

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DA PRODUÇÃO E SISTEMAS  
NÍVEL MESTRADO**

**VAGNER GERHARDT MÂNCIO**

**MÉTODO DE APOIO À DECISÃO DE ESCOLHA DE TECNOLOGIA EM  
SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA:  
Estudo de Caso**

**São Leopoldo  
2015**

**VAGNER GERHARDT MÂNCIO**

**MÉTODO DE APOIO À DECISÃO DE ESCOLHA DE TECNOLOGIA EM  
SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA:**

**Estudo de Caso**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto

**São Leopoldo**

**2015**

M269m

Mâncio, Vagner Gerhardt

Método de apoio à decisão de escolha de tecnologia em sistemas flexíveis de manufatura: estudo de caso / por Vagner Gerhardt Mâncio. – São Leopoldo, 2015.

126 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, São Leopoldo, RS, 2015.

Orientação: Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto, Escola Politécnica.

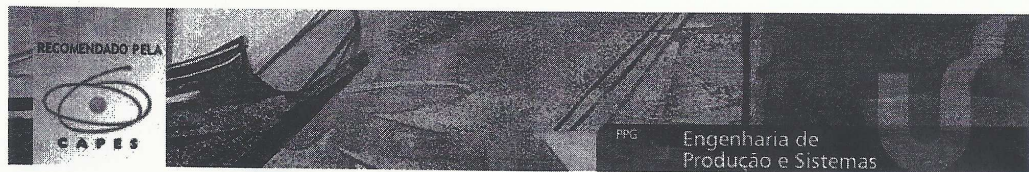
1.Engenharia de produção. 2.Sistemas flexíveis de fabricação. 3.Automação industrial. 4.Administração da produção. 5.Controle de produção. 6.Concorrência. I.Sellitto, Miguel Afonso. II.Título.

CDU 658.5:004

658.5

658.5.012.7

Catálogo na publicação:  
Bibliotecária Carla Maria Goulart de Moraes – CRB 10/1252



**Ata MEPS-D 07/2015**

Aos 03 dias do mês de junho do ano de 2015, às 14h, reuniu-se na sala E 07309, a Comissão Examinadora de Defesa de Dissertação composta pelos professores doutores, Miguel Afonso Sellitto, Orientador e Presidente, Zaida Cristiane dos Reis da UCS, Daniel Pacheco Lacerda e José Antônio Valle Antunes Junior da UNISINOS, para analisar e avaliar a Dissertação intitulada "MÉTODO DE APOIO À DECISÃO DE ESCOLHA DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA: ESTUDO DE CASO", apresentada pelo aluno Wagner Gerhardt Mâncio, candidato ao título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Após a apresentação, argüição e defesa, a Banca atribuiu os seguintes conceitos:

Profa. Dra. Zaida Cristiane dos Reis	Conceito: <u>APROVADO</u>
Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda	Conceito: <u>A PROVADO</u>
Prof. Dr. José Antônio Valle Antunes Junior	Conceito: <u>APROVADO</u>

A Dissertação obteve conceito final de aprovado

As alterações sugeridas pela Banca Examinadora são as seguintes:

Atender aos comentários da banca

O aluno deverá apresentar a versão final do trabalho com as modificações propostas pela Banca Examinadora da Dissertação, no prazo máximo de 15 dias, mediante supervisão do professor Sellitto. A emissão do diploma está condicionada a entrega da Versão Final da Dissertação.

São Leopoldo, 03 de julho de 2015.

Mestrando: Wagner Gerhardt Mâncio

Orientador: Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto

Membro: Profa. Dra. Zaida Cristiane dos Reis

Membro: Prof. Dr. Daniel Pacheco Lacerda

Membro: Prof. Dr. José Antônio Valle Antunes Junior

Secretária: Lilian Amorim

Assinatura: [Handwritten Signature]

Assinatura: [Handwritten Signature]

Assinatura: [Handwritten Signature]

Assinatura: [Handwritten Signature]

Assinatura: [Handwritten Signature]

## **AGRADECIMENTOS**

A conclusão desta pesquisa trouxe muito entusiasmos e expectativas para o futuro, mas para chegar a este nível devo me lembrar das pessoas que contribuíram para esta caminhada.

Professor Sellitto, agradeço-te profundamente por toda inspiração que me deste em toda a jornada do curso, sabendo entender minhas dificuldades e servindo de suporte para todas minhas arrancadas. Obrigado por ter dado a contribuição fundamental para me tornar um mestre.

Agradeço a minha esposa, Karine Webster de Brito, por muitas vezes ter aberto mão de minha companhia para que eu pudesse ter uma dedicação integral ao curso e também a todas suas palavras de motivação. Karine eu te amo!

Agradeço a todos meus familiares que me incentivaram e contribuíram para o sucesso de minha jornada.

A todos o meu obrigado.

“Algo só é impossível até que alguém duvide e resolva provar ao contrário.”

**Albert Einstein**

“Decidi não esperar as oportunidades e sim, buscá-las. Decidi ver cada dia como uma nova oportunidade de ser feliz.”

**Walt Disney**

“Há mais pessoas que desistem do que pessoas que fracassam.”

**Henry Ford**

## RESUMO

A competição entre as empresas é cada vez mais um fator de sobrevivência, e a busca de diferenciais é o principal objetivo para que as empresas tornem-se destaques no mercado e se mantenham competitivas. Com o objetivo de contribuir para a evolução das empresas com variedade de produtos e uma taxa média de produção, desenvolveu-se esta pesquisa sobre a viabilidade de altos investimentos em automação e a criação de um método para a escolha de equipamentos a partir de uma visão estratégica, considerando as principais dimensões de competição: custo, qualidade, flexibilidade, entrega. A pesquisa delimita-se no campo de Sistemas Flexíveis de Manufatura – do inglês *Flexible Manufacturing System* (FMS) –, cujas análises estratégicas e de equipamentos de automatização tenham características de sistemas flexíveis. A pesquisa foi desenvolvida na metodologia de modelagem quali-quantitativa, na qual, através da modelagem dos cenários, puderam ser realizadas avaliações qualitativas e quantitativas; o Método de Análise Hierárquica – do inglês *Analytic Hierarchy Process* (AHP) – foi utilizado para determinar o cenário que melhor combina com a principal variável competitiva. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram coletadas opiniões de especialistas de empresas sobre os pesos comparativos do método AHP e sobre os equipamentos de automação que fazem parte dos cenários criados. O cenário 1 possui *layout* escada com a movimentação dos materiais realizado por esteiras através de pallets, cuja manipulação é realizada por sistemas pneumáticos. O cenário 2 possui *layout* campo aberto com a movimentação dos materiais realizado por veículos guiados automaticamente – do inglês *Automated Guided Vehicle* (AGV), capazes de abastecer e descarregar os equipamentos. O cenário 3 possui *layout* centrado no robô, com 3 robôs que se movimentam em uma esteira para abastecer e desabastecer os equipamentos. Foram propostos dois métodos de cálculo do mérito final dos cenários, e, para ambos, o melhor cenário foi o 3. Adicionalmente, concluiu-se que adotar o cenário 3 é melhor do que não fazer nada, ou seja, continuar com a instalação atual da célula estudada.

Palavras-chave: *Flexible Manufacturing System* (FMS). Automação. *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

## ABSTRACT

The competition between companies is increasingly a factor of survival, and the search for differential is the main objective for companies to become highlights in the market and remain competitive. In order to contribute to the development of companies with a variety of products and an average rate of production, this research was carried out on the feasibility of large investments in automation and the creation of a method for choosing equipment from a vision strategic, considering the main dimensions of competition: cost, quality, flexibility, delivery. The research is delimited in the Flexible Manufacturing Systems field (FMS) whose strategic analysis and automation equipment have flexible systems characteristics. The research was conducted in the qualitative and quantitative modeling methodology, in which, through the modeling of scenarios, could be carried out qualitative and quantitative assessments; the Analytic Hierarchy Process (AHP) was used to determine the setting that best suits the key competitive variable. For the development of research, business expert opinions were collected on the comparative weights of AHP and on the automation equipment that are part of the created scenarios. Scenario 1 has ladder layout with the movement of the materials carried by pallets through mats, in which the handling of materials is achieved by pneumatic systems. Scenario 2 has the open layout with the movement of materials held by Automated Guided Vehicle (AGV), able to supply and unloading equipment. Scenario 3 has focused on the layout robot, in which there are three robots, moving on a conveyor and load and unload the equipment. Two methods of calculating the final merit of the scenarios were proposed. By both methods, the best scenario was the 3. Additionally, the conclusion is that adopting the scenario 3 is better than doing nothing, that is, continue with the current installation of cell studied.

Keywords: *Flexible Manufacturing System (FMS)*. Automation. *Analytic Hierarchy Process (AHP)*.



## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da produção, em milhões de dólares faturados, de máquinas-ferramentas no mundo .....	20
Figura 2 - Volume <i>versus</i> variedade.....	27
Figura 3 – Tipos de automação relativos ao volume de produção <i>versus</i> variedade de produtos .....	28
Figura 4 – Layout Progressivo .....	30
Figura 5 – Layout Fechado .....	30
Figura 6 – Layout Escada .....	31
Figura 7 – Layout Campo Aberto.....	32
Figura 8 – Layout Robô Centrado .....	32
Figura 9 – Tipos de AVGS .....	35
Figura 10 – Sistema de abastecimento dos transportadores ao nível do solo.....	36
Figura 11 – Sistema de abastecimento dos transportadores por rolos.....	36
Figura 12 – Sistema de transporte por rolos .....	37
Figura 13 – Sistema de transporte por correntes .....	37
Figura 14 – Sistema de transporte por rolos e correntes.....	37
Figura 15 – Sistema de transporte com auxílio de veículo transportador .....	38
Figura 16 – Sistema de transporte por rolos em curva .....	38
Figura 17 – Sistema de transporte por esteira.....	38
Figura 18 – Tendências de variáveis que influenciam na tecnologia de produção .....	39
Figura 19 – Robô de coordenadas cartesianas.....	41
Figura 20 – Robô de coordenadas cilíndricas.....	41
Figura 21 – Robô de Coordenadas Esféricas.....	41
Figura 22 – Robô SCARA.....	42
Figura 23 – Robô articulado .....	42
Figura 24 – Robô Paralelo .....	42
Figura 25 - Exemplo de alinhadores pneumáticos.....	43
Figura 26 - Exemplo de sistema de armazenagem .....	44
Figura 27 – Exemplo de sistema de fixação .....	44
Figura 28 – Exemplo de sistema de transporte.....	44
Figura 29 – Exemplo de sistema para puxar materiais.....	45
Figura 30 – Exemplo de sistema de alimentação de peças.....	45
Figura 31 – Exemplo de sistema de pneumático para pegar peças .....	45
Figura 32 – Exemplo de sistema de pneumático para manipular peças .....	46
Figura 33 – Unidades de carga AS / RS .....	47
Figura 34 – Mini carga AS/RS .....	48
Figura 35 – Carrossel AS / RS .....	48
Figura 36 – Diversas máquinas de medição por coordenadas cartesianas .....	49
Figura 37 – Braços articulados para medição.....	50
Figura 38 – Redes de comunicação industrial .....	51
Figura 39 – Redes de comunicação industrial .....	52
Figura 40 – Sistema de Manufatura Integrada por Computador – CIM.....	54
Figura 41 – Modelo Y desenvolvido por Scheer, 1993 .....	54
Figura 42 – Representação de um sólido desenvolvido por CAD.....	55
Figura 43 – Exemplo do resultado de simulação do CAE.....	56

Figura 44 – Exemplo de simulação do CAM para desenvolvimento de uma rotina de trabalho .....	57
Figura 45 – Estrutura hierárquica genérica de problemas de decisão .....	62
Figura 46 – Método para desenvolvimento do modelo .....	73
Figura 47 – Mapa mundi com destaques dos países que sediam unidades da VALEO .....	75
Figura 48 – Motor de partida explodido .....	77
Figura 49 – Layout tipo “U”, para montagem da bobina do motor de partida.....	78
Figura 50 – Comportamento da demanda de produção por produto ao longo das semanas ....	83
Figura 51 – Comportamento da demanda total de produção por produto ao longo de 10 semanas.....	84
Figura 52 – Proporção aproximada da média de produção mensal.....	84
Figura 53 – Cenário 1 – Layout escada com conversor com forma de transporte e sistemas pneumáticos realizando o abastecimento e descarga dos equipamentos.....	86
Figura 54 – Cenário 2 – Layout Campo Aberto com AVGS com forma de transporte e manuseio de produtos .....	89
Figura 55 – Cenário 3 – <i>Layout</i> centrado por robô .....	91
Figura 56 – Níveis hierárquicos do método AHP aplicados .....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção de máquinas-ferramentas em milhões de dólares .....	20
Tabela 2 - Importação de máquinas-ferramentas em milhões de dólares.....	21
Tabela 3 – Escala fundamental de Saaty .....	63
Tabela 4 - Exemplo de matriz comparativa entre critérios.....	65
Tabela 5 - Matriz comparativa normalizada.....	65
Tabela 6 - Cálculo do autovetor de máximo autovalor (prioridades dos critérios) .....	65
Tabela 7– Valores de IR para matrizes de diferentes tamanhos.....	65
Tabela 8 – Prioridades determinadas pela área de Qualidade .....	94
Tabela 9 – Prioridades determinadas pela área de Produção.....	94
Tabela 10 – Prioridades determinadas pela área de Processo .....	94
Tabela 11 – Prioridades determinadas pela área de Manutenção .....	94
Tabela 12 – Prioridades determinadas pela área de Logística.....	94
Tabela 13 – Prioridades determinadas pela Gerência Industrial .....	95
Tabela 14 – Prioridades médias de competição na indústria.....	95
Tabela 15 – Relação entre os cenários com base no custo pela área da Qualidade.....	96
Tabela 16 – Relação entre os cenários com base no custo pela área da Produção .....	96
Tabela 17 – Relação entre os cenários com base no custo pela área do Processo.....	96
Tabela 18 – Relação entre os cenários com base o custo pela área da Manutenção .....	96
Tabela 19 – Relação entre os cenários com base o custo pela área da Logística .....	96
Tabela 20 – Relação entre os cenários com base no custo pela Gerência Industrial.....	96
Tabela 21 – Resultado geral de prioridades dos cenários com relação ao custo .....	97
Tabela 22 – Relação entre os cenários com base na qualidade pela área da Qualidade.....	97
Tabela 23 – Relação entre os cenários com base na qualidade pela área da Produção .....	97
Tabela 24 – Relação entre os cenários com base na qualidade pela área do Processo.....	97
Tabela 25 – Relação entre os cenários com base a qualidade pela área da Manutenção .....	97
Tabela 26 – Relação entre os cenários com base a qualidade pela área da Logística .....	97
Tabela 27 – Relação entre os cenários com base a qualidade pela Gerência Industrial.....	98
Tabela 28 – Resultado geral de prioridades dos cenários com relação à qualidade .....	98
Tabela 29 – Relação entre os cenários com base na entrega pela área da Qualidade .....	98
Tabela 30 – Relação entre os cenários com base na entrega pela área da Produção.....	98
Tabela 31 – Relação entre os cenários com base na entrega pela área do Processo .....	98
Tabela 32 – Relação entre os cenários com base na entrega pela área da Manutenção .....	98
Tabela 33 – Relação entre os cenários com base na entrega pela área da Logística .....	99
Tabela 34 – Relação entre os cenários com base na entrega pela Gerência Industrial.....	99
Tabela 35 – Resultado geral de prioridades dos cenários com relação à entrega.....	99
Tabela 36 – Relação entre os cenários com base na flexibilidade pela área da Qualidade .....	99
Tabela 37 – Relação entre os cenários com base na flexibilidade pela área da Produção .....	99
Tabela 38 – Relação entre os cenários com base na flexibilidade pela área do Processo .....	99
Tabela 39 – Relação entre os cenários com base na flexibilidade pela área da Manutenção... ..	99
Tabela 40 – Relação entre os cenários com base na flexibilidade pela área da Logística.....	100
Tabela 41 – Relação entre os cenários com base na flexibilidade pela Gerência Industrial ..	100
Tabela 42 – Resultado geral de prioridades dos cenários com relação à flexibilidade .....	100
Tabela 43 – Cálculo do mérito percentual de cada cenário pela primeira abordagem .....	100
Tabela 44 – Avaliação dos cenários pelas áreas, referente ao custo .....	101

Tabela 45 – Avaliação dos cenários pelas áreas, referente à qualidade .....	101
Tabela 46 – Avaliação dos cenários pelas áreas, referente à entrega .....	102
Tabela 47 – Avaliação dos cenários pelas áreas, referente à flexibilidade.....	102
Tabela 48 – Mérito percentual dos cenários .....	102
Tabela 49 – Resultado Geral das Análises Hierárquicas por Cenários .....	103
Tabela 50 – Avaliação comparativa do cenário escolhido com o cenário atual.....	110

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Critérios de seleção do suprimento de ferramentas .....	33
Quadro 2 – Características de Sistemas de armazenamento automatizado .....	47
Quadro 3 – Aspectos positivos e negativos do AHP .....	64
Quadro 4 – Síntese da literatura sobre as prioridades competitivas da manufatura .....	67
Quadro 5 – Dimensões Estratégicas .....	68
Quadro 6 – Subdivisão das dimensões competitivas primitivas e aspectos envolvidos.....	69
Quadro 7 – Resumo da estrutura dos cenários .....	91
Quadro 8 – Perfil dos respondentes .....	93

