos a serem percorridos pelo(s) operador(es);
- g) Turnos (*shifts*) - Três turnos de trabalho (24 horas por dia). No modelo foi considerado trabalho contínuo, sem parada para refeições, pois há um operador coringa substituindo os operadores (inclusive nas paradas para atender às suas necessidades fisiológicas).
- h) Variáveis (*variables*) - Exemplo de variáveis relativas à peça A:
- Contador de peças na entrada da linha: vSuporte_A
 - Contador de peças na saída da linha: vQtde_Fornecida_A
 - Incremento de peças já processadas nas máquinas: vCont_Maq_11

- Contador de peças para frequência de trocas de ferramentas:
vCont_Maq_01_Troca_Ferram
 - Contador de peças para frequência de exame de peças:
vCont_Maq_01_Exame
 - Contador de peças para frequência de manutenção de máquinas:
vCont_Maq_01_Manut
- i) Atributos (*attributes*) – Exemplo da peça A:
- aPeça_A
 - aSuporte_A
- j) Macros (*macros*) - Exemplo para a máquina 1:
- Tamanho do lote de processamento: mTamanho_Lote_11
 - Momento de parada para *set-up*: mParada_SET_UP_11
 - Quantidade de peças no suporte: mQtde_Pçs_CX
 - Tempo de ciclo de operação da máquina: mCiclo_Máq_01
 - Tempo de *set-up* da peça na máquina: mSETUP_Máq_01
 - Quantidade de peças para troca de ferramentas:
mCont_Maq_01_Troca_Ferram_Freq
 - Tempo gasto para troca de ferramentas: mMaq_01_Tempo_Troca_Ferram
 - Frequência de parada para exame de peças: mCont_Maq_01_Exame_Freq
 - Tempo gasto para exame das peças: mMaq_01_TempoExame
 - Tempo gasto para manutenção: mMaq_01_Tempo_Manut
- k) Processamento (*processing*)
- Identificação da peça (exemplo da peça A):
inc vSuporte_A,mQtde_Pçs_CX
aSuporte_A = vSuporte_A
aSuporte_A =Suporte_A
vSuporte_A=Suporte_A
COMBINE mQtde_Pçs_CX
 - Chamada do operador e transferência do contentor de peças para a entrada da máquina:
GET Operador_01
WAIT 0.0015 SEC

FREE ALL

inc vWIP_Giro_da_Linha,mQtde_Pçs_CX

l) Pré-processamento -

- Verificar o tempo para manutenção de máquinas:

vClock_Maq_01=Clock(hr)-vClock_Maq_01_A

if vClock_Maq_01=20 then begin

wait mMaq_01_Tempo_Manut end

if vClock_Maq_01=24 then begin

vClock_Maq_01_A=clock(hr)

End

- Verificar frequência de troca de ferramentas:

if vCont_Maq_01_Troca_Ferram=mMaq_01_Troca_Ferram then begin

GET Operador_01

wait mMaq_01_Tempo_Troca_Ferram

FREE ALL

end

- Verificar momento de realização do *set-up* (exemplo peça A na máquina 1):

if vCont_Maq_11=mParada_SET_UP_11 then

begin

GET Operador_01

WAIT mSETUP_Máq_01

FREE ALL

end

caso a peça seja outra (B, por exemplo) o programa segue as instruções seguintes:

else

if vCont_Maq_12=mParada_SET_UP_21 then

begin

GET Operador_01

WAIT mSETUP_Máq_01

FREE ALL

end

m) Processamento nas máquinas (exemplo da peça A na máquina 1):

```

if aSuporte_A = vSuporte_A then begin
  WAIT mCiclo_Máq_01
  inc vCont_Maq_01_A
  inc vCont_Maq_11
  if vCont_Maq_11=mTamanho_Lote_11 then
    vCont_Maq_11=0
  end

```

caso a peça seja outra (B, por exemplo) o programa segue as instruções else

```

if aSuporte_B = vSuporte_B then begin
  WAIT mCiclo_Máq_01
  inc vCont_Maq_01_A
  inc vCont_Maq_12
  if vCont_Maq_12=mTamanho_Lote_21 then
    vCont_Maq_12=0
  end

```

n) Saída da máquina, contagem das peças, formação do lote e segregação para exame conforme a frequência definida:

```

inc vCont_Maq_01_Exame
if vCont_Maq_01_Exame=mCont_Maq_01_Exame_Freq then
  vCont_Maq_01_Exame=0
if vCont_Maq_01_Exame=mMaq_01_Exame then begin
  GET Operador_01
  WAIT mMaq_01_TempoExame
  FREE ALL
end
COMBINE mQtde_Pçs_CX

```

o) Término do processo e incremento da contagem de peças produzidas e decremento do estoque em processo (WIP):

```

if aSuporte_A then begin
  inc vQtde_Fornecida_A,mQtde_Pçs_CX
end

```

caso seja outra peça, B, por exemplo:

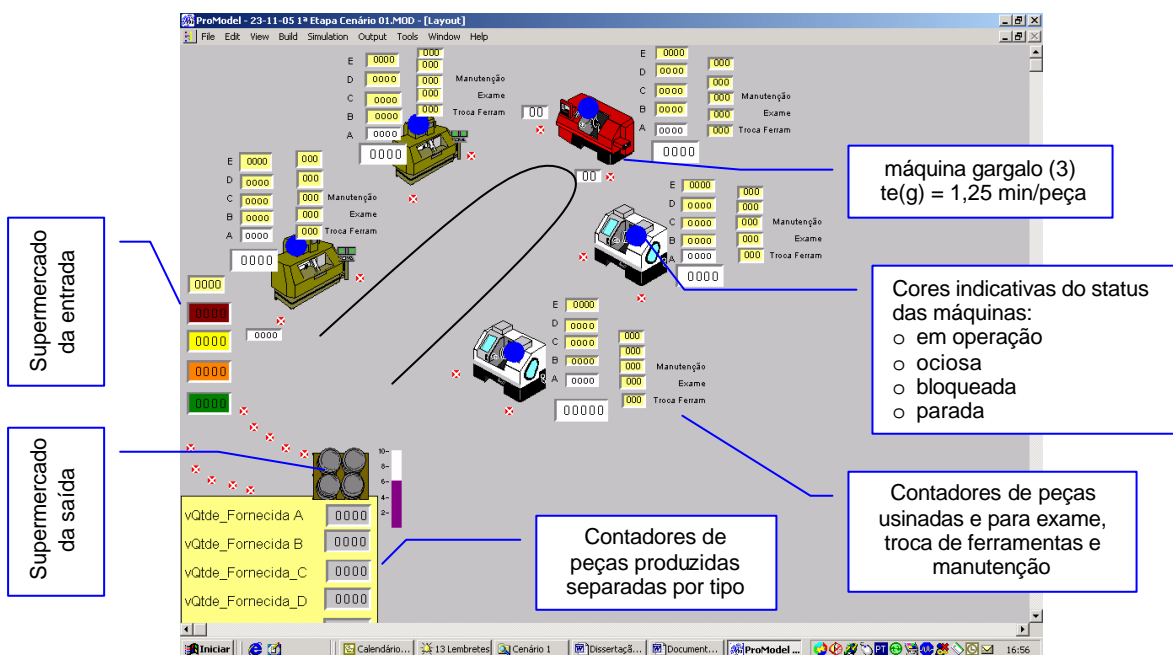
```

else
if aSuporte_B then
begin
inc vQtde_Fornecida_B,mQtde_Pçs_CX
end
dec vWIP_Giro_da_Linha,mQtde_Pçs_CX

```

A Fig. 3.2 mostra a aparência da célula no modelo de simulação e indica o sentido do fluxo de materiais, o gargalo (máquina 3), os supermercados da entrada e da saída, os contadores de peças e as cores indicativas de status das máquinas.

FIGURA 3.2 - VISÃO DA CÉLULA DE MANUFATURA NO MODELO DE SIMULAÇÃO



FONTE: O autor.

As condições da simulação são as seguintes:

- Tempo de pré-aquecimento (*warm-up*). Por ter sido considerada simulação *steady state* os tempos de pré-aquecimento foram simulados e assim obtidos e considerados nas diferentes etapas:
 - 3h46 ou 3,77h para as etapas de 1 a 5, com lote de transferência de 50 peças;

- 46 min. ou 0,77h para as etapas de 6 a 9, com lote de transferência de 10 peças;
 - 6 min. ou 0,10h para as etapas de 10 a 13, com lote de transferência unitário.
- b) Tempo de simulação:
- 120h (5 dias) + tempo de *warm-up* de 3,77h = 123,77h para etapas de 1 a 5;
 - 120h (5 dias) + tempo de *warm-up* de 0,77h = 120,77h para etapas de 6 a 9;
 - 120h (5 dias) + tempo de *warm-up* de 0,10h = 120,10h para etapas de 10 a 13.
- c) Tempos de execução (t_e) – apesar de a variação de ciclo para ciclo numa máquina CNC ser praticamente desprezível foram levantados dados empíricos de algumas máquinas CNC para análise e consideração da variabilidade real no modelo. Os dados constam do apêndice um e a variabilidade encontrada foi muito pequena. Apesar disso foi considerado no modelo a distribuição normal com desvio padrão de 0,005.
- d) Tempos de *set-up* - foi considerada a distribuição normal com desvio padrão de 1 minuto - $n(30.0, 1)$ min. Com isso se espera que 99,73% dos tempos de *set-up* estejam na faixa de 27 a 33 minutos de duração (± 3 desvios padrões).
- e) Exames de peças - A cada 30 peças produzidas foi realizado um exame dimensional numa peça para controle da qualidade (em cada máquina). A duração média do exame é de 30 segundos. Foi considerada uma distribuição normal com desvio padrão de 0,1 minuto - $n(0.5, 0.1)$ min. Com isso se espera que 99,73% dos tempos de exame estejam na faixa de 0,2 a 0,8 minutos de duração (± 3 desvios padrões). A realização dos exames não precisa ser feita com máquina parada, portanto, teoricamente, não deve causar perda de produção.
- f) Troca de ferramentas - A cada 250 peças produzidas em cada máquina será realizada a troca das ferramentas gastas. A duração média da troca será de 5 minutos. Foi considerada uma distribuição normal com desvio padrão de 0,2 minuto - $n(5.0, 0.2)$ min. Com isso se espera que 99,73% dos tempos de troca de ferramentas estejam na faixa de 4,4 a 5,6 minutos de duração (± 3 desvios padrões).

- g) Manutenção corretiva - Uma vez ao dia foi realizada uma manutenção corretiva em cada uma das máquinas. Foi considerado um tempo médio entre falhas (MTBF) de 24 horas ou 1440 minutos. A duração média da manutenção corretiva (MTTR) foi considerada de 35 minutos. Buscou-se levantar dados históricos de algumas máquinas de usinagem CNC e chegou-se aos valores médios acima estabelecidos. A manutenção não é realizada pelo operador e sim por um funcionário do setor de manutenção. Foi considerada uma distribuição normal de tempo de manutenção (MTTR) para este caso, mesmo sendo o tempo de manutenção muito variável na prática e quase nunca se repetindo. Esta simplificação foi necessária para permitir uma análise mais clara e objetiva da influência do *set-up* e da manutenção na capacidade da linha (a distribuição comumente usada para manutenção corretiva, conforme verificado na literatura pesquisada, é a exponencial).
- h) Baseado no acima exposto são esperados os seguintes valores médios de tempo de paradas de máquinas, ou seja, o “tempo parado” para a simulação (redução da disponibilidade das máquinas):
- Parada em média de 20 minutos por dia para troca de ferramentas (4 trocas por dia de 5 minutos cada). Com a redução gradativa das quantidades produzidas na célula devido à redução da disponibilidade das máquinas nos cenários um a cinco, espera-se que haja um gradiente de redução do tempo total de paradas com trocas de ferramentas, pois a frequência das trocas é dependente do número de peças produzidas (a cada 250 peças ocorre uma troca).
 - Parada média de 35 minutos por dia para manutenção corretiva.
 - Parada para realização de *set-up* 's:
 - *Set-up* de 30 minutos – conforme o cenário o tempo de parada aumenta, indo desde zero (cenário 1) até 120 minutos (cenário 5) por máquina;
 - *Set-up* de nove minutos - conforme o cenário o tempo de parada aumenta, indo desde zero (cenário 1) até 36 minutos (cenário 5) por máquina.

A verificação do programa foi realizada pela análise de cada processamento e de todos os componentes do modelo (entidades, locais, dados de tempos, etc).

3.5 EXECUTAR SIMULAÇÕES PILOTO PARA ANÁLISE

Foram executadas várias rodadas de simulação de diversos cenários em baixa velocidade para verificação da seqüência de atividades e de eventos e para certificação de que nada estivesse faltando ou estivesse ocorrendo de forma não planejada. As correções foram efetuadas e novas verificações, realizadas, até se obter a certeza do correto funcionamento. A verificação do modelo foi feita a cada novo cenário de cada etapa deste estudo e foram modificados e conferidos os dados de entrada, as entidades, os locais (*locations*), o processamento, os percursos, os tempos de aquecimento (*warm-up*), as variáveis, os atributos e as macros.

3.6 VALIDAR OS RESULTADOS

Para a validação do modelo os dados de saída foram comparados com os dados teóricos calculados a partir dos indicadores de desempenho (Qt, WIP, MO, L e OEE). Como se trata de um modelo teórico não houve possibilidade de comparar os dados de saída do modelo com os dados empíricos do sistema real.

3.7 PLANEJAR OS EXPERIMENTOS

A princípio decidiu-se realizar somente três experimentos de simulação, sendo o primeiro para o lote de transferência de 50 peças, o segundo para o lote de 10 peças e o terceiro para o lote unitário. No decorrer do trabalho foi sendo necessário aumentar o número de experimentos para encorpar o trabalho e aumentar sua abrangência. Os experimentos foram chamados de etapas do estudo tendo sido realizadas 13 delas, para as quais foram definidas as características, as restrições e as hipóteses a serem testadas. Optou-se por realizar os experimentos por etapas e não pela utilização de um plano de experimentos fatoriais 2^k a fim de permitir uma análise gradual do impacto da implantação do fluxo unitário, inclusive com a análise de um lote intermediário entre o inicial (50 peças) e o final (unitário). Cada etapa foi composta de cinco cenários diferentes, variando em cada cenário o tamanho dos lotes e, conseqüentemente, a quantidade de *set-up's*, indo desde nenhum *set-up*

(lote único de peças) até 4 *set-up*'s por dia (cinco produtos diferentes). O tamanho dos lotes de transferência pôde variar conforme a etapa e o cenário analisado, de forma a garantir o número de *set-up*'s pré-estabelecido:

- a) 1º cenário lote de tamanho “infinito” (somente a peça A);
- b) 2º cenário lotes de 900 a 1000 peças (peças A e B);
- c) 3º cenário lotes de 400 a 520 peças (peças A, B e C);
- d) 4º cenário lotes de 250 a 350 peças (peças A, B, C e D);
- e) 5º cenário lotes de 100 a 270 peças (peças A, B, C, D e E).

O quadro 3.1 apresenta as quantidades de *set-up*'s e os produtos fabricados em cada cenário de cada etapa do estudo.

QUADRO 3.1: QUANTIDADES DE *SET-UP*'S E PRODUTOS FABRICADOS EM CADA CENÁRIO

CENÁRIOS	Nº DE <i>SET-UP</i> 'S DIÁRIOS	PRODUTOS
1.º	0	A
2.º	1	A e B
3.º	2	A, B e C
4.º	3	A, B, C e D
5.º	4	A, B, C, D e E

FONTE: O autor

As características de cada etapa estão listadas no quadro 3.2.

QUADRO 3.2 - CARACTERÍSTICAS DE CADA ETAPA DO ESTUDO

ETAPAS	PEÇAS POR CONTENTOR	TEMPO <i>SET-UP</i> (MIN)	Nº DE OPERADORES	HA LIMITE DE ESTOQUE NA ENTRADA/SAÍDA DO GARGALO?
1. ^a	50	30	1	Entrada e saída 1 contentor
2. ^a	50	30	1	Entrada 2 contentores - saída, não
3. ^a	50	30	2	Entrada 2 contentores - saída, não
4. ^a	50	Gargalo, 9 – demais, 30	1	Entrada 2 contentores - saída, não
5. ^a	50	9	1	Entrada 2 contentores - saída, não
6. ^a	10	30	1	Entrada n contentores - saída, não
7. ^a	10	30	2	Entrada n contentores - saída, não
8. ^a	10	Gargalo, 9 – demais, 30	1	Entrada n contentores - saída, não
9. ^a	10	9	1	Entrada n contentores - saída, não
10. ^a	1	30	1	Entrada n contentores - saída, não
11. ^a	1	30	2	Entrada n contentores - saída, não
12. ^a	1	Gargalo, 9 – demais, 30	1	Entrada n contentores - saída, não
13. ^a	1	9	1	Entrada n contentores - saída, não

FONTE: O autor.

NOTA: “n” contentores significa que é variável e foi calculado para cada cenário.

Mesmo com a aplicação da distribuição estatística normal nos tempos de execução, *set-up*, exames, trocas de ferramentas e manutenção, o modelo não apresentou resultados aleatórios (optou-se por chegadas constantes de material na célula e por tempos de execução iguais para os diversos produtos fabricados). Por este motivo realizou-se somente uma replicação por cenário.

Foi levada em consideração uma redução gradual dos lotes de transferência, iniciando com 50 peças, caindo para 10 peças e terminando no lote unitário. O mesmo foi estabelecido para os tempos de *set-up* (redução de 30 para 9 minutos). Optou-se por inserir as quarta, oitava e 12.^a etapas para testar a redução do tempo de *set-up* para 9 min. somente na máquina gargalo, mantendo-se 30 min. nas demais. O objetivo foi verificar se vale a pena investir na redução do tempo de *set-up* das máquinas não-gargalos. O número de operadores considerado foi de um ou, no máximo, dois. Outro ponto considerado foram os estoques na entrada e na saída do gargalo. Na primeira etapa limitou-se o estoque na entrada e na saída do gargalo em um contentor de 50 peças para analisar se causam paradas no gargalo por falta de peças e por falta de espaço para colocar as peças prontas, limitando a produção. A partir da segunda etapa passou-se a considerar um limite maior de peças na entrada do gargalo (determinada através da simulação) e a não considerar limite na saída do gargalo:

As restrições foram definidas em cada etapa, bem como as hipóteses e os valores assumidos para o tempo de *set-up* e para o OEE e seus componentes (D, E e Q). Foi feito um cálculo teórico esperado dos indicadores para comparar com os resultantes das simulações dos cenários e validar o modelo. Para cada etapa foi feita uma simulação individual por cenário em computador e os resultados obtidos para os indicadores foram analisados. As hipóteses foram comprovadas (parcial ou totalmente) ou foram rejeitadas. Ao final da 13.^a etapa foi construído um quadro contendo um resumo de todas as hipóteses levantadas e sua análise.

Em cada cenário foram tabelados os valores de *set-up*, Qt, WIP, OEE, ocupação do operador e *lead time*, conforme modelo no quadro 3.3.

QUADRO 3.3 - MODELO DE TABULAÇÃO DOS ÍNDICES DE DESEMPENHO NAS SIMULAÇÕES

Nº ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
nº Cenário								

FONTE: O autor

Os dados relativos aos tempos disponíveis, em operação, ociosos, bloqueados e parados das cinco máquinas foram tabulados conforme quadro 3.4:

QUADRO 3.4 - MODELO DE TABULAÇÃO DO % DOS TEMPOS PARADOS E EM OPERAÇÃO

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01				
Máquina 02				
Máquina 03				
Máquina 04				
Máquina 05				

FONTE: O autor.

Os significados destes tempos são:

- a) Tempo em operação - % do tempo disponível em que a máquina está produzindo peças (equivale neste estudo ao OEE).
- b) Tempo ocioso - % do tempo em que a máquina está parada por falta de peças para usinar. Motivos possíveis: a máquina é mais rápida que as anteriores ou não dispõe de peças para usinar ocasionada por limitações, tais como, indisponibilidade do operador para movimentar as peças ou limitação de estoque máximo entre as operações. Se verificada no gargalo, significa perda de produção de toda a célula (CORRÊA & GIANESI, 1996, p.143).
- c) Tempo bloqueado - % do tempo em que a máquina está parada por falta de espaço para a colocação (disposição) das peças prontas.
- d) Tempo parado - % do tempo em que a máquina está parada para:
 - Manutenção, realizada por um funcionário da área de manutenção (logo o operador fica livre para atender às outras máquinas).
 - Preparação da máquina para um novo lote de peças (*set-up*), realizado pelo operador.
 - Troca de ferramenta por desgaste, realizada pelo operador.

Obs.: o operador fica ocupado durante o *set-up* e a troca de ferramenta, retomando às outras atividades após o término destas.

3.8 RODAR AS SIMULAÇÕES (REPLICAÇÕES)

Ver capítulo quatro.

3.9 ANALISAR OS DADOS DE SAÍDA

Ver capítulo quatro.

3.10 DOCUMENTAR, APRESENTAR E IMPLEMENTAR OS RESULTADOS

A documentação de todos os dados obtidos foi feita no capítulo quatro e nos apêndices. A apresentação e a implementação não estão previstas para este trabalho por se tratar de um estudo acadêmico e não de cunho prático. No entanto, no capítulo cinco se fez uma recomendação de passos para a implantação do fluxo unitário, baseada nos resultados deste trabalho.

4 EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO E COLETA DOS DADOS

Este capítulo apresenta as 13 etapas do estudo, com a simulação de 5 cenários cada, totalizando 65 cenários. Os dados de saída dos modelos foram coletados e tabulados para facilitar a compreensão.

A primeira etapa deste estudo foi demonstrada em detalhes, desde a definição dos parâmetros até a coleta dos dados nos cinco cenários e análise dos resultados. Os motivos são dois: primeiramente para demonstrar a sistemática completa de realização das etapas e em seguida, para demonstrar porque novas etapas foram agregadas durante o estudo, totalizando 13. As demais etapas do estudo foram demonstradas de forma resumida com dados sendo colocados em apêndices e centralizando as análises intermediárias e finais num único item (4.14). O objetivo desta ação é apresentar o estudo de forma mais clara e de mais rápida compreensão.

4.1 PRIMEIRA ETAPA

Nesta etapa foram considerados 5 cenários, sendo que a diferença entre eles é o tamanho do lote de peças, a quantidade de lotes e a quantidade *set-up's* por dia. Os parâmetros do quadro 4.1 foram fixados nos cinco cenários.

QUADRO 4.1 - PARÂMETROS FIXOS DA PRIMEIRA ETAPA

ETAPAS	PEÇAS POR CONTENTOR	TEMPO <i>SET-UP</i> (MIN)	Nº DE OPERADORES	HÁ LIMITE DE ESTOQUE NA ENTRADA/SAÍDA DO GARGALO?
1. ^a	50	30	1	Entrada e saída 1 contentor

FONTE: O autor.

Restrições assumidas na primeira etapa:

- a) A disponibilidade (D) será considerada 96,18% no cenário 1 e irá diminuindo a medida que o número de *set-up's* aumenta nos cenários 2, 3, 4 e 5. O cálculo de D é feito considerando-se a soma das paradas para *set-up* (30 min. cada), trocas de ferramentas (20 min.) e manutenção (35 min.).

$$D = \frac{1440 - (\text{set_up} + \text{trocas_ferramentas} + \text{manutenção})}{1440} = \frac{1440 - (0 + 20 + 35)}{1440} * 100$$

$$D = 96,18\%$$

- b) A eficiência (E) será considerada 100% (ritmo de produção constante, sem redução da velocidade de produção das máquinas por distúrbios mecânicos/elétricos ou por paradas para ajustes corretivos não reportados pelo operador).
- c) A qualidade (Q) será considerada 100% (refugo = zero).

Hipóteses a serem testadas na primeira etapa do estudo:

- a) O aumento do número de *set-up*'s por dia impacta em redução acentuada da capacidade de produção da célula, existindo um valor real inferior ao esperado.
- b) A limitação de um contentor de peças na entrada e na saída da máquina gargalo (3) pode comprometer o desempenho da linha.

Primeiro cenário: sem *set-up*.

O quadro 4.2 apresenta os dados de tempos de execução, *set-up* e OEE por máquina para o primeiro cenário desta etapa. O OEE esperado foi comparado com o obtido pela simulação

QUADRO 4.2 - TEMPOS DE EXECUÇÃO, *SET-UP* E OEE NO PRIMEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

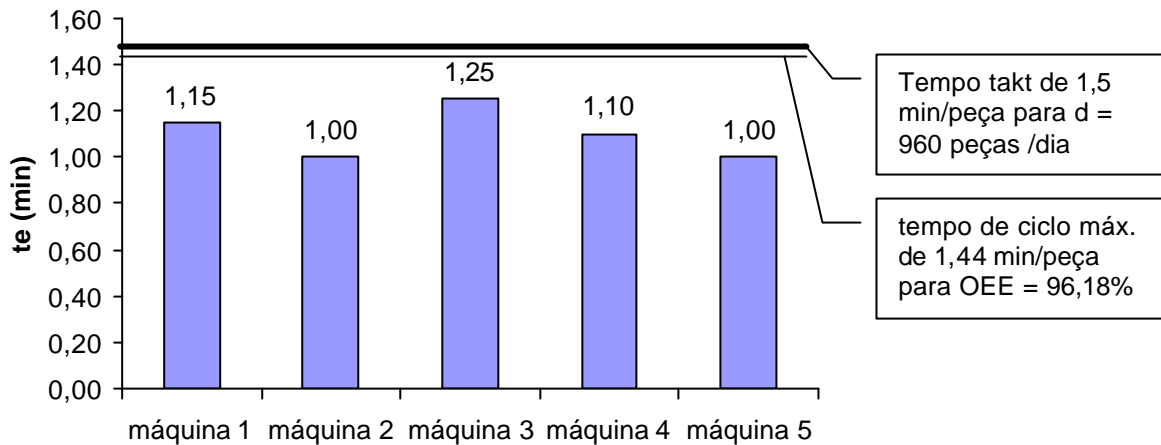
1.º CENÁRIO	MÁQUINA 1	MÁQUINA 2	MÁQUINA 3	MÁQUINA 4	MÁQUINA 5
te (min)	1,15	1,00	1,25	1,10	1,00
<i>set-up</i> (min)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D (%)	96,18	96,18	96,18	96,18	96,18
E (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Q (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
OEE (%)	96,18	96,18	96,18	96,18	96,18

FONTE: O autor.

Neste cenário somente o produto A estará sendo fabricado na célula (sem *set-up*). A Fig. 4.1 apresenta um gráfico no qual se faz uma comparação entre o tempo

takt necessário para atender à demanda de 960 peças/dia (1,5 min/peça) e o tempo de ciclo máximo da linha (1,44 min/peça) para OEE de 96,18%. Conforme a tabela 3.1 o OEE mínimo no gargalo para atender à demanda é de 83,3%, portanto em teoria a célula deve ser capaz de atender à demanda neste cenário.

FIGURA 4.1 - TEMPO TAKT E DE CICLO NO PRIMEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA



FONTE: O autor.

Cálculo teórico dos Indicadores:

- OEE = 96,18% = 0,9618
- $Q_t = (1440 \cdot OEE) / t_e(g) = 1440 \cdot 0,9618 / 1,25 = 1108$ peças / dia
- MO = 1
- WIP (máx) = 500 peças e WIP (min) = 250 peças
- L (máx) = WIP (máx) / $Q_t = 500 / 1108 = 0,45$ dias = 10,80 h
- L (min) = WIP (min) / $Q_t = 250 / 1108 = 0,22$ dias = 5,28 h

Simulação do primeiro cenário:

Os resultados e os indicadores obtidos na simulação do primeiro cenário são apresentados nas tabelas 4.1 e 4.2.

TABELA 4.1- DADOS DE TEMPOS OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	85,01	0,04	8,65	6,30
Máquina 02	73,76	5,62	16,44	4,18
Máquina 03	92,21	1,60	1,64	4,54
Máquina 04	81,10	14,43	0,75	3,72
Máquina 05	73,81	23,64	0,00	2,55

FONTE: O autor.

TABELA 4.2 - INDICADORES OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

1.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
1.º Cenário	0	1060	1,104	249	300	92,21	12,00	5,64

FONTE: O autor.

Validação do primeiro cenário:

- a) Pelo cálculo teórico esperava-se uma quantidade Qt de 1108 peças por dia, o que não se confirmou pela simulação (1060). O motivo desta diferença é que houve:
 - 1,60% de ociosidade na máquina gargalo 3 por falta de peças, causando parada de produção. Esta falta de peças é ocasionada pela falta de operador para movimentação de peças da máquina 2 para a máquina 3 durante o tempo de troca de ferramentas e exame de peças nas outras máquinas. Percebe-se a falta de um estoque de proteção na entrada do gargalo.
 - 1,64% por bloqueio devido ao limite de estoque na saída da máquina gargalo.
- b) O OEE do gargalo é de 92,21%, quando o esperado era de 96,18%. Isso se deve ao acima exposto. Somando-se 92,21% a 1,60% e a 1,64% tem-se 94,45%. A diferença para o esperado de 96,18% (-1,73%) deve-se à variação dos tempos de trocas de ferramentas e de manutenção.
- c) O WIP esperado era de 250 a 500 peças. Foi encontrada média de 249 e máximo de 300.

- d) O IC é de 1,104, ou seja, a célula tem capacidade para produzir 10,4% a mais do que a demanda.
- e) O *lead time* esperado era de máx. 10,80 h e mín. 5,28 h; obteve-se 5,64 h -
 $L = (249 / 1060) \cdot 24$
- f) O grau de ocupação do operador foi de 12%. Este valor é relativo ao tempo gasto para movimentar as peças entre as máquinas e realizar os exames e as trocas de ferramentas (não há tempo de *set-up*).

Segundo cenário: com 1 *set-up* por dia

O quadro 4.3 apresenta os dados de tempos de execução, *set-up* e OEE por máquina para o segundo cenário desta etapa. O OEE esperado será comparado com o obtido pela simulação.

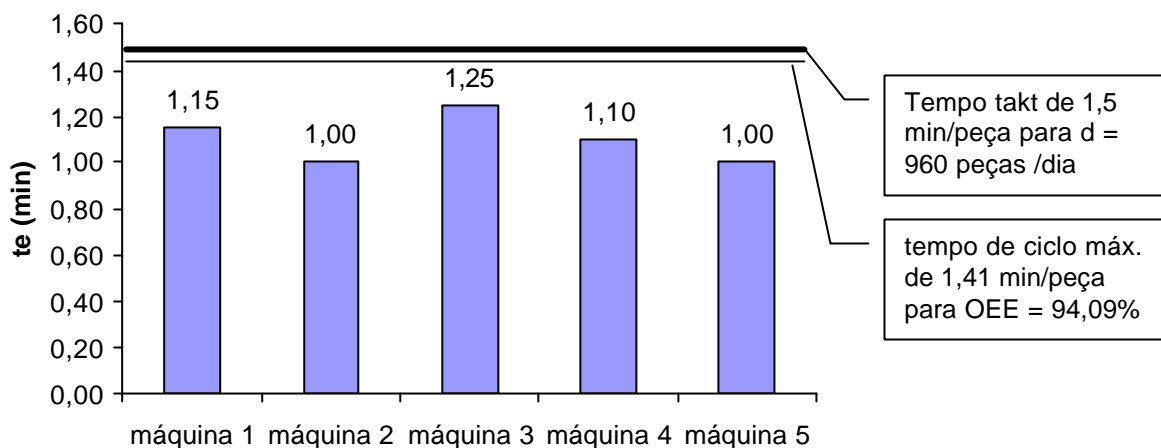
QUADRO 4.3 - TEMPOS DE EXECUÇÃO, *SET-UP* E OEE NO SEGUNDO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

2.º CENÁRIO	MÁQUINA 1	MÁQUINA 2	MÁQUINA 3	MÁQUINA 4	MÁQUINA 5
te (min)	1,15	1,00	1,25	1,10	1,00
<i>set-up</i> (min)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
D (%)	94,09	94,09	94,09	94,09	94,09
E (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Q (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
OEE (%)	94,09	94,09	94,09	94,09	94,09

FONTE: O autor.

Neste cenário os produtos A e B estarão sendo fabricados na célula (1 *set-up* por dia). A Fig. 4.2 apresenta um gráfico no qual se faz uma comparação entre o tempo takt necessário para atender à demanda de 960 peças/dia (1,5 min/peça) e o tempo de ciclo máximo da linha (1,41 min/peça) para OEE de 94,09%. Conforme a tabela 3.1 o OEE mínimo no gargalo para atender à demanda é de 83,3%, portanto em teoria a célula deve ser capaz de atender à demanda neste cenário.

FIGURA 4.2 - TEMPO TAKT E DE CICLO NO SEGUNDO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA



FONTE: O autor.

Cálculo teórico dos Indicadores:

- o $OEE = 94,09\% = 0,9409$
- o $Qt = (1440 \times OEE) / te(g) = 1440 \times 0,9409 / 1,25 = 1084$ peças / dia
- o $MO = 1$
- o WIP (máx) = 500 peças e WIP (min) = 250 peças
- o L (máx) = WIP (máx) / d = $500 / 1084 = 0,46$ dias = 11,04 h
- o L (min) = WIP (min) / d = $250 / 1084 = 0,23$ dias = 5,52 h

Simulação do segundo cenário:

- o Lotes das peças A e B = 900 unidades.

Os resultados e os indicadores obtidos na simulação do segundo cenário são apresentados nas tabelas 4.3 e 4.4.

TABELA 4.3 - INDICADORES OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	80,55	0,83	9,84	8,78
Máquina 02	77,36	5,31	11,32	6,01
Máquina 03	87,25	4,38	1,74	6,63
Máquina 04	76,76	16,82	0,97	5,45
Máquina 05	69,91	26,01	0,00	4,08

FONTE: O autor.

TABELA 4.4 - DADOS DE TEMPOS OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

1.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORA S)
2.º Cenário	30	1000	1,041	248	300	87,25	19,33	5,95

FONTE: O autor.

Validação do segundo cenário:

- a) Pelo cálculo teórico esperava-se uma quantidade Q_t de 1084 peças por dia, o que não se confirmou pela simulação (1000). O motivo desta diferença é que houve:
- 4,38% de ociosidade na máquina gargalo 3 por falta de peças, causando parada de produção. Esta falta de peças é ocasionada pela falta de operador para movimentação de peças da máquina 2 para a máquina 3 durante o tempo de parada das outras máquinas para *set-up*, exame e troca de ferramentas e falta de estoque de proteção no gargalo.
 - 1,74% por bloqueio devido ao limite de estoque na entrada e na saída da máquina gargalo..
- b) O OEE do gargalo é de 87,25%, quando o esperado era de 94,09%. Isso se deve ao acima exposto. Somando-se 87,25% a 4,38% e a 1,74% tem-se 93,37%. A diferença para o esperado de 94,09% (-0,72%) deve-se à variação dos tempos de *set-up* 's, trocas de ferramentas e manutenção.
- c) Foram produzidas 2700 peças "A" e 2300 peças "B" no período de 5 dias de trabalho.
- d) O IC é de 1,041, ou seja, a célula tem capacidade para produzir 4,1% a mais do que a demanda.
- e) O WIP esperado era de 250 a 500 peças. Foi encontrada média de 248 e máximo de 300.
- f) O *lead time* esperado era de máx. 11,04 h e mín. 5,52 h; obteve-se 5,95 h -
 $L = (248 / 1000) \cdot 24$

- g) Os tempos de *set-up* aumentaram os tempos de ociosidade das máquinas, pois só há um operador na célula. Conseqüentemente a capacidade de produção da célula decresceu.
- h) O grau de ocupação do operador foi de 19,33%. Este valor é devido ao tempo gasto para movimentar as peças, realizar um *set-up* de 30 minutos em cada máquina por dia, além dos exames e das trocas de ferramentas..

Terceiro cenário: com 2 *set-up* por dia

O quadro 4.4 apresenta os dados de tempos de execução, *set-up* e OEE por máquina para o terceiro cenário desta etapa. O OEE esperado será comparado com o obtido pela simulação.

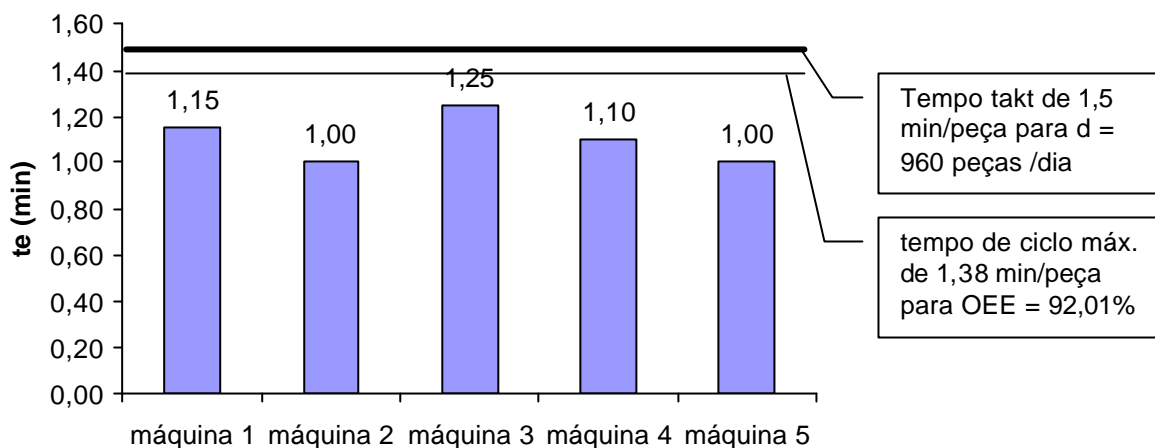
QUADRO 4.4 - TEMPOS DE EXECUÇÃO, *SET-UP* E OEE NO TERCEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

3.º CENÁRIO	MÁQUINA 1	MÁQUINA 2	MÁQUINA 3	MÁQUINA 4	MÁQUINA 5
te (min)	1,15	1,00	1,25	1,10	1,00
<i>set-up</i> (min)	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
D (%)	92,01	92,01	92,01	92,01	92,01
E (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Q (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
OEE (%)	92,01	92,01	92,01	92,01	92,01

FONTE: O autor.