## LISTA DE SIGLAS

AGVS – Automated Guided Vehicle System  
AHP – Processo de Hierarquia Analítica  
CAD – Computer Aided Design  
CAE – Computer Aided Engineering  
CAM – Computer Aided Manufacturing  
CAPP – Computer Aided Process Planning  
CIM – Manufatura Integrada por Computador  
CLP – Comandos Lógicos Programáveis  
CMM – Coordinate Measuring Machine  
CNC – Controle Numérico Computadorizado  
CR – Razão de Consistência  
ELECTRE – Elimination and Choice Translating Reality  
FMS – Flexible Manufacturing System  
GP – Programação Meta Modelo  
MACBETH – Measuring Attractiveness by a Categorical based Evaluation Technique  
MAUT – Multiattribute Utility Theory  
PCM – Processo de Construção de Modelo  
PROMÉTHEÉ – Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation  
SAW – Simple Additive Weighting  
SMART – Simple Multi-Attribute Rating Technique  
TG – Tecnologia de Grupo  
TODIM – Tomada de Decisão Interativa Multicritério  
TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution  
USA – Understand Simplify Automate  
WIP – Work In Process

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	17
1.2 JUSTIFICATIVA .....	19
1.3 OBJETIVOS DE PESQUISA: GERAL E ESPECÍFICOS.....	22
1.4 DELIMITAÇÃO .....	23
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	23
2.1 SISTEMAS DE MANUFATURA .....	25
2.2. SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA .....	27
2.2.1 Equipamentos CNC .....	28
2.2.2 <i>Layout</i> FMS .....	29
2.2.3 Magazine de Ferramentas.....	32
2.2.4 Movimentação de Materiais .....	34
2.2.4.1 AGVS .....	34
2.2.4.2 Transportadores .....	35
2.2.5 Manipulação de Materiais .....	39
2.2.5.1 Robôs.....	40
2.2.5.2 Sistemas Pneumáticos .....	43
2.2.6 Armazenamento de Materiais.....	46
2.2.7 Inspeção de Materiais .....	48
2.2.8 Controle de Máquinas e Comunicação FMS.....	50
2.2.9 CIM.....	53
2.2.9.1 CAD.....	55
2.2.9.2 CAE .....	56
2.2.9.3 CAM.....	56
2.2.9.4 CAPP .....	58
2.3 VIABILIDADE EM FMS: MULTICRITERIALIDADE .....	58
2.4 DIMENSÕES ESTRATÉGICAS EM MANUFATURA .....	66
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	70
3 METODOLOGIA.....	72
3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA .....	72
3.2 MÉTODO DE TRABALHO.....	73
4 A PESQUISA .....	75
4.1 O OBJETO DE ESTUDO: UMA CÉLULA DE MANUFATURA NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA .....	75
4.2 DESCRIÇÃO DA CÉLULA DE MANUFATURA ESTUDADA.....	76
4.2.1 Produto .....	76
4.2.2 <i>Layout</i> Atual .....	77
4.2.3 Equipamentos e Controles de Qualidade.....	79
4.2.4 Abastecimento da Linha de Montagem.....	80
4.2.5 Demandas .....	82
4.3 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA IMPLANTAÇÃO DO FMS NA CÉLULA ESTUDADA .....	
4.3.1 Cenário 1 .....	
4.3.2 Cenário 2 .....	81
4.3.3 Cenário 3 .....	89
5 ESCOLHA ENTRE CENÁRIOS: APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP .....	92

5.1 ESTRUTURAS DE PREFERÊNCIAS DOS ESPECIALISTAS .....	93
5.2 CÁLCULOS DOS MÉRITOS DOS TRÊS CENÁRIOS.....	100
5.3 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS .....	103
5.3.1 Cenário 1 <i>versus</i> custo.....	103
5.3.2 Cenário 2 <i>versus</i> custo.....	104
5.3.3 Cenário 3 <i>versus</i> custo.....	104
5.3.4 Cenário 1 <i>versus</i> qualidade.....	104
5.3.5 Cenário 2 <i>versus</i> qualidade.....	105
5.3.6. Cenário 3 <i>versus</i> qualidade.....	105
5.3.7 Cenário 1 <i>versus</i> entrega .....	106
5.3.8 Cenário 2 <i>versus</i> entrega .....	106
5.3.9 Cenário 3 <i>versus</i> entrega .....	106
5.3.10 Cenário 1 <i>versus</i> flexibilidade .....	107
5.3.11 Cenário 2 <i>versus</i> flexibilidade .....	107
5.3.12 Cenário 3 <i>versus</i> flexibilidade .....	107
5.4 DISCUSSÕES SOBRE A APLICAÇÃO DO MÉTODO: REAÇÃO DOS RESPONDENTES E DIFICULDADES.....	108
5.5 IMPLICAÇÕES GERENCIAIS DOS RESULTADOS.....	109
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	112
6.1 FUTURAS PESQUISAS.....	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	115



## 1 INTRODUÇÃO

A competitividade do mercado de manufatura intensificou-se a partir da década de 1960, quando custo e qualidade passaram a ser as principais preocupações dos fabricantes, em detrimento da exclusividade do volume de produção, até então predominante. Mais tarde, com a crescente complexidade do mercado, velocidade de entrega e flexibilidade de manufatura também se tornaram importantes dimensões de competição (ZHANG et al., 2006). Em particular, a flexibilidade é a dimensão que permite que empresas de manufatura operem em ambientes incertos e turbulentos (RUDD et al., 2008). Com esse novo perfil estratégico, a partir dos anos 1990, as empresas de manufatura passaram a ser mais flexíveis em suas operações (TRACEY et al., 1999), lançando mão dos chamados Sistemas Flexíveis de Manufatura (*Flexible Manufacturing System - FMS*). Com FMS's, fabricantes tornaram-se mais ágeis, rompendo o clássico *trade-off* entre velocidade e qualidade. Embora exija alto investimento inicial, o que eleva o custo fixo, o FMS pode contribuir para a competitividade de uma empresa em mercados turbulentos, pois agrega outras dimensões de competição que podem compensar e superar o acréscimo de custo (SHIVANAND et al., 2006).

Um FMS é usualmente composto por máquinas-ferramenta controladas por computador que podem processar, simultaneamente, volumes médios de uma variedade média de peças, apoiadas por dispositivos automatizados de movimentação de materiais. A tecnologia FMS foi concebida para ser eficiente no equilíbrio entre volume e variedade de peças (BROWNE et al., 1984). Um FMS é um sistema de manufatura com alguma flexibilidade que permite reações a mudanças, previstas ou não. Essa flexibilidade pode ser de máquina, que consiste na habilidade de alterar o sistema para produzir novos produtos e novas combinações de produtos; ou pode ser de roteamento, que consiste na habilidade de usar múltiplas máquinas para executar a mesma operação (TONI e TONCHIA, 1998).

Outra definição para FMS é: um arranjo de máquinas automáticas interligadas por um sistema de movimentação automatizado, em paletes ou em outro tipo de contenedor, controlado por computador central (SHIVANAND et al., 2006). Um FMS também pode ser entendido como uma célula de manufatura automatizada, composta por estações de processamento (normalmente máquinas-ferramentas), interligadas por um sistema automatizado de manuseio e armazenamento de material e controladas por um sistema distribuído de computação industrial, que pode processar variados tipos de peças

simultaneamente nas diversas estações de trabalho, ajustando-se ao *mix* e à demanda do mercado (GROOVER, 2011).

Em um primeiro momento, a indústria fornecedora de FMS não experimentou os altos níveis de crescimento característicos de outras indústrias de automação (HANDFIELD e PAGELL, 1995). O fato principal que explica esse baixo crescimento inicial é que muitos pioneiros do FMS, ou seja, indústrias manufatureiras que desenvolveram e também utilizaram a tecnologia, tornaram-se fornecedores de equipamentos, sem maior vocação comercial (CAPELLI, 2008). Com isso, esses fornecedores preocuparam-se muito mais com o estado-da-arte tecnológica dos FMS do que com os resultados auferidos por clientes (HANDFIELD e PAGELL, 1995). Dados mais abrangentes têm mostrado que a indústria fornecedora de FMS cresceu somente a partir do ano 2000 (MAFFEI, 2012).

Olhar para um FMS como meio de produção envolve mudança em procedimentos operacionais da manufatura, e isso pode acarretar alto desembolso de capital. Para tanto, técnicas limitadas aos princípios conhecidos de engenharia econômica têm se mostrado insuficientes para justificar tais investimentos. Outros métodos, tais como os baseados em avaliação estratégica qualitativa, podem e devem ser usados na justificativa de adoção de FMS. Em geral, um plano de estratégia corporativa está mais preocupado com os avanços de produtividade como um todo, não apenas com fatores econômicos, e a introdução de um FMS pode ser vista como um meio para aumentar a rentabilidade e, portanto, deve ser avaliada como uma decisão estratégica baseada em multicritérios, não apenas em redução de custos (WABALICKIS, 1988).

Hayes et al. (2008) afirmam que as escolhas realizadas em qualquer momento afetam não somente as operações em andamento, mas também o ambiente no qual as decisões futuras serão tomadas. Portanto, mudanças e acréscimos aos ativos da produção devem ser estudados sob olhar estratégico mais amplo, não apenas de redução de custo. Skinner (1969) afirmou que é um erro considerar apenas redução de custo como objetivo de fabricação. Dado que o emprego do FMS como ferramenta competitiva de mercado pode trazer vantagem a uma empresa manufatureira, sendo um diferencial estratégico para alavancar resultados, a aplicação de alta tecnologia, e em particular de FMS's, deve ser avaliada por múltiplas dimensões estratégicas, tais como custo, qualidade, flexibilidade e entrega (BOYER, 1998). Medina e Crispim (2010) afirmam que empresas têm justificado a adoção de FMS's e de outras tecnologias de automação industrial com base apenas na economia de mão-de-obra, mas a redução da variabilidade do processo automatizado e a

garantia de entrega pontual podem trazer ganhos mais significativos do que a simples redução de custos.

A alta tecnologia disponível para ser aplicada pelas empresas em seus processos deve ser avaliada e associada a múltiplas dimensões estratégicas para que maximizar a chance de sucesso em seu uso. Para Boyer (1998), há um consenso geral sobre a composição de prioridades competitivas-chave, tais como custo, qualidade, flexibilidade e entrega, que compõem o conteúdo de uma estratégia de operações de uma corporação baseada em manufatura, e que devem ser consideradas em decisões sobre tecnologia.

A presente pesquisa estuda a afirmação de muitos autores de que a FMS pode ser uma arma competitiva multidimensional, identificando dificuldades na implantação dessa tecnologia, em muitos casos pelo alto custo de implantação, ou por falta de pesquisas que ajudem a identificar outros benefícios que a alta tecnologia possa trazer às empresas.

## 1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Autores como Wabalickis (1988), Kakati e Dhar (1991), Handfield e Pagell (1995), Monaham e Smunt (1987), Parsaei et al. (1988), e Rezaie e Ostadi (2007) afirmam que as justificativas econômicas de investimentos para o FMS não conseguem, isoladamente, viabilizar o investimento, pois mascaram muitos dos benefícios que a tecnologia pode propiciar. Tais autores defendem que justificativas multidimensionais no âmbito estratégico, incluindo benefícios intangíveis, têm sido mais efetivas na avaliação de investimentos.

Acrescentam-se a isso os resultados dos estudos de Troxler e Blank (1989), segundo os quais a análise da tecnologia de fabricação avançada pode representar importante desafio, pois a complexidade dos sistemas programáveis pode requerer, ao mesmo tempo, considerações tangíveis e fatores de decisão intangíveis. Portanto, a falta de métodos adequados pode se tornar uma barreira para a implantação de FMS. Para Troxler e Blank (1988), muitos dos métodos até então desenvolvidos podem ser úteis na abordagem de subconjuntos de fatores, mas podem ficar aquém de uma análise mais abrangente em se tratando de sistemas de produção automatizados, de natureza multidimensional: (i) alto custo de capital; (ii) dificuldade em quantificar os benefícios indiretos; (iii) dificuldade em prever benefícios para longos períodos; (iv) operações de naturezas diferentes que devem ser integradas; (v) incertezas no desempenho da tecnologia emergente; (vi) gerentes de produção orientados para resultados financeiros, não para o desenvolvimento de produtos e processos;

(vii) má interpretação de padrões de comportamento de custos; (viii) falta de compromisso de longo prazo para a inovação tecnológica; ou (ix) dependência de métodos de análise inadequados, baseados exclusivamente em elementos financeiros.

Conforme Rezaie e Ostadi (2007), na época de sua pesquisa, houve crescente preocupação com a perda de competitividade na manufatura. A introdução de FMS's, pela capacidade de responder de forma eficaz à evolução das circunstâncias, ajudou a recuperar a competitividade não apenas com melhorias na produtividade geral e na qualidade final do produto, mas também por redução de vulnerabilidades devidas a variações de demanda e do *mix* de produtos e à redução exigida pelo mercado nos prazos médios de entrega. O grande investimento de capital exigido para implantação de FMS requer estudos de viabilidade, e a utilização de métodos multicriteriais para justificativa resulta por minimizar riscos estratégicos. Permanece, contudo, o risco de escolha técnica incorreta do tipo de FMS.

A escolha do FMS completo para substituir a tecnologia típica usada em uma indústria pode incorrer em erros de projetos e incompatibilidade de equipamentos para a execução de uma determinada função, podendo perder competitividade em algum campo importante. Ettlíe et al. (1984) ressaltam que, em muitas circunstâncias, para análise de FMS, a estratégia evolutiva pode ser considerada a melhor abordagem, uma vez que a estratégia de mudança radical pode não ser economicamente viável para muitas empresas de pequeno e médio porte, devido ao capital necessário para o investimento inicial. Com essa afirmação, pode-se pensar em uma implantação por etapas do FMS, na qual a identificação da tecnologia a ser implantada, inicialmente, surja e dê seguimento natural às próximas implantações, sempre baseadas nos campos de competição apontados pela evolução da estratégia.

Outra visão estratégica para a justificativa do investimento é dada por Hayes et al. (2008), quando afirmam que uma mudança estratégica é mais do que um conjunto limitado de decisões individuais: é o padrão dessas decisões, ao longo do tempo, que deve ser alterado. Para alcançar este tipo de mudança em um padrão histórico de comportamento, uma organização normalmente realiza mudanças substanciais nos procedimentos de tomada de decisão que antecedem às decisões de investimento. As razões específicas para focar nestes procedimentos, segundo Hayes et al. (2008), são: (i) grandes propostas de alterações e expansão da produção geralmente envolvem substanciais investimentos de capital – a alta gerência normalmente pede testes e avaliações que são, por natureza, primordialmente financeiras, e aprender a utilizar as técnicas de maneira hábil e inteligente aumenta a probabilidade de que decisões adequadas sejam feitas; (ii) muitas empresas contam com um

processo de autorização de capital formalizado, que deve ser seguido na requisição de fundos para investimento, e desenvolver a capacidade de conduzir propostas é essencial para alcançar um desempenho competitivo superior; e (iii) propostas de investimentos são oportunidades para que a empresa entenda suas forças organizacionais produtivas, suas oportunidades e defina sua direção estratégica.

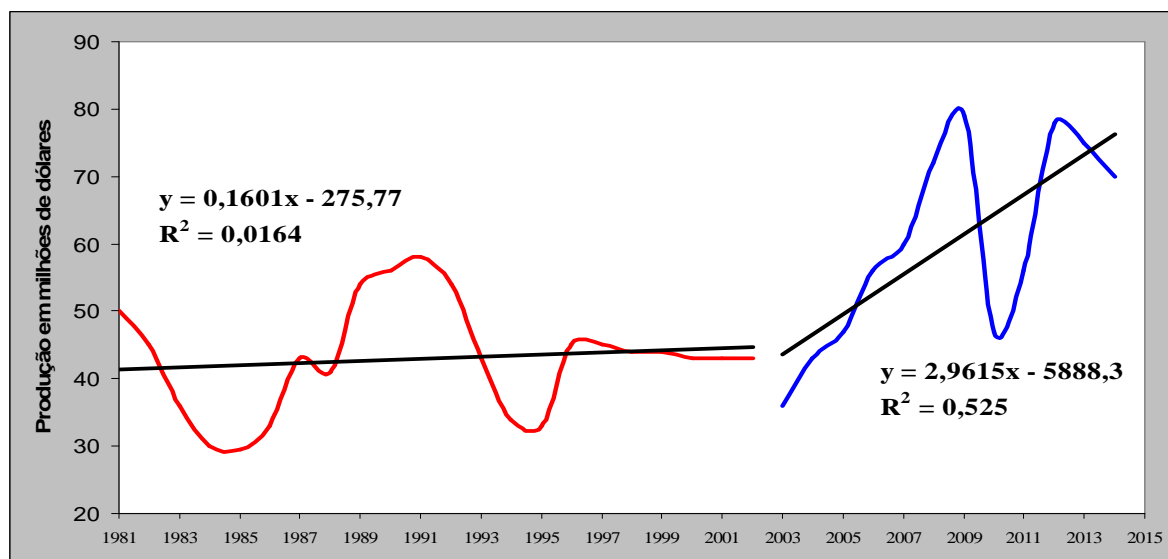
## 1.2 JUSTIFICATIVA

As motivações, conforme Hayes et al. (2008), para os investimentos em tecnologia nas empresas de manufatura são: (i) demanda crescente, pois poucas empresas estão dispostas a renunciar a oportunidades de crescimento em seu mercado; (ii) oportunidade de acrescentar, trocar ou atualizar uma instalação, equipamento ou sistema, que incorpore uma tecnologia nova ou melhorada; (iii) projetos de investimento também podem ser iniciados por acontecimentos no ambiente competitivo ou regulatório da empresa, pois controles ambientais cada vez mais duros forçam investimentos no processo; e (iv) oportunidade de realizar melhoria significativa na posição competitiva da empresa, privilegiando redução de variabilidade no produto, aumento na flexibilidade de produto e processo, e aumento na confiabilidade de entrega.

Groover (2011) enfatiza que a aplicação do FMS pode trazer múltiplos benefícios em manufatura, tais como: (i) maior utilização das máquinas e, por consequência, menor quantidade de máquinas e redução de espaço necessário no chão de fábrica; (ii) maior capacidade de respostas a mudanças; (iii) necessidade reduzida de estoque; (iv) prazos de manufatura menores; e (v) menor necessidade de trabalho direto e, por consequência, maior produtividade na manufatura.

Um forte motivador correlacionado com o desenvolvimento da tecnologia FMS é o crescimento apresentado, nos últimos anos, na produção de máquinas-ferramentas no mundo, como apresentado na Figura 1.

**Figura 1 - Evolução da produção, em milhões de dólares faturados, de máquinas-ferramentas no mundo**



Fonte: Gardner Publication (2014).

Pelos modelos matemáticos que explicam as séries históricas da Figura 1, é possível concluir que, até próximo ao ano 2000, o mercado não havia crescido, oscilando ao redor de uma média, o que é apontado pelo valor do coeficiente de determinação  $R^2$  próximo a zero. A partir daquele ano, no entanto, dado o valor  $R^2$  diferente de zero e a tendência crescente apresentada pelo modelo, é possível afirmar que houve aumento nas vendas de máquinas-ferramentas no mundo. Embora o Brasil apresente-se em uma posição modesta na produção de máquinas-ferramentas (Tabela 1), possui algum destaque (9ª posição) na importação delas (Tabela 2), comprovando o interesse das empresas brasileiras nestes equipamentos.

**Tabela 1 – Produção de máquinas-ferramentas em milhões de dólares**

Posição	País	Milhões de \$ em 2013	Milhões de \$ em 2014	% de crescimento
1	Alemanha	14,687.7	13,824.9	-6%
2	Japão	12,326.4	18,231.3	32%
3	China	8,743.0	9,236.7	5%
4	Itália	5,710.4	5,606.1	-2%
5	Coreia do Sul	5,306.0	5,485.0	3%
6	Estados Unidos	4,956.1	4,983.2	1%
7	Taiwan	4,537.0	5,414.0	16%
8	Suíça	3,129.1	3,282.2	5%
9	Espanha	1,218.6	1,095.1	-11%
10	Áustria	1,094.3	1,000.1	-9%
11	Inglaterra	891.7	911.7	2%
12	Canadá	803.4	752.2	-7%
13	Turquia	709.2	644.2	-10%

14	República Tcheca	705.6		720.0	2%
15	França	686.6		752.2	9%
16	Índia	658.0		798.0	18%
17	<b>Brasil</b>	<b>420.1</b>		<b>643.3</b>	<b>35%</b>
18	Holanda	415.7		402.5	-3%
19	México	374.4	c	389.4	4%
20	Bélgica	324.0		304.7	-6%
21	Rússia	210.9	c	263.0	20%
22	Suécia	208.5		201.9	-3%
23	Finlândia	184.6		187.7	2%
24	Austrália	160.0		148.0	-8%
25	Portugal	74.4		70.7	-5%
26	Dinamarca	73.0		70.7	-3%
27	Argentina	43.1		39.7	-9%
	<b>Total</b>	<b>68,651.8</b>		<b>75,458.5</b>	<b>9%</b>

c - estimativa de relatórios fragmentados

\$ - relatado em dólares

% - Índice de corte / formando em alguns casos estimativas de relatórios anteriores

Fonte: Gardner Publication (2014).

**Tabela 2 - Importação de máquinas-ferramentas em milhões de dólares**

Posição	País	Previsão de 2014 em Milhões de \$	Milhões de \$ - 2013	Realizado de 2014 em Milhões de \$	% de crescimento
1	China	11,423.9	11,364.5	12,950.6	12%
2	Estados Unidos	9,294.1	8,039.8	8,835.4	9%
3	Alemanha	7,954.2	7,065.0	6,515.4	-9%
4	Coreia do Sul	5,084.3	4,476.0	4,464.0	-1%
5	Japão	4,471.5	4,196.5	5,914.8	28%
6	México	2,076.8	2,245.6	2,070.7	-9%
7	Itália	2,423.4	2,078.3	2,072.3	-1%
8	Rússia	1,164.1	1,711.9	1,934.8	12%
9	<b>Brasil</b>	<b>1,750.1</b>	<b>1,674.0</b>	<b>1,883.2</b>	<b>11%</b>
10	Taiwan	1,784.9	1,629.0	1,840.7	11%
11	Índia	1,376.1	1,441.0	2,167.5	33%
12	Turquia	1,618.1	1,399.7	1,343.5	-5%
13	Canadá	1,028.1	1,099.7	1,052.0	-5%
14	Suíça	1,128.0	1,079.0	1,053.3	-3%
15	França	1,125.9	1,000.0	1,044.0	3%
16	Inglaterra	1,083.9	954.2	1,069.3	10%
17	Áustria	635.8	585.6	624.1	5%
18	Espanha	498.0	419.8	392.3	-8%
19	República Tcheca	485.2	419.7	430.5	2%
20	Holanda	416.3	394.4	339.4	0%
21	Suécia	296.7	268.3	333.3	19%
22	Argentina	208.1	220.2	274.1	19%
23	Austrália	244.4	206.0	187.7	-8%
24	Portugal	156.9	130.1	172.5	24%
25	Finlândia	136.6	118.2	158.2	25%

26	Bélgica	131.6	116.9	223.1	47%
27	Dinamarca	98.9	75.7	84.3	9%
	<b>Total</b>	<b>58,095.9</b>	<b>54,409.1</b>	<b>59,491.0</b>	

c - estimativa de relatórios fragmentados

\$ - relatado em dólares

Fonte: Gardner Publication (2014).

Acrescente-se que, segundo o *US Bureau of Labor Statistics* (2015), entre 2004 e 2014, houve acréscimo de 48% no pessoal empregado na indústria de *software* para aplicações industriais nos Estados Unidos. Segundo a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE (2014), a área de automação industrial cresceu seu faturamento real em 11%, comparando o 1º semestre de 2014 com o 1º semestre de 2010, sendo que o número de empregos no setor eletroeletrônico aumentou aproximadamente 7,5% no período de 2008 a 2014, atingindo a cifra de 174 mil empregados no setor.

Justifica-se, portanto, a escolha do tema desta dissertação pela importância econômica que FMS têm apresentado a partir do ano 2000 e pela expressiva oportunidade de geração de empregos de alta qualificação na indústria de fornecedores de equipamentos para automação industrial. Quanto ao uso de métodos multicritérios, Fisher (1979) concluiu: (i) modelos simples de utilidade multiatributo algébrica têm sido capazes de proporcionar excelentes aproximações das preferências humanas; e (ii) quando o número de atributos é manejável (até sete), a abordagem multicritério parece ser adequada. Do ponto de vista acadêmico, justifica-se o uso de métodos multicritérios pela viabilidade apontada por Fischer (1979), e o uso do AHP (usado nesta dissertação para justificar FMS) pela importância que tem na literatura nacional. Rodriguez et al. (2013) apontam-no como o método multicriterial mais referenciado na literatura nacional sobre problemas de decisão em manufatura.

### 1.3 OBJETIVOS DE PESQUISA: GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo geral desta dissertação é desenvolver e testar um método de apoio à decisão de escolha de tecnologia em Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS). A questão de pesquisa é: como avaliar opções para escolha de tecnologia FMS na manufatura? O método de pesquisa empregado para esta questão de pesquisa é o estudo de um caso em manufatura na indústria automotiva. Conforme Yin (2001), o método do estudo de caso pode responder a questões do tipo *como*.

Os objetivos específicos são:



- a) dentre as dimensões competitivas em manufatura apresentadas pela literatura, escolher e priorizar as dimensões competitivas que são mais importantes;
- b) formular um método e aplicar em um caso real para avaliar opções para escolha de tecnologia e implantação de FMS em manufatura, usando as dimensões escolhidas; e
- c) discutir a aplicação.

#### 1.4 DELIMITAÇÃO

Este estudo aborda fatores de escolha de implantação da tecnologia FMS, com justificativas estratégicas, não só econômicas e estudos como o modelo Y de Scheer (1993), não será abordado como tema principal. Não serão usadas todas as dimensões competitivas já estudadas em estratégia de produção, pois, caso fossem consideradas, o estudo se estenderia e a contribuição das dimensões menos importantes poderia ser de pequena monta (o estudo se limitou a custo, qualidade, flexibilidade e entrega). O AHP foi o único método multicritério utilizado. Métodos como saturação dos resultados do AHP e análise de sensibilidade do método AHP não serão utilizados neste trabalho. O caso estudado se restringe à indústria automotiva, o que impede generalizações a outras indústrias que também usem FMS, tais como eletrônica, farmacêutica, química e de biotecnologia, devido à pesquisa ser focada para tecnologias que não se adaptariam as demais áreas. Não é objetivo estudar as implicações sociais e pessoais da introdução de FMS na indústria manufatureira, mas ficam sugeridas como continuidade de pesquisa. Não terá como objetivo avaliar os acoplamentos existentes entre os equipamentos conforme a teoria das restrições. As avaliações estratégicas serão realizadas internamente na empresa, não havendo pesquisa em campo com clientes.

#### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 é constituído pela introdução, na qual é definido e justificado o problema, são apresentados os objetivos e a delimitação de pesquisa. O capítulo 2 é formado pela revisão e está dividido em quatro grandes blocos: (i) sistemas de manufatura (ii) elementos de FMS; (iii) métodos de viabilidade multicriteriais; e (iv) dimensões de competição em estratégia de manufatura. O capítulo 3 traz a metodologia de pesquisa e de trabalho. O capítulo 4 traz a descrição da empresa estudada, analisando processos, demandas

atuais de produção e principais problemas de fabricação, além de descrever três cenários desenvolvidos na tecnologia FMS em substituição à tecnologia atual. O capítulo 5 apresenta a aplicação da metodologia AHP para justificar a escolha de cenários e discute os resultados desta aplicação. O capítulo 6 traz a conclusão da pesquisa, ressaltando os principais resultados alcançados, assim como as principais sugestões para novos trabalhos. Finaliza-se o estudo com as referências bibliográficas e os anexos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, apresenta-se a revisão bibliográfica sobre a qual a pesquisa se apoia. A revisão contém quatro grandes blocos: características de sistemas de manufatura e de FMS, equipamentos constituintes de FMS, métodos para análise de viabilidade em FMS, e dimensões de competição em estratégia de manufatura.

### 2.1 SISTEMAS DE MANUFATURA

A palavra manufatura deriva das palavras latinas *manus* (mão) e *factus* (fazer). Hoje em dia, manufatura pode ser entendida como um processo de transformação de materiais em produtos, cuja principal parte – mas não a única, pois há ainda projeto, suprimento, distribuição e assistência técnica – é a fabricação, que é o processo específico de transformação de matéria-prima em produto físico (serviços não são manufaturáveis) (BLANCHARD et al., 1990). Assim, um sistema de manufatura refere-se a qualquer conjunto de elementos que execute as atividades necessárias para transformar matéria-prima em um produto tangível (ROODA e VERVOORT, 2004). Askin e Standridge (1993) classificam os sistemas de manufatura segundo quatro configurações, projetadas conforme a organização espacial, ou *layout*: de posição fixa (*project-shop*); por produto (*flow-shop*); por processo (*job-shop*); e baseada em tecnologia de grupo (manufatura celular).

*Layouts* de posição fixa são mais utilizados para produtos de grande porte, tais como navios, aviões e edificações. Nesta, o tamanho do produto faz com que seja impraticável transportá-lo entre as operações de processamento: é mais viável transportar o recurso de produção até o produto em fabricação. Todas as peças e processos, tais como equipamentos de solda e maquinaria, são levados para o produto (ASKIN e STANDRIDGE, 1993). Nos três demais casos, é o produto que se desloca, não o processo.

*Layouts* de produto são projetados para um produto específico, e a sua distribuição, muitas vezes, é referida como linha de fluxo (*flow-shop*): as máquinas são organizadas de modo que o produto flua da primeira estação para o segunda, da segunda para o terceira, e assim sucessivamente, até o final da linha. Ao completar o processamento na última máquina, a matéria-prima terá se transformado em produto acabado. Linhas de montagem e linhas de transferência (linhas *transfer*) são exemplos de *layouts* de produto e têm como vantagens o baixo tempo de produção e o reduzido estoque de trabalho em processo. O

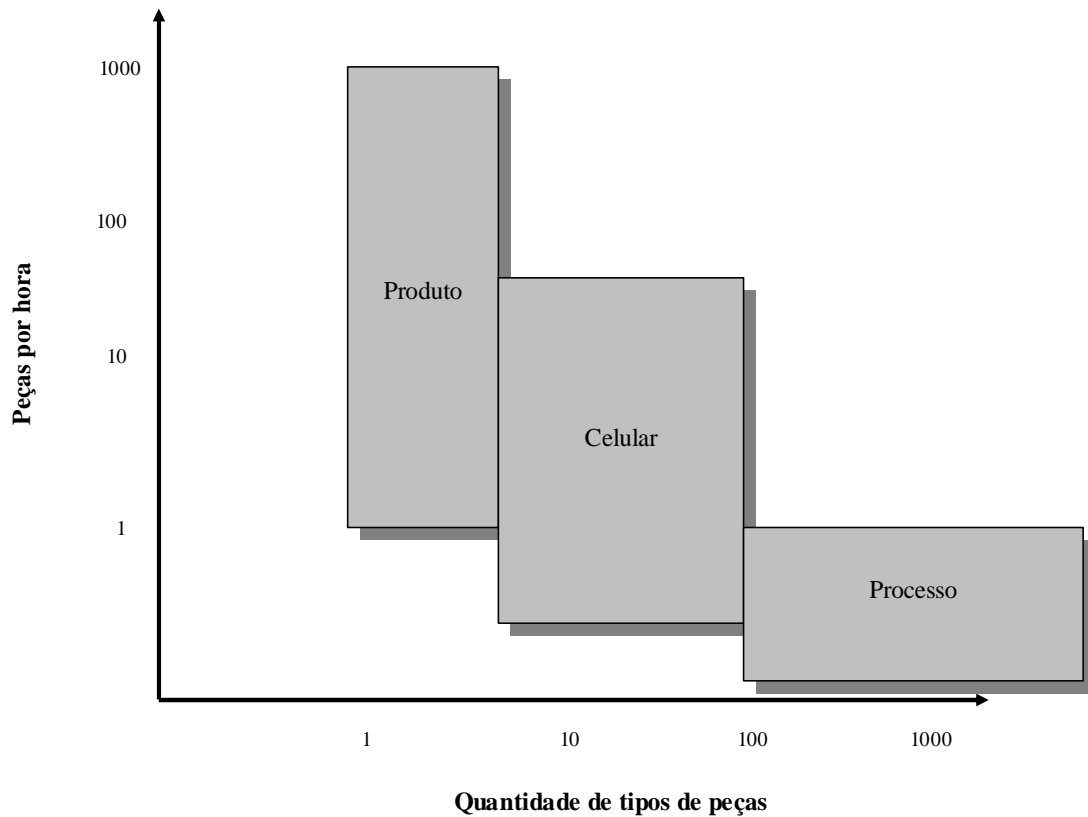
trabalho em processo (*Work In Process - WIP*) são os lotes de peças e materiais que já foram admitidos no chão de fábrica para fabricação, mas ainda não foram concluídos. Além do custo de inventário do WIP, incorre-se em custos de armazenagem, movimentação, obsolescência, danos e manutenção. Os *layouts* de produto são mais eficazes na redução destes custos, embora muitos produtos não tenham demanda suficiente para justificar uma linha; logo, linhas de fluxo são destinados preferencialmente à produção em massa. Máquinas em linhas de fluxo são frequentemente concebidas para um produto específico, e não são facilmente adaptadas para outros. São economicamente viáveis se o produto tiver volume suficiente para absorver o custo de instalação e demais custos fixos (ASKIN e STANDRIDGE, 1993).

Quando a produção exige lotes pequenos e variedade de produtos e peças, o *layout* mais adequado é o de processo (*job-shop*), em que máquinas semelhantes são agrupadas por departamentos, como tornos e fresadoras, que podem formar um departamento diferente e isolado de estações de pintura. Em contraste com *layouts* de produtos, *layouts* de processos são caracterizados por tempos de produção mais longos e por maior WIP. A dispersão geográfica dos processos visitados pelos produtos pode dificultar o fluxo de material, mas garante aprendizagem por acúmulo de experiência específica em cada processo (FLINN e JACOBS, 1986).

A manufatura celular mescla características e vantagens de *layouts* de processo e de produtos, usualmente com substancial redução no tempo de atravessamento e no estoque em processo. Partes e peças semelhantes, as chamadas famílias de peças, são agrupadas por métodos analíticos conhecidos por Tecnologia de Grupo (TG), em quantidade e volume de produção suficiente para justificar a existência de uma célula de manufatura (BUZACOTT e SHANTHIKUMAR, 1992). Tais métodos têm comparecido na literatura, mas há espaço para mais pesquisa, pois a eficiência da manufatura celular depende da eficiência das heurísticas usadas no seu planejamento (RENZI et al., 2014).

Cada tipo de *layout* pode ser visto como mais adequado para cada um dos tipos de ambiente operacional encontrados em manufatura, o que pode ser sintetizado pela combinação entre volume e variedade de produção. *Layouts* mais adequados para várias combinações de volume e variedade de produtos são apresentados na Figura 3 (ASKIN e STANDRIDGE, 1993), que omite o *layout* de posição fixa, mais adequado para volumes unitários, o que torna a análise desnecessária.

**Figura 2 - Volume versus variedade**



Fonte: Askin e Standridge (1993).