Neste cenário os produtos A, B e C estarão sendo fabricados na célula (2 *set-up*'s por dia). A figura 4.3 apresenta um gráfico no qual se faz uma comparação entre o tempo takt necessário para atender à demanda de 960 peças/dia (1,5 min/peça) e o tempo de ciclo máximo da linha (1,38 min/peça) para OEE de 92,01%. Conforme a tabela 3.1 o OEE mínimo no gargalo para atender à demanda é de 83,3%, portanto em teoria a célula deve ser capaz de atender à demanda neste cenário.

FIGURA 4.3 - TEMPO TAKT E DE CICLO NO TERCEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA



FONTE: O autor.

Cálculo teórico dos Indicadores:

- o $OEE = 92,01\% = 0,9201$
- o $Qt = (1440 \times OEE) / te(g) = 1440 \times 0,9201 / 1,25 = 1060$ peças / dia
- o $MO = 1$
- o WIP (máx) = 500 peças e WIP (min) = 250 peças
- o L (máx) = WIP (máx) / $d = 500 / 1060 = 0,47$ dias = 11,28 h
- o L (min) = WIP (min) / $d = 250 / 1060 = 0,23$ dias = 5,52 h

Simulação do terceiro cenário:

- o Lotes das peças A, B e C = 400 unidades.

Os resultados e os indicadores obtidos na simulação do terceiro cenário são apresentados nas tabelas 4.5 e 4.6.

TABELA 4.5 - INDICADORES OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	75,19	3,75	11,90	9,16
Máquina 02	72,80	8,61	10,08	8,51
Máquina 03	81,50	7,41	2,01	9,08
Máquina 04	71,72	20,58	0,80	6,89
Máquina 05	65,26	28,75	0,00	5,99

FONTE: O autor.

TABELA 4.6 - DADOS DE TEMPOS OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

1.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORA S)
3.º Cenário	60	940	0,979	246	350	81,50	27,21	6,28

FONTE: O autor.

Validação do terceiro cenário:

- a) Pelo cálculo teórico esperava-se uma quantidade Q_t de 1060 peças por dia, o que não se confirmou pela simulação (940). O motivo desta diferença é que houve:
 - 7,41% de ociosidade na máquina gargalo 3 por falta de peças, causando parada de produção. Esta falta de peças é ocasionada pela falta de operador para movimentação de peças da máquina 2 para a máquina 3 durante o tempo de parada das outras máquinas para *set-up*, exame e troca de ferramentas e falta de estoque de proteção no gargalo.
 - 2,01% por bloqueio devido ao limite de estoque na entrada e na saída da máquina gargalo.
- b) O OEE do gargalo é de 81,50%, quando o esperado era de 92,01%. Isso se deve ao acima exposto. Somando-se 81,50% a 7,41% e a 2,01% tem-se 90,92%. A diferença para o esperado de 92,09% (-1,17%) deve-se à variação dos tempos de *set-up*'s, trocas de ferramentas e manutenção.
- c) Foram produzidas 1800 peças "A", 1550 peças "B" e 1350 peças "C" no período de 5 dias de trabalho.
- d) O IC é de 0,979, ou seja, a célula não tem capacidade para produzir a demanda.
- e) O WIP esperado era de 250 a 500 peças. Foi encontrada média de 246 e máximo de 350.
- f) O *lead time* esperado era de máx. 11,28 h e mín. 5,52 h; obteve-se 6,28 h -

$$L = (246 / 940) \cdot 24$$

- g) Os tempos de *set-up* aumentaram os tempos de ociosidade das máquinas, pois só há um operador na célula. Conseqüentemente a capacidade de produção da célula decresceu.
- h) O grau de ocupação do operador foi de 27,21%. Este valor é devido ao tempo gasto para movimentar as peças, realizar dois *set-up*'s de 30 minutos em cada máquina por dia, além dos exames e das trocas de ferramentas.

Quarto cenário: com 3 *set-up* por dia

O quadro 4.5 apresenta os dados de tempos de execução, *set-up* e OEE por máquina para o quarto cenário desta etapa. O OEE esperado será comparado com o obtido pela simulação.

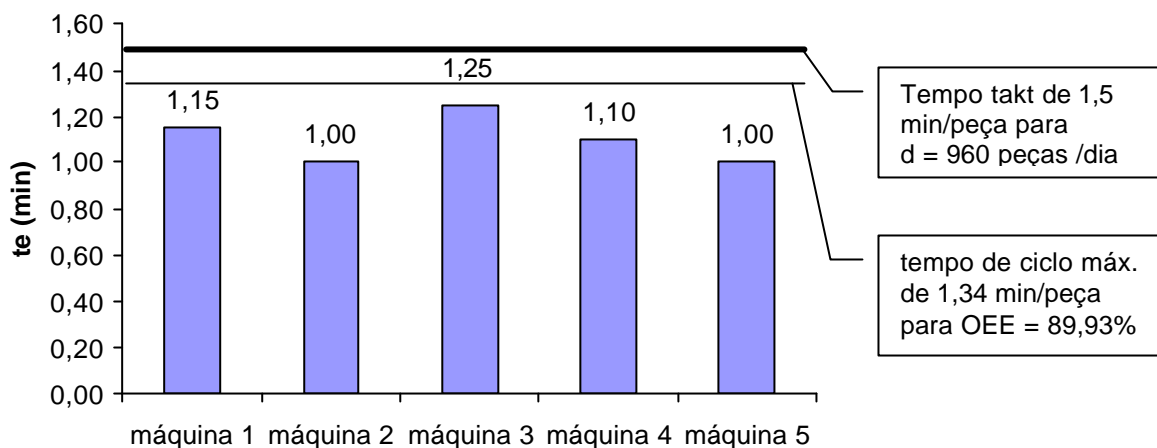
QUADRO 4.5 - TEMPOS DE EXECUÇÃO, *SET-UP* E OEE NO QUARTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

4.º CENÁRIO	MÁQUINA 1	MÁQUINA 2	MÁQUINA 3	MÁQUINA 4	MÁQUINA 5
te (min)	1,15	1,00	1,25	1,10	1,00
<i>set-up</i> (min)	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00
D (%)	89,93	89,93	89,93	89,93	89,93
E (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Q (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
OEE (%)	89,93	89,93	89,93	89,93	89,93

FONTE: O autor.

Neste cenário os produtos A, B, C e D estarão sendo fabricados na célula (3 *set-up*'s por dia). A Fig. 4.4 apresenta um gráfico no qual se faz uma comparação entre o tempo takt necessário para atender à demanda de 960 peças/dia (1,5 min/peça) e o tempo de ciclo máximo da linha (1,34 min/peça) para OEE de 89,93%. Conforme a tabela 3.1 o OEE mínimo no gargalo para atender à demanda é de 83,3%, portanto em teoria a célula deve ser capaz de atender à demanda neste cenário.

FIGURA 4.4 - TEMPO TAKT E DE CICLO NO QUARTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA



FONTE: O autor.

Cálculo teórico dos Indicadores:

- $OEE = 89,93\% = 0,8993$
- $Qt = (1440 \times OEE) / te(g) = 1440 \times 0,8993 / 1,25 = 1036$ peças / dia
- $MO = 1$
- WIP (máx) = 500 peças e WIP (min) = 250 peças
- L (máx) = WIP (máx) / $d = 500 / 1036 = 0,48$ dias = 11,52 h
- L (min) = WIP (min) / $d = 250 / 1036 = 0,24$ dias = 5,76 h

Simulação do quarto cenário:

- Lotes das peças A e B = 300; C e D = 250 unidades.

Os resultados e os indicadores obtidos na simulação do quarto cenário são apresentados nas tabelas 4.7 e 4.8.

TABELA 4.7 - INDICADORES OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	65,88	2,78	19,19	12,15
Máquina 02	63,75	8,93	17,05	10,27
Máquina 03	71,46	13,36	4,36	10,82
Máquina 04	62,85	27,57	0,80	8,78
Máquina 05	57,23	35,68	0,00	7,09

FONTE: O autor.

TABELA 4.8 - DADOS DE TEMPOS OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

1.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
4.º Cenário	90	820	0,845	252	350	71,46	33,99	7,38

FONTE: O autor.

Validação do quarto cenário:

- a) Pelo cálculo teórico esperava-se uma quantidade Q_t de 1036 peças por dia, o que não se confirmou pela simulação (820). O motivo desta diferença é que houve:
- 13,36% de ociosidade na máquina gargalo 3 por falta de peças, causando parada de produção. Esta falta de peças é ocasionada pela falta de operador para movimentação de peças da máquina 2 para a máquina 3 durante o tempo de parada das outras máquinas para *set-up*, exame e troca de ferramentas e falta de estoque de proteção no gargalo.
 - 4,36% por bloqueio devido ao limite de estoque na entrada e na saída da máquina gargalo.
- b) O OEE do gargalo é de 71,46%, quando o esperado era de 89,93%. Isso se deve ao acima exposto. Somando-se 71,46% a 13,36% e a 4,36% tem-se 89,18%. A diferença para o esperado de 89,93% (-0,75%) deve-se à variação dos tempos de *set-up*'s, trocas de ferramentas e manutenção.
- c) Foram produzidas 1050 peças "A", 1100 peças "B", 1100 peças "C" e 850 peças "D" no período de 5 dias de trabalho.
- d) O IC é de 0,845, ou seja, a célula não tem capacidade para produzir a demanda.
- e) O WIP esperado era de 250 a 500 peças. Foi encontrada média de 252 e máximo de 350.
- f) O *lead time* esperado era de máximo 11,52 h e mínimo 5,76 h; obteve-se 7,38 h - $L = (252 / 820) \cdot 24$

- g) Os tempos de *set-up* aumentaram os tempos de ociosidade das máquinas, pois só há um operador na célula. Conseqüentemente a capacidade de produção da célula decresceu.
- h) O grau de ocupação do operador foi de 33,99%. Este valor é devido ao tempo gasto para movimentar as peças, realizar três *set-up*'s de 30 minutos em cada máquina por dia, além dos exames e das trocas de ferramentas.

Quinto cenário: com 4 *set-up*'s por dia

O quadro 4.6 apresenta os dados de tempos de execução, *set-up* e OEE por máquina para o quinto cenário desta etapa. O OEE esperado será comparado com o obtido pela simulação.

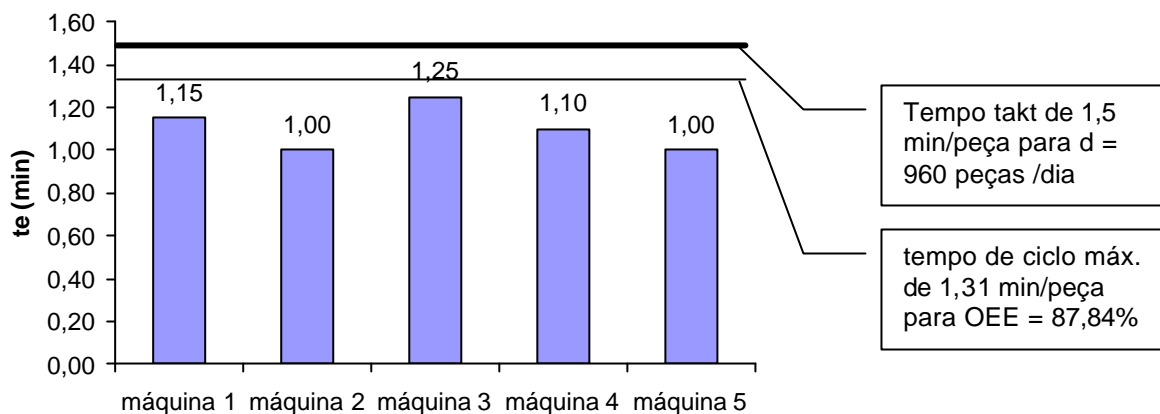
QUADRO 4.6 - TEMPOS DE EXECUÇÃO, *SET-UP* E OEE NO QUINTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

5.º CENÁRIO	MÁQUINA 1	MÁQUINA 2	MÁQUINA 3	MÁQUINA 4	MÁQUINA 5
te (min)	1,15	1,00	1,25	1,10	1,00
<i>set-up</i> (min)	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
D (%)	87,84	87,84	87,84	87,84	87,84
E (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Q (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
OEE (%)	87,84	87,84	87,84	87,84	87,84

FONTE: O autor.

Neste cenário os produtos A, B, C, D e E estarão sendo fabricados na célula (4 *set-up*'s por dia). A Fig. 4.5 apresenta um gráfico no qual se faz uma comparação entre o tempo takt necessário para atender à demanda de 960 peças/dia (1,5 min/peça) e o tempo de ciclo máximo da linha (1,31 min/peça) para OEE de 87,84%. Conforme a tabela 3.1 o OEE mínimo no gargalo para atender à demanda é de 83,3%, portanto em teoria a célula deve ser capaz de atender à demanda neste cenário.

FIGURA 4.5 - TEMPO TAKT E DE CICLO NO QUINTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA



FONTE: O autor

Cálculo teórico dos Indicadores:

- o $OEE = 87,84\% = 0,8784$
- o $Qt = (1440 \times OEE) / te(g) = 1440 \times 0,8784 / 1,25 = 1012$ peças / dia
- o $MO = 1$
- o WIP (máx) = 500 peças e WIP (min) = 250 peças
- o L (máx) = WIP (máx) / d = $500 / 1012 = 0,49$ dias = 11,76 h
- o L (min) = WIP (min) / d = $250 / 1012 = 0,25$ dias = 6,00 h

Simulação do quinto cenário:

- o Lotes das peças A, B, C, D e E de 200 peças.

Os resultados e os indicadores obtidos na simulação do quinto cenário são apresentados nas tabelas 4.9 e 4.10.

TABELA 4.9 - INDICADORES OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	64,48	2,31	17,64	15,57
Máquina 02	62,77	8,30	16,94	11,99
Máquina 03	70,09	13,27	2,80	13,84
Máquina 04	61,65	27,40	0,29	10,66
Máquina 05	56,08	34,89	0,00	9,03

FONTE: O autor.

TABELA 4.10 - DADOS DE TEMPOS OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA PRIMEIRA ETAPA

1.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORA S)
5.º Cenário	120	800	0,833	256	350	70,09	43,75	7,68

FONTE: O autor.

Validação do quinto cenário:

- a) Pelo cálculo teórico esperava-se uma quantidade Q_t de 1012 peças por dia, o que não se confirmou pela simulação (800). O motivo desta diferença é que houve:
 - 13,27% de ociosidade na máquina gargalo 3 por falta de peças, causando parada de produção. Esta falta de peças é ocasionada pela falta de operador para movimentação de peças da máquina 2 para a máquina 3 durante o tempo de parada das outras máquinas para *set-up*, exame e troca de ferramentas e falta de estoque de proteção no gargalo.
 - 2,80% por bloqueio devido ao limite de estoque na entrada e na saída da máquina gargalo.
- b) O OEE do gargalo é de 70,09%, quando o esperado era de 87,84%. Isso se deve ao acima exposto. Somando-se 70,09% a 13,27% e a 2,80% tem-se 86,16%. A diferença para o esperado de 87,84% (-1,68%) deve-se à variação dos tempos de *set-up*'s, trocas de ferramentas e manutenção.
- c) Foram produzidas 800 peças "A", 800 peças "B", 800 peças "C", 800 peças "D" e 800 peças "E" no período de 5 dias de trabalho.
- d) O IC é de 0,833, ou seja, a célula não tem capacidade para produzir a demanda.
- e) O WIP esperado era de 250 a 500 peças. Foi encontrada média de 256 e máximo de 350.
- f) O *lead time* esperado era de máximo 11,76 h e mínimo 6,00 h; obteve-se 7,68 h - $L = (256 / 800) \cdot 24$
- g) Os tempos de *set-up* aumentaram os tempos de ociosidade das máquinas, pois só há um operador na célula. Conseqüentemente a capacidade de produção da célula decresceu.

- h) O grau de ocupação do operador foi de 43,75%. Este valor é devido ao tempo gasto para movimentar as peças, realizar quatro *set-up*'s de 30 minutos em cada máquina por dia, além dos exames e das trocas de ferramentas.

Análise dos resultados da primeira etapa:

O resumo dos indicadores obtidos na primeira etapa está contido na tabela 4.11.

TABELA 4.11 – INDICADORES OBTIDOS NA PRIMEIRA ETAPA

1.ª ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PÇS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PÇS)	WIP MÁX. (PÇS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO DO OPERADOR (%)	LEAD TIME (H)
1.º Cenário	0	1060	1,104	249	300	92,21	12,00	5,64
2.º Cenário	30	1000	1,041	248	300	87,25	19,33	5,95
3.º Cenário	60	940	0,979	246	350	81,50	27,21	6,28
4.º Cenário	90	820	0,845	252	350	71,46	33,99	7,38
5.º Cenário	120	800	0,833	256	350	70,09	43,75	7,68
Valor limite	240	960	1,00	375	500	83,33	100,00	11,76

FONTE: O autor.

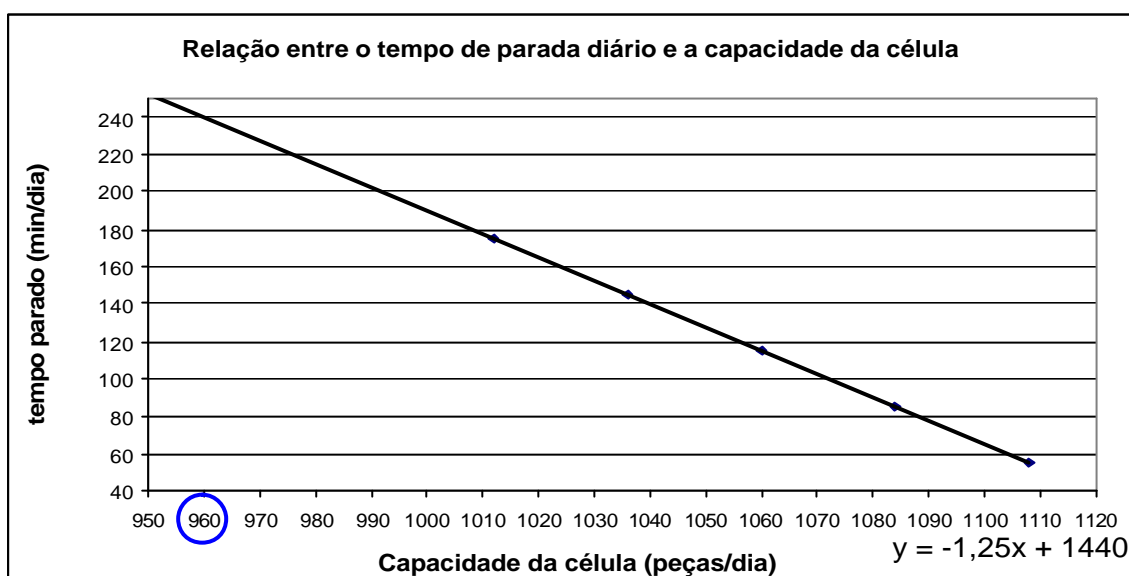
Nos 5 cenários avaliados observou-se que a redução do tamanho dos lotes exigiu maior número de *set-up*'s, diminuindo a disponibilidade (D) das máquinas. Também se observou o aparecimento e crescimento do tempo ocioso do gargalo pela falta de peças para processar e pela ausência do operador por estar em outra máquina realizando *set-up*. Isto causou a queda da eficiência (E) de 98,40% no primeiro cenário até 86,73% no quinto cenário. Com isso o OEE do gargalo foi decrescendo gradativamente e a capacidade da célula foi sendo proporcionalmente reduzida. Em teoria, a relação entre o tempo de parada total da máquina gargalo e a capacidade diária de produção está mostrada na figura 4.6.

Pela análise do gráfico tem-se que:

- Para atender a demanda de 960 peças/dia a quantidade total de tempo parado poderia ser de no máximo 240 minutos por dia.
- Somando-se o tempo total de troca de ferramentas de 20 minutos por dia ao tempo de manutenção diário de 35 minutos, obtêm-se 55 minutos. Subtraindo-se de 240 resulta uma sobra de 185 minutos disponíveis para tempo de *set-up*.

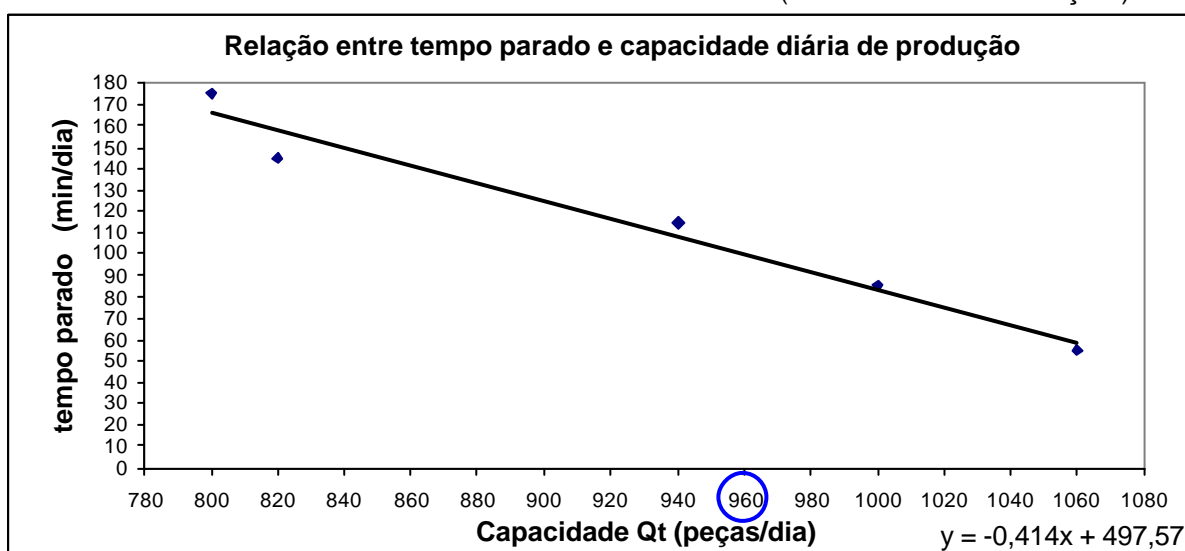
- c) Como o tempo de *set-up* unitário é de 30 minutos, conclui-se que é possível realizar-se até 6 *set-up*'s de 30 minutos por dia com lotes de processamento de 137 unidades e, mesmo assim, atender à demanda. Entretanto, através da simulação, pode-se perceber que a capacidade decresce mais rapidamente, conforme evidenciado na figura 4.7.

FIGURA 4.6 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA PRIMEIRA ETAPA (TEÓRICO)



FONTE: O autor.

FIGURA 4.7 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA PRIMEIRA ETAPA (ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO)



FONTE: O autor.

Para a demanda de 960 peças/dia o tempo total máximo de parada não poderia ultrapassar 100 minutos por dia. Subtraindo-se 55 minutos (troca ferramentas + manutenção), tem-se 45 minutos, o que dividido por 30 minutos (tempo de *set-up* unitário) leva a 1,5. Conclui-se que seria possível na prática executar 1 *set-up* por dia e trabalhar com 2 lotes diários de 480 peças (960 / 2). O quadro 4.7 demonstra o resumo:

QUADRO 4.7 - COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DA PRIMEIRA ETAPA)

ETAPA	TEMPO PARADO DIÁRIO MÁXIMO (MIN)	TEMPO MÁXIMO PARA SET-UP (MIN)	Nº MÁXIMO DE <i>SET-UP'S</i> DIÁRIOS PARA ATENDER A DEMANDA	QUANTIDADE MÍNIMA DE PEÇAS POR LOTE
Teórico	240	185	6	160
1.ª Etapa	100	45	1	960

FONTE: O autor.

Este decréscimo acentuado da capacidade ocorre por 3 razões:

- a) Estoques máximos nas entradas e saídas das máquinas não compatíveis com as limitações acima, permitindo que as máquinas, inclusive os gargalos, parem por falta de peças a serem processadas (tempo ocioso).
- b) Existência de somente um operador na célula, o que causa parada de algumas máquinas, inclusive do gargalo, quando o operador está realizando *set-up* em outras (tempo ocioso).
- c) Tempos de *set-up's* altos demais para a demanda diária, diminuindo a disponibilidade (D) das máquinas, inclusive do gargalo.

A primeira hipótese de que “o aumento do número de *set-up's* diários impacta em redução acentuada da capacidade de produção da célula, existindo um valor real menor do que o calculado teoricamente” foi testada nesta etapa e comprovada por meio da simulação. A segunda hipótese de que “a limitação de um contentor de peças na entrada e na saída da máquina gargalo (3) pode comprometer o desempenho da linha” foi testada nesta etapa e também comprovada por meio da simulação.

Baseado nesta análise, e antes de se reduzir o tamanho dos lotes de transferência, serão realizadas mais quatro etapas com cinco cenários cada, a fim de se estudar as seguintes possibilidades:

- a) segunda etapa – aumentar o estoque limite na entrada e na saída do gargalo para verificar se ocorre uma diminuição das paradas por falta de peças para processamento e evitar as possíveis paradas por bloqueio devido à falta de espaço para dispor as peças prontas.
- b) terceira etapa – aumentar a quantidade de operadores na célula para verificar se ocorre uma diminuição das paradas por falta de operador para realizar os *set-up's*.
- c) quarta etapa – reduzir o tempo de *set-up* da máquina gargalo de forma a permitir que um operador dê conta da tarefa e a célula possa atender à demanda esperada. Objetiva-se com esta etapa verificar também se uma redução do tempo de *set-up* do gargalo, sem reduzir o das outras, traz aumento da capacidade.
- d) quinta etapa – reduzir os tempos de *set-up's* de todas as máquinas de forma a permitir que um operador dê conta da tarefa e a célula possa atender à demanda esperada. Objetiva-se com esta etapa definir qual o tempo de *set-up* das máquinas considerado ideal para a célula nas condições pré-estabelecidas.

4.2 SEGUNDA ETAPA

Nesta etapa serão considerados os cinco cenários da primeira etapa, com as mesmas condições de tamanho dos lotes de peças, quantidade de lotes e de tempos de *set-up*, porém com um pulmão de peças na entrada da máquina três (a ser determinado) e sem limite de estoque máximo na saída da máquina três. Esta decisão se baseia na premissa da Teoria das Restrições (TOC) de Goldratt, de que o gargalo de uma linha deve estar protegido com um estoque de peças para não parar caso as máquinas não gargalo deixem de mandar peças temporariamente (CORRÊA & GIANESI, 1996, p. 163; GOLRATT & FOX, 1992, p. 118-126). Na saída do gargalo haverá possibilidade de acúmulo ilimitado de peças. Isto deverá evitar uma possível parada do gargalo por falta de espaço para dispor as peças prontas (bloqueio). A quantidade de peças por contentor será mantida em 50 peças e o tempo de *set-up* será de 30 minutos por máquina, conforme mostra o quadro 4.8.

QUADRO 4.8 - PARÂMETROS FIXADOS NA SEGUNDA ETAPA

ETAPAS	PEÇAS POR CONTENTOR	TEMPO SET-UP (MIN)	Nº DE OPERADORES	HÁ LIMITE DE ESTOQUE NA ENTRADA/SAÍDA DO GARGALO?
2. ^a	50	30	1	Entrada 2 contentores - saída, não

FONTE: O autor.

Restrições assumidas na segunda etapa:

- A disponibilidade (D) será considerada 96,18% e irá diminuindo com o aumento do número de *set-up*s (idem etapa 1).
- A eficiência (E) será considerada 100% (idem etapa 1).
- A qualidade (Q) será considerada 100% (idem etapa 1).

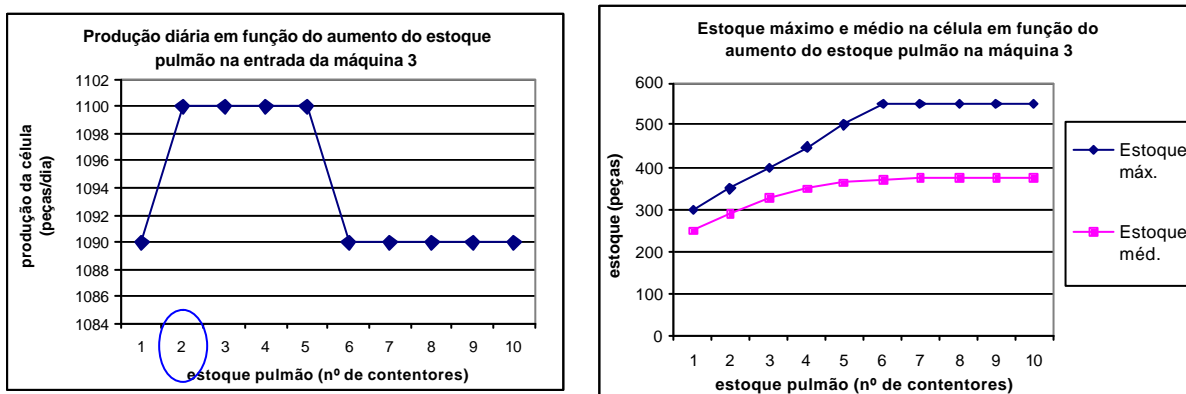
Hipótese a ser testada na segunda etapa do estudo:

O aumento do estoque de peças na entrada e na saída do gargalo aumenta a capacidade de produção da célula.

Determinação do estoque pulmão na entrada da máquina três.

Foram efetuadas simulações com estoques pulmão variando de um a dez contentores e avaliados produção, estoque máximo e estoque médio da linha (WIP). Verificou-se que o estoque pulmão na entrada da máquina três que otimiza a produção com o menor WIP é de dois contentores para os cinco cenários (ver Fig. 4.8).

FIGURA 4.8 - ESTOQUE PULMÃO NA MÁQUINA GARGALO NA SEGUNDA ETAPA



FONTE: O autor.

Os indicadores de desempenho teóricos estão apresentados no apêndice dois. Os dados obtidos na simulação dos cinco cenários estão apresentados no apêndice três. A validação dos cinco cenários foi realizada de forma análoga à primeira etapa.

4.3 TERCEIRA ETAPA

Serão mantidas as condições da segunda etapa, com exceção da quantidade de operadores que passará de um para dois. Os parâmetros desta etapa se encontram no quadro 4.9.

QUADRO 4.9 - PARÂMETROS FIXADOS DA TERCEIRA ETAPA

ETAPAS	PEÇAS POR CONTENTOR	TEMPO <i>SET-UP</i> (MIN)	Nº DE OPERADORES	HA LIMITE DE ESTOQUE NA ENTRADA/SÁIDA DO GARGALO?
3. ^a	50	30	2	Entrada 2 contentores - saída, não

FONTE: O autor.

Restrições assumidas na terceira etapa:

- a) A disponibilidade (D) será considerada 96,18% e irá diminuindo com o aumento do número de *set-up*s (idem etapa 1).
- b) A eficiência (E) será considerada 100% (idem etapa 1).
- c) A qualidade (Q) será considerada 100% (idem etapa 1).

Hipótese a ser testada na terceira etapa:

O acréscimo de mais um operador aumenta a capacidade de produção da célula e permite aumentar o número de *set-up*'s diários e reduzir o tamanho dos lotes.

Determinação do estoque pulmão na entrada da máquina três.

Foram efetuadas simulações com estoques pulmão variando de um a dez contentores e avaliados produção, estoque máximo e estoque médio da linha (WIP). Verificou-se que o estoque pulmão na entrada da máquina três que otimiza a produção com o menor WIP é de dois contentores para os 5 cenários (semelhante à segunda etapa).

Os indicadores de desempenho teóricos estão apresentados no apêndice dois. Os dados obtidos na simulação dos cinco cenários estão apresentados no apêndice quatro. A validação dos cinco cenários foi realizada de forma análoga à primeira etapa.

4.4 QUARTA ETAPA

Nesta etapa serão considerados os cinco cenários da segunda etapa, com as mesmas condições de operação, porém com tempo de *set-up* de nove minutos na máquina gargalo. Os parâmetros são mostrados no quadro 4.10.

QUADRO 4.10 - PARÂMETROS FIXADOS NA QUARTA ETAPA

ETAPAS	PEÇAS POR CONTENTOR	TEMPO <i>SET-UP</i> (MIN)	Nº DE OPERADORES	HÁ LIMITE DE ESTOQUE NA ENTRADA/SAÍDA DO GARGALO?
4. ^a	50	Gargalo, 9 – demais, 30	1	Entrada 2 contentores - saída, não

FONTE: O autor.

Restrições assumidas na quarta etapa:

- A disponibilidade (D) será considerada 96,18% e irá diminuindo com o aumento do número de *set-up* s (idem etapa 1).
- A eficiência (E) será considerada 100% (idem etapa 1).
- A qualidade (Q) será considerada 100% (idem etapa 1).
- O tempo de *set-up* da máquina gargalo será reduzido a cerca de 1/3 e passa de 30 para 9 minutos, que é considerado um *set-up* do tipo SMED (*Single Minute Exchange of Die*), ou seja, troca de ferramentas, cujo tempo demora menos de 10 minutos (um dígito), conforme SHINGO (1998, p.23).

Hipótese a ser testada na quarta etapa do estudo:

A redução do tempo de *set-up* da máquina gargalo de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a redução do tamanho dos lotes, sem necessidade de mais operadores e sem a necessidade de reduzir o tempo de *set-up* das outras máquinas.

Determinação do estoque pulmão na entrada da máquina três.

Foram efetuadas simulações com estoques pulmão variando de um a dez contentores e avaliados produção, estoque máximo e estoque médio da linha (WIP). Verificou-se que o estoque pulmão na entrada da máquina três que otimiza a produção com o menor WIP é de dois contentores para os cinco cenários (semelhante às segunda e terceira etapas).

Os indicadores de desempenho teóricos estão apresentados no apêndice dois. Os dados obtidos na simulação dos cinco cenários estão apresentados no apêndice cinco. A validação dos cinco cenários foi realizada de forma análoga à primeira etapa.

4.5 QUINTA ETAPA

Nesta etapa serão considerados os cinco cenários da quarta etapa, com as mesmas condições de operação, porém com tempo de *set-up* de 9 minutos em todas as máquinas. Os parâmetros são mostrados no quadro 4.11.

QUADRO 4.11 - PARÂMETROS FIXADOS NA QUINTA ETAPA

ETAPAS	PEÇAS POR CONTENTOR	TEMPO <i>SET-UP</i> (MIN)	Nº DE OPERADORES	HA LIMITE DE ESTOQUE NA ENTRADA/SÁIDA DO GARGALO?
5. ^a	50	9	1	Entrada 2 contentores - saída, não

FONTE: O autor.

Restrições assumidas na quinta etapa:

- A disponibilidade (D) será considerada 96,18% e irá diminuindo com o aumento do número de *set-up* s (idem primeira etapa).
- A eficiência (E) será considerada 100% (idem primeira etapa).
- A qualidade (Q) será considerada 100% (idem primeira etapa).
- O tempo de *set-up* de todas as máquinas será reduzido a cerca de 1/3 e passa de 30 para 9 minutos, que é considerado um *set-up* do tipo SMED (*Single Minute Exchange of Die*), ou seja, troca de ferramentas, cujo tempo demora menos de 10 minutos (um dígito), conforme SHINGO (1998, p.23).

Hipótese a ser testada na quinta etapa do estudo:

A redução do tempo de *set-up* de todas as máquinas de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a redução do tamanho dos lotes, sem necessidade de mais operadores.

Determinação do estoque pulmão na entrada da máquina três.

Foram efetuadas simulações com estoques pulmão variando de um a dez contentores e avaliados produção, estoque máximo e estoque médio da linha (WIP). Verificou-se que o estoque pulmão na entrada da máquina três que otimiza a produção com o menor WIP é de dois contentores para os cinco cenários (semelhante à segunda, à terceira e à quarta etapas).

Os indicadores de desempenho teóricos estão apresentados no apêndice dois. Os dados obtidos na simulação dos cinco cenários estão apresentados no apêndice seis. A validação dos cinco cenários foi realizada de forma análoga à primeira etapa.

4.6 SEXTA ETAPA

Nesta etapa serão considerados os cinco cenários da segunda etapa, com as mesmas condições, exceto o tamanho do lote de transferência e o tempo de aquecimento. Este foi reavaliado para o novo lote de transferência de 10 peças e ficou em 46 minutos ou 0,77 horas, portanto o tempo de simulação foi de 120,77 horas. Os parâmetros estão detalhados no quadro 4.12.