## 2.2. SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA

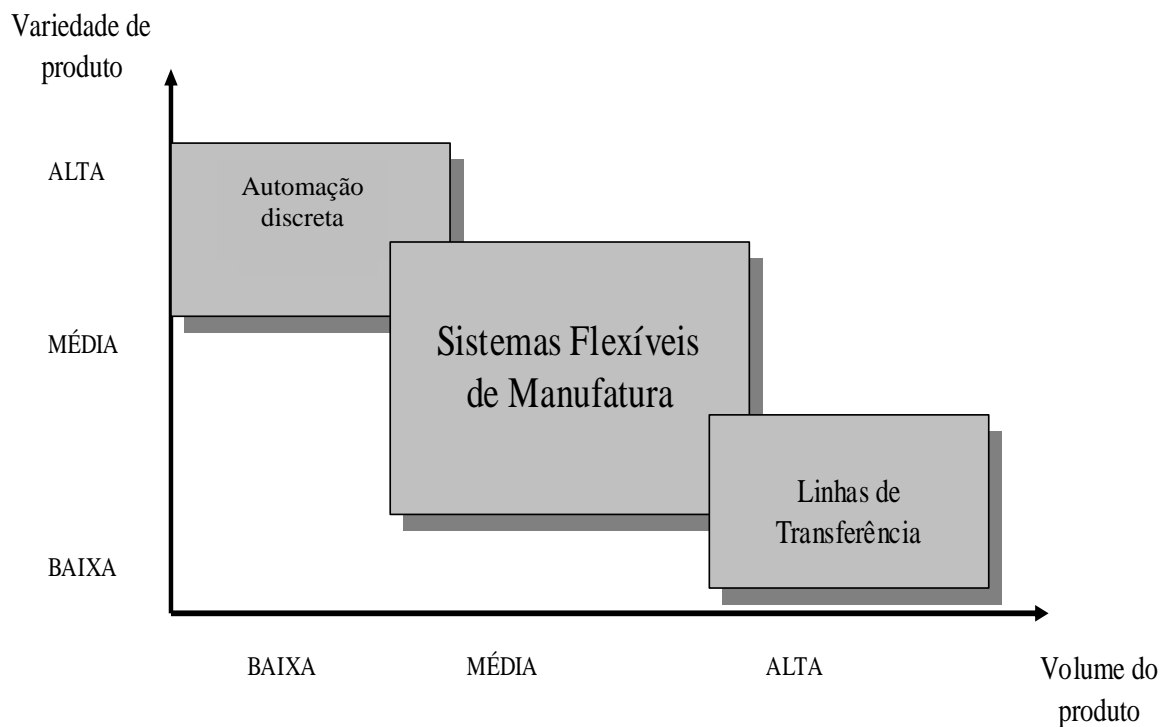
Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS) são sistemas integrados de produção controlados por computador, usualmente compostos por máquinas-ferramenta e dispositivos automatizados de movimentação, transferência e inspeção de materiais. Máquinas-ferramenta são numericamente controladas e podem processar, simultaneamente, volumes médios de uma variedade média de peças (BROWNE et al., 1984). Outra definição para FMS é dada por Shiavand (2006): um arranjo de máquinas automáticas interligadas por um sistema de transporte e transferência também automatizado, em paletes ou em outro tipo de contenedor. Um computador central controla tanto máquinas como sistemas de transporte e transferência. Neste caso, a inspeção é considerada parte da transferência.

*Layouts* celulares são mais adequados para operações de médio volume e média variedade. Se a produção anual de uma operação se encontrar entre 5 e 75 mil peças por ano, possivelmente uma célula de manufatura e um FMS sejam uma boa alternativa. Abaixo deste

intervalo, vale mais um sistema do tipo *job-shop*; acima, um sistema do tipo *flow-shop* (GROOVER, 2011).

A Figura 2 ilustra a aplicação do FMS segundo a relação variedade de produtos *versus* volume de produção.

**Figura 3 – Tipos de automação relativos ao volume de produção versus variedade de produtos**



Fonte: Shivanand et al. (2006).

FMS usualmente são constituídos pelos seguintes elementos: máquinas CNC, *layout* celular, magazine de ferramentas, movimentadores, manipuladores e armazenadores de materiais, inspeção automática de materiais, controle de máquinas, comunicação do FMS, e CIM (BROWNE et al., 1984). Nas próximas seções, seguem descrições destes elementos.

### 2.2.1 Equipamentos CNC

Uma máquina-ferramenta deve integrar três elementos essenciais: a máquina e seus dispositivos inteligentes e sensores, a peça a ser trabalhada, e a ferramenta que trabalhará a peça. Os elementos básicos de uma máquina-ferramenta com CNC (Controle Numérico Computadorizado) são: base da máquina; dispositivos para manejo de peças; dispositivos

para manejo de ferramentas; acionamentos de peças e de ferramentas; comandos dos acionamentos; comandos lógico-programáveis; e sensores de campo (WITTE, 1998). Centros de trabalho baseados em máquinas-ferramenta CNC são dispositivos automatizados capazes de executarem múltiplas operações de processamento, dada a variedade de ferramentas que podem utilizar. Um centro de trabalho inclui ao menos uma máquina-ferramenta CNC equipada com magazine de ferramentas, cuja função é permitir, na mesma peça e com uma única preparação, executar múltiplas operações sequenciais (fresagem, furação, brunimento, etc.) (DAVIM e CORREA, 2006). O *set-up* é automático e praticamente instantâneo, necessitando mínima ou nenhuma ação humana (SALES, 1989).

Centros de trabalho geralmente possuem sistemas automatizados de carregamento e descarregamento, sendo interligados ao sistema de movimentação e transporte do FMS. Também possuem sistemas automáticos de troca de ferramentas e possibilidade de programação manual (LEITE et al., 2010). O número de eixos de uma máquina CNC diz respeito ao número de eixos que podem ser comandados simultaneamente pelo controlador, o que permite o processamento de geometrias tridimensionais complexas pelo deslocamento da ferramenta no espaço tridimensional (LEITE et al., 2011). A programação CNC se vale da definição dos elementos geométricos (dimensões e sólidos 3D) e tecnológicos (matéria-prima e ferramentas), podendo ocorrer manualmente, por programação gráfica interativa, ou ainda integrada com sistemas CAD/CAM (VALERI e TRABASSO, 2003).

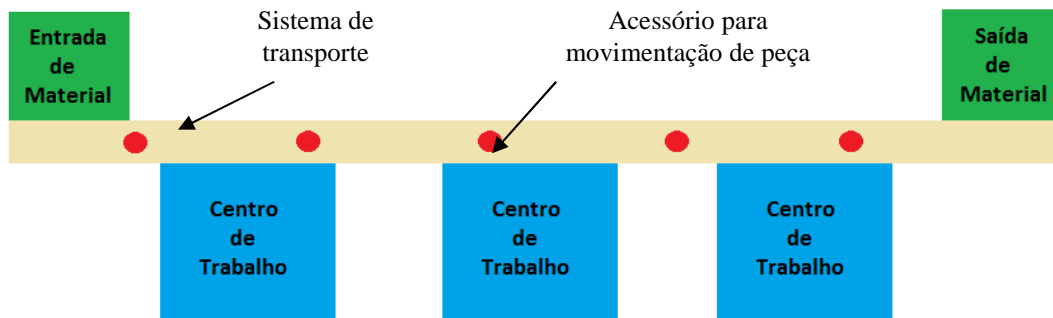
Usualmente, equipamentos CNC possuem algumas ou a totalidade das seguintes características (GROOVER, 2011): (i) armazenamento simultâneo de mais de um programa de usinagem; (ii) várias maneiras de entrada de programas; (iii) edição de programas na própria máquina-ferramenta; (iv) ciclos fixos e sub-rotinas de programação; (v) interpolação de ciclos; (vi) características para a preparação de posicionamento; (vii) compensação do tamanho da ferramenta; (viii) cálculos de aceleração e desaceleração; (ix) interface de comunicação; e (x) capacidade de conduzir diagnósticos.

### **2.2.2 Layout FMS**

FMS podem ser configurados em cinco tipos de *layout* celulares (SHIVANAND et al., 2006), ilustrados respectivamente pelas células de manufatura das Figuras de 4 a 8:

- a) Progressivo (*Progressive or line type*): os centros de trabalho e os sistemas de movimentação são posicionados em linha. Neste tipo de *layout*, não existe retorno de peças para processamento, e sua movimentação é unidirecional.

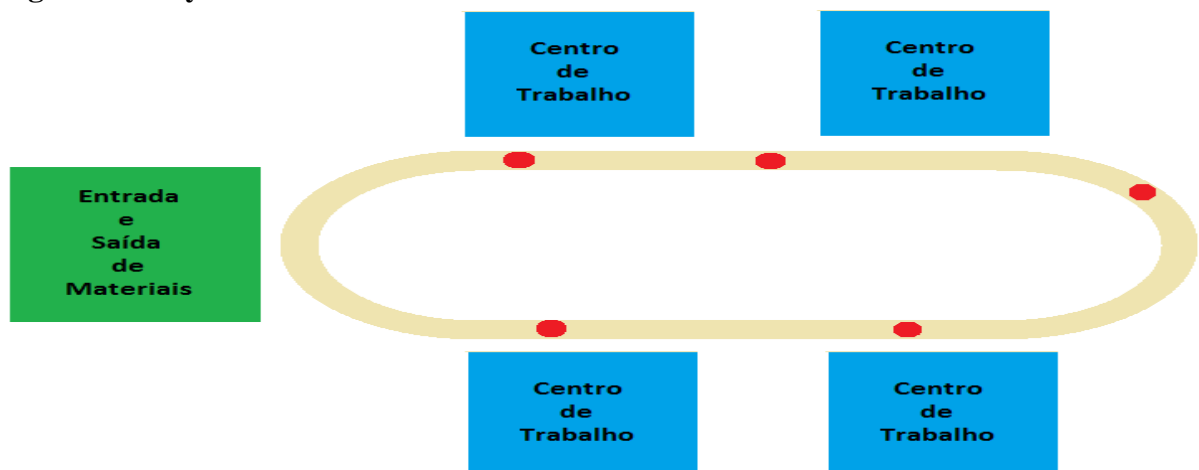
**Figura 4 – Layout Progressivo**



Fonte: Shivanand et al. (2006).

- b) Fechado (*Loop type*): os centros de trabalho são posicionados de forma celular e os materiais circulam em uma única direção, ao redor dos equipamentos, com capacidade para parar e carregar os centros de trabalho. Neste tipo de *layout*, há centros de abastecimento e remoção dos materiais.

**Figura 5 – Layout Fechado**

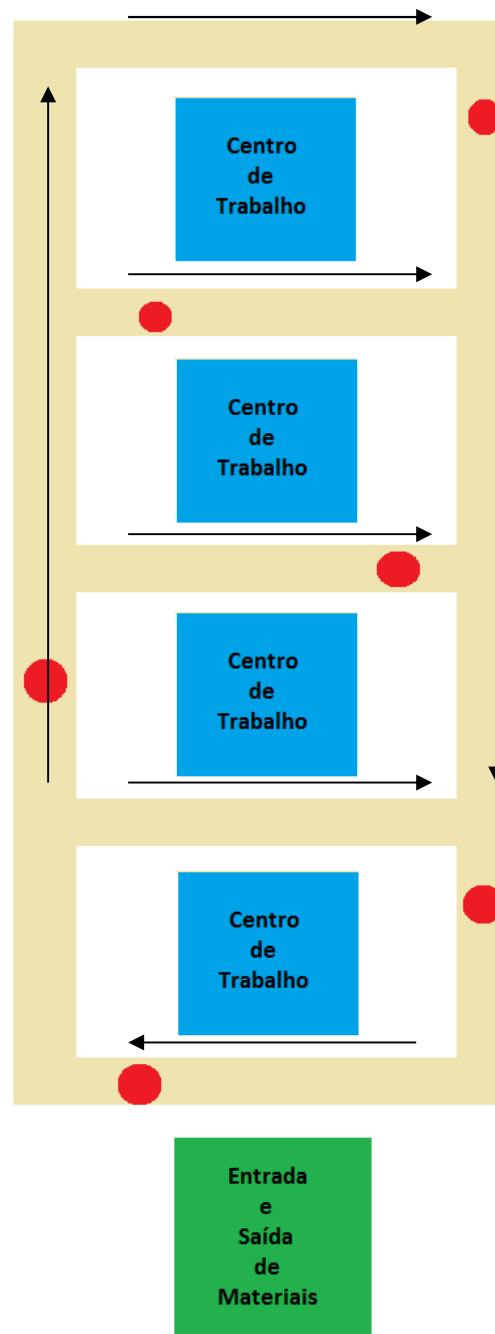


Fonte: Shivanand et al. (2006).

- c) Escada (*Ladder type*): os centros de trabalho são posicionados em pares, de frente um para o outro, permitindo que os materiais circulem entre os equipamentos e ao redor deles, dando maior flexibilidade de movimentação. Geralmente carga e descarga ocorrem no mesmo ponto.



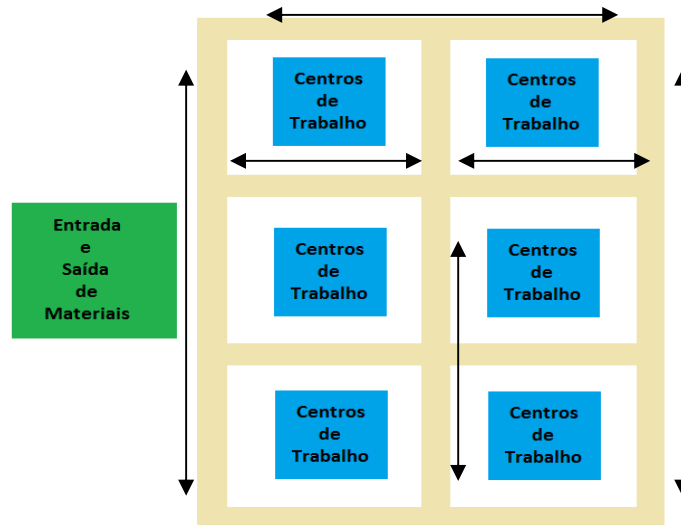
Figura 6 – Layout Escada



Fonte: Shivanand et al. (2006).

- d) Campo aberto (*Open Field type*): nesta configuração, os materiais podem se movimentar livremente por todas as estações, possuindo um único ponto para abastecimento e remoção de material no sistema. Para este tipo de *layout*, geralmente é utilizado AGV (robô transportador que se move sobre trilhos) para movimentação dos materiais.

**Figura 7 – Layout Campo Aberto**



Fonte: Shivanand et al. (2006).

- e) Robô Centrado (*Robot Centered Type*): os centros de trabalho são posicionados ao redor de um ou mais robôs, permitindo-lhe que realize todas as movimentações para o processamento dos materiais.

**Figura 8 – Layout Robô Centrado**



Fonte: Shivanand et al. (2006).

### 2.2.3 Magazine de Ferramentas

O magazine de ferramentas é o local utilizado para armazenagem temporária das ferramentas que serão usadas nos diversos programas de um equipamento CNC. O magazine permite que a máquina realize múltiplas operações com trocas de ferramentas, praticamente simultâneas, obtendo um altíssimo nível de eficiência (GÓMEZ e LORENA, 1998).

As várias abordagens estruturais já propostas para a construção de magazines de ferramentas podem ser divididas em dois grupos: foco na mudança de ferramenta; e foco no armazenamento de ferramenta na máquina. O critério de seleção se baseia na definição do modo de troca das ferramentas: manual ou automático. Ao preparar as ferramentas, é importante minimizar a interferência no processo de produção: ou as ferramentas são colocadas num *buffer* integrado à máquina; ou as ferramentas são trocadas em paralelo com a produção antes da mudança de tarefa; ou ainda são trocadas durante a manutenção da máquina (LEITE et al., 2011).

O Quadro 1 apresenta uma análise comparada entre tipos de magazine e parâmetros de apoio para seleção de ferramentas. O quadro usa a seguinte convenção para classificar o tipo de magazine quanto ao parâmetro: [B = Bom, M = Médio, R = Ruim].

**Quadro 1 – Critérios de seleção do suprimento de ferramentas**

	<b>Tipos de Magazines</b>	Tempo de troca não influenciada pelas ferramentas	Número variável de ferramentas intercambiáveis	Pequeno número de ferramentas	Exigência de pouco espaço no chão de fábrica	Custo de preparação do preparador de ferramentas	Adequado para máquinas individuais e FMS	Uso com diferentes estruturas do sistema	Custos do Operador	Acessibilidade	Custos Adicionais
Armazenamento de ferramentas na máquina	Grande Magazine de Ferramentas	R	B	R	B	B	M	B	R	B	B
	Armazenamento com duas correntes	R	B	R	B	B	M	B	R	B	M
Mudança de ferramentas na máquina	Mudança individual de ferramenta por robô	B	B	B	B	B	R	R	B	M	B
	Troca de carregamentos portáteis de ferramentas	B	R	B	M	R	R	B	B	M	R
	Troca da bandeja de ferramentas em um magazine fixo	B	R	B	R	R	B	B	B	B	M
	Troca da bandeja de ferramentas em um magazine giratório	B	B	B	B	R	B	B	B	B	B

Fonte: GRIMA (2014).

## 2.2.4 Movimentação de Materiais

A movimentação de materiais no FMS é realizada, normalmente, sobre paletes ou usando outro tipo de contenedor. Os dispositivos de transportes podem ser divididos em dois grandes grupos: transportadores operados, e veículos guiados automaticamente (*Automated Guided Vehicle System*, AGVS).

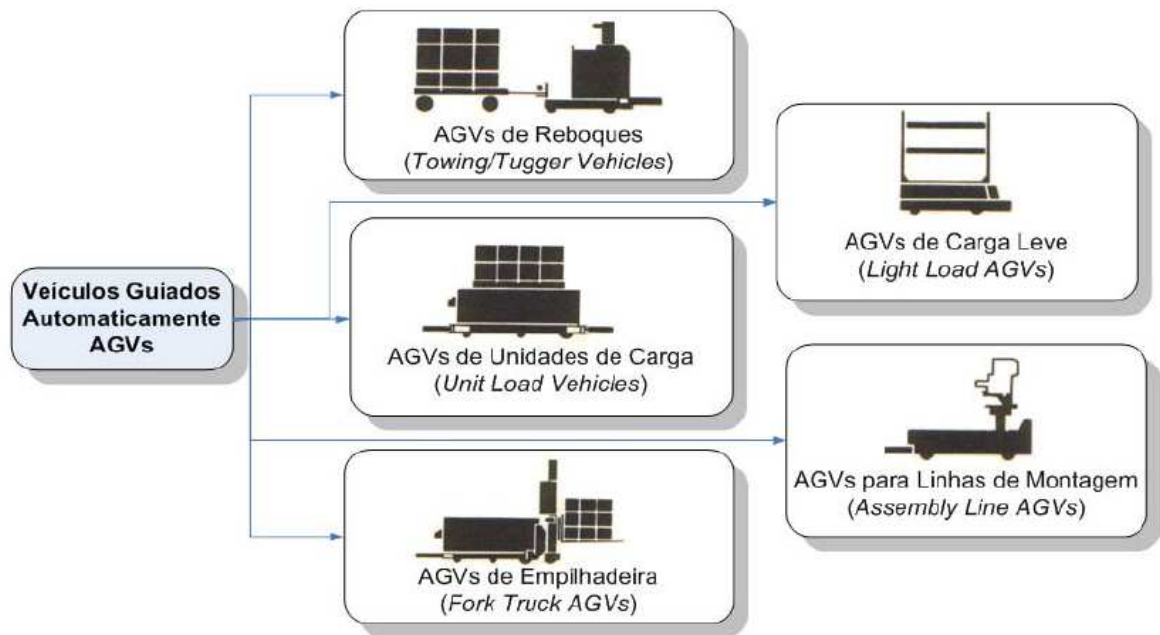
### 2.2.4.1 AGVS

Veículos teleguiados AGVS são equipados com sistemas de orientação automática e são capazes de seguir apenas caminhos pre-estabelecidos. AGVS existem desde a década de 1950, com tecnologia desenvolvida pela Barret Eletrônica de Grand Rapids, Michigan. Um dos primeiros AGVs foi um veículo que puxava uma série de reboques, deslocando-se entre dois pontos. Os europeus expandiram a tecnologia AGV na década de 1970, e desde lá o mercado para este tipo de dispositivo tem crescido.

AGVS são veículos sem condutor, programados autonomamente para seguir um caminho único em fábricas automatizadas e em instalações de movimentação de paletes e de contenedores de movimentação. Os principais benefícios dos AGVs são a redução dos custos de mão-de-obra, redução de acidentes, e acréscimo de velocidade e precisão do veículo (SHIVANAND et al., 2006). As principais técnicas utilizadas para movimentação do AGVS são: (i) orientação com cabos subterrâneos que definem caminhos fixos; (ii) comando sem fio que permitem que as trajetórias sejam modificadas; (iii) orientação sem fio, por comando ótico ou por linhas pintadas no piso; (iv) orientação sem fio e referenciado remotamente, com *encoders* óticos que rastreiam a trajetória; (v) orientação sem fio referenciado por laser, com *scanners* que rastreiam a trajetória; (vi) orientação sem fio referenciado por cálculo combinado, baseado em algoritmos de rastreamento; e (vii) orientação sem fio referenciado por balizas. As principais funcionalidades e propriedades de AGVS são: (i) orientação: permite que o veículo siga uma trajetória desejada; (ii) encaminhamento: habilidade para tomar decisões ao longo do caminho, a fim de otimizar as rotas de produção; (iii) administração do tráfego: habilidade para evitar colisões; e (iv) transferência de carga: habilidade para carregar e descarregar materiais. Os principais tipos de AGVS existentes em manufatura são: (i) AGVS de reboques (*Towing* ou *Tugger* AGVS); (ii) AGVS de Unidades de Carga (*Unit Load* AGVS), com plataformas que permitem transporte e transferência automática da carga; (iii) AGVS de Carga Leve (*Ligth Load* AGVS), com alta agilidade para

pequenos espaços; (iv) AGVS para Linha de Montagem (*AGVS Assembly Line Vehicles*), específicos para abastecimento de linhas de montagem; e (v) AGVS de Empilhadeira (*Fork Truck AGVS*), que reproduzem as habilidades de empilhadeiras convencionais, porém sem condutor (BARBERA e PEREZ, 2010).

A Figura 9 ilustra os tipos de AGVS mais encontrados em sistemas de manufatura.



Fonte: adaptado de Barbera e Perez (2010).

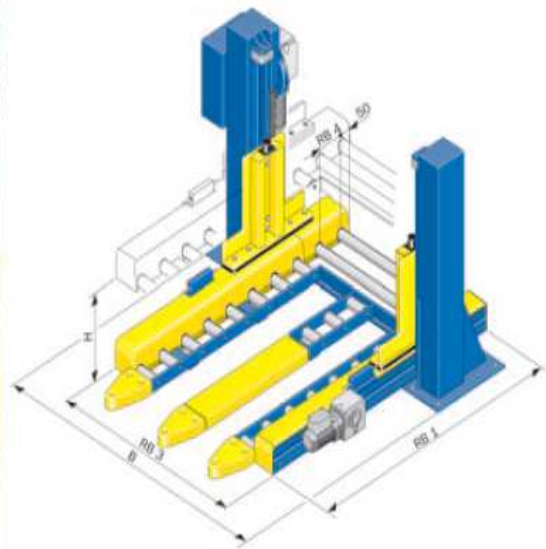
#### 2.2.4.2 Transportadores

Transportadores (*conveyors*) são utilizados quando materiais devem ser movidos em grandes quantidades entre localizações específicas ao longo de percursos fixos. Os transportadores se dividem em: transportadores de roletes, transportadores de rodízios, transportadores de esteiras, transportadores de correntes, transportadores de piso, e transportadores aéreos (GROOVER, 2011).

A SSI Schäfer (2009) descreve oito tipos de transportadores existentes, ilustrados nas Figuras 10 a 17, respectivamente:

- a) Com estação de abastecimento ao nível do solo e elevador;

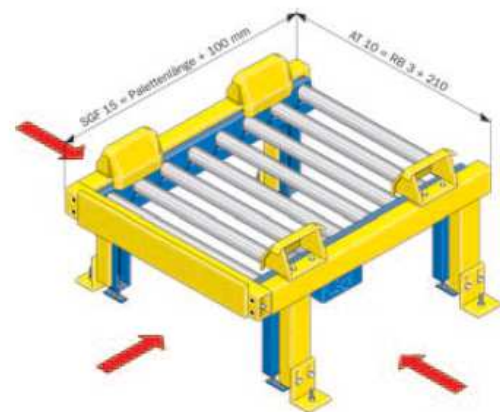
**Figura 10 – Sistema de abastecimento dos transportadores ao nível do solo**



Fonte: SSI Schäfer (2009).

- b) Com rolos de alimentação preparados para lanças de empilhadeiras ou porta-paletes;

**Figura 11 – Sistema de abastecimento dos transportadores por rolos**



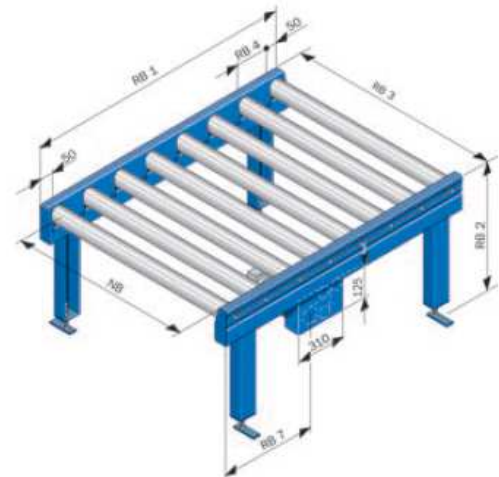
Fonte: SSI Schäfer (2009).

- c) Para transporte horizontal de carga, com capacidade de compensar desníveis do piso por hastes de ajuste no suporte ( $\pm 40$  mm);

**Figura 12 – Sistema de transporte por rolos**



Fonte: SSI Schäfer (2009).

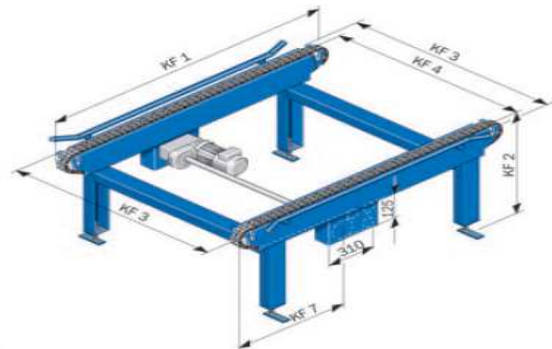


d) Por transportador de corrente horizontal de cargas, guias laterais ajustáveis;

**Figura 13 – Sistema de transporte por correntes**



Fonte: SSI Schäfer (2009).



e) Por rolos e transportadores de correntes para alteração de direção;

**Figura 14 – Sistema de transporte por rolos e correntes**

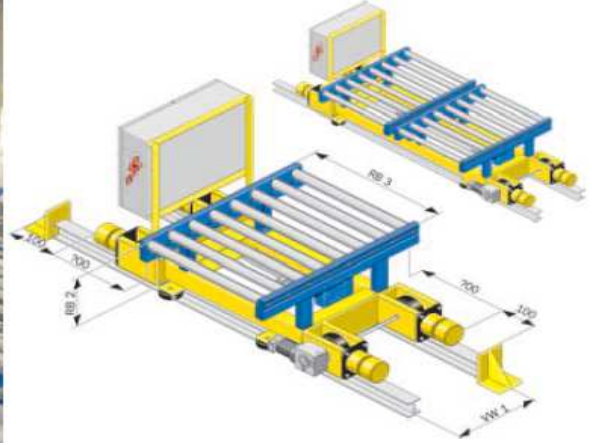


Fonte: SSI Schäfer (2009).



- f) Com auxílio de veículo transportador de rolos para transferência de cargas;

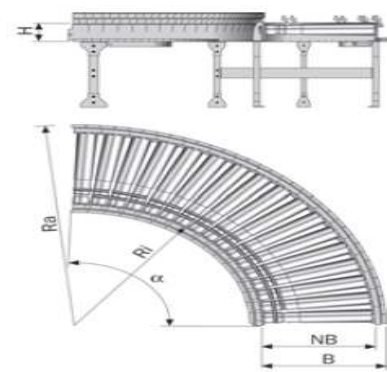
**Figura 15 – Sistema de transporte com auxílio de veículo transportador**



Fonte: SSI Schäfer (2009).

- g) Com transportadores por rolos em curva; e

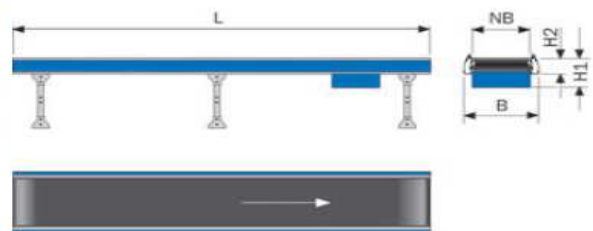
**Figura 16 – Sistema de transporte por rolos em curva**



Fonte: SSI Schäfer (2009).

- h) Com transportadores por esteiras inclinadas;

**Figura 17 – Sistema de transporte por esteira**



Fonte: SSI Schäfer (2009).

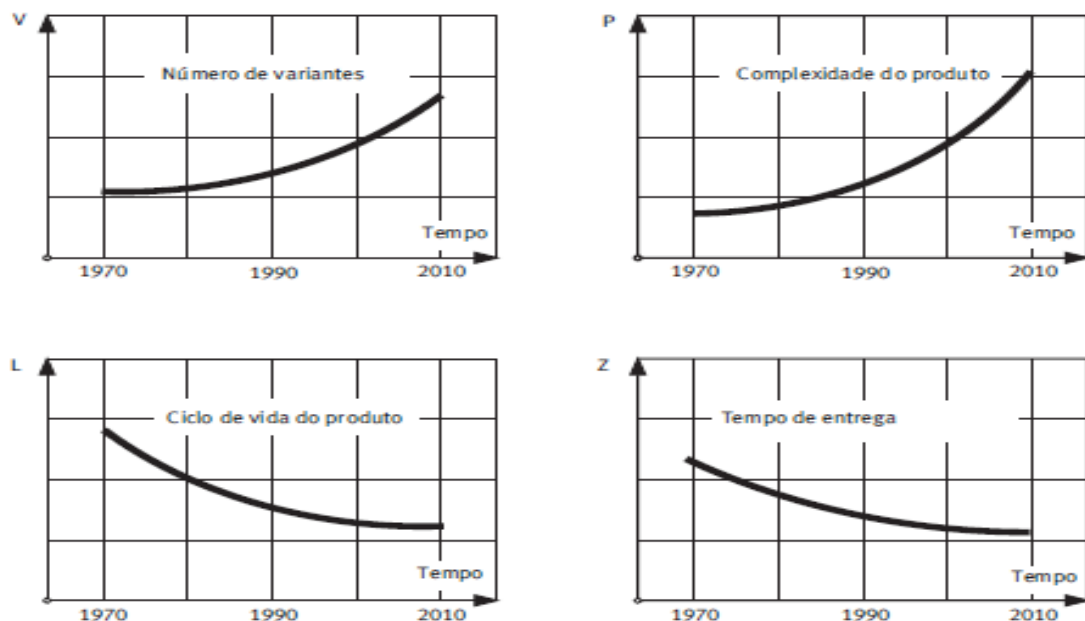


### 2.2.5 Manipulação de Materiais

A manipulação automática de materiais é utilizada para melhorar a eficiência no abastecimento e na troca de materiais em máquinas CNC. Para tanto, robôs e sistemas pneumáticos e eletromecânicos são as principais alternativas. O grau de automatização desejado é crucial para a determinação dos sistemas de manipulação e movimentação dos produtos, ele é o quociente do total ponderado de funções automatizadas e o total ponderado de todas as funções, e pode ser utilizado, por exemplo, como um índice de comparação entre alternativas de projeto que porventura se tenha para resolver um problema de adoção de tecnologia em manufatura (HESSE, 2001). Hesse (2001) também reforça que os fatores de ponderação consideram o período em que as funções são utilizadas e a sua importância dentro do processo.

Hesse (2001) também afirma que: quanto mais maduro o processo; quanto mais confiável a expectativa de tempo médio entre falhas no processo; e quanto maior o volume de produção desejado, maior pode ser o grau de automação aplicado à máquina CNC. Do mesmo modo, o autor afirma que: quanto mais variável a estrutura do produto; quanto mais imprevisível o comportamento do cliente; e quanto mais complexa a gama de produtos e os ciclos de fornecimento, maior será o grau de flexibilidade necessário para o sistema de produção. As evoluções, ao longo do tempo, de variáveis que influenciam no grau de tecnologia são representadas na Figura 18.

**Figura 18 – Tendências de variáveis que influenciam na tecnologia de produção**



Fonte: Hesse (2001).

### 2.2.5.1 Robôs

O robô é o principal equipamento para manipulação automática de materiais em FMS. Um robô industrial é uma máquina programável, de aplicação geral, e que possui determinadas características antropomórficas (semelhantes a humanos), tais como semelhança com braços, resposta a estímulos sensoriais, comunicação com outras máquinas, e capacidade de tomada de decisões (GROOVER, 2011).

Romano e Dutra (2002) descrevem os componentes básicos de um robô para aplicação industrial: (i) manipular mecânica: consiste da combinação de elementos estruturais rígidos (corpos e elos) conectados por articulações (juntas), sendo o primeiro corpo denominado de base e o último de terminal, que sustenta o efetuador (garra ou ferramenta); (ii) atuadores: convertem energia elétrica, hidráulica ou pneumática em potência mecânica para movimentação; (iii) sensores: fornecem parâmetros sobre o comportamento do manipulador, geralmente posição, velocidade, força, ou torque; (iv) unidade de controle: gerencia e monitora os parâmetros operacionais requeridos; (v) unidade de potência: fornece a potência necessária à movimentação dos atuadores; e (vi) efetuador: é o elemento final de ligação entre o robô e o processo, tal como uma garra ou ferramenta.

Estremote (2009) classificou os robôs em: (i) inteligentes, capazes de interagir com o ambiente por sensores e de tomar decisões em tempo real; (ii) aprendizes, capazes de repetir uma sequência de movimentos realizados por operador humano; e (iii) autômatos, que cumprem um programa sem capacidade de interagir com o ambiente. Romano e Dutra (2002) e Rosário (2009) classificaram robôs conforme sua característica de movimentação: (i) cartesianos/pórtico (*cartesian/gantry robot*), com movimentos descritos por coordenadas cartesianas (três translações); (ii) cilíndricos (*cylindrical robot*), com movimentos descritos por coordenadas cilíndricas (duas translações e uma rotação); (iii) esféricos (*spherical robot*), com movimentos descritos por coordenadas esféricas (uma translação e duas rotações); (iv) SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*), com movimentos livres no plano  $xy$  e restritos no plano  $z$ , específico para montagem de componentes de pequenas dimensões, como placas eletrônicas (BOADA et al., 2014); e (v) articulado ou antropomórfico (*articulated robot*), de uso geral, com formato semelhante ao humano..

As Figuras de 19 a 24 respectivamente ilustram esta classificação.

**Figura 19 – Robô de coordenadas cartesianas**



Fonte: [HTTP://www.sepro-america.com](http://www.sepro-america.com).

**Figura 20 – Robô de coordenadas cilíndricas**



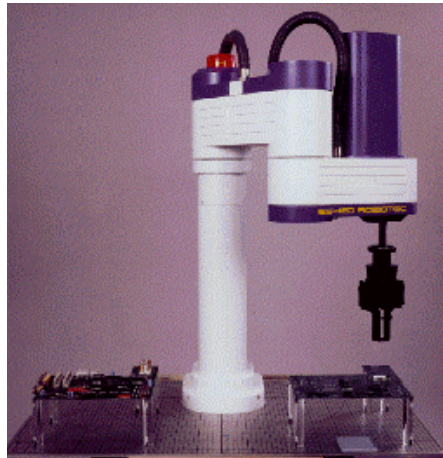
Fonte: [HTTP://tegrupose7.wordpress.com](http://tegrupose7.wordpress.com).