QUADRO 4.12 – PARÂMETROS FIXADOS NA SEXTA ETAPA.

ETAPAS	PEÇAS POR CONTENTOR	TEMPO <i>SET-UP</i> (MIN)	Nº DE OPERADORES	HA LIMITE DE ESTOQUE NA ENTRADA/SAÍDA DO GARGALO?
6. ^a	10	30	1	Entrada n contentores - saída, não

FONTE: O autor.

Restrições assumidas na sexta etapa:

- a) A disponibilidade (D) será considerada 96,18% e irá diminuindo com o aumento do número de *set-up* s (idem etapa 1).
- b) A eficiência (E) será considerada 100% (idem etapa 1).

c) A qualidade (Q) será considerada 100% (idem etapa 1).

Hipótese a ser testada na sexta etapa do estudo:

A redução do lote de transferência de 50 para 10 peças impacta em diminuição do WIP e do *lead time* e também da capacidade da célula, por falta de mão-de-obra.

Determinação do estoque pulmão na entrada da máquina três.

Foram efetuadas simulações com estoques pulmão variando de um a dez contentores e avaliados produção, estoque máximo e estoque médio da linha (WIP). Verificou-se que o estoque pulmão na entrada da máquina três que otimiza a produção com o menor WIP é o seguinte:

- Primeiro cenário = cinco contentores
- Segundo cenário = sete contentores
- Terceiro cenário = sete contentores
- Quarto cenário = cinco contentores
- Quinto cenário = quatro contentores

Os indicadores de desempenho teóricos estão apresentados no apêndice dois. Os dados obtidos na simulação dos cinco cenários estão apresentados no apêndice sete. A validação dos cinco cenários foi realizada de forma análoga à primeira etapa.

4.7 SÉTIMA ETAPA

Nesta etapa serão considerados os cinco cenários da terceira etapa, com as mesmas condições, exceto o tamanho do lote de transferência e o tempo de aquecimento (120,77 horas). Os parâmetros são mostrados no quadro 4.13.

QUADRO 4.13 – PARÂMETROS FIXADOS NA SÉTIMA ETAPA.

ETAPAS	PEÇAS POR CONTENTOR	TEMPO SET-UP (MIN)	Nº DE OPERADORES	HA LIMITE DE ESTOQUE NA ENTRADA/SAÍDA DO GARGALO?
7. ^a	10	30	2	Entrada n contentores - saída, não

FONTE: O autor.

Restrições assumidas na sétima etapa:

- a) A disponibilidade (D) será considerada 96,18% e irá diminuindo com o aumento do número de *set-up*s (idem etapa 1).
- b) A eficiência (E) será considerada 100% (idem etapa 1).
- c) A qualidade (Q) será considerada 100% (idem etapa 1).

Hipótese a ser testada na sétima etapa do estudo:

O acréscimo de mais um operador aumenta a capacidade de produção da célula e permite aumentar o número de *set-up*'s diários e reduzir o tamanho dos lotes, sem causar aumento do WIP e do *lead time*.

Determinação do estoque pulmão na entrada da máquina três.

Foram efetuadas simulações com estoques pulmão variando de um a dez contentores e avaliados produção, estoque máximo e estoque médio da linha (WIP). Verificou-se que o estoque pulmão na entrada da máquina três que otimiza a produção com o menor WIP é o seguinte:

- Primeiro cenário = nove contentores
- Segundo cenário = sete contentores
- Terceiro cenário = oito contentores
- Quarto cenário = oito contentores
- Quinto cenário = seis contentores

Os indicadores de desempenho teóricos estão apresentados no apêndice dois. Os dados obtidos na simulação dos cinco cenários estão apresentados no apêndice oito. A validação dos cinco cenários foi realizada de forma análoga à primeira etapa.

4.8 OITAVA ETAPA

Nesta etapa serão considerados os cinco cenários da quarta etapa, com as mesmas condições, exceto o tamanho do lote de transferência e o tempo de aquecimento (120,77 horas). Os parâmetros estão mostrados no quadro 4.14.

QUADRO 4.14 – PARÂMETROS FIXADOS NA OITAVA ETAPA

ETAPAS	PEÇAS POR CONTENTOR	TEMPO <i>SET-UP</i> (MIN)	Nº DE OPERADORES	HA LIMITE DE ESTOQUE NA ENTRADA/SAÍDA DO GARGALO?
8. ^a	10	Gargalo, 9 – demais, 30	1	Entrada n contentores - saída, não

FONTE: O autor.

Restrições assumidas na oitava etapa:

- a) A disponibilidade (D) será considerada 96,18% e irá diminuindo com o aumento do número de *set-up* s (idem etapa 1).
- b) A eficiência (E) será considerada 100% (idem etapa 1).
- c) A qualidade (Q) será considerada 100% (idem etapa 1).

Hipótese a ser testada na oitava etapa do estudo:

A redução do tempo de *set-up* da máquina gargalo de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a redução do tamanho dos lotes e do lote de transferência para 10 peças, sem necessidade de mais operadores e sem a necessidade de reduzir o tempo de *set-up* das outras máquinas.

Determinação do estoque pulmão na entrada da máquina três.

Foram efetuadas simulações com estoques pulmão variando de um a dez contentores e avaliados produção, estoque máximo e estoque médio da linha (WIP). Verificou-se que o estoque pulmão na entrada da máquina três que otimiza a produção com o menor WIP é o seguinte:

- Primeiro cenário = cinco contentores
- Segundo cenário = sete contentores
- Terceiro cenário = nove contentores
- Quarto cenário = oito contentores
- Quinto cenário = quatro contentores

Os indicadores de desempenho teóricos estão apresentados no apêndice dois. Os dados obtidos na simulação dos cinco cenários estão apresentados no apêndice nove. A validação dos cinco cenários foi realizada de forma análoga à primeira etapa.

4.9 NONA ETAPA

Nesta etapa serão considerados os cinco cenários da quinta etapa, com as mesmas condições de operação, exceto o tamanho do lote de transferência e o tempo de aquecimento (120,77 horas). Os parâmetros estão mostrados no quadro 4.15.

QUADRO 4.15 – PARÂMETROS FIXADOS NA NONA ETAPA

ETAPAS	PEÇAS POR CONTENTOR	TEMPO <i>SET-UP</i> (MIN)	Nº DE OPERADORES	HÁ LIMITE DE ESTOQUE NA ENTRADA/SAÍDA DO GARGALO?
9. ^a	10	9	1	Entrada n contentores - saída, não

FONTE: O autor.

Restrições assumidas na nona etapa:

- A disponibilidade (D) será considerada 96,18% e irá diminuindo com o aumento do número de *set-up* s (idem primeira etapa).
- A eficiência (E) será considerada 100% (idem primeira etapa).
- A qualidade (Q) será considerada 100% (idem primeira etapa).

Hipótese a ser testada na nona etapa do estudo:

A redução do tempo de *set-up* de todas as máquinas de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a redução do tamanho dos lotes e do lote de transferência para 10 peças, sem necessidade de mais operadores.

Determinação do estoque pulmão na entrada da máquina três.

Foram efetuadas simulações com estoques pulmão variando de um a dez contentores e avaliados produção, estoque máximo e estoque médio da linha (WIP). Verificou-se que o estoque pulmão na entrada da máquina três que otimiza a produção com o menor WIP é o seguinte:

- Primeiro cenário = cinco contentores
- Segundo cenário = oito contentores
- Terceiro cenário = nove contentores
- Quarto cenário = sete contentores
- Quinto cenário = quatro contentores

Os indicadores de desempenho teóricos estão apresentados no apêndice dois. Os dados obtidos na simulação dos cinco cenários estão apresentados no apêndice dez. A validação dos cinco cenários foi realizada de forma análoga à primeira etapa.

4.10 DÉCIMA ETAPA

Nesta etapa serão considerados os cinco cenários da sexta etapa, com as mesmas condições, exceto o tamanho do lote de transferência (unitário) e o tempo de aquecimento. Este foi reavaliado para o novo lote de transferência de 1 peça e ficou em 6 minutos ou 0,10 hora, portanto o tempo de simulação foi de 120,10 horas. Os parâmetros são mostrados no quadro 4.16.

QUADRO 4.16 – PARÂMETROS FIXADOS NA DÉCIMA ETAPA

ETAPAS	PEÇAS POR CONTENTOR	TEMPO <i>SET-UP</i> (MIN)	Nº DE OPERADORES	HA LIMITE DE ESTOQUE NA ENTRADA/SAÍDA DO GARGALO?
10. ^a	1	30	1	Entrada n contentores - saída, não

FONTE: O autor.

Restrições assumidas na décima etapa:

- a) A disponibilidade (D) será considerada 96,18% e irá diminuindo com o aumento do número de *set-up* s (idem etapa 1).
- b) A eficiência (E) será considerada 100% (idem etapa 1).
- c) A qualidade (Q) será considerada 100% (idem etapa 1).
- d) Os contentores foram abolidos e a transferência das peças entre as máquinas será feita manualmente pelo operador.

Hipótese a ser testada na décima etapa do estudo:

A redução do lote de transferência de dez para uma peça impacta em quedas do WIP e do *lead time* , porém também da capacidade da célula, por falta de mão-de-obra.

Determinação do estoque pulmão na entrada da máquina três.

Foram efetuadas simulações com estoques pulmão variando de 1 a 76 peças e avaliados produção, estoque máximo e estoque médio da linha (WIP). Verificou-se

que o estoque pulmão na entrada da máquina três que otimiza a produção com o menor WIP é o seguinte:

- Primeiro cenário = 55 peças
- Segundo cenário = 55 peças
- Terceiro cenário = 55 peças
- Quarto cenário = 60 peças
- Quinto cenário = 50 peças

Os indicadores de desempenho teóricos estão apresentados no apêndice dois. Os dados obtidos na simulação dos cinco cenários estão apresentados no apêndice onze. A validação dos cinco cenários foi realizada de forma análoga à primeira etapa.

4.11 DÉCIMA PRIMEIRA ETAPA

Nesta etapa serão considerados os cinco cenários da terceira etapa, com as mesmas condições, exceto o tamanho do lote de transferência e o tempo de aquecimento. (120,10 horas). Os parâmetros estão mostrados no quadro 4.17.

QUADRO 4.17 – PARÂMETROS FIXADOS NA 11.^a ETAPA

ETAPAS	PEÇAS POR CONTENTOR	TEMPO <i>SET-UP</i> (MIN)	Nº DE OPERADORES	HA LIMITE DE ESTOQUE NA ENTRADA/SAÍDA DO GARGALO?
11. ^a	1	30	2	Entrada n contentores - saída, não

FONTE: O autor.

Restrições assumidas na 11.^a etapa:

- a) A disponibilidade (D) será considerada 96,18% e irá diminuindo com o aumento do número de *set-up* s (idem etapa 1).
- b) A eficiência (E) será considerada 100% (idem etapa 1).
- c) A qualidade (Q) será considerada 100% (idem etapa 1).
- d) Os contentores foram abolidos e a transferência das peças entre as máquinas será feita manualmente pelo operador.

Hipótese a ser testada na 11.^a etapa do estudo:

O acréscimo de mais um operador aumenta a capacidade de produção da célula, permitindo aumentar o número de *set-up's* diários e implantar o fluxo unitário de peças, sem causar aumento no WIP e no *lead time*.

Determinação do estoque pulmão na entrada da máquina três.

Foram efetuadas simulações com estoques pulmão variando de 1 a 76 peças e avaliados produção, estoque máximo e estoque médio da linha (WIP). Verificou-se que o estoque pulmão na entrada da máquina três que otimiza a produção com o menor WIP é o seguinte:

- Primeiro cenário = 55 peças
- Segundo cenário = 60 peças
- Terceiro cenário = 48 peças
- Quarto cenário = 60 peças
- Quinto cenário = 65 peças

Os indicadores de desempenho teóricos estão apresentados no apêndice dois. Os dados obtidos na simulação dos cinco cenários estão apresentados no apêndice doze. A validação dos cinco cenários foi realizada de forma análoga à primeira etapa.

4.12 DÉCIMA SEGUNDA ETAPA

Nesta etapa serão considerados os cinco cenários da oitava etapa, com as mesmas condições, exceto o tamanho do lote de transferência e o tempo de aquecimento (120,10 horas). Os parâmetros estão mostrados no quadro 4.18.

QUADRO 4.18 – PARÂMETROS FIXADOS NA 12.^a ETAPA

ETAPAS	PEÇAS POR CONTENTOR	TEMPO <i>SET-UP</i> (MIN)	Nº DE OPERADORES	HÁ LIMITE DE ESTOQUE NA ENTRADA/SAÍDA DO GARGALO?
12. ^a	1	Gargalo, 9 – demais, 30	1	Entrada n contentores - saída, não

FONTE: O autor.

Restrições assumidas na 12.^a etapa:

- a) A disponibilidade (D) será considerada 96,18% e irá diminuindo com o aumento do número de *set-up*s (idem etapa 1).
- b) A eficiência (E) será considerada 100% (idem etapa 1).
- c) A qualidade (Q) será considerada 100% (idem etapa 1).
- d) Os contentores foram abolidos e a transferência das peças entre as máquinas será feita manualmente pelo operador.

Hipótese a ser testada na 12.^a etapa do estudo:

A redução do tempo de *set-up* da máquina gargalo de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a implantação do fluxo unitário de peças, sem necessidade de mais operadores e sem a necessidade de reduzir o tempo de *set-up* das outras máquinas.

Determinação do estoque pulmão na entrada da máquina três.

Foram efetuadas simulações com estoques pulmão variando de 1 a 76 peças e avaliados produção, estoque máximo e estoque médio da linha (WIP). Verificou-se que o estoque pulmão na entrada da máquina três que otimiza a produção com o menor WIP é o seguinte:

- Primeiro cenário = 55 peças
- Segundo cenário = 55 peças
- Terceiro cenário = 50 peças
- Quarto cenário = 51 peças
- Quinto cenário = 58 peças

Os indicadores de desempenho teóricos estão apresentados no apêndice dois. Os dados obtidos na simulação dos cinco cenários estão apresentados no apêndice treze. A validação dos cinco cenários foi realizada de forma análoga à primeira etapa.

4.13 DÉCIMA TERCEIRA ETAPA

Nesta etapa serão considerados os cinco cenários da nona etapa, com as mesmas condições de operação, exceto o tamanho do lote de transferência e o

tempo de aquecimento (120,10 horas). Os parâmetros estão mostrados no quadro 4.19.

QUADRO 4.19 – PARÂMETROS FIXADOS NA 13.^a ETAPA

ETAPAS	PEÇAS POR CONTENTOR	TEMPO <i>SET-UP</i> (MIN)	Nº DE OPERADORES	HÁ LIMITE DE ESTOQUE NA ENTRADA/SAÍDA DO GARGALO?
13. ^a	1	9	1	Entrada n contentores - saída, não

FONTE: O autor.

Restrições assumidas na 13.^a etapa:

- a) A disponibilidade (D) será considerada 96,18% e irá diminuindo com o aumento do número de *set-up* s (idem etapa 1).
- b) A eficiência (E) será considerada 100% (idem etapa 1).
- c) A qualidade (Q) será considerada 100% (idem etapa 1).
- d) Os contentores foram abolidos e a transferência das peças entre as máquinas será feita manualmente pelo operador.

Hipótese a ser testada na 13.^a etapa do estudo:

A redução do tempo de *set-up* de todas as máquinas de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a implantação do fluxo unitário de peças, sem necessidade de mais operadores e com baixo WIP e baixo *lead time*.

Determinação do estoque pulmão na entrada da máquina três.

Foram efetuadas simulações com estoques pulmão variando de 1 a 76 peças e avaliados produção, estoque máximo e estoque médio da linha (WIP). Verificou-se que o estoque pulmão na entrada da máquina três que otimiza a produção com o menor WIP é o seguinte:

- Primeiro cenário = 55 peças
- Segundo cenário = 65 peças
- Terceiro cenário = 60 peças
- Quarto cenário = 49 peças
- Quinto cenário = 51 peças

Os indicadores de desempenho teóricos estão apresentados no apêndice dois. Os dados obtidos na simulação dos cinco cenários estão apresentados no apêndice

quatorze. A validação dos cinco cenários foi realizada de forma análoga à primeira etapa.

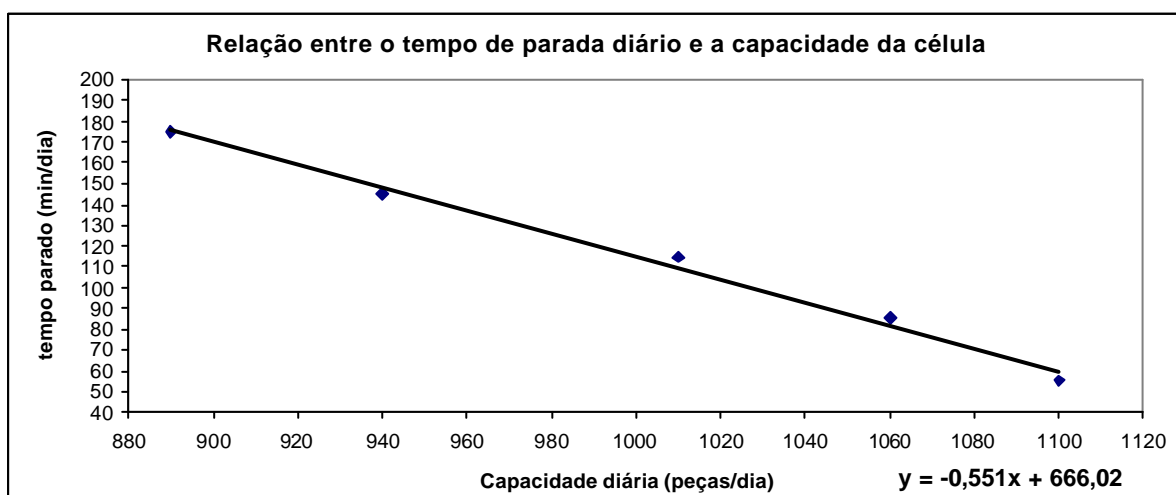
4.14 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base nos dados levantados nas 13 etapas simuladas procurou-se analisar os resultados encontrados através de comparações.

Análise dos resultados da segunda etapa:

Da mesma forma que na primeira etapa, observou-se que também na segunda etapa a redução do tamanho dos lotes exigiu maior número de *set-up's*, diminuindo a disponibilidade (D) das máquinas. Também se observou o aparecimento e crescimento do tempo ocioso do gargalo pela falta de peças para processar e pela ausência do operador por estar em outra máquina realizando *set-up*. Isto causou a queda da eficiência (E) de 100% no primeiro cenário até 90,21% no quinto cenário. Com isso o OEE do gargalo foi decrescendo gradativamente e a capacidade da célula foi sendo proporcionalmente reduzida. A relação entre o tempo de parada diário da máquina gargalo e a capacidade diária de produção está mostrada na figura 4.9.

FIGURA 4.9 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA SEGUNDA ETAPA (REAL)



FONTE: O autor.

Observa-se que para a célula suprir a demanda de 960 peças/dia o tempo máximo de parada diário não deverá ultrapassar 137 minutos. Houve um incremento de 37% nesta etapa em relação à primeira, quando o tempo de parada diário máximo não poderia ultrapassar 100 minutos. A comparação entre os tempos máximos de *set-up* diários, o número máximo de *set-up*'s e a quantidade de peças mínima por lote pode ser observada no quadro 4.20.

QUADRO 4.20 - COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DA SEGUNDA ETAPA)

ETAPA	TEMPO PARADO DIÁRIO MÁXIMO (MIN)	TEMPO MÁXIMO PARA SET-UP (MIN)	Nº MÁXIMO DE <i>SET-UP</i> 'S DIÁRIOS PARA ATENDER A DEMANDA	QUANTIDADE MÍNIMA DE PEÇAS POR LOTE
Teórico	240	185	6	160
1.ª Etapa	100	45	1	960
2.ª Etapa	137	82	2	480

FONTE: O autor.

Percebe-se uma melhoria na segunda etapa quanto ao número de *set-up*'s diários e o tamanho mínimo dos lotes.

O resumo geral dos indicadores obtidos nas primeira e segunda etapas está apresentado no apêndice 15. Percebe-se que na segunda etapa houve uma redução da capacidade da linha com o aumento dos *set-up*'s, porém menos significativa do que na primeira etapa. No quinto cenário a capacidade da célula na primeira etapa caiu para 800 peças/dia e na segunda etapa, para 890 peças/dia. Houve um ganho de cerca de 10%. Em contrapartida o WIP aumentou de 10 a 15%, conforme o cenário. Quanto ao *lead time*, nos primeiros cenários da segunda etapa, aumentou, porém nos quarto e quinto cenários passou a diminuir.

A hipótese a ser testada na segunda etapa de que “o aumento do estoque de peças na entrada e na saída do gargalo aumenta a capacidade de produção da célula” foi comprovada pela simulação.

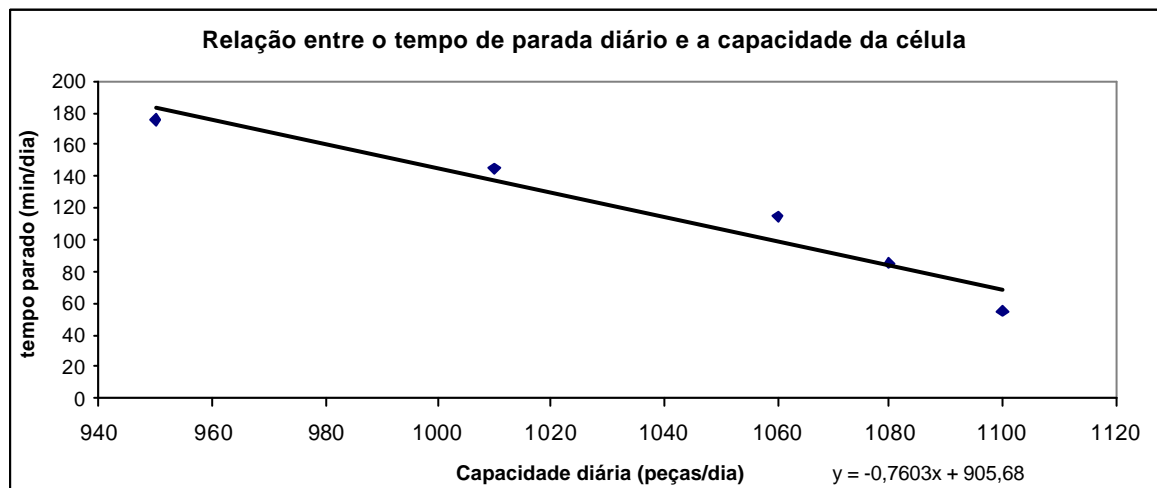
Apesar de melhorar o resultado, a segunda etapa ainda apresenta limitações que impedem um aumento maior do n.º de *set-up*'s por dia e a redução do tamanho dos lotes, sem desatender à demanda. A existência de somente um operador, apesar da baixa ocupação acaba por tornar-se um gargalo de produção em alguns momentos.

Na terceira etapa tentou-se melhorar o desempenho da linha com a inserção de mais um operador na célula.

Análise dos resultados da terceira etapa:

Da mesma forma que na segunda etapa, observou-se também na terceira que a redução do tamanho dos lotes exigiu maior número de *set-up's*, diminuindo a disponibilidade (D) das máquinas. A existência de dois operadores de início não ajudou a aumentar a capacidade da célula, porém à medida que o número de *set-up's* aumentou isto fez diferença. Mesmo com o segundo operador ainda se observou o aparecimento e crescimento do tempo ocioso do gargalo pela falta de peças para processar e pela ausência do operador por estarem ambos em outra máquina realizando *set-up*. Isto causou a queda da eficiência (E) de 100% nos primeiro e segundo cenários até 96,15% no quinto cenário. Com isso o OEE do gargalo foi decrescendo gradativamente e a capacidade da célula foi sendo proporcionalmente reduzida. A relação entre o tempo de paradas total da máquina gargalo e a capacidade diária de produção está mostrada na figura 4.10.

FIGURA 4.10 - COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA TERCEIRA ETAPA (REAL)



FONTE: O autor.

Observa-se que para a célula suprir a demanda de 960 peças/dia o tempo máximo de parada diário não deverá ultrapassar 175 minutos. Houve um incremento de 33,6% nesta etapa em relação à segunda (131 min) e de 80,4% em relação à primeira (97 min). A comparação entre os tempos máximos de *set-up* diários, o

número máximo de *set-up's* e a quantidade de peças mínima por lote pode ser observada no quadro 4.21. Percebe-se uma melhoria na terceira etapa quanto ao número de *set-up's* diários e o tamanho mínimo dos lotes.

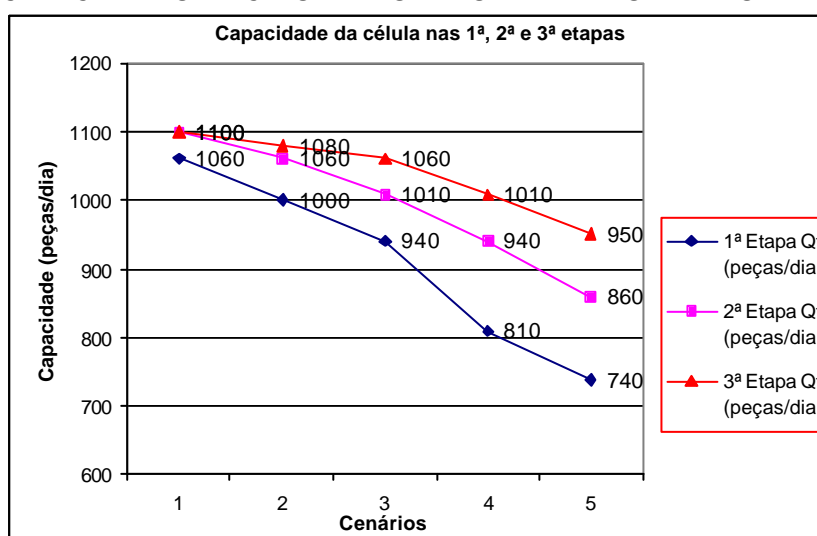
QUADRO 4.21 – COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS TRÊS PRIMEIRAS ETAPAS)

ETAPA	TEMPO PARADO DIÁRIO MÁXIMO (MIN)	TEMPO MÁXIMO PARA SET-UP (MIN)	Nº MÁXIMO DE SET-UP'S DIÁRIOS PARA ATENDER A DEMANDA	QUANTIDADE MÍNIMA DE PEÇAS POR LOTE
Teórico	240	185	6	160
1.ª Etapa	97	45	1	960
2.ª Etapa	131	82	2	480
3.ª Etapa	175	120	4	240

FONTE: O autor.

O resumo geral dos indicadores obtidos na terceira etapa está apresentado no apêndice 15. Comparando-se os resultados das três primeiras etapas fica claro que as quantidades diárias produzidas (capacidade diária) diminuiram menos acentuadamente na terceira etapa, pois houve menos paradas do gargalo por falta de peças e não houve parada por falta de espaço para dispor as peças prontas (figura 4.11):

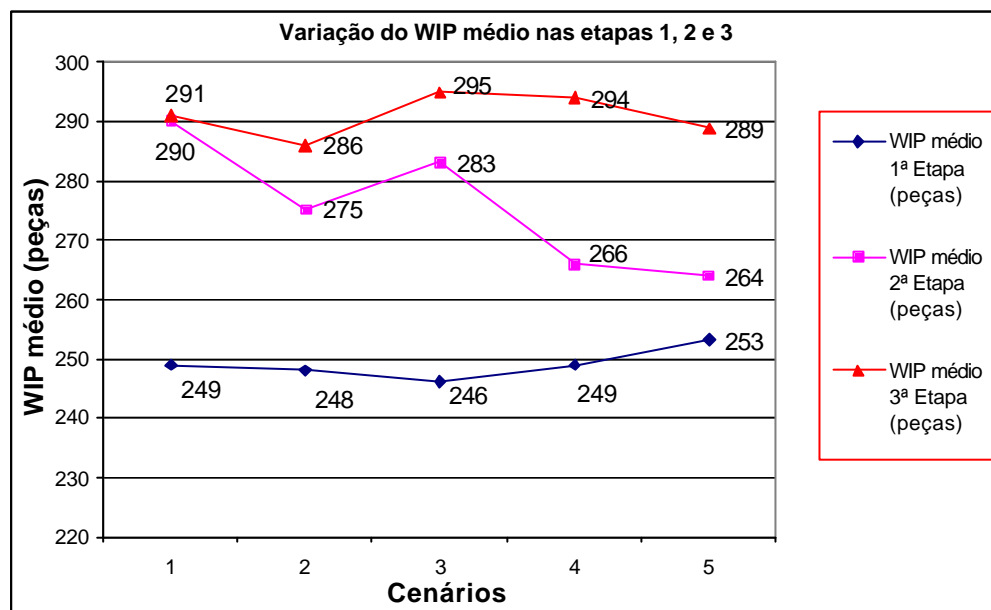
FIGURA 4.11 - CAPACIDADES DA CÉLULA NAS TRÊS PRIMEIRAS ETAPAS.



FONTE: O autor.

Conforme demonstrado na figura. 4.12, o WIP médio foi maior na terceira etapa do que na segunda. A existência de um operador a mais e a possibilidade de manter um estoque maior na entrada do gargalo causaram maior acúmulo de peças na célula. No segundo cenário o WIP médio foi menor do que nos primeiro e terceiro cenários, pois houve menos paradas das máquinas por falta de peças. A redução do WIP no quinto cenário da terceira etapa deveu-se à existência de dois operadores, pois, as sobreposições dos *set-up's* puderam ser compensadas. O represamento na célula foi menor nesta etapa.

FIGURA 4.12 - WIP MÉDIO NAS TRÊS PRIMEIRAS ETAPAS

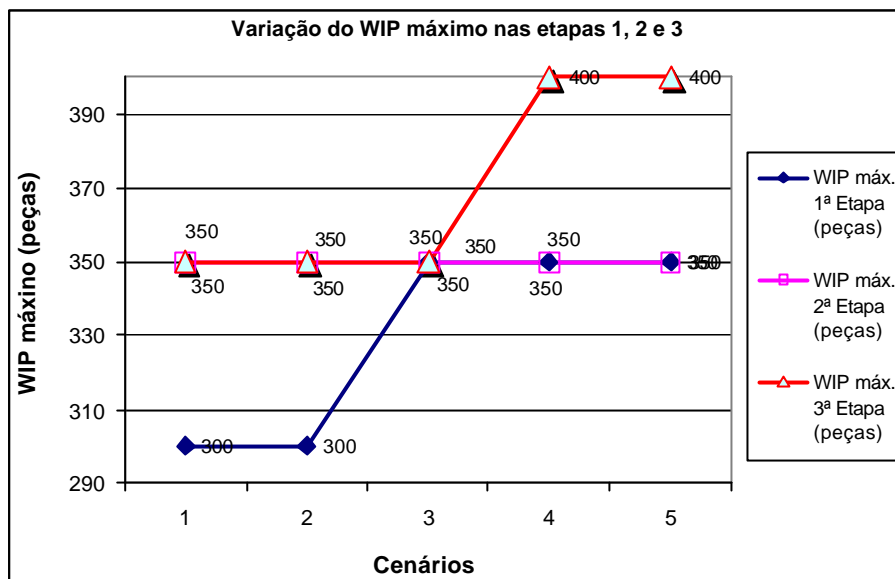


FONTE: O autor.

Na figura 4.13 está demonstrado o WIP máximo em cada cenário de cada etapa. Na segunda e na terceira etapas percebe-se um WIP máximo alto no primeiro cenário devido à inexistência de *set-up* e a possibilidade de acúmulo de dois contentores na entrada do gargalo.

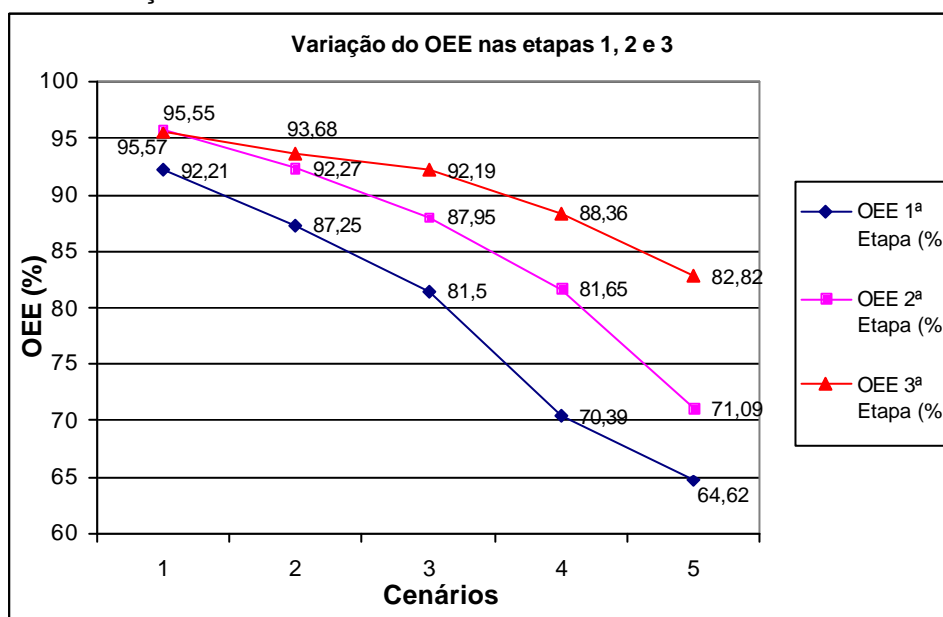
A variação do OEE do gargalo nas três etapas está demonstrada na figura 4.14. A queda deve-se às paradas por *set-up*, por falta de peças e por bloqueio, como já explicado anteriormente. Na terceira etapa a queda foi menor devido à existência de dois operadores. A linha tracejada representa o OEE mínimo necessário no gargalo para atender à demanda (83,3%).

FIGURA 4.13 - WIP MÁXIMO NAS TRÊS PRIMEIRAS ETAPAS



FONTE: O autor.

FIGURA 4.14 - VARIAÇÃO DO OEE NAS TRÊS PRIMEIRAS ETAPAS

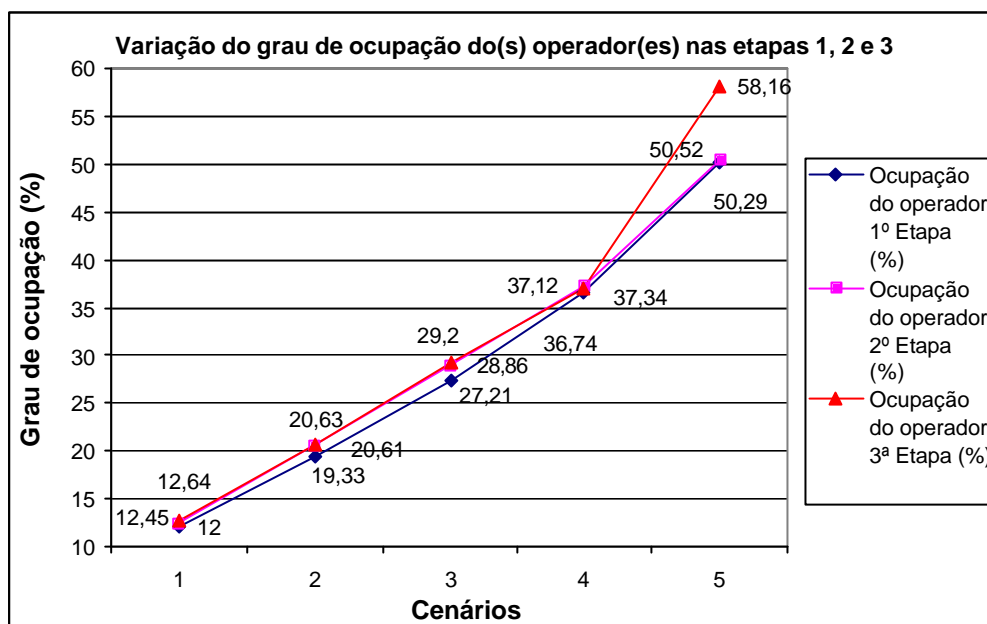


FONTE: O autor.

O grau de ocupação dos operadores aumentou gradativamente com o aumento do número de *set-up's* por dia. Isso está demonstrado na figura 4.15, onde foram somados os graus de ocupação dos dois operadores na terceira etapa para melhor

comparar com as anteriores. A maior disponibilidade de mão-de-obra foi responsável pelo aumento da capacidade da célula.