**Figura 21 – Robô de Coordenadas Esféricas**



Fonte: Romano e Dutra (2002).

**Figura 22 – Robô SCARA**



Fonte: [HTTP://informacionesderobotica.blogspot.com.br](http://informacionesderobotica.blogspot.com.br).

**Figura 23 – Robô articulado**



Fonte: Romano e Dutra (2002).

**Figura 24 – Robô Paralelo**



Fonte: Romano e Dutra (2002).

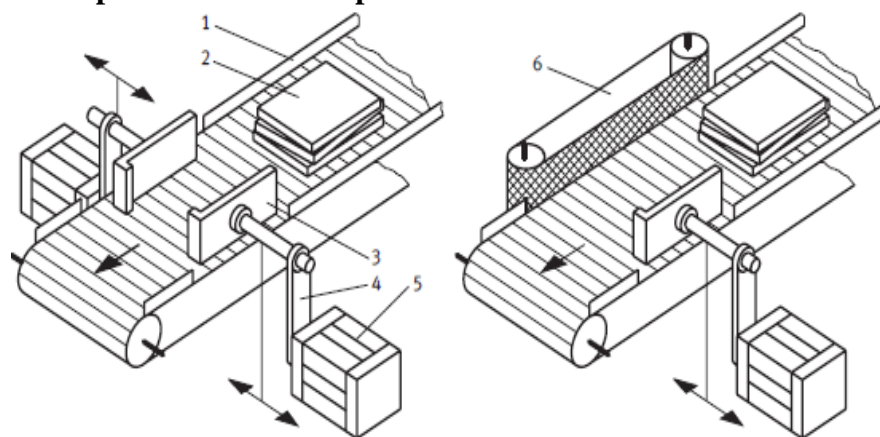
Shivanand et al. (2006) apontam quatro aplicações principais de robôs em manufatura: (i) Soldagem; (ii) Pintura; (iii) Montagem; e (iv) Paletização e Movimentação. A soldagem é a aplicação mais difundida em manufatura. A repetibilidade, a uniformidade da qualidade e a velocidade de soldagem robótica são superiores a outras formas de executar a tarefa. Na pintura por pulverização, a consistência e a capacidade de repetição de movimentos permitem qualidade sem desperdícios de tinta e eliminando riscos e insalubridades inerentes à tarefa. Quanto a operações de montagem, por possuírem características únicas de repetitividade, robôs são empregados em tarefas de difícil execução manual. Por fim, em operações de paletização e movimentação de materiais, as características de repetitividade e de emprego de força fazem o uso de robôs ser preferencial em tarefas de difícil execução.

#### 2.2.5.2 Sistemas Pneumáticos

Sistemas pneumáticos também são usados na manipulação de materiais. Sua flexibilidade permite automatizações simples e de baixo custo. Hesse (2001) citou 99 aplicações para sistemas pneumáticos automatizados. Algumas destas aplicações são apresentadas e ilustradas, respectivamente, pelas Figuras de 25 a 32:

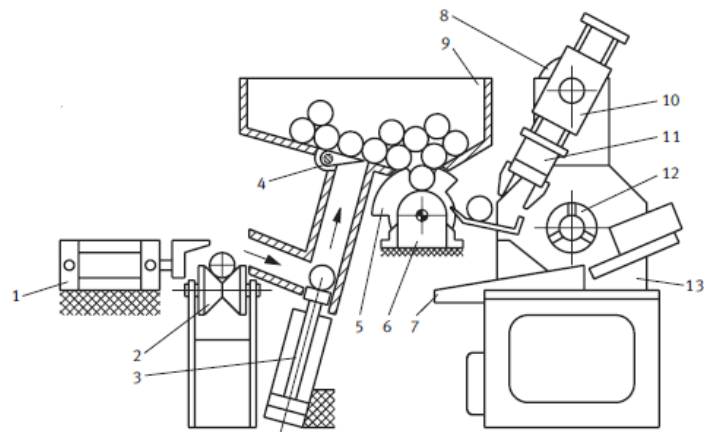
- a) Alinhadores pneumáticos, cuja aplicação principal é ajustar posicionamento de produtos sobre a esteira ou locais de armazenagem.

**Figura 25 - Exemplo de alinhadores pneumáticos**



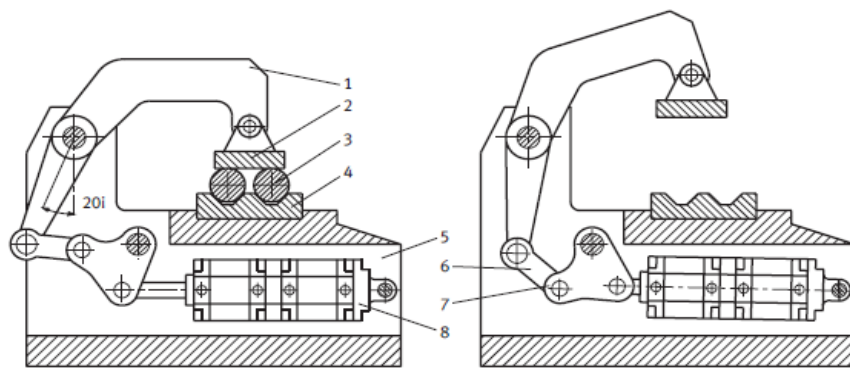
Guia lateral 2- Pilha de painéis 3- Placa de alinhamento 4- Braço 5- Cilindro 6- Cinta lateral  
Fonte: Hesse (2001).

- b) Sistemas pneumáticos combinados para armazenagem local de produtos (*buffers* que podem ajudar a compensar ineficiências de máquinas).

**Figura 26 - Exemplo de sistema de armazenagem**

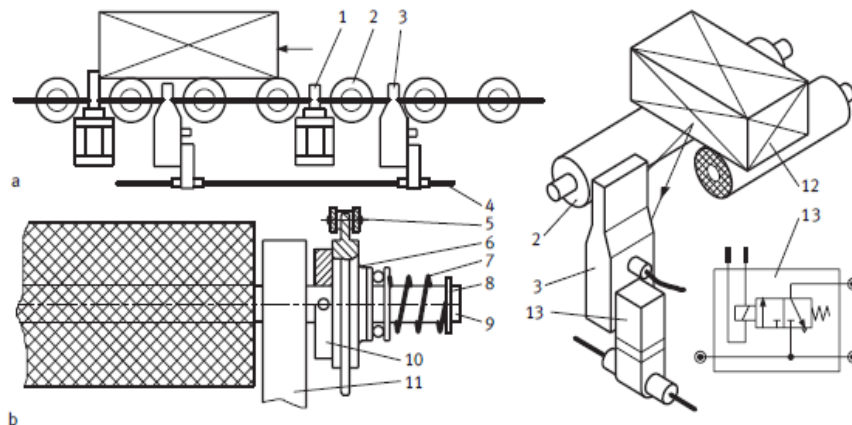
Cilindro 2- Roletes 3- Cilindro 4- Trava 5- Separador 6- Acionamento 7- Escoamento 8- Manipulador 9- Depósito 10- Manipulador 11- Garra 12- Fixação 13 - Máquina  
 Fonte: Hesse (2001).

c) Sistemas pneumáticos para fixação de peças antes do corte.

**Figura 27 – Exemplo de sistema de fixação**

Braço de fixação 2- Placa de fixação 3- Peça 4- Prisma de fixação 5- Corpo do dispositivo  
 6- Alavanca Articulada 7- Articulação 8- Cilindro  
 Fonte: Hesse (2001).

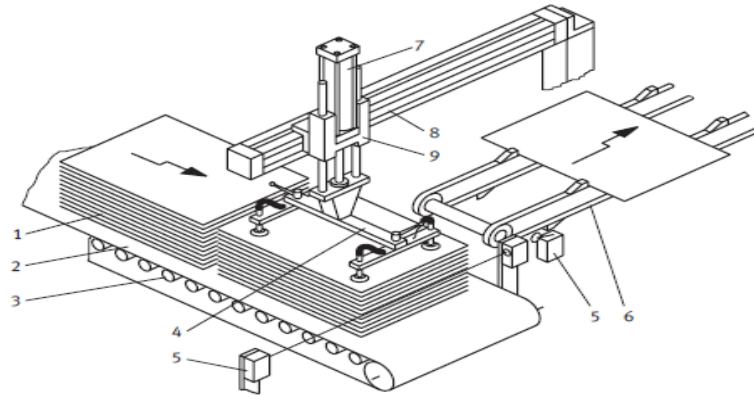
d) Sistemas pneumáticos para transporte do material por esteira.

**Figura 28 – Exemplo de sistema de transporte**

Cilindro de parada 2- Roletes 3- Sensor 4- Linha de fornecimento 5- Cadeia de acionamento 6 – Roda  
 7- Mola 8- Anel retentor 9- Eixo 10 – Disco de arraste 11- Estrutura 12- Peças 13- Válvula pneumática  
 Fonte: Hesse (2001).

e) Sistemas pneumáticos para puxar e empilhar peças.

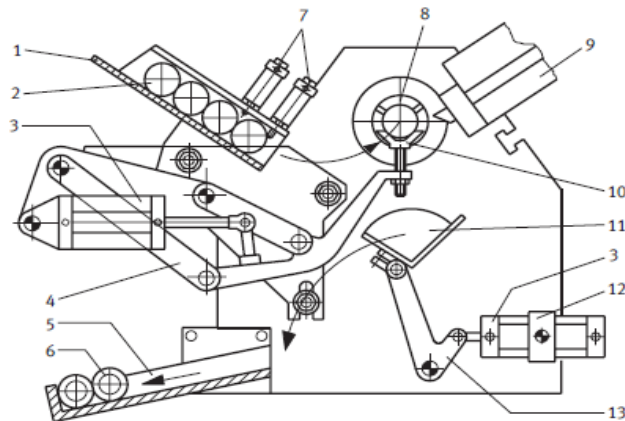
**Figura 29 – Exemplo de sistema para puxar materiais**



Pilha 2- Esteira 3- Roletes 4- Braço 5- Sensor 6- Esteira 7- Cilindro 8- Esteira 9- Guia  
Fonte: Hesse (2001).

f) Sistemas pneumáticos para alimentação de máquinas.

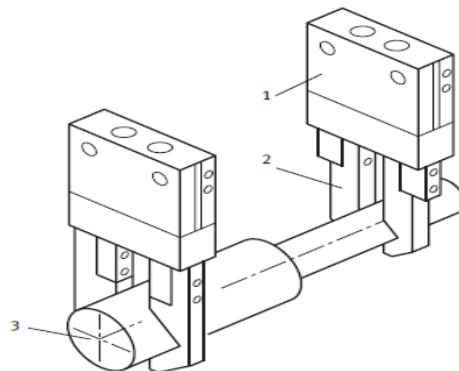
**Figura 30 – Exemplo de sistema de alimentação de peças**



Estoque 2- Peça Bruta 3- Cilindro 4- Articulações 5- Rampa 6- Peça acabada 7- Cilindro 8- Mandril  
9- Carro 10- Alimentar 11- Unidade de recolhimento 12- Articulação 13- Alavanca  
Fonte: Hesse (2001).

g) Sistemas pneumáticos para segurar peças e manipular materiais.

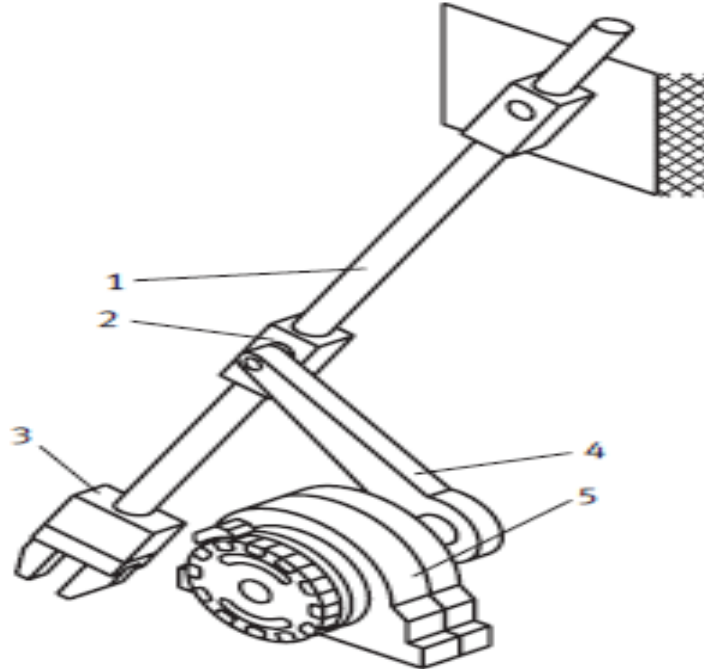
**Figura 31 – Exemplo de sistema de pneumático para pegar peças**



Garra paralelo 2- Mordente de encaixe 3- Eixo  
Fonte: Hesse (2001).

h) Sistemas pneumáticos para manipular peças.

**Figura 32 – Exemplo de sistema de pneumático para manipular peças**



Braço giratório 2- União giratória 3- Garra 4- Braço giratório 5- Atuador  
Fonte: Hesse (2001).

### 2.2.6 Armazenamento de Materiais

Em sistemas de manufatura altamente automatizados, cargas são armazenadas ou recuperadas sem participação de operadores humanos, por sistemas de armazenamento automatizado (AS/RS – *Automatic Storage/Retrieve Systems*), que podem ser lineares ou em carrossel. Os possíveis objetivos para a automação das operações de armazenamento e recuperação de materiais são: (i) aumentar a capacidade de armazenamento; (ii) aumentar a densidade de armazenamento; (iii) recuperar espaço de chão da fábrica usado para armazenar materiais em processo; (iv) melhorar a segurança e reduzir roubos; (v) reduzir custos; e (vi) melhorar a acuracidade do estoque e, por conseqüência, o nível de serviço ao cliente (GROOVER, 2011).

AS/RS são compostos por duas estruturas principais, as prateleiras de armazenagem, que recebem e guardam os contenedores, e os transelevadores, que movimentam as cargas para as prateleiras. Groover (2011) organizou as características destas estruturas segundo o tipo, linear ou em carrossel, como no Quadro 2.



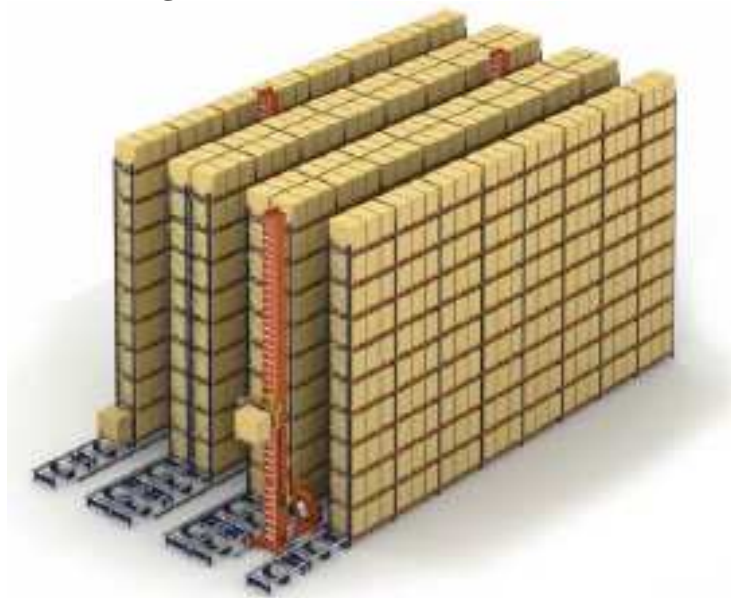
**Quadro 2 – Características de Sistemas de armazenamento automatizado**

Característica	AS / RS	Carrossel
Estrutura de armazenamento	Sistemas de entrada para suportar paletes ou prateleiras para caixas	Cestos suspensos por transportar aéreo ou trole
Movimentos	Lineares do transelevador	Rotação dos transportadores aéreos em trilho oval
Operação de armazenamento e recuperação	O transelevador se desloca até os compartimentos na estrutura de estantes	O transportador gira para trazer os compartimentos para estações de carga / descarga
Reaplicação da capacidade de armazenamento	Corredores múltiplos, com estrutura de estante e transelevador	Carrosséis múltiplos, circuito oval e caixas suspensas

Fonte: Groover (2011).

Shivanand et al. (2006) descrevem várias classes de sistemas de armazenagem e recuperação automática, caracterizadas por peso e tamanho de manuseio e ilustradas, respectivamente, pelas Figuras de 33 a 35:

- a) Unidades de carga AS/RS, compostas por elementos de manuseio de paletes com capacidades variáveis, utilizadas principalmente como almoxarifado de matérias-primas ou de produtos acabados.

**Figura 33 – Unidades de carga AS / RS**

Fonte: Sell et al. (2013).

- b) Mini carga AS/RS, que lidam com cargas menores e mais leves, tais como bandejas, utilizadas principalmente como *buffers* de máquinas.

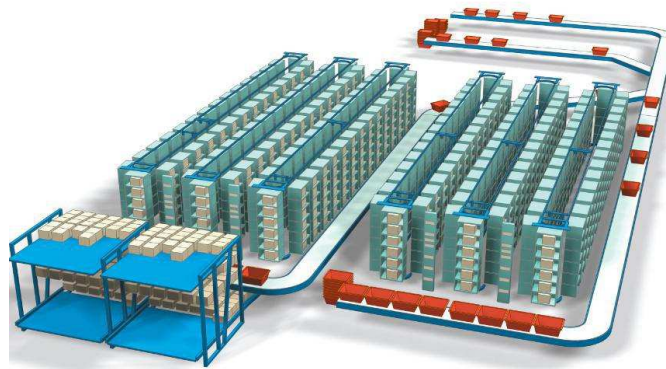
**Figura 34 – Mini carga AS/RS**



Fonte: <http://www.isddd.com>

- c) Carrossel AS/RS podem ser usadas para ambas as finalidades e aproveita melhor o espaço disponível no chão-de-fábrica.