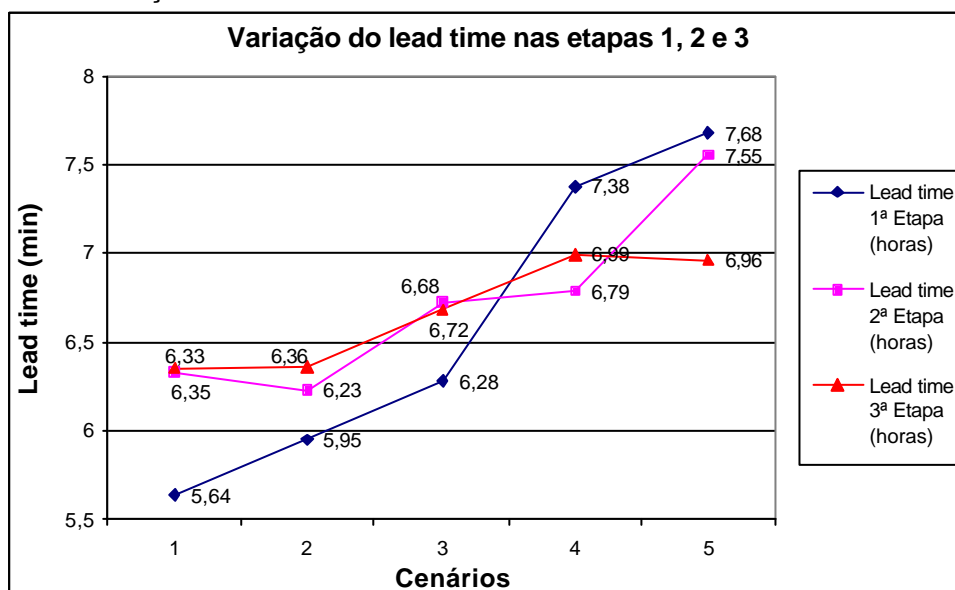
FIGURA 4.15 – VARIAÇÃO GRAU DE OCUPAÇÃO DOS OPERADORES NAS TRÊS PRIMEIRAS ETAPAS



FONTE: O autor.

O lead time nas três etapas está representado na figura 4.16.

FIGURA 4.16 - VARIAÇÃO DO LEAD TIME NAS TRÊS PRIMEIRAS ETAPAS



FONTE: O autor.

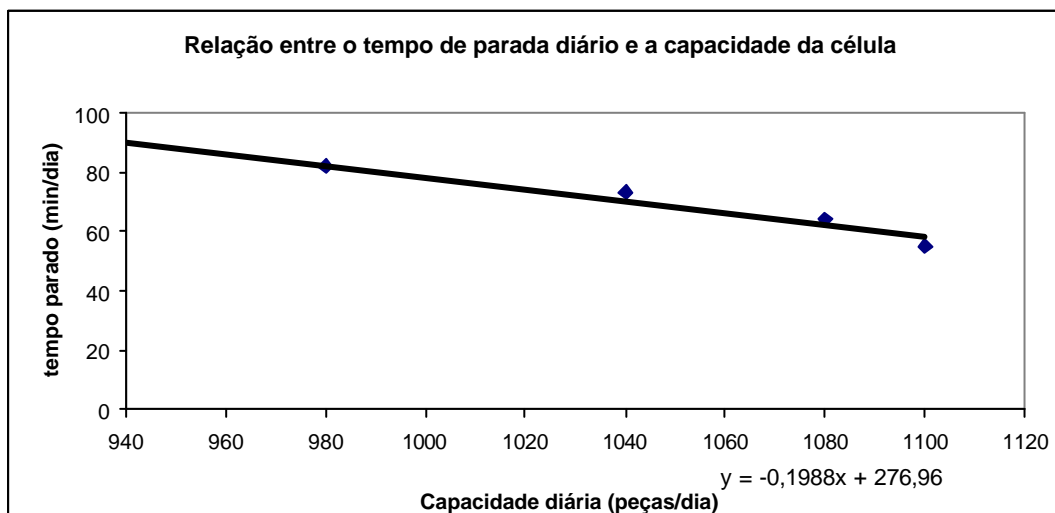
A hipótese a ser testada na terceira etapa de que “o acréscimo de mais um operador aumenta a capacidade de produção da célula” foi comprovada por meio da simulação.

Apesar de melhorar o resultado, a terceira etapa ainda apresenta limitações que impedem um aumento maior do n.º de *set-up*'s por dia e a redução do tamanho dos lotes, sem desatender à demanda. Esta limitação se dá pela longa duração dos tempos de *set-up*. Na quarta etapa tentou-se melhorar o desempenho da linha com a redução do tempo de *set-up* da máquina gargalo.

Análise dos resultados da quarta etapa:

Da mesma forma que na segunda etapa, observou-se que também na quarta etapa a redução do tamanho dos lotes exigiu maior número de *set-up*'s, diminuindo a disponibilidade (D) das máquinas. Também se observou o aparecimento e crescimento do tempo ocioso do gargalo pela falta de peças para processar e pela ausência do operador por estar em outra máquina realizando *set-up*. Isto causou a queda da eficiência (E) de 100% no primeiro cenário até 89,73% no quinto cenário. Com isso o OEE do gargalo foi decrescendo gradativamente e a capacidade da célula foi sendo proporcionalmente reduzida. A relação entre o tempo de parada diário da máquina gargalo e a capacidade diária de produção está mostrada na figura 4.17.

FIGURA 4.17 – COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA QUARTA ETAPA (REAL)



FONTE: O autor.

Observa-se que para a célula suprir a demanda de 960 peças/dia o tempo máximo de parada diário não deverá ultrapassar 86 minutos. A comparação entre os tempos máximos de *set-up* diários, o número máximo de *set-up*'s e a quantidade de peças mínima por lote pode ser observada no quadro 4.22.

QUADRO 4.22 – COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICO E REAIS DAS SEGUNDA, TERCEIRA E QUARTA ETAPAS).

ETAPA	TEMPO PARADO DIÁRIO MÁXIMO (MIN)	TEMPO MÁXIMO PARA SET-UP (MIN)	Nº MÁXIMO DE <i>SET-UP</i> 'S DIÁRIOS PARA ATENDER A DEMANDA	QUANTIDADE MÍNIMA DE PEÇAS POR LOTE
Teórico	240	185	6	160
2. ^a Etapa	137	82	2	480
3. ^a Etapa	175	120	4	240
4. ^a Etapa	86	31	3	320

FONTE: O autor.

Percebe-se uma melhoria na quarta etapa em relação à segunda quanto ao número de *set-up*'s diários e o tamanho mínimo dos lotes. No entanto não é uma melhoria significativa. Em relação à terceira etapa, houve uma piora.

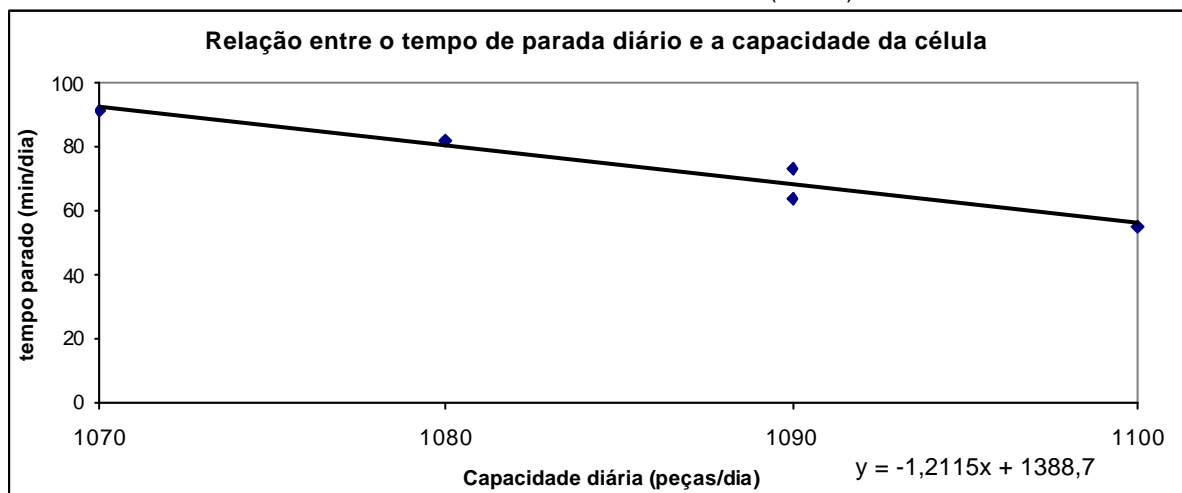
O resumo geral dos indicadores obtidos na quarta etapa está apresentado no apêndice 15. A hipótese a ser testada na quarta etapa de que “a redução do tempo de *set-up* da máquina gargalo de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a redução do tamanho dos lotes, sem necessidade de mais operadores e sem a necessidade de reduzir o tempo de *set-up* das outras máquinas” foi comprovada pela simulação. No entanto, o atendimento da demanda de 960 peças/dia só é conseguido com até 3 *set-up*'s por dia (quarto cenário). A partir daí não se consegue atender à demanda sem reduzir os tempos de *set-up* das máquinas não gargalo ou aumentar um operador na célula (ver quinto cenário).

Apesar de melhorar o resultado, a quarta etapa ainda apresenta limitações que impedem um aumento maior do nº de *set-up*'s por dia e a redução do tamanho dos lotes, sem desatender à demanda. Na quinta etapa tentou-se melhorar o desempenho da linha com a redução dos tempos de *set-up* de todas as máquinas para 9 minutos.

Análise dos resultados da quinta etapa:

Observou-se que na quinta etapa a redução dos tempos de *set-up* aumentou a disponibilidade (D) de todas as máquinas, reduziu o grau de utilização do operador, aumentou o OEE do gargalo e aumentou, conseqüentemente, a capacidade da célula. O aumento do número de *set-up*'s causou uma redução da capacidade da célula, porém bem menor do que nas etapas anteriores. Também se observou o aparecimento e leve crescimento do tempo ocioso do gargalo pela falta de peças para processar pela ausência do operador por estar em outra máquina realizando *set-up*. Isto causou a queda da eficiência (E) de 100% no primeiro cenário até 99,88% no quinto cenário (bem menor do que nas etapas anteriores, quase desprezível). Com isso o OEE do gargalo foi decrescendo gradativamente e a capacidade da célula foi sendo proporcionalmente reduzida. A relação entre o tempo de parada diário da máquina gargalo e a capacidade diária de produção está mostrada na figura 4.18.

FIGURA 4.18 – COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA QUINTA ETAPA (REAL)



FONTE: O autor.

Observa-se que para a célula suprir a demanda de 960 peças/dia o tempo máximo de parada diário não deverá ultrapassar 225 minutos. Houve um incremento de 15% nesta etapa em relação à segunda, quando o tempo de parada diário máximo não poderia ultrapassar 137 minutos. A comparação entre os tempos máximos de *set-up* diários, o número máximo de *set-up*'s e a quantidade de peças

mínima por lote de processamento pode ser observada no quadro 4.23. Percebe-se uma melhoria significativa na quinta etapa quanto ao número de *set-up's* diários e o tamanho mínimo dos lotes de processamento. A redução dos tempos de *set-up* pode evitar a necessidade de mais um operador para atender à demanda, ao mesmo tempo em que permitiu um acentuado nivelamento da produção. Isso conferiu mais flexibilidade e produtividade à célula, com menor custo.

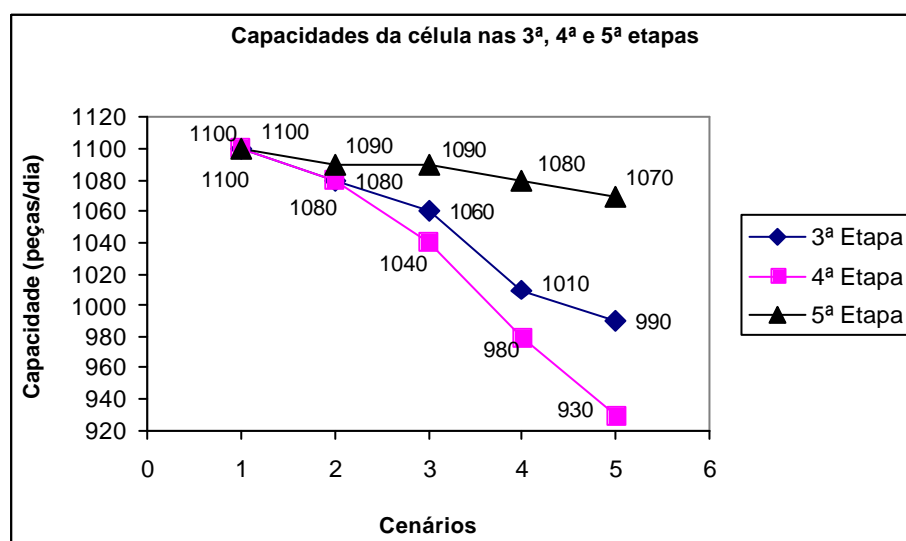
QUADRO 4.23 – COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS SEGUNDA, QUARTA E QUINTA ETAPAS).

ETAPA	TEMPO PARADO DIÁRIO MÁXIMO (MIN)	TEMPO MÁXIMO PARA SET-UP (MIN)	Nº MÁXIMO DE SET-UP'S DIÁRIOS PARA ATENDER A DEMANDA	QUANTIDADE MÍNIMA DE PEÇAS POR LOTE
Teórico	240	185	6	160
2.ª Etapa	137	82	2	480
4.ª Etapa	86	31	3	320
5.ª Etapa	225	170	18	54

FONTE: O autor.

O resumo geral dos indicadores obtidos na quinta etapa está apresentado no apêndice 15. Observa-se que, das cinco etapas, a quinta é a melhor delas. Com a redução do tempo de *set-up*, de todas as máquinas para 9 minutos houve um aumento significativo da capacidade da célula, sendo de cerca de 15% em relação à quarta etapa e de cerca de 8% em relação à terceira etapa (ver figura 4.19).

FIGURA 4.19 – CAPACIDADES DA CÉLULA NAS TERCEIRA, QUARTA E QUINTA ETAPAS



FONTE: O autor.

O WIP e os *lead times* permaneceram praticamente os mesmos. Conclui-se que, nas condições deste estudo, vale mais a pena reduzir o tempo de *set-up* do que colocar mais um operador na célula. A decisão deve levar em consideração aspectos técnicos e econômicos. Caso o custo de redução do tempo de *set-up* seja proibitivo, a alternativa é o aumento de um operador na célula.

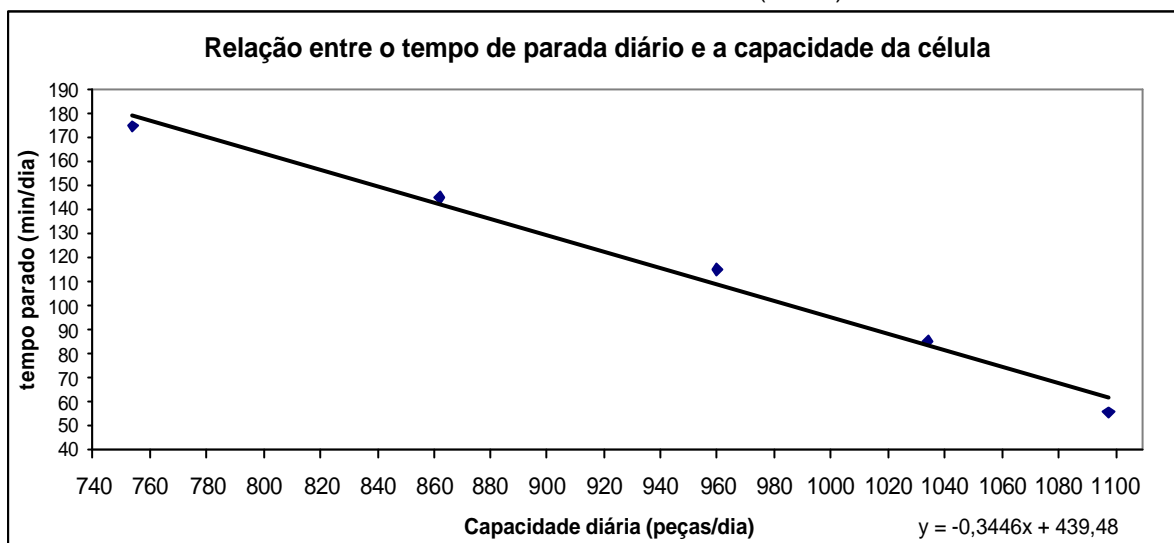
A hipótese a ser testada na quinta etapa de que “A redução do tempo de *set-up* de todas as máquinas de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a redução do tamanho dos lotes, sem necessidade de mais operadores” foi comprovada pela simulação.

Em se mantendo o lote de transferência de 50 peças, a quinta etapa estaria apresentando o melhor resultado. Entretanto o objetivo deste estudo é analisar o impacto da introdução do fluxo unitário de peças, o que certamente tenderá a alterar significativamente o panorama. Antes de testar o fluxo unitário optou-se por uma análise intermediária, ou seja, com um lote de transferência de 10 peças, para avaliar o impacto desta redução no desempenho da célula.

Análise dos resultados da sexta etapa:

Da mesma forma que nas etapas anteriores, observou-se que na sexta etapa a redução do tamanho dos lotes exigiu maior número de *set-up's*, diminuindo a disponibilidade (D) das máquinas. Também se observou o aparecimento e crescimento do tempo ocioso do gargalo pela falta de peças para processar e pela ausência do operador por estar em outra máquina realizando *set-up*. Isto causou a queda da eficiência (E) de 99,80% no primeiro cenário até 78,72% no quinto cenário. Com isso o OEE do gargalo foi decrescendo gradativamente e a capacidade da célula foi sendo proporcionalmente reduzida. A relação entre o tempo de parada diário da máquina gargalo e a capacidade diária de produção está mostrada na figura 4.20. Observa-se que para a célula suprir a demanda de 960 peças/dia o tempo máximo de parada diário não deverá ultrapassar 115 minutos. Como o terceiro cenário fornece exatamente 960 peças/dia, foi usado este ponto como referência e não a curva.

FIGURA 4.20 – COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA SEXTA ETAPA (REAL)



FONTE: O autor.

A comparação entre os tempos máximos de *set-up* diários, o número máximo de *set-up*'s e a quantidade mínima de peças por lote pode ser observada no quadro 4.24.

QUADRO 4.24 – COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS PRIMEIRA, SEGUNDA E SEXTA ETAPAS)

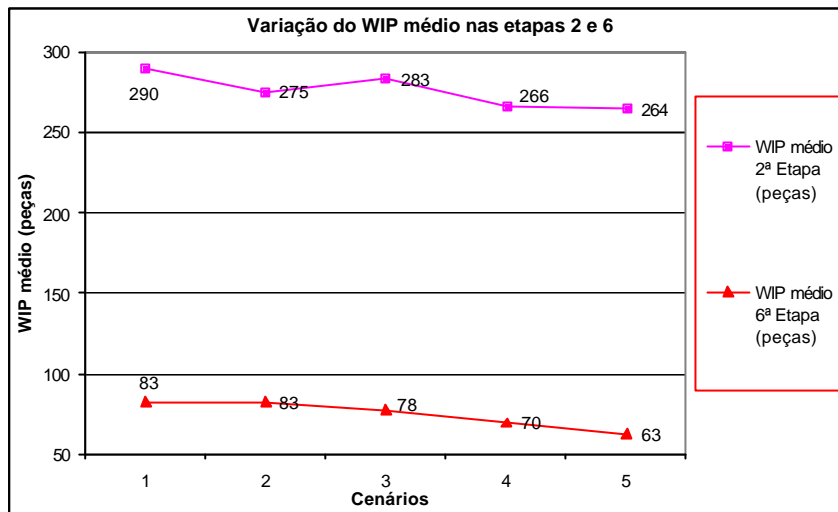
ETAPA	TEMPO PARADO DIÁRIO MÁXIMO (MIN)	TEMPO MÁXIMO PARA SET-UP (MIN)	Nº MÁXIMO DE SET-UP'S DIÁRIOS PARA ATENDER A DEMANDA	QUANTIDADE MÍNIMA DE PEÇAS POR LOTE
Teórico	240	185	6	160
1.ª Etapa	100	45	1	960
2.ª Etapa	137	82	2	480
6.ª Etapa	115	60	2	480

FONTE: O autor.

Percebe-se que houve uma queda no tempo máximo para *set-up* em relação à segunda etapa, porém isso não mudou o número máximo de *set-up*'s diários e o tamanho mínimo dos lotes. O resumo geral dos indicadores obtidos na sexta etapa está apresentado no apêndice 16. A figura 4.21 apresenta a comparação entre o WIP médio das segunda e sexta etapas. Percebe-se que há uma redução média de 72,6% entre a segunda e a sexta etapas, comprovando que esta última tem

vantagem em relação à segunda na quantidade de peças em giro e, conseqüentemente, no custo de produção.

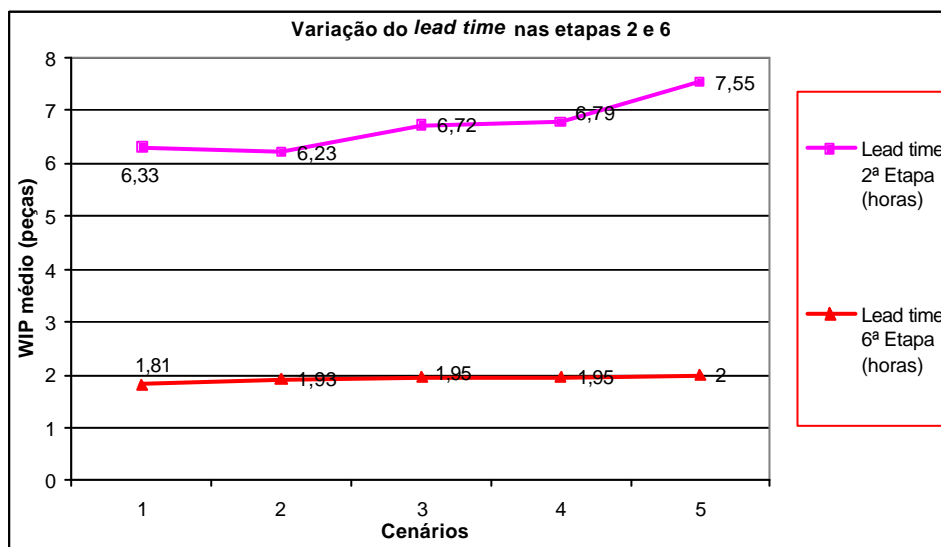
FIGURA 4.21 – WIP MÉDIO NAS SEGUNDA E SEXTA ETAPAS



FONTE: O autor.

A figura 4.22 apresenta a comparação entre o *lead time* das segunda e sexta etapas.

FIGURA 4.22 – VARIAÇÃO DO LEAD TIME NAS SEGUNDA E SEXTA ETAPAS



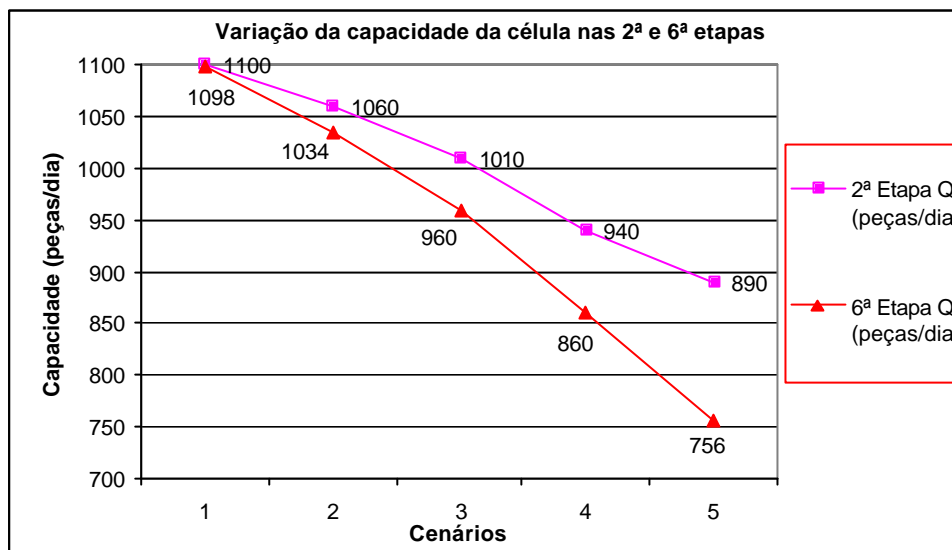
FONTE: O autor.

Percebe-se que há uma redução média de 71,3% entre a segunda e a sexta etapas, comprovando que esta última tem vantagem em relação à segunda no *lead*

time, ou seja, no tempo de atravessamento das peças pela célula e, conseqüentemente, na flexibilidade para atender menores prazos de entrega de peças e para reagir nas mudanças de *mix* de produção.

A figura 4.23 apresenta a comparação entre as capacidades de produção da célula nas segunda e sexta etapas.

FIGURA 4.23 - CAPACIDADES DA CÉLULA NAS SEGUNDA E SEXTA ETAPAS.



FONTE: O autor.

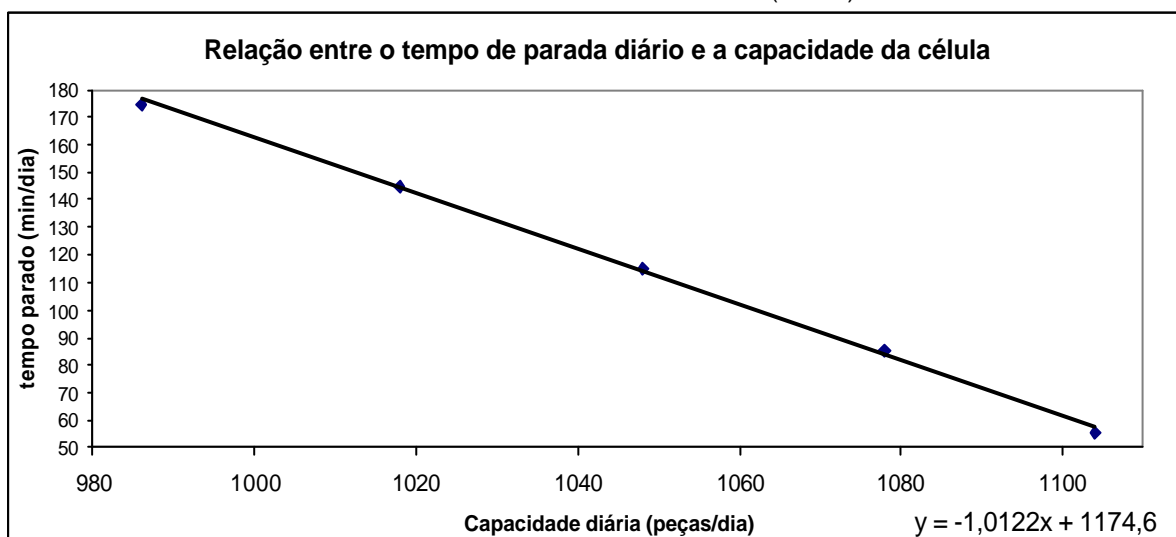
Percebe-se que há uma redução da capacidade da célula com o aumento do número de *set-up's* por dia em ambas as etapas. Esta redução, no entanto, é bem mais significativa na sexta, pois falta mão-de-obra para efetuar a transferência de peças entre as máquinas quando o operador está realizando *set-up's*, causando paradas por falta de peças e ociosidade no gargalo. Em se mantendo o lote de transferência de dez peças e sem o aumento do número de operadores ou uma redução do tempo de *set-up* não há como melhorar o nivelamento da produção na célula sem perda de capacidade.

A hipótese a ser testada na sexta etapa de que “A redução do lote de transferência de 50 para 10 peças impacta em quedas do WIP e do *lead time*, porém também da capacidade da célula, por falta de mão-de-obra” foi comprovada pela simulação. Na próxima etapa serão analisados os resultados com a inclusão de mais um operador na célula. As condições serão semelhantes às da terceira etapa, porém com lote de transferência de 10 peças.

Análise da sétima etapa do estudo:

A existência de dois operadores de início não ajudou a aumentar a capacidade da célula, porém à medida que o número de *set-up's* aumentou isto fez diferença. Mesmo com o segundo operador ainda se observou o aparecimento e crescimento do tempo ocioso do gargalo pela falta de peças para processar e pela ausência do operador por estarem ambos em outra máquina realizando *set-up*. Isto causou a queda da eficiência (E) de 100% no primeiro cenário até 95,34% no quinto cenário. Com isso o OEE do gargalo foi decrescendo gradativamente e a capacidade da célula foi sendo proporcionalmente reduzida. A relação entre o tempo de paradas total da máquina gargalo e a capacidade diária de produção está mostrada na figura 4.24.

FIGURA 4.24 – COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA SÉTIMA ETAPA (REAL)



FONTE: O autor.

Observa-se que para a célula suprir a demanda de 960 peças/dia o tempo máximo de parada diário não deverá ultrapassar 202 minutos (cálculo feito pela equação da reta). Houve um incremento de 75,7% nesta etapa em relação à sexta (115 min) e de 15,4% em relação à terceira (175 min). Apesar deste incremento não houve melhoria no número máximo de *set-ups* diários da sétima etapa em relação à terceira. Apesar disso, há vantagem na sétima etapa, pois o WIP e o *lead time* são menores.

A comparação entre os tempos máximos de *set-up* diários, o número máximo de *set-up*'s e a quantidade de peças mínima por lote pode ser observada no quadro 4.25.

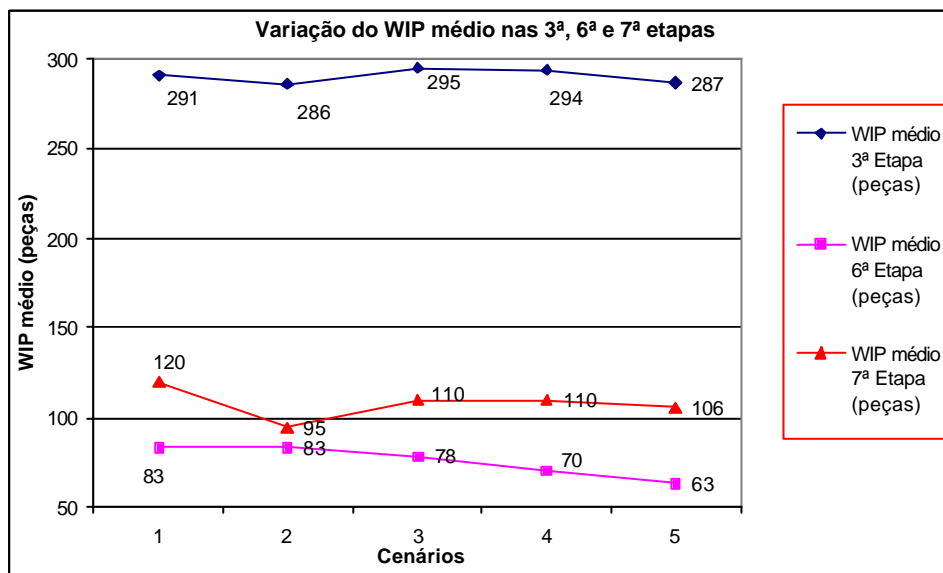
QUADRO 4.25 – RESUMO GERAL DOS INDICADORES OBTIDOS NAS TERCEIRA, SEXTA E SÉTIMA ETAPAS

ETAPA	TEMPO PARADO DIÁRIO MÁXIMO (MIN)	TEMPO MÁXIMO PARA SET-UP (MIN)	Nº MÁXIMO DE SET-UPS DIÁRIOS PARA ATENDER A DEMANDA	QUANTIDADE MÍNIMA DE PEÇAS POR LOTE
Teórico	240	185	6	160
3. ^a Etapa	175	120	4	240
6. ^a Etapa	115	60	2	480
7. ^a Etapa	202	147	4	240

FONTE: O autor.

O resumo geral dos indicadores obtidos na sétima etapa está apresentado no apêndice 16. A figura 4.25 apresenta a comparação entre o *WIP* médio das terceira, sexta e sétima etapas.

FIGURA 4.25 – *WIP* MÉDIO NAS TERCEIRA, SEXTA E SÉTIMA ETAPAS



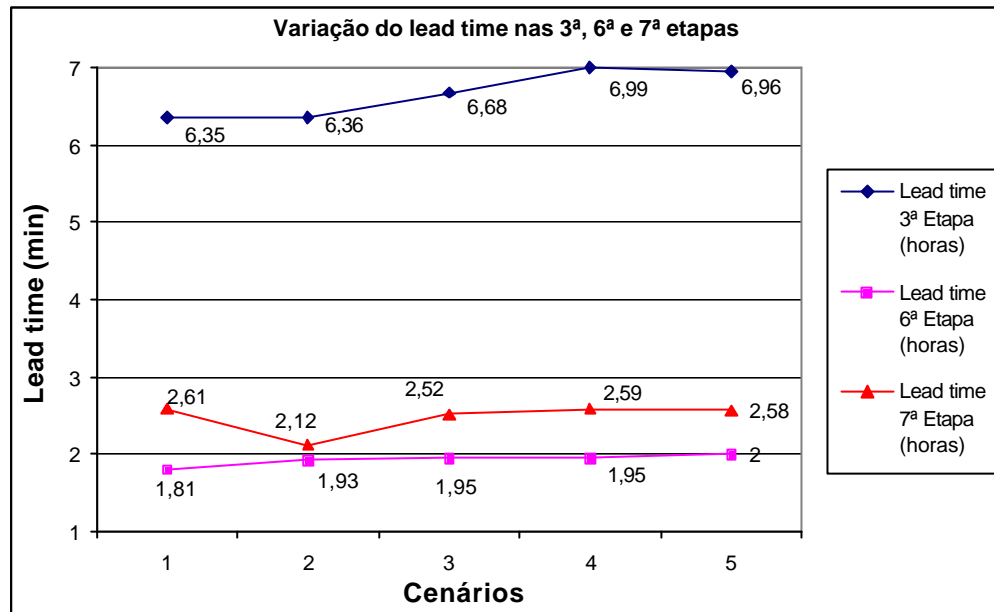
FONTE: O autor.

Percebe-se que há uma redução média de 37,2% entre a terceira e a sétima etapas, comprovando que esta última tem vantagem em relação à terceira na

quantidade de peças em giro e, conseqüentemente, no custo de produção. Em relação à sexta etapa, houve, porém, um aumento de 43% no WIP médio.

A figura 4.26 apresenta a comparação entre o *lead time* das terceira, sexta e sétima etapas.

FIGURA 4.26 – VARIAÇÃO DO LEAD TIME NAS TERCEIRA, SEXTA E SÉTIMA ETAPAS

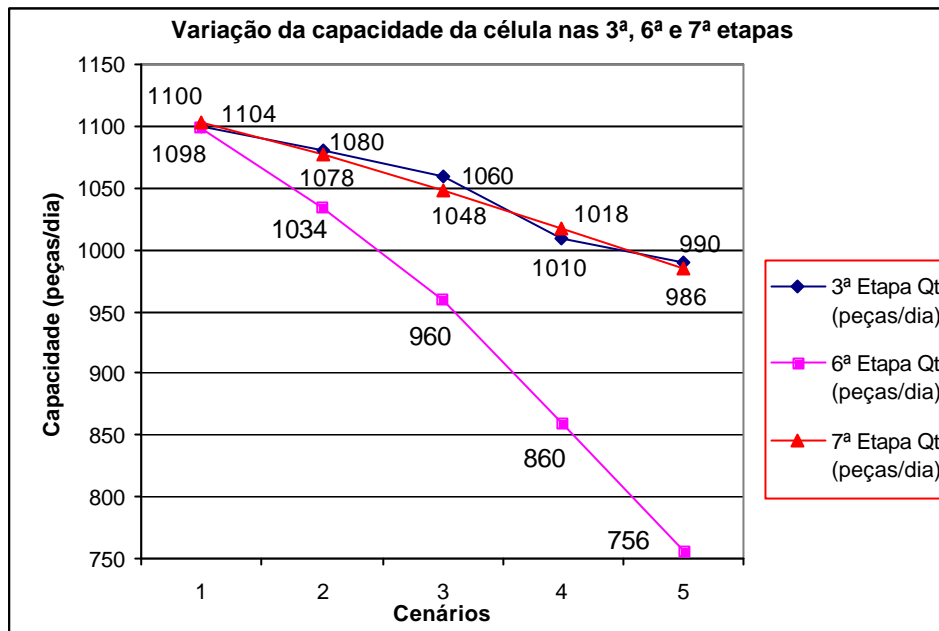


FONTE: O autor.

Percebe-se que há uma redução média de 37,3% entre a terceira e a sétima etapas, comprovando que esta última tem vantagem em relação à terceira no *lead time*, ou seja, no tempo de atravessamento das peças pela célula e, conseqüentemente, na flexibilidade para atender menores prazos de entrega de peças e para reagir nas mudanças de *mix* de produção. Em relação à sexta etapa, houve, porém, um aumento de 28,8% no WIP médio.

A figura 4.27 apresenta a comparação entre as capacidades de produção da célula nas terceira, sexta e sétima etapas. Percebe-se que as terceira e sétima etapas apresentam capacidades praticamente iguais nos cinco cenários. Isso significa que para reduzir o lote de transferência de 50 para 10 peças, reduzindo o WIP e o *lead time* da célula sem perda de capacidade, é preciso que se acrescente um segundo operador. Obviamente esta decisão deve estar baseada na relação custo-benefício. Deve ser feita a análise se a redução do WIP e do *lead time* trarão maiores benefícios do que o custo de um segundo operador.

FIGURA 4.27 –CAPACIDADES DA CÉLULA NAS TERCEIRA, SEXTA E SÉTIMA ETAPAS



FONTE: O autor.

A hipótese a ser testada na sétima etapa de que “o acréscimo de mais um operador aumenta a capacidade de produção da célula e permite aumentar o número de *set-up's* diários e reduzir o tamanho dos lotes, sem causar aumento no *WIP* e no *lead time*” foi comprovada apenas parcialmente. A sétima etapa apresentou aumento do *WIP* e do *lead time* em relação à sexta etapa.

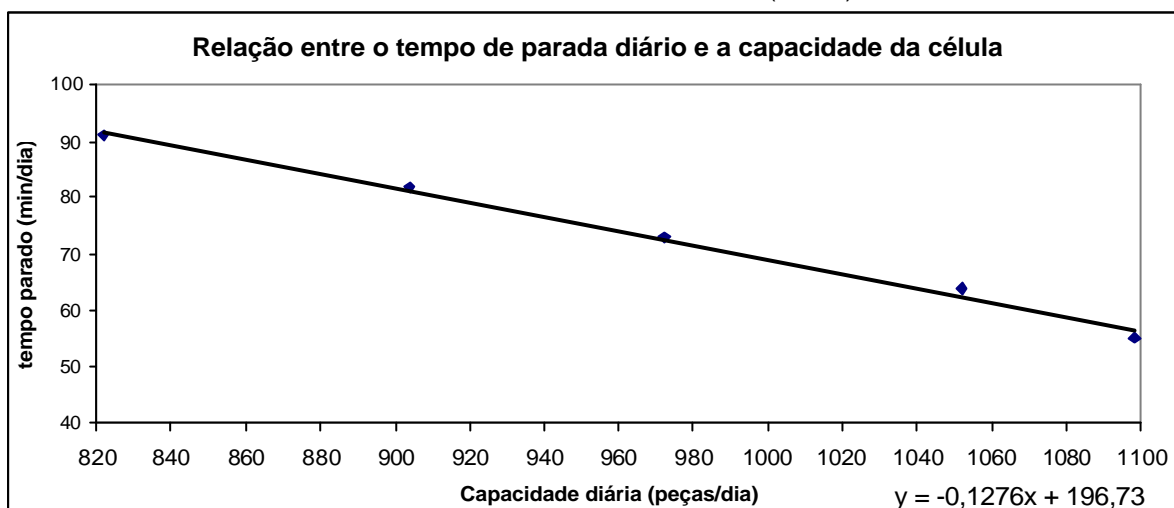
Na próxima etapa serão analisados os resultados com a redução do tempo de *set-up* do gargalo e com somente um operador na célula. As condições serão semelhantes às da quarta etapa, porém com lote de transferência de 10 peças.

Análise da oitava etapa do estudo:

Da mesma forma que na quarta etapa, observou-se que na oitava etapa a redução do tamanho dos lotes exigiu maior número de *set-up's*, diminuindo a disponibilidade (D) das máquinas. Também se observou o aparecimento e crescimento do tempo ocioso do gargalo pela falta de peças para processar e pela ausência do operador por estar em outra máquina realizando *set-up*. Isto causou a queda da eficiência (E) de 99,80% no primeiro cenário até 78,90% no quinto cenário. Com isso o OEE do gargalo foi decrescendo gradativamente e a capacidade da célula foi sendo proporcionalmente reduzida. A redução do tempo de *set-up* somente no gargalo não foi suficiente para eliminar a necessidade de dois operadores. A

relação entre o tempo de parada diário da máquina gargalo e a capacidade diária de produção está mostrada na figura 4.28.

FIGURA 4.28 – COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA OITAVA ETAPA (REAL)



FONTE: O autor.

Observa-se que para a célula suprir a demanda de 960 peças/dia o tempo máximo de parada diário não deverá ultrapassar 74 minutos (cálculo feito pela equação da reta). A comparação entre os tempos máximos de *set-up* diários, o número máximo de *set-up*'s e a quantidade de peças mínima por lote pode ser observada no quadro 4.26. Nota-se que a oitava etapa foi a pior das três.

QUADRO 4.26 – COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS QUARTA, SÉTIMA E OITAVA ETAPAS).

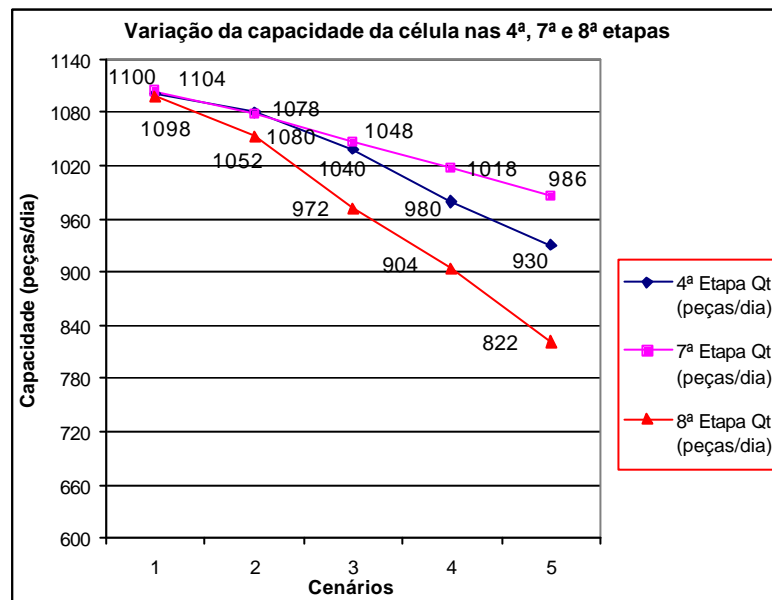
ETAPA	TEMPO PARADO DIÁRIO MÁXIMO (MIN)	TEMPO MÁXIMO PARA SET-UP (MIN)	Nº MÁXIMO DE SET-UPS DIÁRIOS PARA ATENDER A DEMANDA	QUANTIDADE MÍNIMA DE PEÇAS POR LOTE
Teórico	240	185	6	160
4.ª Etapa	86	31	3	320
7.ª Etapa	202	147	4	240
8.ª Etapa	74	19	2	480

FONTE: O autor.

O resumo geral dos indicadores obtidos na oitava etapa está apresentado no apêndice 16. A figura 4.29 apresenta a comparação entre as capacidades de

produção da célula nas quarta, sétima e oitava etapas. Percebe-se uma melhor situação de capacidade da quarta etapa em relação à sétima, porém ela perde no WIP e no *lead time* para as outras. Para se manter a capacidade da linha com lote de transferência de 10 peças e sem um segundo operador na célula será preciso reduzir os tempos de *set-up* também das máquinas não gargalos. Obviamente esta decisão deve estar baseada na relação custo-benefício. Deve ser feita a análise se a redução do WIP e do *lead time* trarão maiores benefícios do que o custo da redução do *set-up* das máquinas não gargalos.

FIGURA 4.29 – CAPACIDADES DA CÉLULA NAS QUARTA, SÉTIMA E OITAVA ETAPAS.



FONTE: O autor.

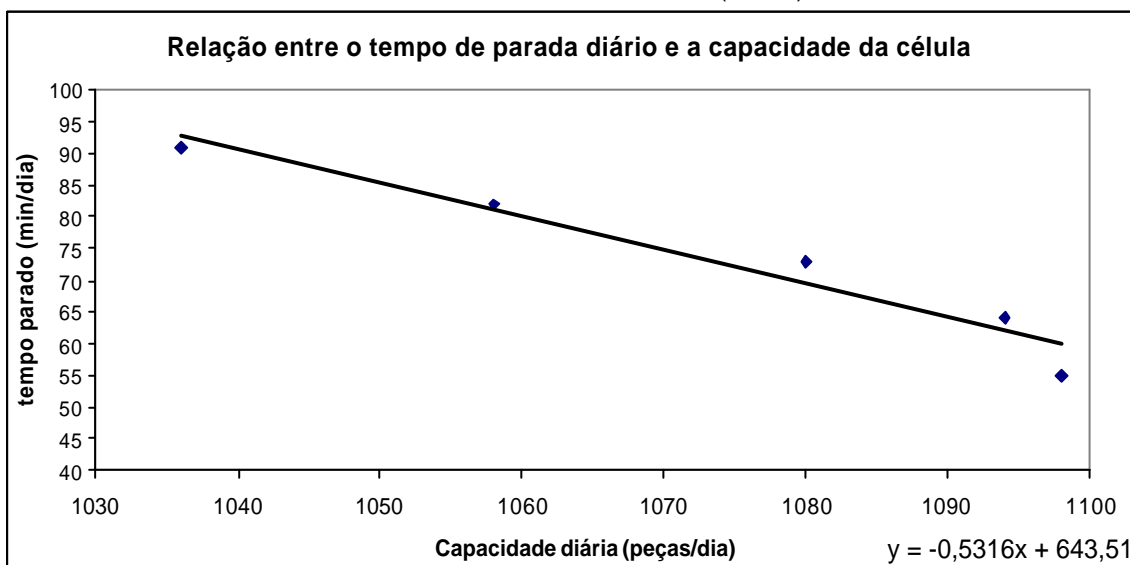
A hipótese a ser testada na oitava etapa de que “A redução do tempo de *set-up* da máquina gargalo de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a redução do tamanho dos lotes e do lote de transferência para 10 peças, sem necessidade de mais operadores e sem a necessidade de reduzir o tempo de *set-up* das outras máquinas” foi comprovada parcialmente pela simulação. O atendimento da demanda de 960 peças/dia só é conseguido com até 2 *set-up*’s por dia (terceiro cenário). A partir daí somente se consegue atender à demanda reduzindo os tempos de *set-up* das máquinas não gargalos ou colocando mais um operador na célula.

Na nona etapa tentou-se melhorar o desempenho da linha com a redução dos tempos de *set-up* de todas as máquinas para 9 minutos.

Análise da nona etapa do estudo:

Da mesma forma que na quinta etapa, observou-se que na nona etapa a redução dos tempos de *set-up* aumentou a disponibilidade (D) de todas as máquinas, reduziu o grau de utilização do operador, aumentou o OEE do gargalo e aumentou, conseqüentemente, a capacidade da célula. O aumento do número de *set-up*'s causou uma redução da capacidade da célula, porém bem menor do que nas sexta, sétima e oitava etapas. Também se observou o aparecimento e crescimento do tempo ocioso do gargalo pela falta de peças para processar e pela ausência do operador por estar em outra máquina realizando *set-up*. Isto causou a queda da eficiência (E) de 99,80% no primeiro cenário até 96,26% no quinto cenário (bem menor do que nas sexta, sétima e oitava etapas). Com isso o OEE do gargalo foi decrescendo gradativamente e a capacidade da célula foi sendo proporcionalmente reduzida. A relação entre o tempo de parada diário da máquina gargalo e a capacidade diária de produção está mostrada na figura 4.30.

FIGURA 4.30 – COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA NONA ETAPA (REAL)



FONTE: O autor.

Observa-se que para a célula suprir a demanda de 960 peças/dia o tempo máximo de parada diário não deverá ultrapassar 133 minutos (cálculo feito pela equação da reta). A comparação entre os tempos máximos de *set-up* diários, o número máximo de *set-up*'s e a quantidade de peças mínima por lote pode ser

observada no quadro 4.27. Nota-se que em relação ao nivelamento da produção a nona etapa foi melhor do que a oitava, porém pior do que a quinta.

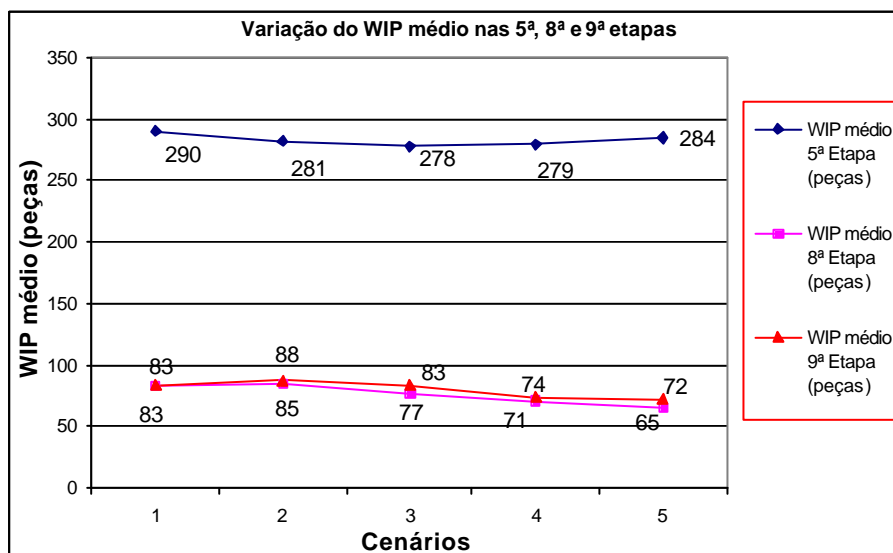
QUADRO 4.27 – COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS QUINTA, OITAVA E NONA ETAPAS)

ETAPA	TEMPO PARADO DIÁRIO MÁXIMO (MIN)	TEMPO MÁXIMO PARA SET-UP (MIN)	Nº MÁXIMO DE SET-UPS DIÁRIOS PARA ATENDER A DEMANDA	QUANTIDADE MÍNIMA DE PEÇAS POR LOTE
Teórico	240	185	6	160
5.ª Etapa	225	170	18	54
8.ª Etapa	74	19	2	480
9.ª Etapa	133	78	8	120

FONTE: O autor.

O resumo geral dos indicadores obtidos na nona etapa está apresentado no apêndice 16. A figura 4.31 apresenta a comparação entre o WIP médio das quinta, oitava e nona etapas. Percebe-se que tanto a oitava quanto a nona etapas têm WIP médios mais baixos por terem lote de transferência de 10 peças em relação à quinta etapa com lote de transferência de 50 peças.

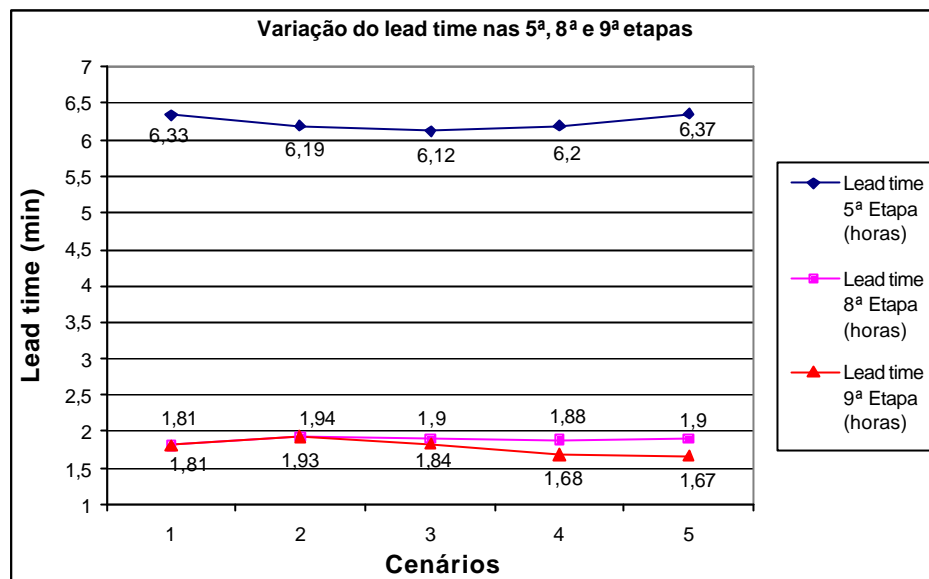
FIGURA 4.31 – WIP MÉDIO NAS QUINTA, OITAVA E NONA ETAPAS



FONTE: O autor.

A figura 4.32 apresenta a comparação entre o *lead time* das quinta, oitava e nona etapas.

FIGURA 4.32 - VARIAÇÃO DO LEAD TIME NAS QUINTA, OITAVA E NONA ETAPAS

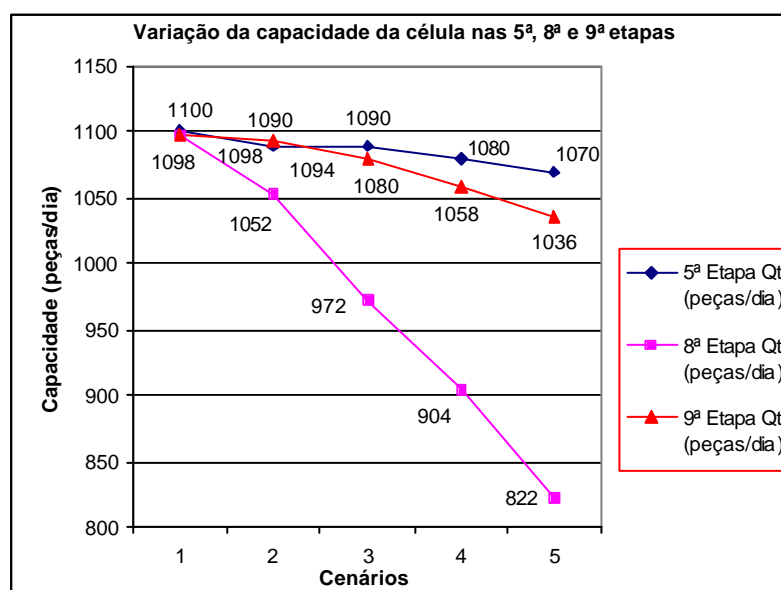


FONTE: O autor.

Percebe-se que tanto a oitava quanto a nona etapas têm *lead times* médios mais baixos por terem lote de transferência de 10 peças em relação à quinta etapa com lote de transferência de 50 peças. Os melhores resultados se encontram nos cenários 4 e 5 da nona etapa.

A Fig. 4.33 apresenta a comparação entre as capacidades de produção da célula nas quinta, oitava e nona etapas.

FIGURA 4.33 – CAPACIDADES DA CÉLULA NAS QUINTA, OITAVA E NONA ETAPAS



FONTE: O autor.

Percebe-se que a melhor situação de capacidade é a da quinta etapa, porém ela perde no WIP e no *lead time* para as outras. Para se manter a capacidade da linha com lote de transferência de 10 peças e sem um segundo operador na célula será preciso reduzir os tempos de *set-up* também das máquinas não gargalos. Obviamente esta decisão deve estar baseada na relação custo-benefício. Deve ser feita a análise se a redução do WIP e do *lead time* trarão maiores benefícios do que o custo da redução do *set-up* das máquinas não gargalos.

A hipótese a ser testada na nona etapa de que “a redução do tempo de *set-up* de todas as máquinas de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a redução do tamanho dos lotes e do lote de transferência para 10 peças, sem necessidade de mais operadores” foi comprovada pela simulação.

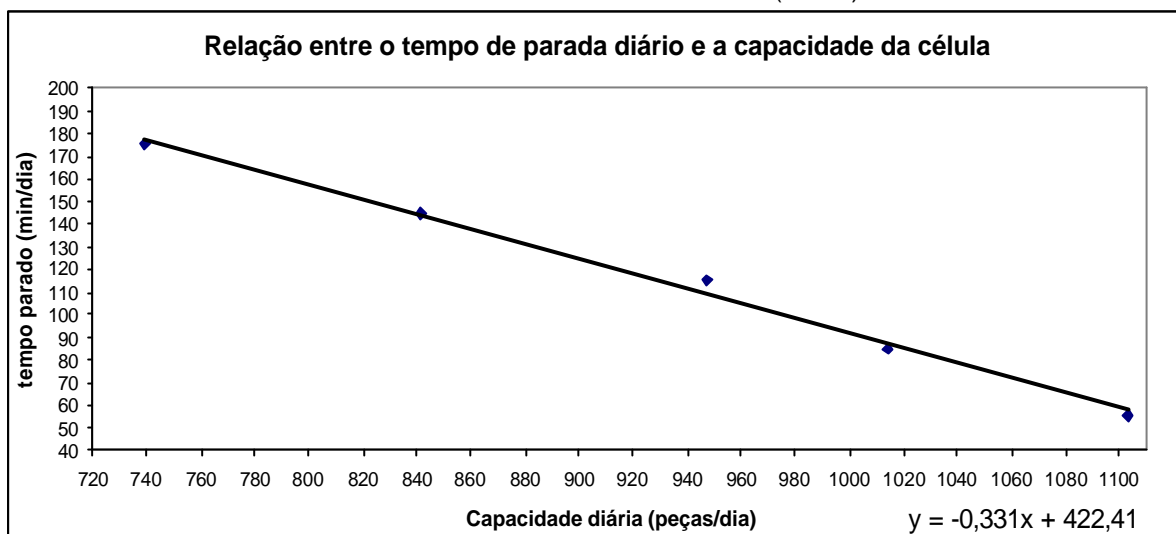
Nas décima, 11^a, 12^a e 13^a etapas tentou-se implantar o fluxo unitário de peças através do lote de transferência de uma só peça, analisando-se as várias possibilidades como realizado nas sexta, sétima, oitava e nona etapas.

Análise da décima etapa do estudo:

Da mesma forma que nas etapas anteriores, observou-se que na décima etapa a redução do tamanho dos lotes exigiu maior número de *set-up*'s, diminuindo a disponibilidade (D) das máquinas. Também se observou o aparecimento e crescimento do tempo ocioso do gargalo pela falta de peças para processar e pela ausência do operador por estar em outra máquina realizando *set-up*. Isto causou a queda da eficiência (E) de 99,80% no primeiro cenário até 74,68% no quinto cenário. Com isso o OEE do gargalo foi decrescendo gradativamente e a capacidade da célula foi sendo proporcionalmente reduzida. A relação entre o tempo de parada diário da máquina gargalo e a capacidade diária de produção está mostrada na figura 4.34.

Observa-se que para a célula suprir a demanda de 960 peças/dia o tempo máximo de parada diário não deverá ultrapassar 104 minutos (calculado pela equação da reta).

FIGURA 4.34 – COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA DÉCIMA ETAPA (REAL)



FONTE: O autor.

A comparação entre os tempos máximos de *set-up* diários, o número máximo de *set-up*'s e a quantidade de peças mínima por lote pode ser observada no quadro 4.28.

QUADRO 4.28 – COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS SEGUNDA, SEXTA E DÉCIMA ETAPAS)

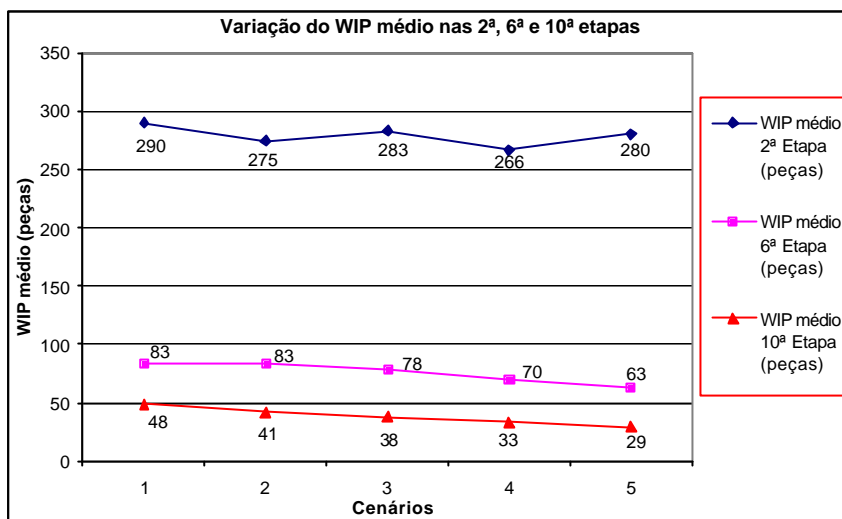
ETAPA	TEMPO PARADO DIÁRIO MÁXIMO (MIN)	TEMPO MÁXIMO PARA SET-UP (MIN)	Nº MÁXIMO DE SET-UP'S DIÁRIOS PARA ATENDER A DEMANDA	QUANTIDADE MÍNIMA DE PEÇAS POR LOTE
Teórico	240	185	6	160
2. ^a Etapa	137	82	2	480
6. ^a Etapa	115	60	2	480
10. ^a Etapa	104	49	1	960

FONTE: O autor.

Percebe-se que houve uma queda no tempo máximo para *set-up* em relação à segunda e à sexta etapas e o tamanho mínimo dos lotes. O resumo geral dos indicadores obtidos na décima etapa está apresentado no apêndice 16. A figura 4.35 apresenta a comparação entre o WIP médio das segunda, sexta e décima etapas. Percebe-se que há uma redução média de 73% entre a segunda e a sexta etapas, e de 50% entre as sexta e décima etapas, comprovando que esta última tem

vantagem em relação à segunda e à sexta na quantidade de peças em giro e, conseqüentemente, no custo de produção.

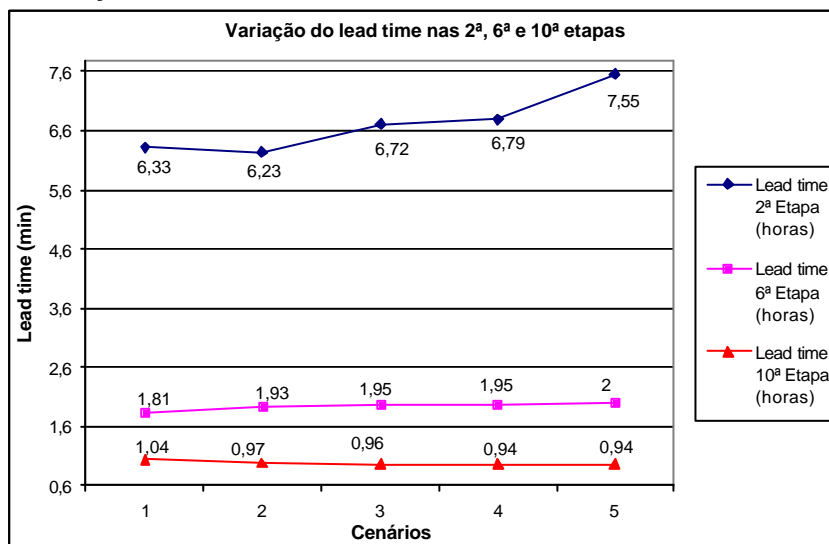
FIGURA 4.35 – WIP MÉDIO NAS SEGUNDA, SEXTA E DÉCIMA ETAPAS



FONTE: O autor.

A figura 4.36 apresenta a comparação entre o *lead time* das segunda, sexta e décima etapas.

FIGURA 4.36 – VARIAÇÃO DO LEAD TIME NAS SEGUNDA, SEXTA E DÉCIMA ETAPAS



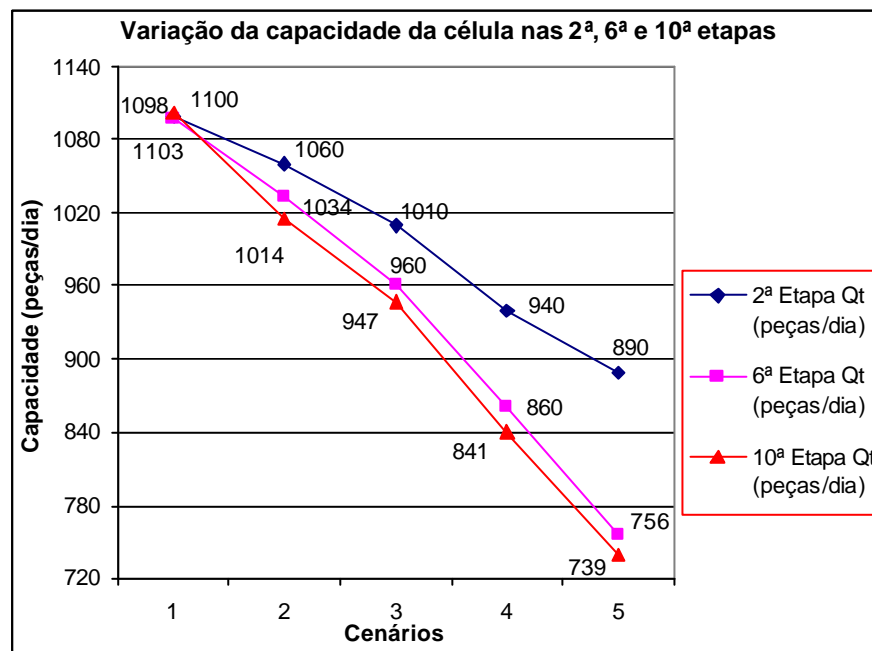
FONTE: O autor.

Percebe-se que há uma redução média de 71,3% entre a segunda e a sexta etapas e de 42,5% entre as sexta e décima etapas. Isso comprova que esta última tem

vantagem em relação à segunda e à sexta etapas no *lead time*, ou seja, no tempo de atravessamento das peças pela célula e, conseqüentemente, na flexibilidade para atender menores prazos de entrega de peças e para reagir nas mudanças de *mix* de produção.

A figura 4.37 apresenta a comparação entre as capacidades de produção da célula nas segunda, sexta e décima etapas. Percebe-se que há uma redução da capacidade da célula com o aumento do número de *set-up's* por dia nas três etapas, pois falta mão-de-obra para efetuar a transferência de peças entre as máquinas quando o operador está realizando *set-up's*, causando paradas por falta de peças e ociosidade no gargalo. Esta redução, no entanto, é mais significativa na décima etapa. Em se mantendo o lote de transferência de uma peça e sem o aumento do número de operadores ou uma redução do tempo de *set-up* não há como melhorar o nivelamento da produção na célula sem perda de capacidade.

FIGURA 4.37 – CAPACIDADES DA CÉLULA NAS SEGUNDA, SEXTA E DÉCIMA ETAPAS



FONTE: O autor.

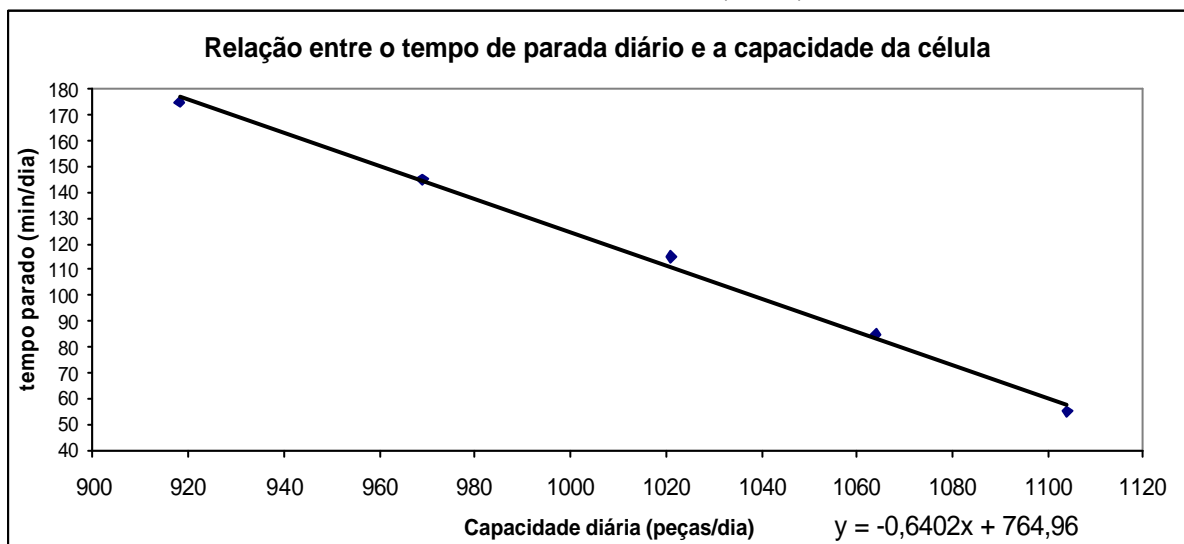
A hipótese a ser testada na décima etapa de que “A redução do lote de transferência de 10 para 1 peça impacta em quedas do WIP e do *lead time*, porém também da capacidade da célula, por falta de mão-de-obra” foi comprovada pela simulação.

Na próxima etapa foram analisados os resultados com a inclusão de mais um operador na célula. As condições serão semelhantes às da sétima etapa, porém com lote de transferência de uma peça.

Análise da 11.^a etapa do estudo:

A existência de dois operadores de início não ajudou a aumentar a capacidade da célula, porém à medida que o número de *set-up*'s aumentou isto fez diferença. Mesmo com o segundo operador ainda se observou o aparecimento e crescimento do tempo ocioso do gargalo pela falta de peças para processar e pela ausência do operador por estarem ambos em outra máquina realizando *set-up*. Isto causou a queda da eficiência (E) de 100% no primeiro cenário até 91,24% no quinto cenário. Com isso o OEE do gargalo foi decrescendo gradativamente e a capacidade da célula foi sendo proporcionalmente reduzida. A relação entre o tempo de paradas total da máquina gargalo e a capacidade diária de produção está mostrada na figura 4.38.

FIGURA 4.38 – COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA 11.^a ETAPA (REAL)



FONTE: O autor.

Observa-se que para a célula suprir a demanda de 960 peças/dia o tempo máximo de parada diário não deverá ultrapassar 150 minutos (calculado pela equação da reta). A comparação entre os tempos máximos de *set-up* diários, o

número máximo de *set-up's* e a quantidade de peças mínima por lote pode ser observada no quadro 4.29.

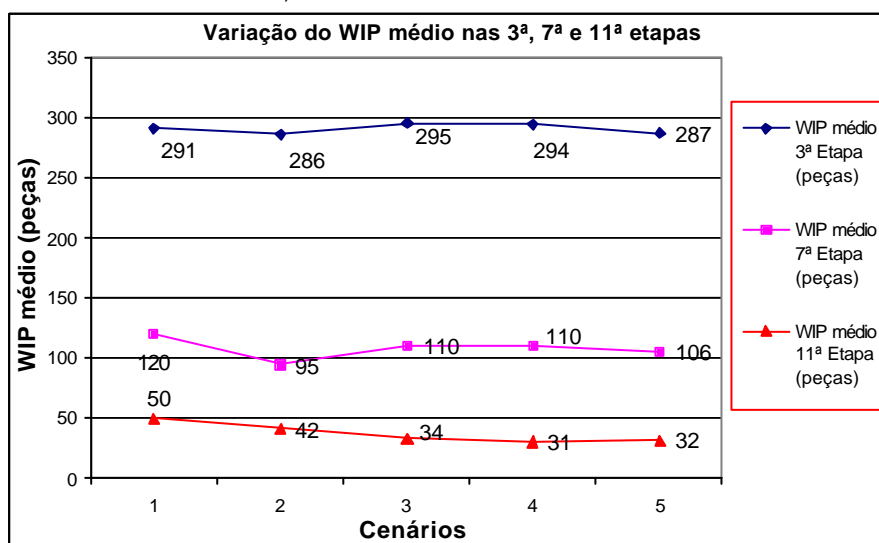
QUADRO 4.29 – COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS 3.^a, 7.^a E 11.^a ETAPAS)

ETAPA	TEMPO PARADO DIÁRIO MÁXIMO (MIN)	TEMPO MÁXIMO PARA SET-UP (MIN)	Nº MÁXIMO DE SET-UP'S DIÁRIOS PARA ATENDER A DEMANDA	QUANTIDADE MÍNIMA DE PEÇAS POR LOTE
Teórico	240	185	6	160
3. ^a Etapa	175	120	4	240
7. ^a Etapa	202	147	4	240
11. ^a Etapa	150	95	3	320

FONTE: O autor.

Percebe-se que houve uma queda no tempo máximo para *set-up* em relação à terceira e à sétima etapas e aumento do tamanho mínimo dos lotes. O resumo geral dos indicadores obtidos na 11.^a etapa está apresentado no apêndice 17. A figura 4.39 apresenta a comparação entre o WIP médio das terceira, sétima e 11.^a etapas. Percebe-se que há uma redução média de 62,8% entre a terceira e a sétima etapas, e de 65% entre as sexta e décima etapas, comprovando que esta última tem vantagem em relação à terceira e à sétima na quantidade de peças em giro e, conseqüentemente, no custo de produção.

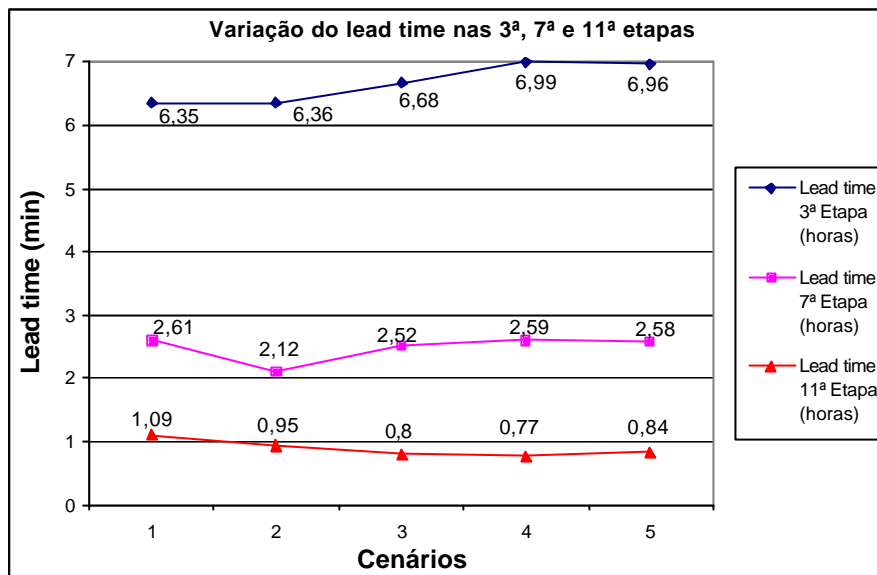
FIGURA 4.39 – WIP MÉDIO NAS 3.^a, 7.^a E 11.^a ETAPAS



FONTE: O autor.