**Figura 35 – Carrossel AS / RS**



Fonte: <HTTP://sencorpwhite.com>

### **2.2.7 Inspeção de Materiais**

Instrumentos de medição informam ao controle de processo características de comprimento, altura, largura, diâmetros interno e externo, planicidade, circularidade, ângulos etc. de peças em processamento e acabadas. O problema dessas técnicas de medição é que cada característica medida pode exigir instrumentos individuais de inspeção, além de configurações individuais, permitindo maior erro humano e exigindo diversidade de equipamentos. Uma medição coordenada por máquina (*Coordinate Measuring Machine* -

CMM) pode jogar um papel importante na medição de precisão, porque alguns poucos componentes básicos combinados podem fornecer alternativa mais rápida e mais precisa do que os métodos convencionais de medição de peças complexas. CMMs são classificados como vertical ou horizontal; os verticais são referidos como modelos de ponte, enquanto os horizontais são referidos como modelos de cantilever. Ambos variam em tamanho, desde modelos de mesa, pequenos, até montados no chão, maiores. CMMs são compatíveis com vários periféricos de computador e oferecem uma variedade de pacotes de *software*, permitindo integração entre sistemas (SHIVANAND et al., 2006).

Segundo Lima (2006), CMMs podem capturar informação sobre a superfície de uma peça segundo duas modalidades de apalpação diferentes. Na modalidade ponto a ponto, o apalpador se aproxima da superfície da peça em direção à superfície ou coincidir com um dos eixos coordenados da máquina, dependendo do modelo da MMC e do software de medição. As coordenadas do ponto central do sensor esférico são adquiridas, e, posteriormente, o apalpador se separa da peça, deslocando-se em busca do ponto seguinte. As coordenadas do ponto de contato sensor-peça são obtidas por correção do raio do sensor esférico, a partir das coordenadas adquiridas do centro. Na modalidade por varredura ou *scanning*, o sensor permanece em contato com a superfície da peça e se desloca em uma direção pré-determinada. Durante a trajetória, as coordenadas do centro do sensor são adquiridas sequencialmente. Após, as coordenadas dos pontos de contato sensor-peça são obtidas por correção do raio do sensor na direção espacial apropriada.

A Figura 36 apresenta exemplos de CMMs.

**Figura 36 – Diversas máquinas de medição por coordenadas cartesianas**



Fonte: Lima (2006).

Outra forma de medição por contato apresentado por Lima (2006) são os braços articulados de medição (BAMs), que usam uma série de articulações compondo 5, 6 ou 7

graus de liberdade e medidores angulares de precisão (*encoders*) para determinar a posição de um apalpador no espaço tridimensional. O posicionamento do apalpador na superfície da peça é feito manualmente, e o volume de medição é esférico. Os BAMs possuem uma imprecisão maior, quando comparados aos CMMs, devido ao grande número de articulações necessárias para a tarefa.

A Figura 37 apresenta exemplos de BAMs.

**Figura 37 – Braços articulados para medição**



Fonte: Lima (2006).

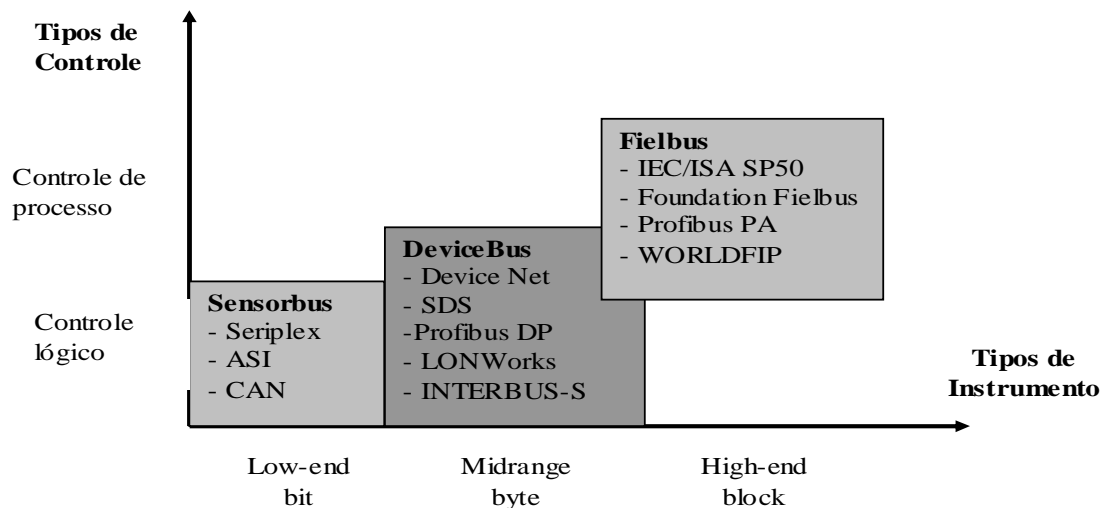
Lima (2006) também descreveu medições realizadas sem contato com o material. O sistema de medição fotogramétrico é uma das técnicas óticas de medição ponto a ponto que vem sendo observada no meio industrial. Essa técnica pode ser definida como sendo a ciência e a arte de determinar o tamanho e a forma de objetos através análise de duas ou mais imagens bidimensionais gravadas em uma película ou em meios eletrônicos. A fotografia é um processo de projeção do mundo tridimensional (3D) em imagens planas (2D). A câmera é o dispositivo que faz essa transformação ou mapeamento de posições 3D em espaços 2D. Obviamente, não é possível mapear completamente uma peça tridimensional a partir de uma imagem bidimensional, pois sempre se perde algum tipo de informação.

## 2.2.8 Controle de Máquinas e Comunicação FMS

As redes industriais surgiram para dar mais flexibilidade ao processo de controle industrial, permitindo expansões e tornando-o mais acessível, se comparado ao sistema centralizado de Comandos Lógicos Programáveis (CLP) (LUGLI e SANTOS, 2012). Lugli e Santos (2012) apontam quatro padrões diferentes de redes industriais no mercado: (i) Actuador Sensor-Interface (AS-I); (ii) DeviceNet; (iii) PROFIBUS; e (iv) Ethernet.

Nogueira (2009) classifica os tipos de rede quanto às suas particularidades e características específicas para controle industrial, conforme a Figura 38: *Sensorbus*, *Devicebus*, e *Fieldbus*.

**Figura 38 – Redes de comunicação industrial**



Fonte: Nogueira (2010).

A rede *Sensorbus* liga equipamentos simples e pequenos diretamente à rede. Os equipamentos desse tipo de rede requerem comunicação rápida em níveis discretos e são tipicamente sensores e atuadores de baixo custo. Essas redes não almejam cobrir grandes distâncias e sua principal preocupação é reduzir custos de conexão (DOMINIAK, 2012).

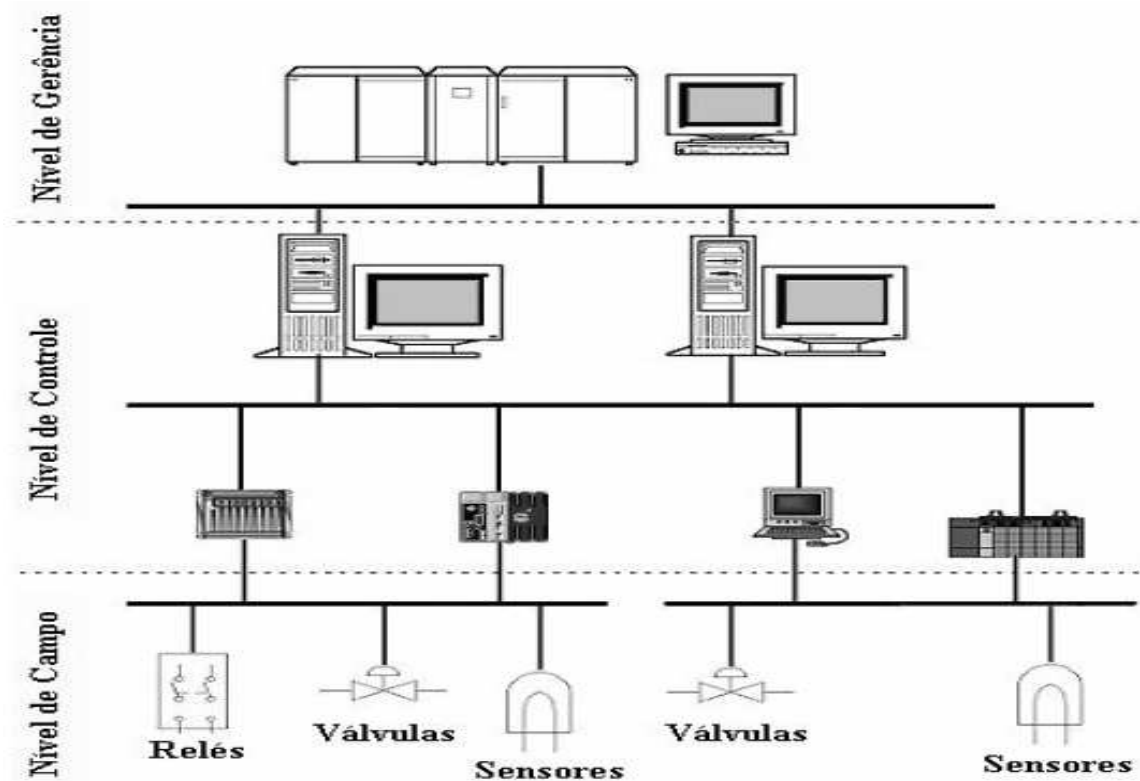
A rede *Devicebus* compreende o ambiente entre redes *Sensorbus* e *Fieldbus* e pode abranger distâncias mais longas. Os equipamentos ligados a essa rede podem ter pontos discretos, lidar com dados analógicos ou uma mistura de ambos. Algumas dessas redes também permitem a transferência de blocos com uma menor prioridade, comparados aos dados no formato de *bytes*. Essa rede tem os mesmos requisitos de transferência rápida de dados da rede *Sensorbus*, porém consegue gerenciar mais equipamentos e dados simultaneamente. Alguns exemplos de redes desse tipo são *DeviceNet*, *Profibus DP*, *LONWorks*, *Interbus-S*, *ModbusPlus* (DOMINIAK, 2012).

A rede *Fieldbus* interliga os equipamentos de *Input/Output (I/O)* mais inteligentes e pode cobrir maiores distâncias. Os equipamentos conectados à rede possuem inteligência para exercer funções especiais de controle, tais como *loops* PID e controle de fluxo de informações e processos. Os tempos de transferência podem ser longos, mas a rede deve ser

capaz de comunicar-se por vários tipos de dados (discreto, analógico, parâmetros, programas e informações do usuário). Exemplos de redes *Fieldbus* incluem *Fieldbus Foundation*, *Profibus PA* e *HART* (DOMINIÁK, 2012).

Nogueira (2009) também classifica redes industriais segundo o nível gerencial em que atuam (Figura 39): nível de gerência, nível de controle, e nível de campo.

**Figura 39 – Redes de comunicação industrial**



Fonte: Nogueira (2009).

No nível de campo, os sinais de processo são capturados e enviados ao nível de controle, no qual são processados, e decisões de controle, proteção e intertravamento são tomadas. Por fim, no nível de gerência, dados são acumulados e transformados em informações que subsidiam a estratégia da operação (NOGUEIRA, 2009).

Dominiak (2012) descreve as formas de transmissão por rede adaptáveis à manufatura. Os cabos metálicos são os mais difundidos e baratos meios de transmissão, sendo o cabo coaxial e o par trançado os mais utilizados. O par trançado é formado por dois cabos isolados e trançados um ao redor do outro, com a finalidade de aumentar a rejeição a

ruídos e interferências eletromagnéticas, e podem ser com e sem capa metálica protetora (*shielded*). A fibra óptica consiste em um núcleo de fibra de vidro no centro, envolvido por camadas de material isolante, aumentando, assim, sua robustez. A fibra transmite informações em forma de sinais luminosos, imunes a interferências eletromagnéticas, que podem atingir maiores distâncias, mas têm custo de instalação superior, se comparado aos cabos coaxiais e par trançado.

A comunicação por radiofrequência é específica para distâncias muito longas, de vários quilômetros, ou para aplicações móveis. Nas redes sem fio (*wireless networks*), as informações são transmitidas através do ar em canais de alta frequência de rádio, normalmente 915 MHz, 2,4 GHz, 5,8 GHz. As redes sem fio são de fácil instalação, mas possuem desvantagens, tais como velocidade de transmissão mais baixa, reflexão de ondas eletromagnéticas, interferências provocadas por fontes de sinais, além de maior vulnerabilidade de segurança nas informações.

### 2.2.9 CIM

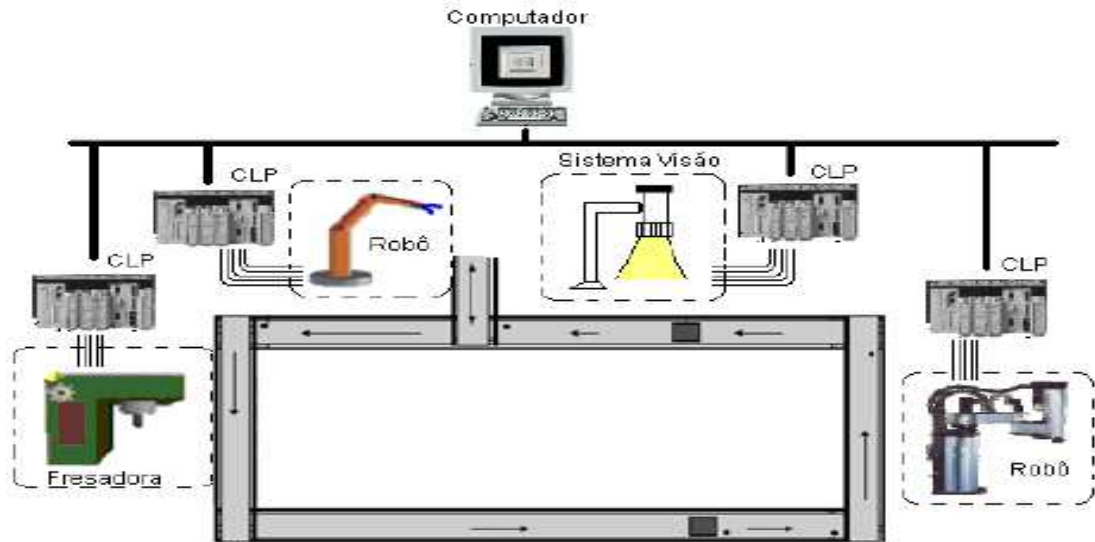
A Manufatura Integrada por Computador (*Computer Integrated Manufacturing - CIM*) é definida como a integração de todas as atividades envolvidas na manufatura. Tal integração ocorre através de rede de comunicação e de *software* gerenciador. A CIM é responsável pela administração da execução, da supervisão e do controle das atividades nos diversos setores da empresa, tornando possível o interfaceamento desses setores para que possam operar integrados (BELOTTI JR., 2010).

O conceito de CIM é um conceito de amplo espectro e visa, entre outras funcionalidades, à integração entre todas as etapas do processo produtivo: vendas, suprimentos, projeto e desenvolvimento, produção, expedição e pós-vendas. O CIM consiste na integração de atividades por meio da utilização das tecnologias da informação, como banco de dados, redes etc, que permitem a troca e o compartilhamento de dados entre as unidades da empresa e suas aplicações.

Os pacotes de *softwares* que normalmente fazem parte da estrutura de um CIM são: CAD – *Computer Aided Design*, CAE – *Computer Aided Engineering*, CAM – *Computer Aided Manufacturing* e CAPP – *Computer Aided Process*. Projetos executados em CAD são testados no CAE, geram códigos CAM para a execução nas máquinas CNC, cuja produção é organizada no CAPP (PEIXOTO, 2012).

A Figura 40 ilustra um sistema de manufatura integrada por computador.

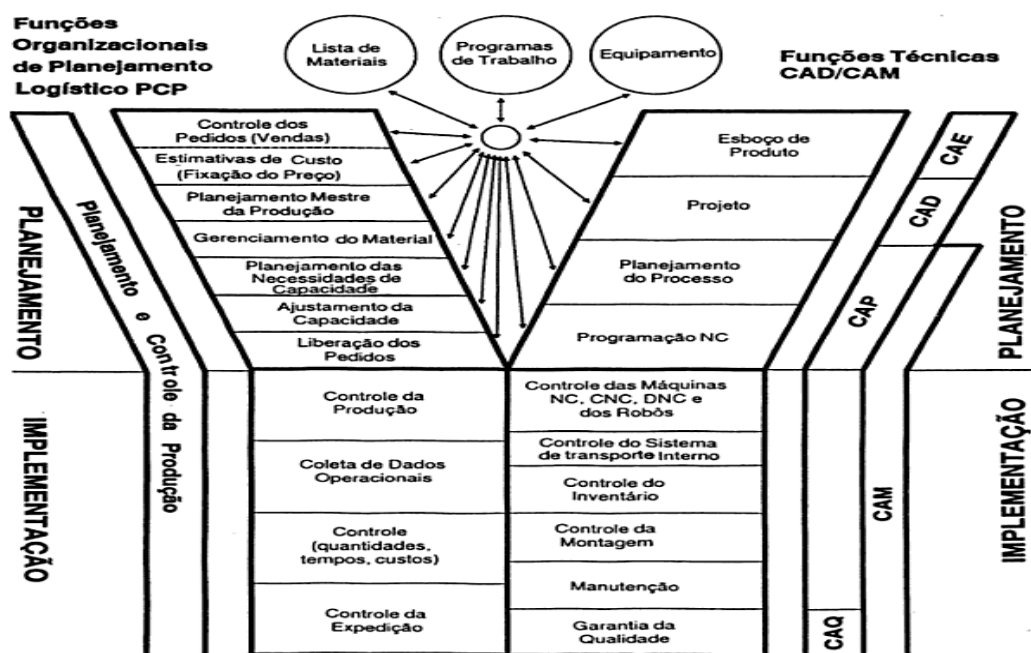
**Figura 40 – Sistema de Manufatura Integrada por Computador – CIM**



Fonte: Peixoto, 2012.