A figura 4.40 apresenta a comparação entre o *lead time* das terceira, sétima e 11.^a etapas.

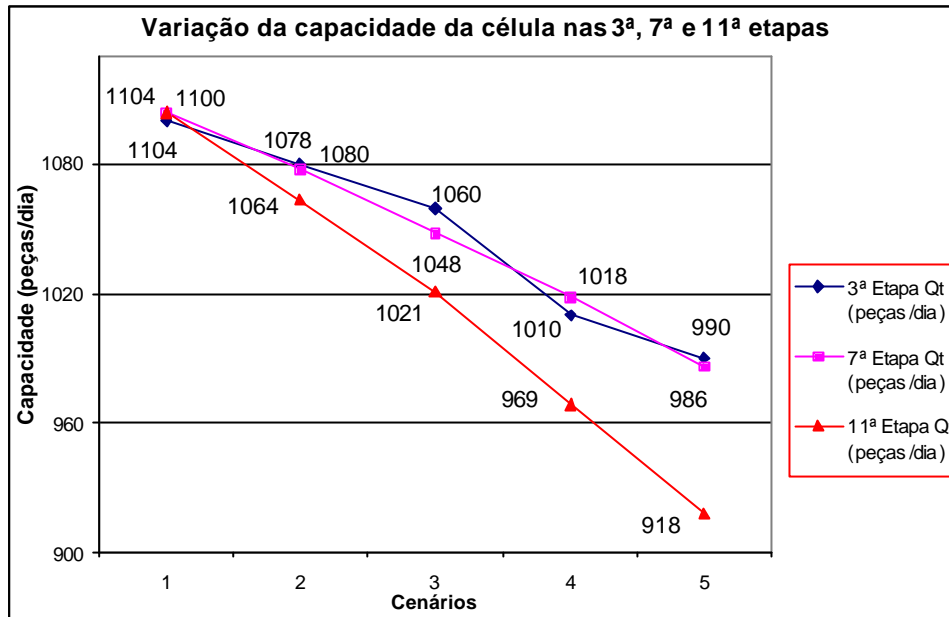
FIGURA 4.40 – VARIAÇÃO DO LEAD TIME NAS 3.^a, 7.^a E 11.^a ETAPAS



FONTE: O autor.

Percebe-se que há uma redução média de 62,7% entre a terceira e a sétima etapas e de 64,1% entre as sétima e 11.^a etapas. Isso comprova que esta última tem vantagem em relação à terceira e à sétima etapas no *lead time*, ou seja, no tempo de atravessamento das peças pela célula e, conseqüentemente, na flexibilidade para atender menores prazos de entrega de peças e para reagir nas mudanças de *mix* de produção.

A figura 4.41 apresenta a comparação entre as capacidades de produção da célula nas terceira, sétima e 11.^a etapas. Percebe-se que há uma redução da capacidade da célula com o aumento do número de *set-up's* por dia nas três etapas, pois falta mão-de-obra para efetuar a transferência de peças entre as máquinas quando os operadores estão realizando *set-up's*, causando paradas por falta de peças e ociosidade no gargalo. Esta redução, no entanto, é mais significativa na 11.^a etapa. Em se mantendo o lote de transferência de 1 peça e o tempo de *set-up* das máquinas em 30 minutos, mesmo com o aumento do número de operadores de um para dois não há como melhorar o nivelamento da produção na célula e reduzir o WIP e o *lead time* sem perda de capacidade e desatendimento da demanda.

FIGURA 4.41 – CAPACIDADES DA CÉLULA NAS 3.^a, 7.^a E 11.^a ETAPAS

FONTE: O autor.

A hipótese a ser testada na 11.^a etapa de que “O acréscimo de mais um operador aumenta a capacidade de produção da célula, permitindo aumentar o número de *set-up*'s diários e implantar o fluxo unitário de peças, sem causar aumento no *WIP* e no *lead time*. foi comprovada parcialmente pela simulação, pois a partir do quinto cenário a demanda não mais é atendida.

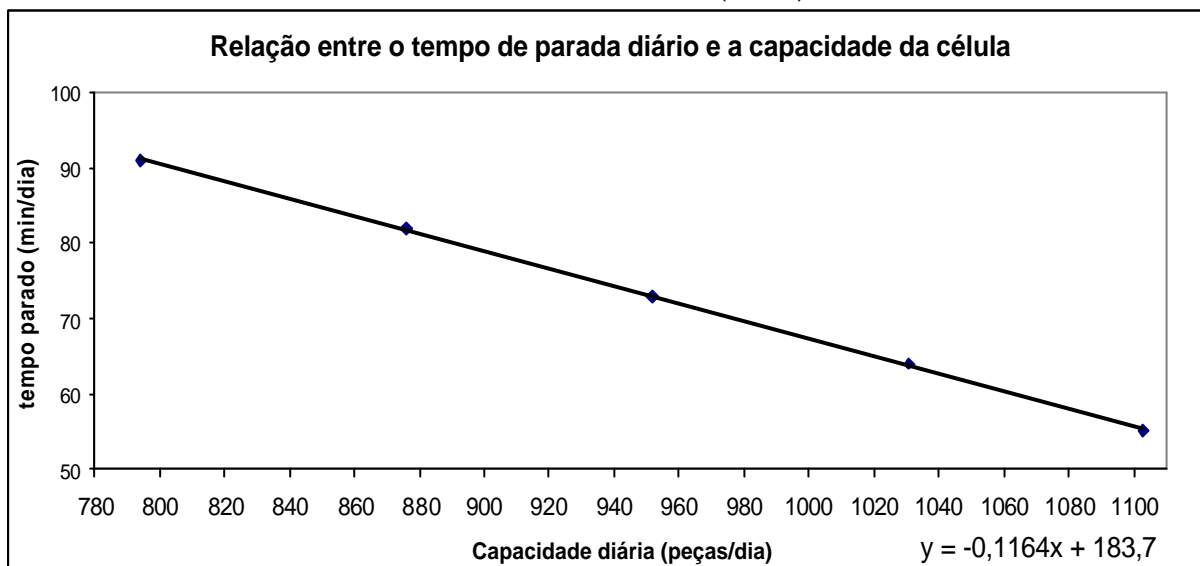
Na próxima etapa serão analisados os resultados com a redução do tempo de *set-up* do gargalo e com somente um operador na célula. As condições serão semelhantes às da oitava etapa, porém com lote de transferência de dez peças.

Análise da 12.^a etapa do estudo:

Da mesma forma que na oitava etapa, observou-se que na 12.^a etapa a redução do tamanho dos lotes exigiu maior número de *set-up*'s, diminuindo a disponibilidade (D) das máquinas. Também se observou o aparecimento e crescimento do tempo ocioso do gargalo pela falta de peças para processar e pela ausência do operador por estar em outra máquina realizando *set-up*. Isto causou a queda da eficiência (E) de 100% no primeiro cenário até 75,03% no quinto cenário. Com isso o OEE do gargalo foi decrescendo gradativamente e a capacidade da célula foi sendo proporcionalmente reduzida. A redução do tempo de *set-up* somente no gargalo não

foi suficiente para eliminar a necessidade de dois operadores. A relação entre o tempo de parada diário da máquina gargalo e a capacidade diária de produção está mostrada na figura 4.42.

FIGURA 4.42 – COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA 12.^a ETAPA (REAL)



FONTE: O autor.

Observa-se que para a célula suprir a demanda de 960 peças/dia o tempo máximo de parada diário não deverá ultrapassar 72 minutos (calculado pela equação da reta). A comparação entre os tempos máximos de *set-up* diários, o número máximo de *set-up*'s e a quantidade de peças mínima por lote pode ser observada no quadro 4.30. Percebe-se que houve uma queda no tempo máximo para *set-up* em relação à 8.^a e à 11.^a etapas e aumento do tamanho mínimo dos lotes.

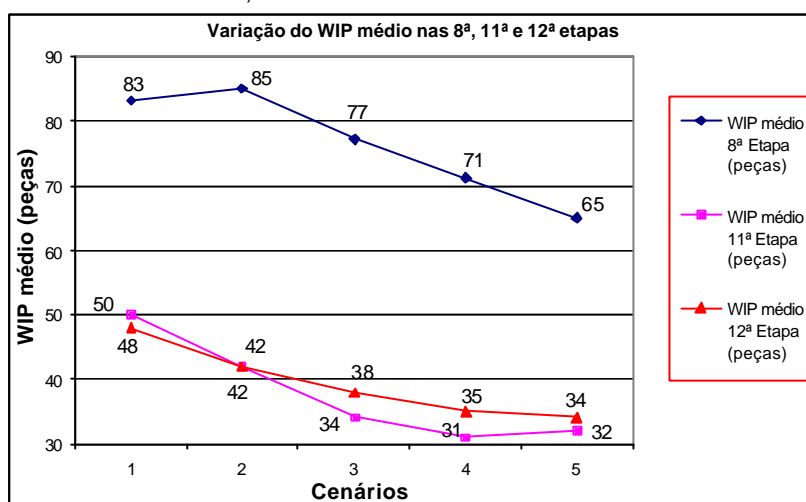
QUADRO 4.30 – COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS 8.^a, 11.^a E 12.^a ETAPAS).

ETAPA	TEMPO PARADO DIÁRIO MÁXIMO (MIN)	TEMPO MÁXIMO PARA SET-UP (MIN)	Nº MÁXIMO DE SET-UP'S DIÁRIOS PARA ATENDER A DEMANDA	QUANTIDADE MÍNIMA DE PEÇAS POR LOTE
Teórico	240	185	6	160
8. ^a Etapa	74	19	2	480
11. ^a Etapa	150	95	3	320
12. ^a Etapa	72	17	1	960

FONTE: O autor.

O resumo geral dos indicadores obtidos na 12.^a etapa está apresentado no apêndice 17. A figura 4.43 apresenta a comparação entre o WIP médio das 8.^a, 11.^a e 12.^a etapas. Percebe-se que há uma redução média de 50,4% entre a oitava e a 11.^a etapas, e um aumento de 4,2% entre as 11.^a e 12.^a etapas. A produção com dois operadores gera menos WIP do que com um operador, mesmo com a redução do *set-up* do gargalo para 9 minutos. Em termos de WIP o melhor caso dos três é o da 11.^a etapa.

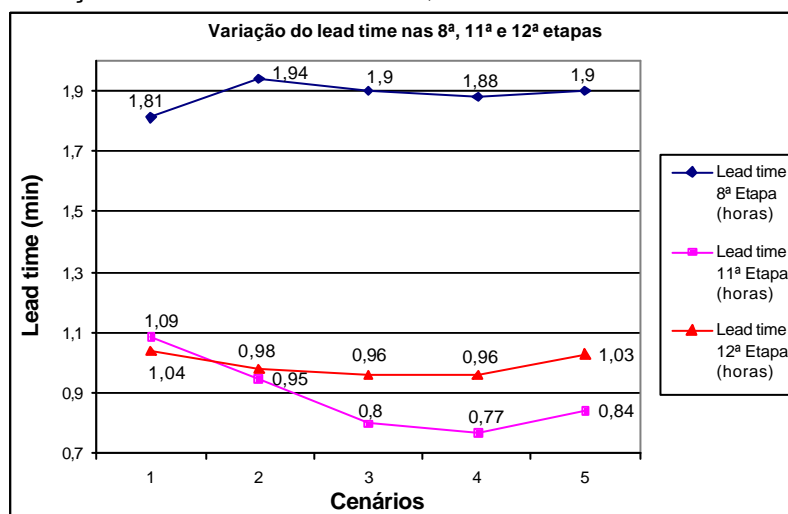
FIGURA 4.43 – WIP MÉDIO NAS 8.^a, 11.^a E 12.^a ETAPAS



FONTE: O autor.

A figura 4.44 apresenta a comparação dos *lead times* das 8.^a, 11.^a e 12.^a etapas.

FIGURA 4.44 – VARIAÇÃO DO LEAD TIME NAS 8.^a, 11.^a E 12.^a ETAPAS

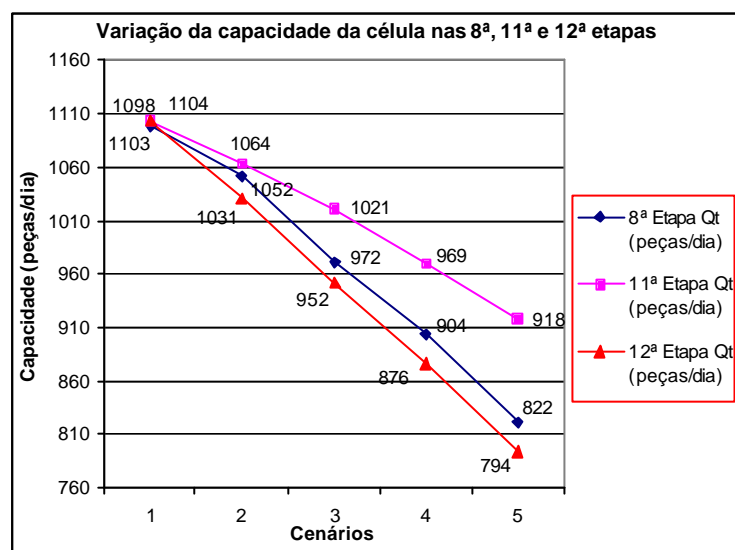


FONTE: O autor.

Percebe-se que há uma redução média de 52,8% entre a oitava e a 11.^a etapas e um aumento de 11,7% entre as 11.^a e 12.^a etapas. A produção com dois operadores gera menor *lead time* do que com um operador. Mesmo com a redução do *set-up* do gargalo para 9 minutos o *lead time* não diminuiu; ao contrário até aumentou. Em termos de *lead time* o melhor caso dos três é o da 11.^a etapa.

A figura 4.45 apresenta a comparação entre as capacidades de produção da célula nas 8.^a, 11.^a e 12.^a etapas.

FIGURA 4.45 – CAPACIDADES DA CÉLULA NAS 8.^a, 11.^a E 12.^a ETAPAS



FONTE: O autor.

Percebe-se que há uma redução da capacidade da célula com o aumento do número de *set-up's* por dia nas três etapas, pois falta mão-de-obra para efetuar a transferência de peças entre as máquinas quando os operadores estão realizando *set-up's*, causando paradas por falta de peças e ociosidade no gargalo. Esta redução, no entanto, é mais significativa na 12.^a etapa. Em se mantendo o lote de transferência de 1 peça e o tempo de *set-up* das máquinas em 30 minutos, mesmo com a redução do tempo de *set-up* do gargalo para 9 minutos, não há como melhorar o nivelamento da produção na célula e reduzir o WIP e o *lead time* sem perda de capacidade e desatendimento da demanda.

A hipótese a ser testada na 12.^a etapa de que “A redução do tempo de *set-up* da máquina gargalo de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a implantação do fluxo unitário de peças, sem necessidade de mais operadores e sem

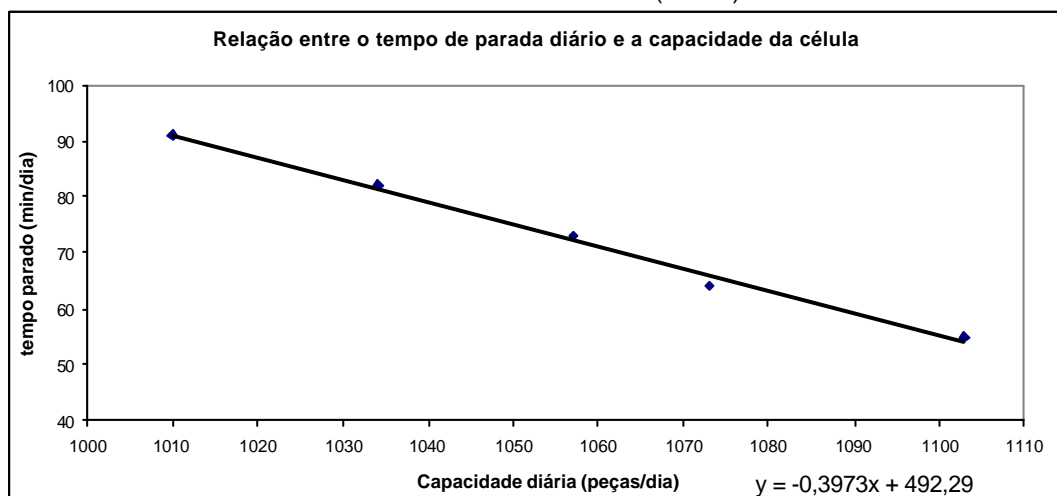
a necessidade de reduzir o tempo de *set-up* das outras máquinas” não foi comprovada totalmente pela simulação. A partir do terceiro cenário a célula não atinge a demanda necessária.

Na próxima e última etapa serão analisados os resultados com a redução do tempo de *set-up* de todas as máquinas e com somente um operador na célula. As condições serão semelhantes às da nona etapa, porém com lote unitário.

Análise da 13.^a etapa do estudo:

Da mesma forma que na nona etapa, observou-se que na 13.^a etapa a redução do tamanho dos lotes exigiu maior número de *set-up*'s, diminuindo a disponibilidade (D) das máquinas. Também se observou o aparecimento e crescimento do tempo ocioso do gargalo pela falta de peças para processar e pela ausência do operador por estar em outra máquina realizando *set-up*. Isto causou a queda da eficiência (E) de 100% no primeiro cenário até 94,24% no quinto cenário. Com isso o OEE do gargalo foi decrescendo gradativamente e a capacidade da célula foi sendo proporcionalmente reduzida. A redução do tempo de *set-up* em todas as máquinas para 9 minutos foi suficiente para eliminar a necessidade de dois operadores. A relação entre o tempo de parada diário da máquina gargalo e a capacidade diária de produção está mostrada na figura 4.46. Observa-se que para a célula suprir a demanda de 960 peças/dia o tempo máximo de parada diário não deverá ultrapassar 110 minutos (calculado pela equação da reta).

FIGURA 4.46 – COMPARAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PARADA TOTAL DO GARGALO E A CAPACIDADE DA CÉLULA NA 13.^a ETAPA (REAL)



FONTE: O autor.

A comparação entre os tempos máx. de *set-up* diários, o número máx. de *set-up*'s e a quantidade de peças mínima por lote pode ser observada no quadro 4.31.

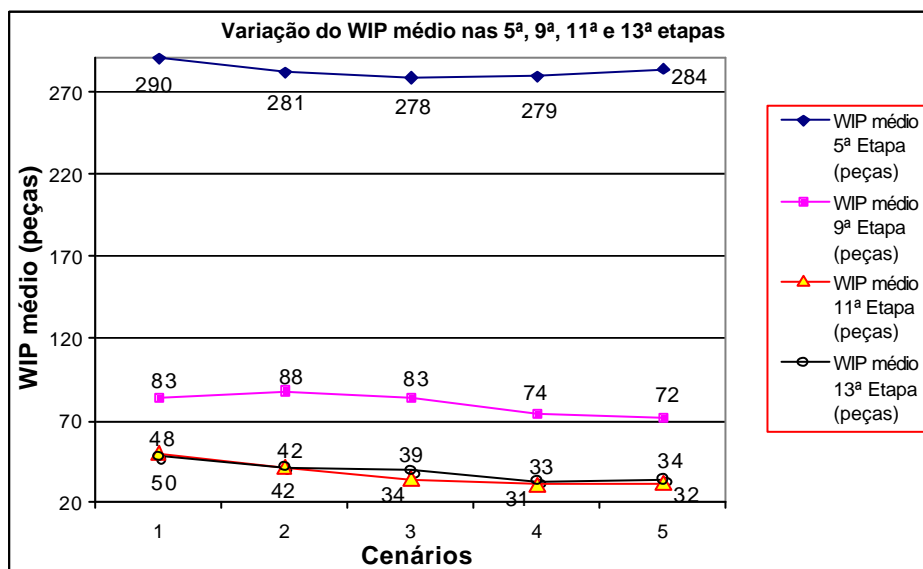
QUADRO 4.31 – COMPARAÇÃO ENTRE O TAMANHO DOS LOTES E AS QUANTIDADES DE PEÇAS POR LOTE (VALORES TEÓRICOS E REAIS DAS 5.^a, 9.^a, 11.^a E 13.^a ETAPAS).

ETAPA	TEMPO PARADO DIÁRIO MÁXIMO (MIN)	TEMPO MÁXIMO PARA SET-UP (MIN)	Nº MÁXIMO DE SET-UP'S DIÁRIOS PARA ATENDER A DEMANDA	QUANTIDADE MÍNIMA DE PEÇAS POR LOTE
Teórico	240	185	6	160
5. ^a Etapa	225	170	18	54
9. ^a Etapa	133	78	8	120
11. ^a Etapa	150	95	3	320
13. ^a Etapa	110	55	6	160

FONTE: O autor.

Percebe-se que houve uma queda no tempo máximo para *set-up* em relação à nona etapa e um aumento em relação à 11.^a etapa. O resumo geral dos indicadores obtidos na 13.^a etapa está apresentado no apêndice 17. A figura 4.47 apresenta a comparação entre o WIP médio das 5.^a, 9.^a, 11.^a e 13.^a etapas.

FIGURA 4.47 – WIP MÉDIO NAS 5.^a, 9.^a, 11.^a E 13.^a ETAPAS



FONTE: O autor.

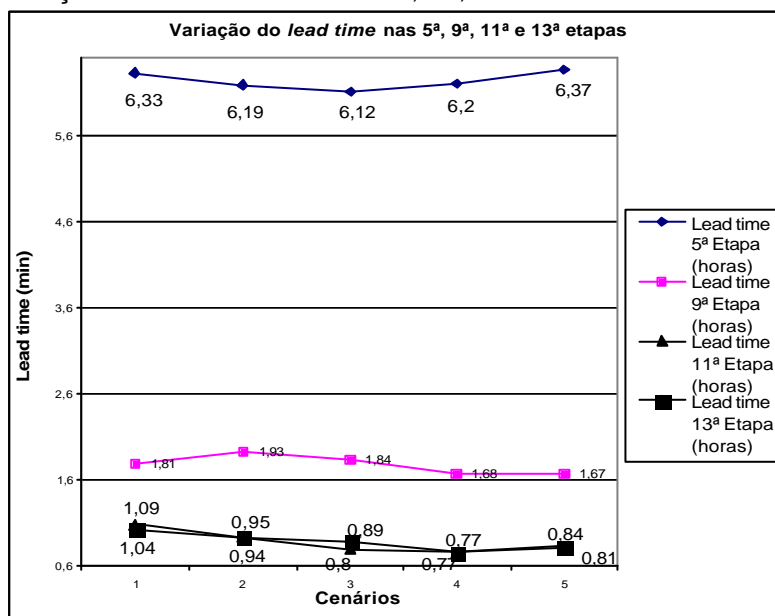
Percebe-se que há uma redução grande entre a quinta e a nona etapas e uma redução menor entre esta última e a 11.^a etapa. No entanto entre a 11.^a e a 13.^a não

há praticamente diferença. Com o fluxo unitário, portanto pode-se, manter o tempo de *set-up* das máquinas em 30 minutos e trabalhar com dois operadores, ou reduzir o tempo de *set-up* para 9 minutos em todas as máquinas e trabalhar com um operador. A decisão deverá ser tanto econômica, quanto estratégica e deverá levar em conta:

- o custo da mão-de-obra adicional ao longo do tempo em comparação com a dificuldade técnica e o custo da redução do *set-up*;
 - a capacidade da célula em atender à demanda;
- o nivelamento da produção passível de ser obtido contra o desejado.

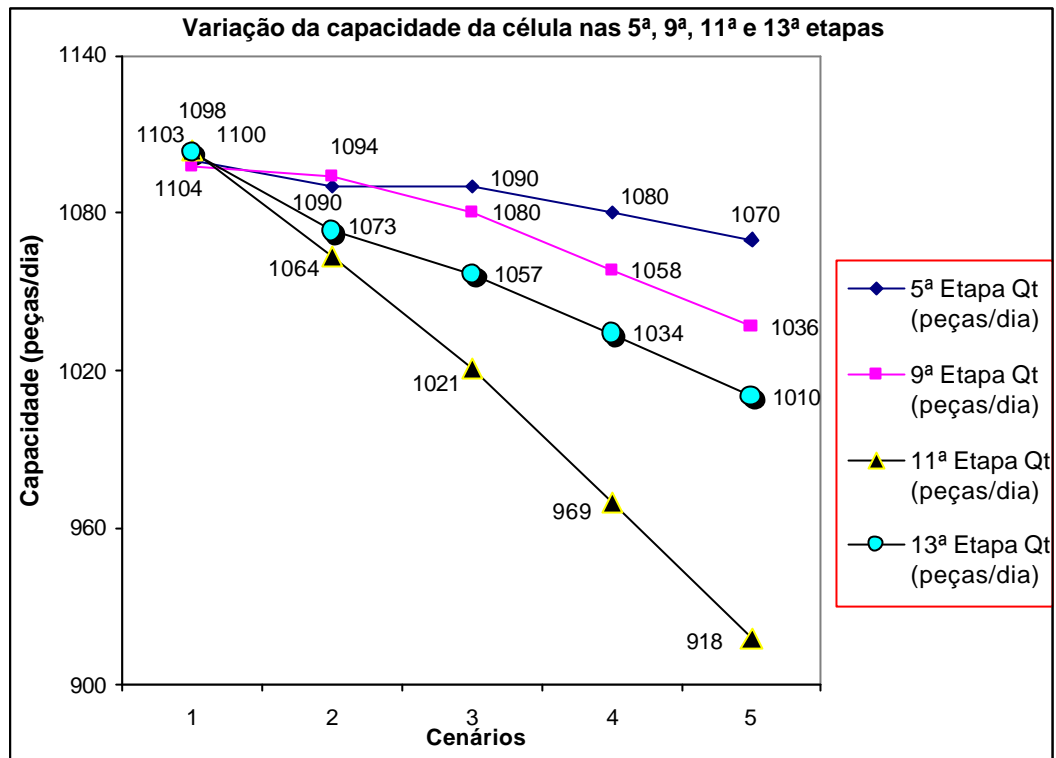
A figura 4.48 apresenta a comparação entre o *lead time* das 5.^a, 9.^a, 11.^a e 13.^a etapas. A análise é semelhante à do WIP. Os *lead times* das 11.^a e 13.^a etapas são semelhantes e a decisão sobre trabalhar com dois operadores sem mexer no *set-up* ou com um operador e com tempo de *set-up* menor deve ser tanto econômica, quanto estratégica.

FIGURA 4.48 - VARIAÇÃO DO LEAD TIME NAS 5.^a, 9.^a, 11.^a E 13.^a ETAPAS



FONTE: O autor.

A figura 4.49 apresenta a comparação entre as capacidades de produção da célula nas 5.^a, 9.^a, 11.^a e 13.^a etapas.

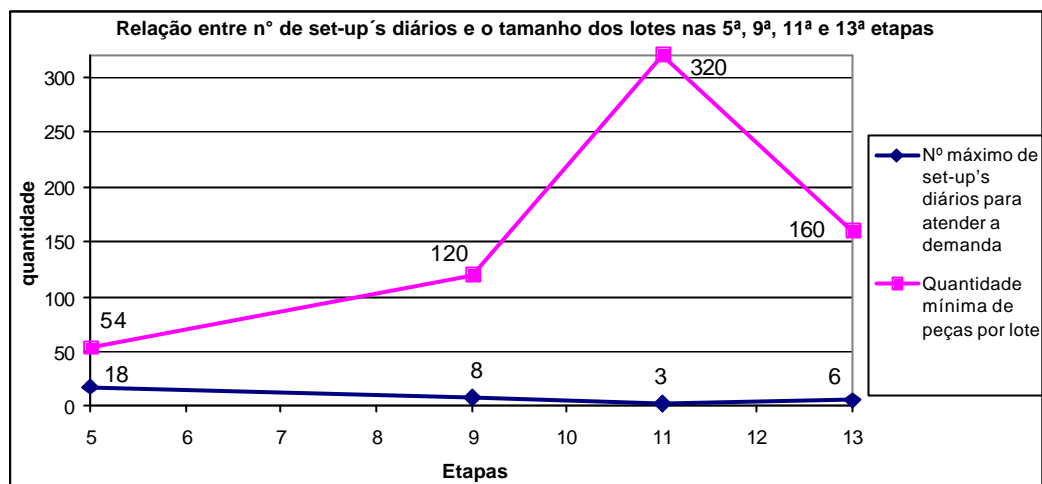
FIGURA 4.49 – CAPACIDADES DA CÉLULA NAS 5.^a, 9.^a, 11.^a E 13.^a ETAPAS

FONTE: O autor.

Percebe-se que há uma redução da capacidade da célula com o aumento do número de *set-up's* por dia nas quatro etapas, pois falta mão-de-obra para efetuar a transferência de peças entre as máquinas quando os operadores estão realizando *set-up's*, causando paradas por falta de peças e ociosidade no gargalo. Esta redução, no entanto, é mais significativa na 11.^a etapa. Em se mantendo o fluxo unitário de peças e o tempo de *set-up* das máquinas em 30 minutos, não há como melhorar o nivelamento da produção na célula e reduzir o WIP e o *lead time* sem perda de capacidade, mesmo com a inclusão de um segundo operador. Para tanto haveria a necessidade de incluir um terceiro operador, onerando os custos e fatalmente inviabilizando esta decisão. Logo, a 11.^a etapa estaria descartada.

A figura 4.50 mostra a relação entre o n° de *set-up's* diários e o tamanho dos lotes nas 5.^a, 9.^a, 11.^a e 13.^a etapas. Percebe-se que o melhor nivelamento ocorre na 5.^a etapa (lote de transferência de 50 peças) e na 9.^a etapa (lote de transferência de 10 peças). Em seguida vem o nivelamento da 13.^a etapa (fluxo unitário) e por último o nivelamento da 11.^a etapa (fluxo unitário, com *set-up* alto e dois operadores).

FIGURA 4.50 – RELAÇÃO ENTRE N° DE *SET-UP'S* DIÁRIOS E O TAMANHO DOS LOTES NAS 5.^a, 9.^a, 11.^a E 13.^a ETAPAS



FONTE: O autor.

A figura 4.51 apresenta o número máximo possível de *set-up's* diários para atender à demanda obtido em cada etapa.

FIGURA 4.51 – N.º MÁXIMO DE *SET-UP'S* DIÁRIOS PARA ATENDER À DEMANDA POR ETAPA



FONTE: O autor.

Os melhores nivelamentos se obtêm na 5.^a etapa, depois na 9.^a etapa e na 13.^a etapa. Isso confirma a informação da Fig. 4.47.

A hipótese a ser testada na 13.^a etapa de que “A redução do tempo de *set-up* de todas as máquinas de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite

a implantação do fluxo unitário de peças, sem necessidade de mais operadores e com baixo WIP e baixo *lead time*” foi comprovada pela simulação.

O quadro 4.32 apresenta um resumo de todas as hipóteses levantadas e testadas em cada uma das 13 etapas deste estudo e sua avaliação (comprovação, comprovação parcial, rejeição).

QUADRO 4.32 – RESUMO DAS HIPÓTESES LEVANTADAS EM CADA ETAPA E AVALIAÇÃO
continua

ETAPA	HIPÓTESES	AVALIAÇÃO
1	a) O aumento do número de <i>set-up</i> 's por dia impacta em redução acentuada da capacidade de produção da célula, existindo um valor real inferior ao esperado. b) A limitação de um contentor de peças na entrada e na saída da máquina gargalo (3) pode comprometer o desempenho da linha.	Ambas foram comprovadas pela simulação
2	O aumento do estoque de peças na entrada e na saída do gargalo aumenta a capacidade de produção da célula.	Comprovada pela simulação
3	O acréscimo de mais um operador aumenta a capacidade de produção da célula e permite aumentar o número de <i>set-up</i> 's diários e reduzir o tamanho dos lotes.	Comprovada pela simulação.
4	A redução do tempo de <i>set-up</i> da <u>máquina gargalo</u> de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a redução do tamanho dos lotes, sem necessidade de mais operadores e sem a necessidade de reduzir o tempo de <i>set-up</i> das outras máquinas.	Comprovada parcialmente pela simulação (só é válida até o quarto cenário, a partir deste não é mais válida).
5	A redução do tempo de <i>set-up</i> de <u>todas as máquinas</u> de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a redução do tamanho dos lotes, sem necessidade de mais operadores.	Comprovada pela simulação.
6	A redução do lote de transferência de 50 para 10 peças impacta em diminuição do WIP e do <i>lead time</i> e também da capacidade da célula, por falta de mão-de-obra.	Comprovada pela simulação.
7	O acréscimo de mais um operador aumenta a capacidade de produção da célula e permite aumentar o número de <i>set-up</i> 's diários e reduzir o tamanho dos lotes, sem causar aumento do WIP e do <i>lead time</i> .	Hipótese não comprovada. Houve aumento do WIP e do <i>lead time</i> .

QUADRO 4.32 – RESUMO DAS HIPÓTESES LEVANTADAS EM CADA ETAPA E AVALIAÇÃO
conclusão

ETAPA	HIPÓTESES	AVALIAÇÃO
8	A redução do tempo de <i>set-up</i> da <u>máquina gargalo</u> de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a redução do tamanho dos lotes e do lote de transferência para 10 peças, sem necessidade de mais operadores e sem a necessidade de reduzir o tempo de <i>set-up</i> das outras máquinas.	Comprovada parcialmente pela simulação (só é válida até o terceiro cenário, a partir deste não é mais válida).
9	A redução do tempo de <i>set-up</i> de <u>todas as máquinas</u> de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a redução do tamanho dos lotes e do lote de transferência para 10 peças, sem necessidade de mais operadores.	Comprovada pela simulação.
10	A redução do lote de transferência de dez para uma peça impacta em quedas do WIP e <i>lead time</i> , porém também da capacidade da célula, por falta de mão-de-obra.	Comprovada pela simulação.
11	O acréscimo de mais um operador aumenta a capacidade de produção da célula, permitindo aumentar o número de <i>set-up's</i> diários e implantar o fluxo unitário de peças, sem causar aumento no WIP e no <i>lead time</i> .	Comprovada parcialmente pela simulação (só é válida até o quarto cenário, a partir deste não é mais válida, pois não atende à demanda).
12	A redução do tempo de <i>set-up</i> da <u>máquina gargalo</u> de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a implantação do fluxo unitário de peças, sem necessidade de mais operadores e sem a necessidade de reduzir o tempo de <i>set-up</i> das outras máquinas.	Comprovada parcialmente pela simulação (só é válida até o segundo cenário, a partir deste não é mais válida).
13	A redução do tempo de <i>set-up</i> de <u>todas as máquinas</u> de 30 para 9 minutos aumenta a capacidade da célula e permite a implantação do fluxo unitário de peças, sem necessidade de mais operadores e com baixo WIP e baixo <i>lead time</i> .	Comprovada pela simulação.

FONTE: O autor.

4.14.1 Análise final dos resultados

Os resultados obtidos após a realização das 13 etapas podem ser resumidos como segue:

- a) Primeira e segunda etapas – foi comprovado que no gargalo é necessário que seja mantido um estoque pulmão como sugere a TOC. Sem ele ocorre constantemente parada do gargalo por falta do operador para transferir as peças prontas para a máquina seguinte. Após o gargalo não deve haver restrição de espaço para não bloqueá-lo.
- b) Terceira etapa – a inclusão de um segundo operador na célula permitiu nivelar melhor a produção, reduzindo o tamanho dos lotes de processamento e permitiu aumento da capacidade. Entretanto causou aumento dos custos de mão-de-obra.
- c) Quarta etapa – Ficou evidente que a redução do *set-up* do gargalo para 9 minutos sem a redução do *set-up* também das máquinas não-gargalos não foi suficiente para garantir o atendimento da demanda e prejudicou o nivelamento da produção. Isso contraria o princípio da TOC de que “uma hora ganha num recurso não-gargalo é uma miragem”. Em se tratando de uma célula com menos operadores do que a quantidade de máquinas e com os *set-up*’s sendo feito pelos próprios operadores, há um ganho ao se investir também na redução dos tempos de *set-up* dos recursos não-gargalos.
- d) Quinta etapa – A redução do tempo de *set-up* em todas as máquinas para nove minutos foi suficiente para eliminar a necessidade de dois operadores para atender à demanda. Foi observado que com este tempo de *set-up*, e mesmo com lote de transferência de 50 peças, obteve-se um excelente nivelamento da produção, permitindo os menores lotes de processamento de todo o estudo (54 peças). Em contrapartida, apresentou os valores mais elevados de WIP e mais baixos de *lead time*.
- e) Sexta, sétima, oitava e nona etapas – a diminuição do lote de transferência de 50 para 10 peças causou a diminuição da capacidade da célula. Percebeu-se que na sétima etapa, com a inclusão de um segundo operador, houve um aumento da capacidade, empatando com a terceira etapa, porém causando maiores WIP e *lead time* do que a sexta etapa. Para reduzir o lote de transferência de 50 para 10 peças, reduzindo o WIP e o *lead time* da célula sem perda de capacidade, é preciso que se acrescente um segundo operador. Para evitar isso a nona etapa mostrou que é preciso reduzir os tempos de *set-up* de todas as máquinas para nove minutos.

- f) 10.^a, 11.^a, 12.^a e 13.^a etapas – Nestas etapas foi testado o trabalho com lote de transferência de uma peça (fluxo unitário) e percebeu-se que com *set-up*'s altos a capacidade da célula cai rapidamente à medida que se reduzem os lotes de processamento. A inclusão de um segundo operador é inevitável. Entretanto, em relação às etapas equivalentes com 50 peças (3.^a) e com 10 peças (7.^a) a capacidade da 11.^a etapa, mesmo com 2 operadores, cai mais rapidamente, sugerindo que já a partir do quinto cenário se torna inevitável a alocação de um 3.º operador. A 13.^a etapa, com a redução dos *set-up*'s de todas as máquinas para 9 minutos, mostrou que é possível atender à demanda com somente 1 operador. Observa-se, também, que em todas estas etapas houve queda do WIP e do *lead time*, em relação às anteriores.

O quadro 4.33 apresenta uma comparação do nivelamento de produção máximo possível em cada uma das 13 etapas.

QUADRO 4.33 – COMPARAÇÃO DO NIVELAMENTO DE PRODUÇÃO NAS 13 ETAPAS DO ESTUDO

ETAPAS	TEMPO PARADO DIÁRIO MÁXIMO (MIN)	TEMPO MÁXIMO PARA SET-UP (MIN)	Nº MÁXIMO DE SET-UP'S DIÁRIOS PARA ATENDER A DEMANDA	QUANTIDADE MÍNIMA DE PEÇAS POR LOTE
1. ^a Etapa	97	45	1	960
2. ^a Etapa	131	82	2	480
3. ^a Etapa	175	120	4	240
4. ^a Etapa	86	31	3	320
5.^a Etapa	225	170	18	54
6. ^a Etapa	115	60	2	480
7. ^a Etapa	202	147	4	240
8. ^a Etapa	74	19	2	480
9.^a Etapa	133	78	8	120
10. ^a Etapa	104	49	1	960
11. ^a Etapa	150	95	3	320
12. ^a Etapa	72	17	1	960
13.^a Etapa	110	55	6	160

FONTE: O autor.

Nota-se que os melhores resultados foram obtidos quando os *set-up*'s foram reduzidos para 9 minutos nas 5.^a, 9.^a e 13.^a etapas, ou seja, respectivamente com

lotes de processamento de 50, de 10 e de 1 peça. A vantagem da quinta etapa em relação às outras se desfaz quando se deseja manter baixos o *WIP* e o *lead time*, para aumentar a flexibilidade e reduzir os custos de produção da célula. Os piores resultados foram obtidos na 1.^a, na 10.^a e na 12.^a etapas, nas quais se pode realizar somente um *set-up* por dia e os lotes de processamento devem ser altos. Na primeira etapa isso ocorre devido à limitação do estoque pulmão no gargalo, impedindo a chegada de material suficiente para mantê-lo funcionando. Na décima etapa isso ocorre devido aos longos *set-up*'s e a falta de *WIP* para manter as máquinas funcionando. Na 12.^a etapa o motivo é semelhante ao da 10.^a etapa, pois a redução do *set-up* somente do gargalo não foi suficiente.

A Tabela 4.12 e a figura 4.52 mostram um comparativo dos indicadores de todas as etapas usando como base os quintos cenários de cada uma delas.

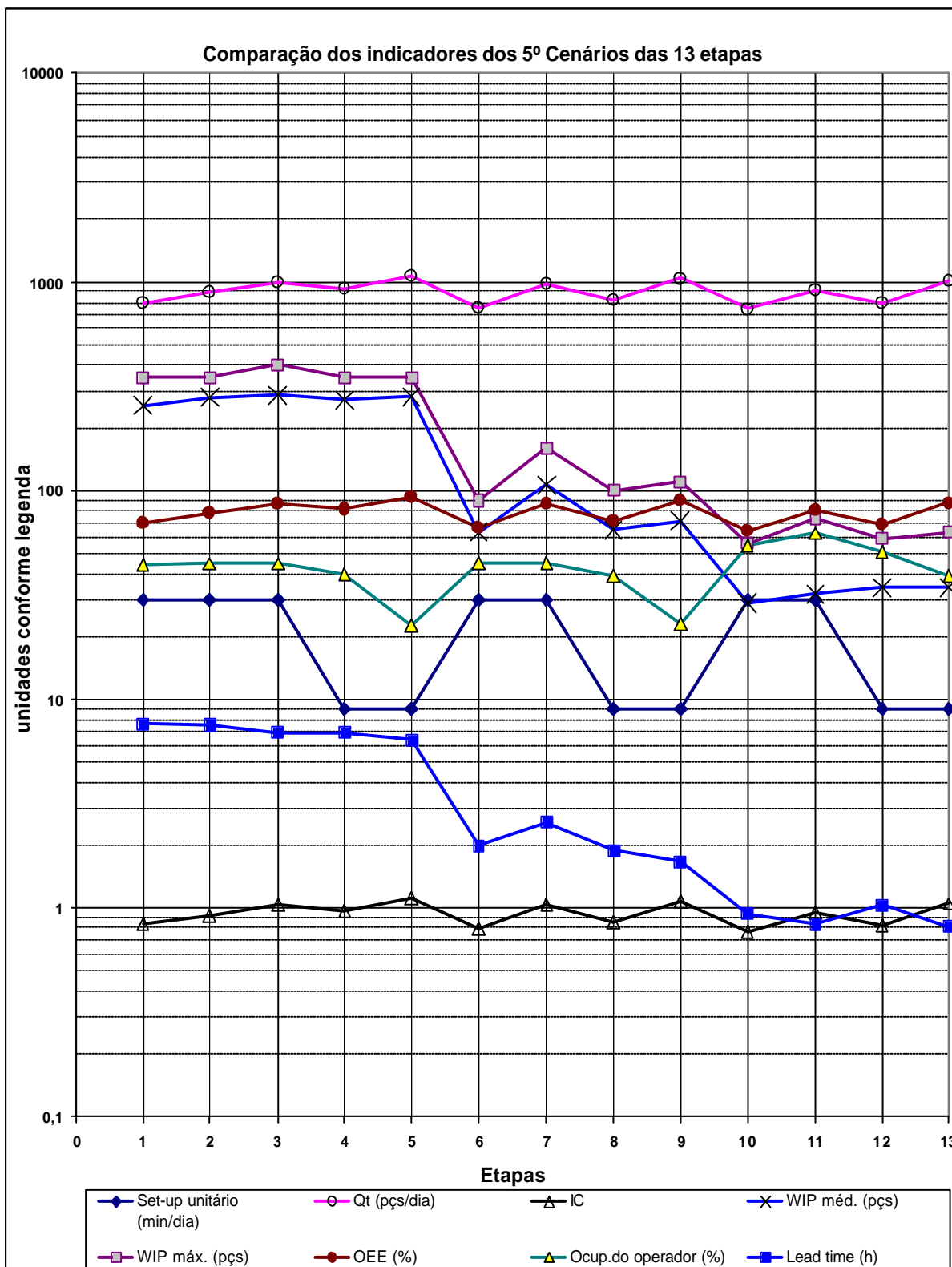
TABELA 4.12 - RESUMO DOS INDICADORES DOS QUINTOS CENÁRIOS DAS 13 ETAPAS

5.º CENÁRIO	SET-UP UNITÁRIO (MIN/DIA)	QT (PÇS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PÇS)	WIP MÁX. (PÇS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO DO OPERADOR (%)	LEAD TIME (H)
1. ^a Etapa	30	800	0,833	256	350	70,09	43,75	7,68
2. ^a Etapa	30	890	0,927	280	350	77,58	44,30	7,55
3.^a Etapa	30	990	1,031	287	400	86,55	44,63	6,96
4. ^a Etapa	9/30	930	0,969	270	350	81,39	39,66	6,97
5.^a Etapa	9	1070	1,115	284	350	93,26	22,53	6,37
6. ^a Etapa	30	756	0,788	63	90	65,69	45,00	2,00
7.^a Etapa	30	986	1,027	106	160	85,79	45,39	2,58
8. ^a Etapa	9/30	822	0,856	65	100	71,42	38,74	1,90
9.^a Etapa	9	1036	1,079	72	110	89,94	22,87	1,67
10. ^a Etapa	30	739	0,770	29	56	64,21	54,84	0,94
11. ^a Etapa	30	918	0,956	32	74	79,73	62,38	0,84
12. ^a Etapa	9/30	794	0,827	34	59	68,93	51,55	1,03
13.^a Etapa	9	1010	1,052	34	63	87,68	39,34	0,81

FONTE: O autor.

NOTA: 9/30 significa tempo de *set-up* de 9 minutos no gargalo e de 30 minutos nas demais máquinas.

FIGURA 4.52 – GRÁFICO COMPARATIVO DOS INDICADORES DOS 5.º CENÁRIOS DAS 13 ETAPAS



FONTE: O autor.

Observa-se o seguinte:

- a) O WIP médio se mantém relativamente constante para um mesmo lote de transferência, decrescendo desde cerca de 270 peças para o lote de 50 até cerca de 75 peças para o lote de 10 (3,6 vezes menor) e de 30 peças para o lote unitário (9 vezes menor). O menor WIP médio foi atingido na décima etapa. Análise semelhante vale também para o WIP máximo;
- b) O *lead time* apresenta uma leve tendência de redução para um mesmo lote de transferência e redução acentuada para os lotes menores em relação aos maiores. Para o lote de 50 peças o *lead time* foi de cerca de 7 horas e para o lote de 10 peças, cerca de 2 horas (3,5 vezes menor). Para o lote unitário apresentou cerca de 0,9 hora ou 54 minutos (7,5 vezes menor). O menor *lead time* foi atingido na 13.^a etapa;
- c) As etapas, cujos quinto cenários atendem à demanda são a terceira, a quinta, a sétima, a nona e a 13.^a. Nestas o IC é maior do que 1 e o OEE é maior do que o mínimo calculado para esta demanda, qual seja 83,3% (tabela 3.1);
- d) A maior capacidade da célula é atingida na quinta etapa.

A decisão sobre a melhor forma de trabalho na célula do modelo deve ficar entre:

- Manter altos WIP e *lead time* (maiores custos e menor flexibilidade), trabalhando com lotes de transferência de 50 ou 10 peças, mas mantendo um bom nivelamento da produção da célula ou,
- Manter baixos WIP e *lead time*, trabalhando com fluxo unitário de peças, mas com um pior nivelamento da produção da célula.

É preciso que se verifique a necessidade dos clientes (internos ou externos) em relação à flexibilidade que a célula de manufatura precisa oferecer, bem como o valor agregado das peças, o custo da redução dos *set-up's* e o custo da mão-de-obra para tomar esta decisão com menor grau de risco de aumento dos custos de produção.

Para auxiliar neste processo decisório foi montado o quadro 4.34 que apresenta várias possibilidades de cenários para a célula e a correspondente sugestão da etapa do estudo mais adequada.

QUADRO 4.34 – REQUISITOS DE DIVERSOS CENÁRIOS PARA A CÉLULA E AS SUGESTÕES DE ETAPAS DO ESTUDO MAIS ADEQUADAS

REQUISITOS	CENARIO A	CENARIO B	CENARIO C	CENARIO D	CENARIO E
operador	1	1	1	2	2
<i>set-up's</i>	longos	longos	curtos	longos	longos
WIP	alto	baixo	baixo	alto	baixo
<i>Lead time</i>	longo	curto	curto	longo	curto
Nivelamento	pequeno	pequeno	grande	pequeno	grande
Sugestão	2.^a etapa	10.^a etapa	13.^a etapa	3.^a etapa	11.^a etapa

FONTE: O autor.

Se o cenário “A” fosse a realidade da célula, ter-se-ia os seguintes requisitos:

- Deseja-se trabalhar somente com um operador devido ao custo;
- Não se deseja reduzir os tempos de *set-up's* (por dificuldade técnica);
- O WIP mais alto não é problema, pois as peças tem baixo valor agregado;
- O *lead time* mais longo não é problema;
- O nivelamento pequeno da produção não é problema (ou não se trabalha ainda nivelado).

Para o cenário “A” a sugestão é utilizar as condições da segunda etapa do estudo, ou seja, 1 operador com grau de ocupação de 28,86%, 1 a 2 *set-up's* de 30 minutos por dia (com mais *set-up's* a demanda não é atendida), WIP médio de 283 peças e *lead time* de 6,7 horas (dados retirados do apêndice 15). Os lotes de processamento devem ser de no mínimo 480 peças (ver quadro 4.33).

Se o cenário “E” fosse a realidade da célula, ter-se-ia os seguintes requisitos:

- Deseja-se trabalhar com dois operadores (por exemplo, por ser mais barato que investir na redução do *set-up*);
- Não se deseja reduzir os tempos de *set-up's* (por dificuldade técnica);
- O WIP deve ser baixo, pois as peças tem alto valor agregado;
- O *lead time* deve ser curto, pois o mercado exige reação muito rápida;
- O nivelamento deve ser grande, ou seja, deseja-se trabalhar com lotes de processamento pequenos.

Para o cenário “E” a sugestão é utilizar as condições da 11.^a etapa do estudo, ou seja, 2 operadores com graus de ocupação somados de 55,46%, 1 a 3 *set-up's* de 30 minutos por dia (com mais *set-up's* a demanda não é atendida), WIP médio de 31

peças e *lead time* de 0,77 horas (dados retirados do apêndice 17). Os lotes de processamento deveriam ser de no mínimo 320 peças (ver quadro 4.33). Para um nivelamento maior da produção ter-se-ia que acrescentar mais um operador na célula, e, conseqüentemente, mais custos, ou partir para a redução dos tempos de *set-up*. A decisão, neste caso, deve ser tomada após uma análise do custo-benefício do investimento em mão-de-obra versus o investimento em redução do *set-up*.

Se a necessidade da célula for atender a um nivelamento exigido pelo processo posterior (cliente interno/externo) deve-se fazer a avaliação no sentido inverso. Na hipótese de se ter de nivelar a produção com lotes de 100 peças ou menos, a única etapa do estudo que atenderia é a 5.^a etapa. Se os lotes pudessem ser de 160 peças ou menos ter-se-ia 3 opções, ou seja, a 5.^a, a 9.^a e a 13.^a etapas (ver quadro 4.33).

Em vista do estudo realizado e dos resultados obtidos nas simulações das 13 etapas propõe-se que a implantação do fluxo unitário siga os seguintes passos:

- 1) Definir a célula de manufatura para estudo;
- 2) Determinar a demanda do cliente (interno ou externo) e dos turnos de trabalho e calcular o tempo takt para a célula;
- 3) Fazer um levantamento dos dados atuais de processo (quantidades de máquinas e de operadores, tipos de processos produtivos e grau de automação das máquinas, produtos, tempos de execução das operações, tempos de *set-up*, *WIP*, *lead time*, etc). Pode-se utilizar qualquer ferramenta de mapeamento de processo, como, por exemplo, o mapeamento do fluxo de valor conforme ROTHER & SHOOK (1999, p.1-100)
- 4) Fazer um levantamento dos desperdícios atuais de tempo na célula (paradas para manutenção preventiva, corretiva e para pequenos ajustes, paradas para exame de qualidade e para troca de ferramentas gastas, outras paradas). Para reduzir os erros recomenda-se um levantamento mais extenso, de pelo menos dois meses. Caso estes dados não estejam ainda disponíveis deve-se levanta-los através da inserção de uma folha de verificação a ser preenchida pelos operadores sempre que houver uma parada. Devem ser anotados o n° do inventário da máquina, horário, duração e tipo de distúrbio. Estes dados deverão ser classificados e agrupados em planilha eletrônica.

- 5) Calcular os valores médios diários do período considerado para cada tipo de distúrbio e classificá-los de acordo com as perdas de um a seis definidas no item 2.2.4, sub-item (d), e calcular o OEE real da célula. Caso não se conheça o gargalo real da célula deve-se calcular o OEE de todas as máquinas. O menor OEE indicará o gargalo real.
- 6) Por meio do tempo takt obtido no item 2 pode-se calcular o OEE teórico da célula para cada máquina e montar uma tabela semelhante à tabela 3.1 do item 3.1. Comparando o OEE mínimo de cada máquina para atender à demanda pode-se constatar se a célula atende ou não à demanda no dia-a-dia e se o gargalo é fixo ou se “flutua” pela célula (pior caso);
- 7) Definir o grau de nivelamento desejado através da determinação do tamanho dos lotes de processamento a serem enviados ao cliente (célula posterior);
- 8) Levantar o tamanho dos lotes e os tipos de produtos da célula fornecedora e a frequência de chegada na célula em avaliação;
- 9) Modelar a célula e, através de um software de simulação, executar a simulação da situação atual, considerando o lote de transferência e de processamento atuais. Tabular os dados e validar os resultados.
- 10) Executar a simulação da situação futura, com fluxo unitário de peças, e tabular os dados;
- 11) Avaliar os resultados e os impactos na capacidade, WIP, *lead time* e alocação de mão-de-obra da célula e tomar as decisões cabíveis quanto ao número de operadores, tempos de *set-up* máximos, necessidade de redução de paradas (distúrbios), etc. Considerar a possibilidade de implantar as ferramentas MPT (item 2.2.4 d) e TRF (item 2.2.4 g) para aumentar a disponibilidade das máquinas, caso o fluxo unitário impeça o atendimento da demanda;
- 12) Elaborar e executar um plano de ação das melhorias definidas, antes da introdução do fluxo unitário;
- 13) Implantar o fluxo unitário de peças e acompanhar os resultados;
- 14) Utilizar o modelo de simulação como ferramenta de melhoria contínua para análise de novos cenários para a célula.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo estudar o impacto da implantação do fluxo unitário de peças na capacidade, nos estoques, no tempo de atravessamento e na alocação da mão-de-obra numa célula virtual de usinagem de peças utilizando a simulação como ferramenta de trabalho. Através do fluxo ou lote de transferência unitário pretendeu-se minimizar o tempo de atravessamento na produção e os prazos de entrega, viabilizando o nivelamento da produção e tornando a empresa mais flexível para atender às variações de *mix* de produtos que o mercado exige atualmente.

As conclusões que se tirou com este estudo foram as seguintes:

1.^a conclusão - o conceito da Teoria das Restrições foi comprovado por este estudo e seus nove princípios foram quase todos estudados e comprovados pela simulação da célula de usinagem. Entretanto, o 5.^o princípio de que “uma hora ganha num recurso não-gargalo é só uma miragem” foi contestado, pois a 4.^a, a 8.^a e a 12.^a etapas demonstraram que a redução dos tempos de *set-up* nos recursos não-gargalos é fundamental para a implantação do fluxo unitário de peças. Nas células em que o operador é multifuncional, ou seja, não permanece “preso” à máquina e realiza múltiplas operações, a falta dele no momento de necessidade na operação gargalo pode se tornar o novo gargalo da célula. Neste caso quanto menos tempo ele perder em recursos não-gargalos mais ele estará disponível para atender ao gargalo e evitar sua parada com perda de produção de toda a célula. Conforme comprovado pela simulação a redução do *set-up* dos recursos não-gargalos libera o operador rapidamente desta tarefa deixando-o disponível para os outros recursos e para o gargalo. Isso impacta em menos perdas de produção. A afirmação de CORREIA & GIANESI (1996, p.148) de que a realização de mais *set-up*'s nos recursos não gargalos só teria sentido se fosse para acelerar a chegada de material no gargalo e reduzir o WIP não se aplica a todas as situações. Ficou comprovado que sob as condições pré-estabelecidas para este estudo a realização de mais *set-up*'s nos recursos não-gargalos e ainda sem reduzi-los irá comprometer o

desempenho da célula. Portanto, o quinto princípio da TOC não se aplica a todas as situações reais.

2.^a conclusão - através deste estudo ficou evidente que trabalhar com lotes de transferência relativamente grandes pode ser vantajoso ao se implantar o nivelamento da produção, desde que se reduzam os tempos de *set-up* das máquinas. Isso ficou perceptível na quinta etapa, quando se obteve o melhor desempenho da linha em termos de capacidade produtiva. O lote de transferência grande mantém um estoque em processo alto, protegendo o gargalo contra as interrupções e evitando a necessidade de aumento da mão-de-obra na célula. No entanto o WIP e o *lead-time* são maiores do que os obtidos com o lote menor e com o fluxo unitário e, conseqüentemente, a célula perde flexibilidade, além de aumentar os custos com estoques. O fluxo unitário exige a redução das interrupções da produção na célula, seja para manutenção, trocas de ferramentas, exames ou *set-up*. Entretanto tem a grande vantagem de reduzir a necessidade de mão-de-obra, os estoques intermediários e o *lead time*, permitindo o atendimento mais rápido à demanda e conferindo flexibilidade à célula, além de baixar os custos de produção. Uma alternativa à redução dos desperdícios de tempos de paradas, caso seja no momento técnica ou economicamente inviável, é a inclusão de mais um ou dois operadores na célula, dependendo do nível de nivelamento desejado.

3.^a conclusão – caso a redução dos tempos de *set-up* e também o aumento da mão-de-obra na célula sejam proibitivos, pode-se tentar reduzir as paradas indesejáveis das máquinas através da implantação da manutenção preventiva periódica e/ou da manutenção produtiva total (MPT). Para reduzir as paradas para trocas de ferramentas pode-se trabalhar com os fornecedores para reduzir o desgaste das mesmas durante a usinagem. Com estas ações é possível manter os tempos de *set-up* e aumentar sua freqüência para melhorar o nivelamento da produção.

4.^a conclusão – uma alternativa para tornar a produção mais fluida, ou seja, menos dependente da transferência manual de peças de uma máquina para outra, é a implantação de um sistema de transferência de peças automático. Esta alternativa deve ser avaliada com cuidado, pois mesmo com a automação total do processo pode não ser possível eliminar a necessidade de um operador na célula para

monitoramento do processo e realização de intervenções (por exemplo: exames, trocas de ferramentas, etc).

5.^a conclusão - baseado nos resultados deste estudo e na dificuldade de se avaliar o impacto da implantação do fluxo unitário de peças, recomenda-se que seja usada a simulação como ferramenta de análise e tomada de decisão. Através dela neste estudo pôde-se perceber que há fatores não teoricamente calculáveis e que podem comprometer o processo. Um deles é a influência da simultaneidade de eventos dependentes do operador e que, por isso, só podem ser realizados em série, não em paralelo, causando paradas indesejáveis da produção. Outro fator é a redução dos estoques na linha que pode causar a parada em “cadeia” de todas as máquinas por falta de peças para processar, afetando o desempenho da célula. Através do uso da simulação pode-se analisar o impacto destes eventos e prever ações que possam tornar a implantação do fluxo unitário de peças um sucesso. Além disso, o modelo de simulação pode ser usado posteriormente para análise de cenários alternativos que possam melhorar ainda mais o desempenho da célula. Para isso o modelo deve ser mantido atualizado, ou seja, deve ser devidamente corrigido sempre que a célula sofrer modificações.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em função dos resultados obtidos neste estudo pode-se sugerir alguns trabalhos complementares, tais como:

- Aplicar a metodologia deste trabalho numa célula contendo máquinas com tempos de *set-up* e de paradas diferentes por máquina;
- Aplicar a metodologia deste trabalho numa célula contendo mais do que cinco máquinas e, eventualmente, com tempos de *set-up* e de paradas diferentes por máquina;
- Aplicar a metodologia deste trabalho, porém utilizando no modelo distribuição de probabilidade exponencial para os tempos de manutenção corretiva e inserindo outras variáveis no modelo, tais como chegadas aleatórias de peças (distribuição de poisson) e diferentes tempos de execução das operações para diferentes tipos de peças. Aplicar tratamento estatístico dos resultados;
- Aplicar a metodologia deste trabalho num caso real

- Aplicar em alguns casos reais os 14 passos sugeridos nas conclusões deste trabalho e verificar a sua eficácia em prever o impacto do lote unitário em diferentes tipos de células de manufatura;
- Introduzir no modelo de simulação informações referentes aos custos de produção e de redução dos tempos de *set-up* para obter uma análise mais profunda e facilitar a tomada de decisão;
- Aplicar a metodologia com outros softwares para determinar qual oferece os melhores recursos, facilidade de modelagem e rapidez na obtenção dos resultados;
- Utilizar um software de otimização de simulação para a obtenção de uma solução otimizada.

GLOSSÁRIO

Autonomação	Automação humanizada ou com um toque humano
<i>Benchmarking</i>	Comparação entre sistemas para se estabelecer melhorias
Célula de manufatura	Agrupamento de operações na seqüência do processo produtivo
Contentor	Recipiente com peças para seu transporte
Coringas	Operadores multifuncionais, capazes de realizar todas as tarefas da linha
<i>Flow shop</i>	<i>Layout</i> em linha
<i>Job shop</i>	<i>Layout</i> do tipo funcional
<i>Just-in-case</i>	Sistema tradicional de empurrar a produção
<i>Just-in-time</i> (JIT)	Produção com mínimos estoques e entrega quando o cliente deseja
Kanban	Palavra japonesa que equivale a cartão ou sinal
Kaikaku	Mudança radical em um processo
Kaizen	Processo de melhorias contínuas
Lâmpadas ou painéis andon	Sistema que sinaliza a necessidade de uma ação imediata do operador
<i>Layout</i> celular	Arranjo físico celular
<i>Lead-time</i>	Tempo de atravessamento
<i>Lean thinking</i>	Forma de pensamento relativo à produção enxuta
Lote de transferência	Quantidade de peças a serem transferidas entre as operações
Lote de processamento	Quantidade de peças de um mesmo tipo a serem produzidas em seqüência até um novo preparo da máquina

Mix de produção	Tipos e proporções de produtos a serem produzidos no período
Nivelamento da produção (heijunka)	Produção de cada item em lotes pequenos e com frequência
Poka-yoke ou <i>baka-yoke</i>	dispositivos à prova de erros ou falhas
Polivalência ou multifuncionalidade	Operadores capazes de executar diferentes rotinas de trabalho
Produção enxuta	Sistema de produção com mínimos recursos e sem desperdícios
Produção em massa	Sistema de produção em larga escala e em grandes lotes
<i>Project shop</i>	<i>Layput</i> do tipo posição fixa
Pulmões ou <i>buffers</i>	Estoques de peças entre operações
Recurso gargalo	Recurso de menor capacidade de um processo
<i>Set-up</i>	Troca de ferramentas para a entrada de um novo lote
<i>Set-up</i> rápido	Troca rápida de ferramentas
<i>Single-piece flow</i> ou <i>one-piece flow</i>	Lote unitário ou fluxo unitário de peças
<i>Software</i>	Programa de computador
Tempo takt (<i>takt time</i>)	Ritmo da demanda ou de vendas
Tempo de ciclo	Tempo necessário para a execução do trabalho em uma peça
Tempo de pré-aquecimento (<i>warm-up</i>)	Tempo necessário na simulação para o sistema entrar em regima de trabalho
Sistema Toyota de Produção (STP)	O mesmo que produção enxuta

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, Roberto dos Reis e ANTUNES JR., José Antonio Valle. Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. **Gestão & Produção**, São Carlos, vol.8, no.1, p.1-18, 2001.
- ANDERSON, David. **On-demand lean Production**. Excertos do livro: Built to order and mass customization. Disponível em <http://www.halfcostproducts.com/lean.htm>. Acesso em 12 de março de 2006.
- BATEMAN, Robert E *et al.* **A simulação: aprimorando os sistemas**. São Paulo: Belge, 1999.
- BERTAGLIA, Paulo R. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo. Saraiva, 2003.
- BLACK, J. T. **O Projeto da fábrica com futuro**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.
- CLETO, Marcelo G. A gestão da produção nos últimos 40 anos. **Revista FAE Business**, n.º 4, p. 38-41, 2002.
- CERVO, Amado L. & BERVIAN, Pedro A. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- CZARNECKI, H. & NICOLAS, L. **Simulation of lean assembly line for high volume manufacturing**. University of Alabama, 2000. Disponível em <http://www.atnlean.com/publications/Simulation%20of%20Lean%20Assembly%20Line%20for%20High%20Volume%20Manufacturing.pdf>. Acesso em 15 de setembro de 2005.
- CORBETT, Thomas **Livros e artigos sobre TOC**. Disponível em <http://www.corbett.pro.br/tocbiblio.asp>. Acesso em 18 de junho de 2005.
- CORBETT, Thomas **Teoria das restrições (TOC)**. Disponível em <http://www.corbett.pro.br/tocbiblio.asp>. Acesso em: 18 de junho de 2005.
- CORRÊA, Henrique; GIANESI, Irineu. **Just-in-time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico**. São Paulo: Atlas, 1996.
- DAL, B.; TUGWELL, P.; GREATBANKS, R. Overall Equipment Effectiveness as a measure of operational improvement: a practical analysis. **International Journal of Operational Improvement & Production Management**, Emerald. vol. 20. ed. 12. p.1488-1502, 2000.
- FAGUNDES, Eduardo M. **Gestão de Contratos com SLA**. Disponível em http://www.efagundes.com/Artigos/Arquivos_pdf/Gestao_de_contratos_com_SLA.PDF. Acesso em 22 de abril de 2006.

FOGLIATTO, Flávio S.; FAGUNDES, Paulo R. M. Rapid exchange of tools: method steps and case study. **Gestão & Produção**, São Carlos, vol.10, no.2, p.163-181, 2003.

GAURY, E. G. A.; KLEIJNEN, J. P. C.; PIERREVAL, H. Customized pull systems for single-product flow lines., Tilburg University, **Center for Economic Research**, Discussion Paper 117, 1998.

GAVIRA, M. O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 2003. São Carlos 146p. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

GOLDRATT, Eliyahu M. & FOX, Robert E. **A Corrida pela vantagem competitiva**. São Paulo: Educator, 1992.

GOLDRATT, Eliyahu M.; COX, Jeff. **A meta**. 2. ed. São Paulo: Educator, 1992.

HARREL, Charles R. et. al. **Simulação: otimizando os sistemas**. 2. ed. São Paulo: Instituto IMAN. 2002.

HARMON, Roy L.; PETERSON, Leroy D. **Reinventando a fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática**. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

HAASE, Knut e KIMMS, Alf. Lot sizing and scheduling with sequence-dependant *set-up* costs and times and efficient rescheduling opportunities. **International Journal of Production Economics**. Kiel, n. 66, p. 159-169, 2000.

HAY, E.J. **Just-in-time: um exame dos novos conceitos de produção**. São Paulo: Maltese, 1992.

HUQ, F., HENSLER, D.A., MOHAMED, Z.M. A simulation analysis of factors influencing the flow time and through-put performance of functional and cellular layouts. **Integrated Manufacturing Systems**, vol.12, no.4, p.285-295, 2001.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo: Edgard Blücher, 1990.

IMAI, Masaaki. **Kaizen : a estratégia para o sucesso competitivo**. 5. ed. São Paulo : IMAM, 1994.

JURAN, Joseph M. **A qualidade desde o projeto: os novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning 2004

KENYON, George; CANEL, Cem, NEUREUTHER, Brien D. The impact of lot-sizing on net profits and cycle times in the n-job, m-machine job shop with both discrete and batch processing. **International Journal of Production Economics**, vol.97, p. 263-278, 2005.

KMETEUK F°, Osmir. **Pesquisa e análise estatística**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 2005.

LAW, Averill M.; KELTON, W. David. **Simulation modeling and analysis**. 2. ed. EUA: MacGraw-Hill, Inc., 1991.

LEMOS, Ana Carina D. **Aplicação de uma metodologia de ajuste do sistema kanban em um caso real utilizando a simulação computacional**. *Master's Thesis*. Eng. de Produção, UFSC, 1999.

LOURENÇO, Jose Jr. **O conceito de produção enxuta aplicado a uma indústria de manufatura não seriada: uma proposta metodológica de implantação**. *Master's Thesis*. Administração, Universidade de Taubaté, 2002.

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

MARCONI, Maria de A. ; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas 2003.

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

McLEAN Charles & LEONG, Swee. The expanding role of simulation in future manufacturing. **Winter Simulation Conference**. Gainthersburg, USA, p. 1478-1486, 2001.

MILTENBURG, John. U-shaped production lines: a review of theory and practice. **International Journal of Production Economics**. Hamilton, n. 70, p. 201-214, 2001.

MOURA, R. A. **Kanban: A simplicidade do controle da produção**. 5. ed. São Paulo: IMAN, 1999.

NAKAJIMA, S. **Total productive maintenance**. Productivity Press, 1988.

NILSSON, G. V., MONTEVECHI, José A. B. DUARTE, Roberto. O uso da simulação para análise do layout de uma célula de manufatura – um estudo de caso. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção XXIII ENEGEP 2003. Ouro Preto. **Anais/XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. UFOP - 2003. p. 1-6.

NOREEN, E., SMITH, D. , MACKEY, J. **A Teoria da restrições e suas implicações na contabilidade gerencial: um relatório independente**. São Paulo: Educator, 1996.

OHNO, Taiichi. **O sistema toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

PRADO, Darci Santos do. **Teoria da filas e da simulação**. Série Pesquisa Operacional, vol. 2. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

PROBST, G.; RAUB, S.; ROMHARDT, K. **Gestão do conhecimento: os elementos construtivos do sucesso.** Porto Alegre: Bookman, 2002.

PROTIL, Roberto Max Otimização do Processo Decisório utilizando simulação computacional. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p.1535-1546, nov. 2001.

REFA – Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganization und Unternehmensentwicklung e. V. Apostila n.º 024501/1. São Paulo: REFA, 1994.

RIBEIRO, Paulo Décio. **Kanban: resultados de uma implantação bem sucedida.** 2. ed. Rio de Janeiro: COP Editora, 1989.

RITZMAN, L. P., KRAJEWSKI, L.J., MOURA, R. A. **MRP, MRPII, MRPIII (MRP + JIT com kanban).** 2. ed. Rio de Janeiro: COP Editora, 1996.

RIVERO, Luis E. B., PIEDRAHITA, Ivan D. F. **Simulación con ProModel: casos de producción y Logística.** Bogotá, Colombia: Centro Editorial de la Escuela Colombiana de Ingeniería, 2001

ROTHER, Mike & SHOOK, John **Aprendendo a enxergar** – mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.

SHARMA, Anand e MOODY, Patricia E. **A máquina perfeita: como vencer na nova economia produzindo com menos recursos.** São Paulo: Prentice Hall, 2003.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção.** 2. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SHINGO, Shigeo. **Sistemas de produção com estoque zero: o Sistema Shingo para melhorias contínuas.** Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SHINGO, Shigeo. **Sistema de troca rápida de ferramentas: uma revolução nos sistemas produtivos.** Porto Alegre: Bookman, 2000.

SHOOK, Y. Bringing the Toyota Production System to the United States: a personal perspective, in LIKER, J. (org.): **Becoming Lean: inside stories of U.S. manufacturers.** Productivity, Portland, EUA, 1998.

SILVA, Edna Lúcia da & MENEZES, Estera M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** 3. ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SLACK, Nigel et. al. **Administração da produção.** São Paulo: Atlas, 1997.

SMALLEY, Art **Creating level pull.** Brookline, MA, USA: Lean Enterprise Institute, 2004.

SMITH, Adam. **A riqueza das nações**, Vol. I, Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1950.

SOUZA, Fernando B. de, RENTES, Antonio Freitas e AGOSTINHO, Oswaldo Luiz. A interdependência entre sistemas de controle de produção e critérios de alocação de capacidades. **Gestão & Produção**, São Carlos, vol.9, no.2, p.215-234, 2002.

STANDRIDGE, Charles R. How factory physics helps simulation. **Winter Simulation Conference**. p. 1103-1108, 2004.

TAJ, S. *et al.* *Simulation and Production Planning for manufacturing cells*. **Winter Simulation Conference**. p. 973-978, 1998.

TESTANI, Michael V., Sr. **Lean and agile manufacturing systems**: competing or complementary approaches to world class manufacturing? - a case study. *Master's Thesis in Industrial Engineering*. Thomas J. Watson School of Engineering and Applied Sciences . State University of New York , Binghamton, USA, 2002.

TUBINO, Dalvio F. **Manual de planejamento e controle de produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

TUBINO, Dalvio F. **Sistemas de produção**: a produtividade no chão de fábrica. Porto Alegre: Bookman, 1999.

YOSHINAGA, C. **Qualidade total**: a forma mais prática e econômica de implantação e condução. 3. ed. São Paulo: Takiy, 1998.

WEISSMAN, Richard. Single-Piece Flow. **The Manufacturer**. 08 Feb 2006.

WOMACK, James D., JONES, Daniel T., ROOS, Daniel. **A Máquina que mudou o mundo**. 2^a. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

WOMACK, James D., JONES, Daniel T. **A Mentalidade enxuta nas empresas**: elimine o desperdício e crie riqueza. 4^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – LEVANTAMENTO DE DADOS EMPÍRICOS DE TEMPOS DE USINAGEM DE PEÇAS EM TRÊS MÁQUINAS CNC.

APÊNDICE 2 – INDICADORES DE DESEMPENHO TEÓRICOS DAS 13 ETAPAS DO ESTUDO.

APÊNDICE 3 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA SEGUNDA ETAPA DO ESTUDO.

APÊNDICE 4 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA TERCEIRA ETAPA DO ESTUDO.

APÊNDICE 5 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA QUARTA ETAPA DO ESTUDO.

APÊNDICE 6 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA QUINTA ETAPA DO ESTUDO.

APÊNDICE 7 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA SEXTA ETAPA DO ESTUDO.

APÊNDICE 8 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA SÉTIMA ETAPA DO ESTUDO.

APÊNDICE 9 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA OITAVA ETAPA DO ESTUDO.

APÊNDICE 10 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA NONA ETAPA DO ESTUDO.

APÊNDICE 11 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA DÉCIMA ETAPA DO ESTUDO.

APÊNDICE 12 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA 11ª ETAPA DO ESTUDO.

APÊNDICE 13 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA 12ª ETAPA DO ESTUDO.

APÊNDICE 14 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA 13ª ETAPA DO ESTUDO.

APÊNDICE 15 – RESUMO GERAL DOS INDICADORES OBTIDOS PRIMEIRAS CINCO ETAPAS DO ESTUDO DE SIMULAÇÃO.

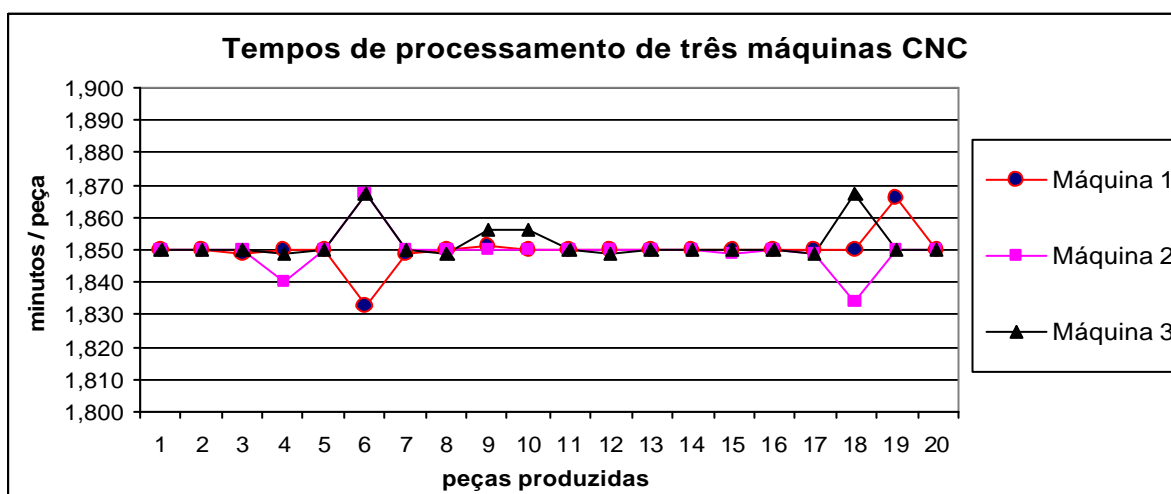
APÊNDICE 16 – RESUMO GERAL DOS INDICADORES OBTIDOS NAS SEXTA, SÉTIMA, OITAVA, NONA E DÉCIMA ETAPAS DO ESTUDO DE SIMULAÇÃO.

APÊNDICE 17 – RESUMO GERAL DOS INDICADORES OBTIDOS NAS 11ª, 12ª E 13ª ETAPAS DO ESTUDO DE SIMULAÇÃO.

APÊNDICE 1 – LEVANTAMENTO DE DADOS EMPÍRICOS DE TEMPOS DE USINAGEM DE PEÇAS EM TRÊS MÁQUINAS CNC.

Máquina 1		Máquina 2		Máquina 3	
Peça	Tempo te (min./peça)	Peça	Tempo te (min./peça)	Peça	Tempo te (min./peça)
1	1,850	1	1,850	1	1,850
2	1,850	2	1,850	2	1,850
3	1,849	3	1,850	3	1,850
4	1,850	4	1,840	4	1,849
5	1,850	5	1,850	5	1,850
6	1,833	6	1,867	6	1,867
7	1,849	7	1,850	7	1,850
8	1,850	8	1,850	8	1,849
9	1,851	9	1,850	9	1,856
10	1,850	10	1,850	10	1,856
11	1,850	11	1,850	11	1,850
12	1,850	12	1,850	12	1,849
13	1,850	13	1,850	13	1,850
14	1,850	14	1,850	14	1,850
15	1,850	15	1,849	15	1,850
16	1,850	16	1,850	16	1,850
17	1,850	17	1,849	17	1,849
18	1,850	18	1,834	18	1,867
19	1,866	19	1,850	19	1,850
20	1,850	20	1,850	20	1,850
Média	1,850	Média	1,849	Média	1,852
Desv. padrão	0,00537	Desv. padrão	0,00581	Desv. padrão	0,00546

Média das três máq. (min./peça)	1,850
Desv. padrão das três máq.	0,005576864



APÊNDICE 2 – INDICADORES DE DESEMPENHO TEÓRICOS DAS 13 ETAPAS DO ESTUDO (continua).

SEGUNDA ETAPA:

CENÁRIO	OEE (%)	Qt (PEÇAS/DIA)	MO	WIP MAX. (PEÇAS)	WIP MIN. (PEÇAS)	L MAX. (h)	L MIN. (h)
1°	96,18	1108	1	500	250	10,80	5,28
2°	94,09	1084	1	500	250	11,04	5,52
3°	92,01	1060	1	500	250	11,28	5,52
4°	89,93	1036	1	500	250	11,52	5,76
5°	87,84	1012	1	500	250	11,76	6,00

TERCEIRA ETAPA:

CENÁRIO	OEE (%)	Qt (PEÇAS/DIA)	MO	WIP MAX. (PEÇAS)	WIP MIN. (PEÇAS)	L MAX. (h)	L MIN. (h)
1°	96,18	1108	2	500	250	10,80	5,28
2°	94,09	1084	2	500	250	11,04	5,52
3°	92,01	1060	2	500	250	11,28	5,52
4°	89,93	1036	2	500	250	11,52	5,76
5°	87,84	1012	2	500	250	11,76	6,00

QUARTA ETAPA:

CENÁRIO	OEE (%)	Qt (PEÇAS/DIA)	MO	WIP MAX. (PEÇAS)	WIP MIN. (PEÇAS)	L MAX. (h)	L MIN. (h)
1°	96,18	1108	1	500	250	10,80	5,28
2°	95,56	1100	1	500	250	10,80	5,52
3°	94,93	1093	1	500	250	11,04	5,52
4°	94,31	1086	1	500	250	11,04	5,52
5°	93,68	1079	1	500	250	11,04	5,52

QUINTA ETAPA:

CENÁRIO	OEE (%)	Qt (PEÇAS/DIA)	MO	WIP MAX. (PEÇAS)	WIP MIN. (PEÇAS)	L MAX. (h)	L MIN. (h)
1°	96,18	1108	1	500	250	10,80	5,28
2°	95,56	1100	1	500	250	10,80	5,52
3°	94,93	1093	1	500	250	11,04	5,52
4°	94,31	1086	1	500	250	11,04	5,52
5°	93,68	1079	1	500	250	11,04	5,52

SEXTA ETAPA:

CENÁRIO	OEE (%)	Qt (PEÇAS/DIA)	MO	WIP MAX. (PEÇAS)	WIP MIN. (PEÇAS)	L MAX. (h)	L MIN. (h)
1°	96,18	1108	1	130	50	2,88	1,20
2°	94,09	1084	1	150	50	3,36	1,20
3°	92,01	1060	1	150	50	3,34	1,20
4°	89,93	1036	1	130	50	3,12	1,20
5°	87,84	1012	1	120	50	2,88	1,20

SÉTIMA ETAPA:

CENÁRIO	OEE (%)	Qt (PEÇAS/DIA)	MO	WIP MAX. (PEÇAS)	WIP MIN. (PEÇAS)	L MAX. (h)	L MIN. (h)
1°	96,18	1108	2	170	50	3,60	1,20
2°	94,09	1084	2	150	50	3,36	1,20
3°	92,01	1060	2	160	50	3,60	1,20
4°	89,93	1036	2	160	50	3,60	1,20
5°	87,84	1012	2	140	50	3,36	1,20

APÊNDICE 2 – INDICADORES DE DESEMPENHO TEÓRICOS DAS 13 ETAPAS DO ESTUDO (conclusão).

OITAVA ETAPA:

CENÁRIO	OEE (%)	Qt (PEÇAS/DIA)	MO	WIP MAX. (PEÇAS)	WIP MIN. (PEÇAS)	L MAX. (h)	L MIN. (h)
1°	96,18	1108	1	130	50	2,88	1,20
2°	95,56	1100	1	150	50	3,36	1,20
3°	94,93	1093	1	170	50	3,84	1,20
4°	94,31	1086	1	160	50	3,60	1,20
5°	93,68	1079	1	120	50	2,64	1,20

NONA ETAPA:

CENÁRIO	OEE (%)	Qt (PEÇAS/DIA)	MO	WIP MAX. (PEÇAS)	WIP MIN. (PEÇAS)	L MAX. (h)	L MIN. (h)
1°	96,18	1108	1	130	50	2,88	1,20
2°	95,56	1100	1	160	50	3,60	1,20
3°	94,93	1093	1	170	50	3,84	1,20
4°	94,31	1086	1	150	50	3,36	1,20
5°	93,68	1079	1	120	50	2,64	1,20

DÉCIMA ETAPA:

CENÁRIO	OEE (%)	Qt (PEÇAS/DIA)	MO	WIP MAX. (PEÇAS)	WIP MIN. (PEÇAS)	L MAX. (h)	L MIN. (h)
1°	96,18	1108	1	64	10	1,392	0,216
2°	94,09	1084	1	64	10	1,416	0,216
3°	92,01	1060	1	64	10	1,440	0,216
4°	89,93	1036	1	69	10	1,608	0,240
5°	87,84	1012	1	59	10	1,392	0,240

11ª ETAPA:

CENÁRIO	OEE (%)	Qt (PEÇAS/DIA)	MO	WIP MAX. (PEÇAS)	WIP MIN. (PEÇAS)	L MAX. (h)	L MIN. (h)
1°	96,18	1108	2	64	10	1,392	0,216
2°	94,09	1084	2	69	10	1,536	0,216
3°	92,01	1060	2	57	10	1,296	0,216
4°	89,93	1036	2	69	10	1,608	0,240
5°	87,84	1012	2	74	10	1,752	0,240

12ª ETAPA:

CENÁRIO	OEE (%)	Qt (PEÇAS/DIA)	MO	WIP MAX. (PEÇAS)	WIP MIN. (PEÇAS)	L MAX. (h)	L MIN. (h)
1°	96,18	1108	1	64	10	1,392	0,216
2°	95,56	1100	1	64	10	1,416	0,216
3°	94,93	1093	1	59	10	1,296	0,216
4°	94,31	1086	1	60	10	1,344	0,240
5°	93,68	1079	1	67	10	1,488	0,240

13ª ETAPA:

CENÁRIO	OEE (%)	Qt (PEÇAS/DIA)	MO	WIP MAX. (PEÇAS)	WIP MIN. (PEÇAS)	L MAX. (h)	L MIN. (h)
1°	96,18	1108	1	64	10	1,392	0,216
2°	95,56	1100	1	74	10	1,632	0,216
3°	94,93	1093	1	69	10	1,512	0,216
4°	94,31	1086	1	58	10	1,296	0,240
5°	93,68	1079	1	60	10	1,368	0,240

APÊNDICE 3 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA SEGUNDA ETAPA DO ESTUDO.

INDICADORES OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA SEGUNDA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	88,66	0,17	4,45	6,72
Máquina 02	77,08	10,03	9,18	3,71
Máquina 03	95,57	0,00	0,00	4,43
Máquina 04	84,02	11,57	0,85	3,56
Máquina 05	76,47	21,08	0,00	2,45

INDICADORES OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA SEGUNDA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	85,58	1,80	4,20	8,42
Máquina 02	82,28	8,98	1,66	7,08
Máquina 03	92,27	0,89	0,00	6,84
Máquina 04	81,06	12,15	1,23	5,56
Máquina 05	73,86	22,00	0,00	4,14

INDICADORES OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA SEGUNDA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	81,41	2,92	3,67	12,00
Máquina 02	79,16	13,02	0,87	6,95
Máquina 03	87,95	4,23	0,00	7,82
Máquina 04	77,35	14,01	1,83	6,81
Máquina 05	70,44	24,05	0,00	5,51

INDICADORES OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA SEGUNDA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	75,17	3,57	8,64	12,62
Máquina 02	72,83	15,22	1,27	10,68
Máquina 03	81,43	7,58	0,00	10,99
Máquina 04	71,67	18,79	0,86	8,68
Máquina 05	65,28	27,96	0,07	6,69

INDICADORES OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA SEGUNDA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	71,36	3,68	8,68	16,28
Máquina 02	69,14	14,84	2,57	13,45
Máquina 03	77,58	9,79	0,00	12,62
Máquina 04	68,23	15,93	5,33	10,50
Máquina 05	62,04	28,48	0,00	9,48

APÊNDICE 4 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA TERCEIRA ETAPA DO ESTUDO.

INDICADORES OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA TERCEIRA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	88,74	0,00	4,74	6,52
Máquina 02	77,12	9,89	9,19	3,80
Máquina 03	95,55	0,00	0,00	4,45
Máquina 04	84,01	11,49	0,72	3,77
Máquina 05	76,46	21,19	0,00	2,35

INDICADORES OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA TERCEIRA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	86,98	0,00	4,93	8,09
Máquina 02	83,60	7,74	2,78	5,88
Máquina 03	93,68	0,00	0,00	6,32
Máquina 04	82,45	10,07	1,89	5,59
Máquina 05	75,00	20,80	0,00	4,20

INDICADORES OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA TERCEIRA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	85,30	0,00	5,74	8,96
Máquina 02	82,53	7,68	3,43	6,36
Máquina 03	92,19	0,56	0,00	7,25
Máquina 04	81,04	8,42	3,63	6,90
Máquina 05	73,80	20,45	0,00	5,75

INDICADORES OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA TERCEIRA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	81,50	0,00	7,04	11,46
Máquina 02	78,96	9,91	2,26	8,87
Máquina 03	88,36	2,78	0,00	8,86
Máquina 04	77,74	7,85	5,59	8,82
Máquina 05	70,81	21,47	0,00	7,72

INDICADORES OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA TERCEIRA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	80,00	0,00	7,47	12,53
Máquina 02	77,85	11,47	1,30	9,38
Máquina 03	86,55	3,85	0,00	9,60
Máquina 04	76,03	11,46	3,41	9,10
Máquina 05	69,13	21,88	0,00	8,99

APÊNDICE 5 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA QUARTA ETAPA DO ESTUDO.

INDICADORES OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA QUARTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	88,66	0,17	4,45	6,72
Máquina 02	77,08	10,03	9,18	3,71
Máquina 03	95,57	0,00	0,00	4,43
Máquina 04	84,02	11,57	0,85	3,56
Máquina 05	76,47	21,08	0,00	2,45

INDICADORES OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA QUARTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	87,08	0,78	4,42	7,72
Máquina 02	83,62	9,75	0,92	5,71
Máquina 03	93,83	0,81	0,00	5,36
Máquina 04	82,47	11,21	0,87	5,44
Máquina 05	75,17	20,54	0,00	4,29

INDICADORES OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA QUARTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	83,22	1,56	4,62	10,60
Máquina 02	80,67	11,35	0,65	7,33
Máquina 03	90,02	4,96	0,00	5,01
Máquina 04	79,19	13,34	0,90	6,57
Máquina 05	72,21	22,07	0,00	5,72

INDICADORES OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA QUARTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	78,31	2,38	6,20	13,11
Máquina 02	75,86	12,43	0,75	10,96
Máquina 03	84,88	8,22	0,00	6,90
Máquina 04	74,69	15,57	1,19	8,55
Máquina 05	68,05	24,97	0,00	6,97

INDICADORES OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA QUARTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	74,94	2,85	6,65	15,55
Máquina 02	72,68	14,76	0,71	11,85
Máquina 03	81,39	10,27	0,00	8,34
Máquina 04	71,62	15,96	2,21	10,21
Máquina 05	65,20	25,76	0,07	8,97

APÊNDICE 6 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA QUINTA ETAPA DO ESTUDO.

INDICADORES OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA QUINTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	88,66	0,17	4,45	6,72
Máquina 02	77,08	10,03	9,18	3,71
Máquina 03	95,57	0,00	0,00	4,43
Máquina 04	84,02	11,57	0,85	3,56
Máquina 05	76,47	21,08	0,00	2,45

INDICADORES OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA QUINTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	88,28	0,01	4,57	7,14
Máquina 02	84,67	7,97	2,85	4,51
Máquina 03	95,23	0,00	0,00	4,77
Máquina 04	83,77	11,19	0,76	4,28
Máquina 05	76,24	20,72	0,00	3,04

INDICADORES OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA QUINTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	87,69	0,20	4,93	7,18
Máquina 02	85,02	7,29	2,30	5,39
Máquina 03	94,45	0,08	0,00	5,47
Máquina 04	83,13	10,87	0,84	5,16
Máquina 05	75,67	20,81	0,00	3,52

INDICADORES OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA QUINTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	87,03	0,36	4,72	7,89
Máquina 02	84,44	7,18	2,26	6,12
Máquina 03	94,16	0,12	0,00	5,72
Máquina 04	82,81	10,80	0,80	5,59
Máquina 05	75,47	20,76	0,00	3,76

INDICADORES OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA QUINTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	86,46	0,68	4,43	8,42
Máquina 02	83,91	7,68	1,74	6,67
Máquina 03	93,26	0,00	0,00	6,74
Máquina 04	82,05	10,37	1,80	5,78
Máquina 05	74,71	20,59	0,00	4,70

APÊNDICE 7 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA SEXTA ETAPA DO ESTUDO.

INDICADORES OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA SEXTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	87,86	1,24	4,64	6,26
Máquina 02	76,41	14,17	5,45	3,96
Máquina 03	95,42	0,20	0,00	4,37
Máquina 04	83,87	9,77	2,51	3,85
Máquina 05	76,25	20,87	0,12	2,76

INDICADORES OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA SEXTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	83,05	3,89	5,11	7,95
Máquina 02	80,14	13,45	0,34	6,07
Máquina 03	89,78	4,27	0,00	5,95
Máquina 04	79,00	12,83	2,67	5,50
Máquina 05	71,84	23,88	0,00	4,28

INDICADORES OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA SEXTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	77,09	6,28	7,46	9,17
Máquina 02	74,53	15,90	2,22	7,35
Máquina 03	83,33	8,41	0,00	8,26
Máquina 04	73,33	15,91	3,67	7,09
Máquina 05	66,68	27,46	0,04	5,82

INDICADORES OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA SEXTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	68,83	11,70	7,80	11,67
Máquina 02	66,66	20,43	3,01	9,90
Máquina 03	74,64	15,37	0,00	9,99
Máquina 04	65,69	22,57	3,04	8,69
Máquina 05	59,85	32,72	0,03	7,40

INDICADORES OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA SEXTA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	60,42	17,65	9,14	12,79
Máquina 02	58,61	25,03	4,48	11,88
Máquina 03	65,69	21,28	0,00	13,03
Máquina 04	57,79	29,10	2,67	10,44
Máquina 05	52,53	38,36	0,00	9,11

APÊNDICE 8 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA SÉTIMA ETAPA DO ESTUDO.

INDICADORES OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA SÉTIMA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	89,22	0,00	4,71	6,07
Máquina 02	77,60	12,82	5,67	3,91
Máquina 03	95,90	0,00	0,00	4,10
Máquina 04	84,41	9,48	1,98	4,13
Máquina 05	76,71	20,81	0,00	2,48

INDICADORES OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA SÉTIMA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	86,83	0,00	5,18	7,99
Máquina 02	83,42	8,76	2,06	5,76
Máquina 03	93,69	0,54	0,00	5,77
Máquina 04	82,43	8,21	3,80	5,56
Máquina 05	74,97	20,62	0,00	4,41

INDICADORES OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA SÉTIMA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	84,41	0,00	5,92	9,67
Máquina 02	82,07	9,28	1,60	7,05
Máquina 03	90,93	1,77	0,00	7,30
Máquina 04	80,00	7,94	4,90	7,16
Máquina 05	72,75	21,50	0,00	5,75

INDICADORES OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA SÉTIMA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	81,84	0,04	7,03	11,09
Máquina 02	79,68	11,37	0,01	8,93
Máquina 03	88,44	2,25	0,00	9,31
Máquina 04	77,75	7,05	6,26	8,94
Máquina 05	70,68	21,97	0,00	7,35

INDICADORES OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA SÉTIMA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	79,06	0,24	9,52	11,18
Máquina 02	76,98	11,39	2,54	9,09
Máquina 03	85,79	4,66	0,00	9,55
Máquina 04	75,34	7,73	7,72	9,21
Máquina 05	68,48	22,74	0,00	8,78

APÊNDICE 9 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA OITAVA ETAPA DO ESTUDO.

INDICADORES OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA OITAVA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	87,86	1,24	4,64	6,26
Máquina 02	76,41	14,17	5,45	3,96
Máquina 03	95,42	0,20	0,00	4,37
Máquina 04	83,87	9,77	2,51	3,85
Máquina 05	76,25	20,87	0,12	2,76

INDICADORES OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA OITAVA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	84,61	2,17	5,48	7,73
Máquina 02	81,52	12,12	0,87	5,49
Máquina 03	91,42	3,64	0,00	4,93
Máquina 04	80,42	10,67	3,13	5,78
Máquina 05	73,13	22,87	0,00	4,00

INDICADORES OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA OITAVA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	77,74	6,15	5,79	10,32
Máquina 02	75,61	15,79	0,46	8,14
Máquina 03	84,34	10,18	0,00	5,48
Máquina 04	74,22	15,01	3,75	7,02
Máquina 05	67,49	26,49	0,00	6,02

INDICADORES OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA OITAVA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	72,41	9,13	6,49	11,97
Máquina 02	70,48	20,29	0,57	8,66
Máquina 03	78,51	15,50	0,00	5,99
Máquina 04	69,06	19,21	3,05	8,67
Máquina 05	62,80	29,65	0,00	7,55

INDICADORES OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA OITAVA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	65,81	10,91	11,03	12,25
Máquina 02	64,09	22,69	1,78	11,44
Máquina 03	71,42	21,10	0,00	7,48
Máquina 04	62,86	23,59	3,28	10,27
Máquina 05	57,14	34,00	0,00	8,85

APÊNDICE 10 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA NONA ETAPA DO ESTUDO.

INDICADORES OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA NONA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	87,86	1,24	4,64	6,26
Máquina 02	76,41	14,17	5,45	3,96
Máquina 03	95,42	0,20	0,00	4,37
Máquina 04	83,87	9,77	2,51	3,85
Máquina 05	76,25	20,87	0,12	2,76

INDICADORES OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA NONA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	87,92	1,68	3,73	6,67
Máquina 02	84,80	10,36	0,45	4,39
Máquina 03	95,00	0,06	0,00	4,94
Máquina 04	83,60	10,13	2,11	4,16
Máquina 05	76,03	21,01	0,00	2,96

INDICADORES OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA NONA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	86,58	2,11	4,04	7,27
Máquina 02	83,96	10,77	0,19	5,08
Máquina 03	93,74	0,90	0,00	5,36
Máquina 04	82,48	10,36	2,36	4,80
Máquina 05	74,98	21,69	0,00	3,33

INDICADORES OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA NONA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	84,67	2,65	5,13	7,55
Máquina 02	82,38	11,41	0,49	5,72
Máquina 03	91,89	2,26	0,00	5,85
Máquina 04	80,88	11,59	2,14	5,39
Máquina 05	73,54	22,75	0,00	3,70

INDICADORES OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA NONA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	82,86	2,87	5,95	8,32
Máquina 02	80,71	12,71	0,44	6,14
Máquina 03	89,94	3,74	0,00	6,32
Máquina 04	79,14	12,30	2,79	5,77
Máquina 05	71,97	23,52	0,00	4,50

APÊNDICE 11 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA DÉCIMA ETAPA DO ESTUDO.

INDICADORES OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA DÉCIMA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	88,18	2,07	3,55	6,20
Máquina 02	76,66	15,98	3,54	3,82
Máquina 03	95,72	0,00	0,00	4,28
Máquina 04	84,23	9,45	2,01	4,31
Máquina 05	76,58	21,21	0,00	2,21

INDICADORES OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA DÉCIMA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	81,13	3,95	6,87	81,13
Máquina 02	78,89	14,25	1,10	78,89
Máquina 03	88,08	5,94	0,00	88,08
Máquina 04	77,48	14,41	2,98	77,48
Máquina 05	70,45	25,39	0,00	70,45

INDICADORES OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA DÉCIMA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	75,82	4,58	10,15	9,45
Máquina 02	73,75	19,18	0,05	7,02
Máquina 03	82,40	10,21	0,00	7,39
Máquina 04	72,43	18,19	2,44	6,94
Máquina 05	65,80	28,14	0,00	6,06

INDICADORES OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA DÉCIMA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	67,26	8,02	13,49	11,23
Máquina 02	65,42	26,02	0,00	8,56
Máquina 03	73,04	17,90	0,00	9,06
Máquina 04	64,25	24,77	2,29	8,68
Máquina 05	58,43	34,31	0,00	7,26

INDICADORES OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA DÉCIMA ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	59,13	11,54	16,57	12,76
Máquina 02	57,51	31,98	0,00	10,51
Máquina 03	64,21	25,32	0,00	10,47
Máquina 04	56,49	28,64	4,42	10,44
Máquina 05	51,37	39,57	0,00	9,06

APÊNDICE 12 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA 11ª ETAPA DO ESTUDO.

INDICADORES OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA 11.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	88,33	0,00	5,36	6,31
Máquina 02	76,80	13,91	5,36	3,92
Máquina 03	95,77	0,00	0,00	4,23
Máquina 04	84,31	9,66	1,98	4,05
Máquina 05	76,63	21,15	0,00	2,22

INDICADORES OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA 11.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	85,29	0,59	6,55	7,57
Máquina 02	82,52	9,94	2,19	5,35
Máquina 03	92,42	1,37	0,00	6,21
Máquina 04	81,32	10,00	2,81	5,87
Máquina 05	73,94	22,17	0,00	3,89

INDICADORES OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA 11.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	81,62	1,21	7,68	9,49
Máquina 02	79,31	12,20	1,38	7,11
Máquina 03	88,65	4,43	0,00	6,92
Máquina 04	77,99	12,80	2,28	6,93
Máquina 05	70,92	22,57	0,00	6,51

INDICADORES OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA 11.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	77,51	2,02	9,41	11,06
Máquina 02	75,40	15,22	0,22	9,16
Máquina 03	84,17	6,43	0,00	9,40
Máquina 04	74,08	13,42	3,92	8,58
Máquina 05	67,33	23,74	0,00	8,92

INDICADORES OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA 11.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	73,44	2,20	11,91	12,45
Máquina 02	71,44	17,78	0,00	10,78
Máquina 03	79,73	8,76	0,00	11,51
Máquina 04	70,18	15,72	3,71	10,39
Máquina 05	63,79	26,89	0,00	9,32

APÊNDICE 13 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA 12ª ETAPA DO ESTUDO.

INDICADORES OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA 12.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	88,18	2,07	3,55	6,20
Máquina 02	76,66	15,98	3,54	3,82
Máquina 03	95,72	0,00	0,00	4,28
Máquina 04	84,23	9,45	2,01	4,31
Máquina 05	76,58	21,21	0,00	2,21

INDICADORES OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA 12.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	82,64	3,73	5,99	7,64
Máquina 02	80,20	12,54	1,14	6,11
Máquina 03	89,52	5,50	0,00	4,97
Máquina 04	78,77	13,85	2,05	5,33
Máquina 05	71,61	24,44	0,00	3,95

INDICADORES OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA 12.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	76,10	5,96	8,50	9,44
Máquina 02	74,10	18,53	0,62	6,75
Máquina 03	82,67	12,28	0,00	5,05
Máquina 04	72,74	17,08	2,71	7,47
Máquina 05	66,13	28,06	0,07	5,74

INDICADORES OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA 12.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	70,18	8,04	10,94	10,84
Máquina 02	68,27	22,26	0,59	8,88
Máquina 03	76,20	18,51	0,00	5,29
Máquina 04	66,98	21,11	2,74	9,16
Máquina 05	60,89	31,69	0,00	7,42

INDICADORES OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA 12.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	63,49	9,67	14,79	12,05
Máquina 02	61,73	28,22	0,00	10,05
Máquina 03	68,93	24,97	0,00	6,10
Máquina 04	60,66	25,41	3,55	10,37
Máquina 05	55,14	35,65	0,00	9,21

APÊNDICE 14 – INDICADORES DE DESEMPENHO OBTIDOS NAS SIMULAÇÕES DA 13ª ETAPA DO ESTUDO.

INDICADORES OBTIDOS NO PRIMEIRO CENÁRIO DA 13.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	88,18	2,07	3,55	6,20
Máquina 02	76,66	15,98	3,54	3,82
Máquina 03	95,72	0,00	0,00	4,28
Máquina 04	84,23	9,45	2,01	4,31
Máquina 05	76,58	21,21	0,00	2,21

INDICADORES OBTIDOS NO SEGUNDO CENÁRIO DA 13.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	86,07	3,03	3,97	6,93
Máquina 02	83,17	11,68	0,49	4,66
Máquina 03	93,16	1,50	0,00	5,34
Máquina 04	81,96	11,39	2,52	4,12
Máquina 05	74,51	22,37	0,00	3,12

INDICADORES OBTIDOS NO TERCEIRO CENÁRIO DA 13.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	84,97	3,34	4,49	7,20
Máquina 02	82,39	12,46	0,11	5,04
Máquina 03	91,79	2,55	0,00	5,66
Máquina 04	80,75	12,26	2,10	4,89
Máquina 05	73,40	23,29	0,00	3,31

INDICADORES OBTIDOS NO QUARTO CENÁRIO DA 13.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	82,62	2,74	7,05	7,59
Máquina 02	80,40	13,57	0,53	5,50
Máquina 03	89,75	4,47	0,00	5,78
Máquina 04	78,97	13,52	2,25	5,25
Máquina 05	71,81	24,32	0,00	3,87

INDICADORES OBTIDOS NO QUINTO CENÁRIO DA 13.ª ETAPA

MÁQUINA	TEMPO EM OPERAÇÃO (%)	TEMPO OCIOSO (%)	TEMPO BLOQUEADO (%)	TEMPO PARADO (%)
Máquina 01	80,72	3,33	7,94	8,00
Máquina 02	78,53	14,82	0,77	5,88
Máquina 03	87,68	5,76	0,00	6,56
Máquina 04	77,14	14,37	2,56	5,93
Máquina 05	70,14	25,39	0,00	4,47

APÊNDICE 15 – RESUMO GERAL DOS INDICADORES OBTIDOS PRIMEIRAS CINCO ETAPAS DO ESTUDO DE SIMULAÇÃO.

1.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
1.º Cenário	0	1060	1,104	249	300	92,21	12,00	5,64
2.º Cenário	30	1000	1,041	248	300	87,25	19,33	5,95
3.º Cenário	60	940	0,979	246	350	81,50	27,21	6,28
4.º Cenário	90	820	0,845	252	350	71,46	33,99	7,38
5.º Cenário	120	800	0,833	256	350	70,09	43,75	7,68
Valor limite	240	960	1,00	375	500	83,33	100,00	11,76
2.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
1.º Cenário	0	1100	1,145	290	350	95,57	12,45	6,33
2.º Cenário	30	1060	1,104	275	350	92,27	20,61	6,23
3.º Cenário	60	1010	1,052	283	350	87,95	28,86	6,72
4.º Cenário	90	940	0,979	266	350	81,43	36,46	6,79
5.º Cenário	120	890	0,927	280	350	77,58	44,30	7,55
Valor limite	240	960	1,00	375	500	83,33	100,00	11,76
3.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
1.º Cenário	0	1100	1,145	291	350	95,55	12,64	6,35
2.º Cenário	30	1080	1,125	286	350	93,68	20,63	6,36
3.º Cenário	60	1060	1,104	295	350	92,19	29,20	6,68
4.º Cenário	90	1010	1,052	294	400	88,36	37,12	6,99
5.º Cenário	120	990	1,031	287	400	86,55	44,63	6,96
Valor limite	240	960	1,00	375	500	83,33	100,00	11,76
4.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
1.º Cenário	0	1100	1,145	290	350	95,57	12,45	6,33
2.º Cenário	9	1080	1,125	270	350	93,83	19,47	6,00
3.º Cenário	18	1040	1,083	268	350	90,02	25,80	6,18
4.º Cenário	27	980	1,021	270	350	84,88	33,03	6,61
5.º Cenário	36	930	0,969	270	350	81,39	39,66	6,97
Valor limite	36	960	1,00	375	500	83,33	100,00	11,76
5.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
1.º Cenário	0	1100	1,145	290	350	95,57	12,45	6,33
2.º Cenário	9	1090	1,135	281	350	95,23	14,72	6,19
3.º Cenário	18	1090	1,135	278	350	94,45	17,55	6,12
4.º Cenário	27	1080	1,125	279	350	94,16	19,65	6,20
5.º Cenário	36	1070	1,115	284	350	93,26	22,53	6,37
Valor limite	36	960	1,00	375	500	83,33	100,00	11,76

APÊNDICE 16 – RESUMO GERAL DOS INDICADORES OBTIDOS NAS SEXTA, SÉTIMA, OITAVA, NONA E DÉCIMA ETAPAS DO ESTUDO DE SIMULAÇÃO.

6.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
1.º Cenário	0	1098	1,144	83	120	95,42	13,88	1,81
2.º Cenário	30	1034	1,077	83	120	89,78	21,56	1,93
3.º Cenário	60	960	1,000	78	120	83,33	28,66	1,95
4.º Cenário	90	860	0,896	70	110	74,64	36,75	1,95
5.º Cenário	120	756	0,788	63	90	65,69	45,00	2,00
Valor limite	240	960	1,00	375	500	83,33	100,00	11,76
7.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
1.º Cenário	0	1104	1,150	120	160	95,90	14,22	2,61
2.º Cenário	30	1078	1,123	95	150	93,69	21,98	2,12
3.º Cenário	60	1048	1,092	110	150	90,93	30,32	2,52
4.º Cenário	90	1018	1,060	110	170	88,44	38,36	2,59
5.º Cenário	120	986	1,027	106	160	85,79	45,39	2,58
Valor limite	240	960	1,00	375	500	83,33	100,00	11,76
8.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
1.º Cenário	0	1098	1,144	83	120	95,42	13,88	1,81
2.º Cenário	9	1052	1,123	85	130	93,69	21,98	1,94
3.º Cenário	18	972	1,013	77	120	84,34	26,82	1,90
4.º Cenário	27	904	0,942	71	120	78,51	33,19	1,88
5.º Cenário	36	822	0,856	65	100	71,42	38,74	1,90
Valor limite	240	960	1,00	375	500	83,33	100,00	11,76
9.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
1.º Cenário	0	1098	1,144	83	120	95,42	13,88	1,81
2.º Cenário	9	1094	1,140	88	130	95,00	16,31	1,93
3.º Cenário	18	1080	1,125	83	140	93,74	18,83	1,84
4.º Cenário	27	1058	1,102	74	120	91,89	21,27	1,68
5.º Cenário	36	1036	1,079	72	110	89,94	22,87	1,67
Valor limite	36	960	1,00	375	500	83,33	100,00	11,76
10.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
1.º cenário	0	1103	1,149	48	72	95,72	34,24	1,04
2.º cenário	30	1014	1,056	41	68	88,08	37,80	0,97
3.º cenário	60	947	0,986	38	64	82,40	44,38	0,96
4.º cenário	90	841	0,876	33	67	73,04	49,11	0,94
5.º cenário	120	739	0,770	29	56	64,21	54,84	0,94
Valor limite	240	960	1,00	375	500	83,33	100,00	11,76

APÊNDICE 17 – RESUMO GERAL DOS INDICADORES OBTIDOS NAS 11ª, 12ª E 13ª ETAPAS DO ESTUDO DE SIMULAÇÃO.

11.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
1.º Cenário	0	1104	1,150	50	85	95,77	34,84	1,09
2.º Cenário	30	1064	1,108	42	73	92,42	42,52	0,95
3.º Cenário	60	1021	1,064	34	81	88,65	48,88	0,80
4.º Cenário	90	969	1,009	31	79	84,17	55,46	0,77
5.º Cenário	120	918	0,956	32	74	79,73	62,38	0,84
Valor limite	240	960	1,00	375	500	83,33	100,00	11,76

12.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
1.º Cenário	0	1103	1,149	48	72	95,72	31,24	1,04
2.º Cenário	9	1031	1,074	42	68	89,52	37,48	0,98
3.º Cenário	18	952	0,992	38	63	82,67	42,27	0,96
4.º Cenário	27	876	0,913	35	64	76,20	47,20	0,96
5.º Cenário	36	794	0,827	34	59	68,93	51,55	1,03
Valor limite	36	960	1,00	375	500	83,33	100,00	11,76

13.º ETAPA	SET-UP (MIN/DIA)	QT (PEÇAS/DIA)	IC	WIP MÉDIO (PEÇAS)	WIP MÁX. (PEÇAS)	OEE (%)	OCUPAÇÃO OPERADOR (%)	LEAD TIME (HORAS)
1.º Cenário	0	1103	1,149	48	72	95,72	31,24	1,04
2.º Cenário	9	1073	1,118	42	77	93,16	34,29	0,94
3.º Cenário	18	1057	0,101	39	65	91,79	36,38	0,89
4.º Cenário	27	1034	1,077	33	61	89,75	37,48	0,77
5.º Cenário	36	1010	1,052	34	63	87,68	39,34	0,81
Valor limite	36	960	1,00	375	500	83,33	100,00	11,76