Na figura, CAD, CAE, e CAPP rodam em sistema centralizado, gerando o código CAM para os controladores individuais das máquinas, que realimentam o desempenho para o CAPP (PEIXOTO, 2012). Outra maneira de entender a organização do CIM é a expressa pelo modelo Y (SCHEER, 1993), apresentada na Figura 41. Na figura, o lado esquerdo do “Y” mostra as atividades de planejamento, e o lado direito mostra as atividades técnicas que devem ser integradas por computador.

**Figura 41 – Modelo Y desenvolvido por Scheer, 1993**



Fonte: Scheer, 1993.



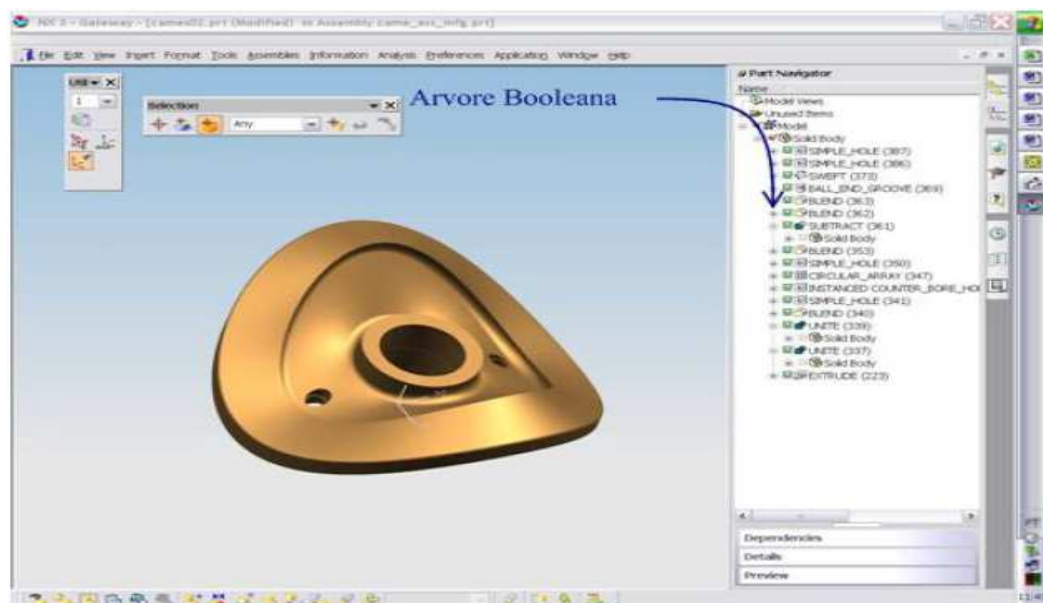
### 2.2.9.1 CAD

O CAD é um sistema gráfico computacional interativo utilizado para executar variadas funções, tais como: modelagem geométrica, descrição matemática da geometria do projeto e preparação rápida de desenhos de alta precisão. A principal utilização do CAD é a integração com os sistemas CAE e CAM. O modelo construído no CAD é transmitido para o CAM, no qual é simulada e programada a usinagem na máquina CNC (BELOTTI JR., 2010).

O CAM desenvolve atividades de geração e transmissão de códigos de máquina, e de controle e execução dos programas de comando numéricos aplicados às máquinas-ferramentas e robôs, sistemas de manipulação de materiais (em tempo real) ou apoio (*off-line*) a operações de manufatura, tais como planejamento de processo auxiliado por computador (CAPP), inspeção assistida por computador (CAI), teste auxiliado por computador (CAT) etc (LEITE, 2011).

O CAD tem capacidade de representar figuras em planos 2 e 3D. Embora o plano 2D necessite menos espaço de memória, podendo dar respostas mais rápidas aos projetistas, é o plano 3D que permite que superfícies mais complexas sejam mais profundamente exploradas. Em CAD, algoritmos têm sido desenvolvidos para algumas aplicações específicas, tais como obtenção de massa e peso de componentes, centro de gravidade, momento de inércia, análises com o método dos elementos finitos, compilação de tecnologia de grupo e planejamento de processos (SILVA, 2006). A Figura 42 ilustra um exemplo de sólido desenvolvido por CAD.

**Figura 42 – Representação de um sólido desenvolvido por CAD**



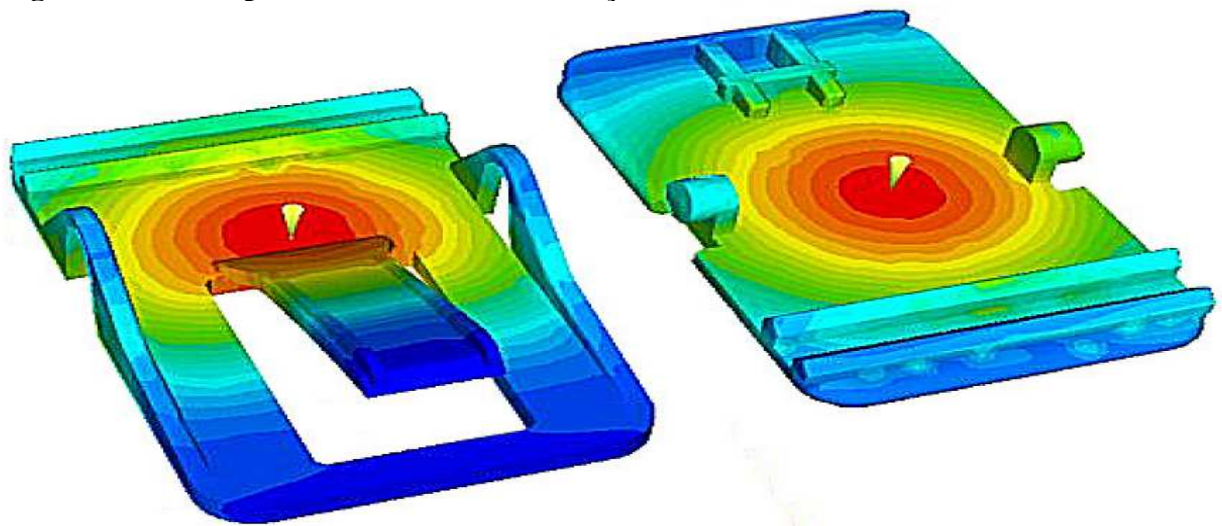
Fonte: Silva (2006).

### 2.2.9.2 CAE

O CAE é um sistema computacional para auxílio de engenharia no desenvolvimento de produto, no qual, dado um modelo fornecido pelo CAD, são executadas simulações de ensaios para avaliação de propriedades e do comportamento dos materiais, quando submetidos à variação de fatores de *stress* externos, tais como temperatura e força. O CAE é fundamental para a redução de tempo e de custos de projeto, elevando substancialmente a qualidade do produto final. O CAE pode ser utilizado para simular o comportamento de determinada peça em situações reais de uso. No caso de uma peça mecânica, por exemplo, podem ser calculadas tensões mecânicas, deslocamentos, distribuição de temperatura, fluxo de calor da peça, dentre outros. Há ainda sistemas CAE que simulam funcionamento de um circuito eletrônico, reconhecendo o sinal de entrada, determinando o sinal de resposta gerado pelo circuito (BELOTTI JR., 2010).

A Figura 43 apresenta o resultado da aplicação do CAE para visualizar os pontos de tensões representados de formas diferenciadas por cores, o que permite avaliar protótipos de forma eficaz, reduzindo custos de desenvolvimento de produtos (VERONESE JR., 2010).

**Figura 43 – Exemplo do resultado de simulação do CAE**



Fonte: Veronese Jr. (2010).

### 2.2.9.3 CAM

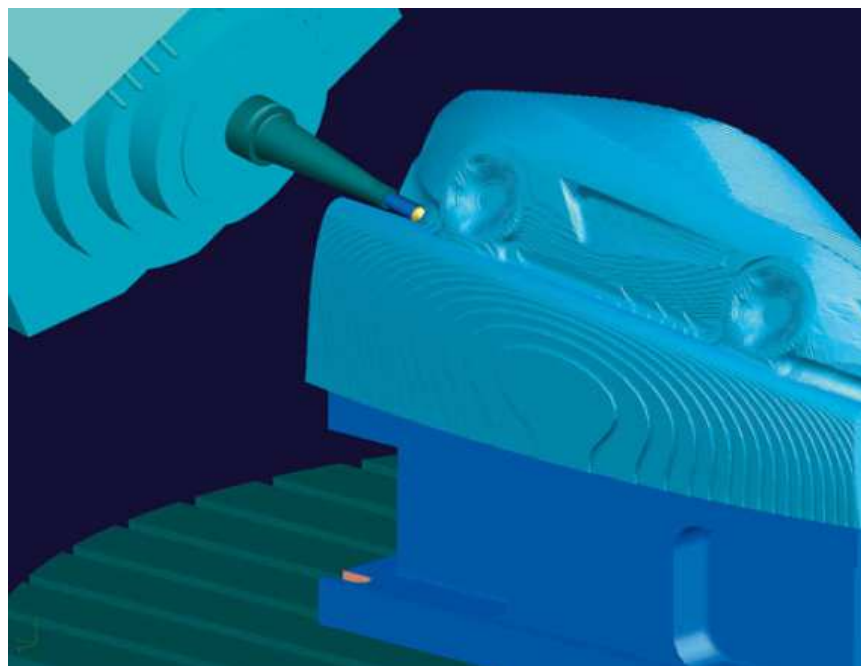
O CAM é a ferramenta computacional utilizada para planejamento, gerenciamento e controle dos processos de manufatura, sendo sua principal função realizar programações CNC, determinando tipos e trajetória de ferramenta, e otimizando a programação da

usinagem, para serem transmitidas às máquinas CNC. O banco de dados do CAM permite que um grande número de modelos seja armazenado, reduzindo tempos de *set-up* e aumentando a produtividade (BELOTTI JR., 2010). A integração das técnicas CAD e CAM é denominada de tecnologia CAD/CAM. Essa técnica pode projetar um componente qualquer na tela do computador e transmitir a informação por meio de interfaces de comunicação entre o computador e um sistema de fabricação, de modo que o componente pode ser produzido automaticamente numa máquina CNC (CASTRO FILHO, 2010).

Belotti Jr. (2010) descreve aplicações típicas para CAM: (i) Máquinas de Controle Numérico: são máquinas controladas por dados numéricos, possibilitando o fabrico de peças complexas em lotes pequenos; (ii) Robôs: equipamentos que podem manipular, transportar, verificar a qualidade ou até mesmo assumir o processo de produção em funções em que o grau de insalubridade se torna alto, tais como soldagem, fundição, ou pintura; (iii) Gerenciamento de Sistemas Flexíveis de Produção: combinam vários sistemas informatizados, orientando a diversificação da produção junto à manutenção da produtividade.

A Figura 44 apresenta um exemplo em tela da simulação em CAM de uma trajetória de ferramenta para execução de uma peça (SILVA, 2006).

**Figura 44 – Exemplo de simulação do CAM para desenvolvimento de uma rotina de trabalho**



Fonte: Silva (2006).

#### 2.2.9.4 CAPP

O sistema CAPP é uma ferramenta computacional que gera planos de processo de manufatura e orienta a execução de diversas operações sequenciais de cada tarefa de produção. Permite definir os tempos envolvidos em cada operação, determinar as máquinas ou células que são capazes de executar certo conjunto de operações e sua sequência, e definir as ferramentas necessárias durante o processo de manufatura (BELOTTI JR, 2010).

Sistemas CAPP podem ser definidos como a aplicação de computadores para assistir o processista no planejamento do processo. O CAPP tem por objetivo reduzir tempo e esforço necessários para preparar planos de processo mais consistentes. Outro objetivo do CAPP é fornecer a interface entre o CAD e o CAM, visando à integração da manufatura (BENAVENTE, 2007). Belotti Jr. (2010) descreve aplicações típicas do CAPP: (i) determinar os dados necessários para a descrição do processo; (ii) elaborar uma lista dos processos que é capaz de realizar à empresa; (iii) determinar a sequência e as operações que seguirão o produto; (iv) distribuir o trabalho para as máquinas, tendo como meta melhor aproveitamento e equilíbrio dos recursos; (v) selecionar as opções de processamento; (vi) determinar o nível operacional, o modo de preparação do recurso e qual a maneira a ser utilizada; (vii) registrar os tempos de fabricação, detalhando em fórmulas e tabelas; (viii) calcular as possíveis sobras de materiais; (ix) ilustrar as operações de preparação e dos estágios executados de cada etapa; e (x) programar máquinas para a execução pré-estabelecida do processo.

### 2.3 VIABILIDADE EM FMS: MULTICRITERIALIDADE

Hayes et al. (2008) afirmam que um dos principais motivadores para que empresas façam investimentos é a demanda crescente de mercado e a necessidade de flexibilizar operações. Outra motivação é a oportunidade de acrescentar, trocar ou atualizar uma instalação, equipamento ou sistema que incorpore uma tecnologia nova ou melhorada. Hayes et al. (2008) apontam que geralmente são seguidas oito etapas na formulação, seleção e monitoramento de propostas de investimento: (i) avaliar a estrutura e a infraestrutura de produção existente; (ii) prever a capacidade de produção e suas necessidades competitivas; (iii) definir as alternativas para atender às prováveis necessidades; (iv) realizar análises financeiras de cada alternativa; (v) avaliar questões-chave qualitativas para cada alternativa;

(vi) selecionar e defender uma alternativa; (vii) implantar a alternativa escolhida; e (viii) avaliar os resultados.

Segundo Wabalickis (1988), justificativas apenas econômicas de investimento em FMS mascaram muitos dos benefícios que a tecnologia pode oferecer. O autor defende justificativas nos âmbitos tático e estratégico, destacando benefícios intangíveis que são observados quando da adoção de FMS. Os benefícios táticos do FMS incluem melhoria no ambiente de trabalho, menores tempos de *set-up* e capacidade de integrar operações (KAKATI e DHAR, 1991). Os benefícios estratégicos incluem entrada precoce em novos mercados, manutenção de liderança em mercados maduros, inovação, entrega mais rápida, maior flexibilidade, e mais qualidade (KARSAK e KUZGUNKAYA, 2002). A maioria destes benefícios é intangível e não são facilmente estimáveis em termos de fluxo de caixa, como requerido por métodos econômicos. Assim, métodos de análise puramente econômica, tais como cálculos de períodos de retorno e taxa interna de retorno (TIR) não conseguiriam justificar a adoção de FMS, uma vez que desconsideram benefícios táticos e estratégicos, como os citados. Para mitigar esta dificuldade, Karsak e Kuzgunkaya (2002) utilizaram a teoria dos conjuntos *fuzzy* para incorporar a natureza vaga de retornos de investimentos futuros à incerteza do ambiente de produção.

FMS têm sido considerados como capazes de gerar vantagem estratégica em manufatura. No entanto, sua implementação é cara e de difícil reversibilidade e a decisão inclui critérios qualitativos e quantitativos e envolvem fatores sociais e econômicos (MYINT e TABUCANON, 1994). A incapacidade de procedimentos tradicionais de avaliação para refletir a totalidade de benefícios que FMS podem trazer é a principal razão para que se busquem outros métodos (KAKATI e DHAR, 1991). A decisão deve ser feita em duas etapas: a triagem, que define as configurações possíveis; e a escolha, que as julga segundo seu desempenho em múltiplos critérios, não apenas quantitativos e econômicos, mas também qualitativos e intangíveis, e estratégicos (MYINT e TABUCANON, 1994). Em suma, são necessários métodos que considerem múltiplos critérios, de várias naturezas, na decisão, ou seja, métodos multicriteriais de apoio à decisão.

Uma decisão é uma reação diante de um problema com mais de uma alternativa de solução. Geralmente, por trás do objetivo principal, surgem objetivos intermediários conflitantes segundo alguns dos critérios: a ação escolhida para solucionar o problema, ao garantir um objetivo maior, abre mão de um objetivo menor (GOMES e GOMES, 2012).

Decisões multicriteriais surgem abundantemente no gerenciamento industrial. O processo de tomada de decisões é complexo e geralmente com objetivos conflitantes entre os

decisores, com múltiplas alternativas; deve ser feito em grupo, envolve alto risco e apresenta incerteza quanto às consequências das alternativas (GHASEMZADEH e ARCHER, 2000). Modelos matemáticos multicriteriais podem ajudar no processo de seleção e priorização de alternativas (LOCH et al., 2001), como a seleção e priorização de projetos, cujo portfolio de propostas e recursos de execução são limitados (LIESIO et al., 2007). A alocação de recursos limitados a um conjunto de prioridades é outro processo que requer decisão multicriterial (BRANDEAU et al., 2003). Nestes processos, o tomador de decisão deve distribuir uma quantidade limitada de recursos entre um conjunto de projetos concorrentes, que usam de modo diverso os recursos limitados e prometem resultados diferentes, segundo múltiplos critérios de avaliação (MEDAGLIA et al., 2007).

A escolha e a quantidade de critérios são fundamentais para a qualidade da decisão. Poucos critérios podem levar à ausência de aspectos importantes; muitos critérios podem desviar a atenção dos pontos importantes e desperdiçar tempo e energia na discussão. Uma forma de racionalizar o número de critérios é descartar aqueles indiferentes às alternativas. Outra característica que merece atenção em decisão multicriterial é a independência entre critérios. Pode-se dizer que, quando variações em um critério não afetam outro, eles são independentes. Na prática, é difícil estabelecer a relação de dependência ou independência entre critérios: normalmente, uma avaliação de independência só se justifica se houver a convicção de que sua falta possa afetar significativamente o resultado. Em suma, visto que cuidados são tomados na escolha dos critérios, métodos de avaliação multicriteriais podem ser úteis no processo de tomada de decisão, pois consideram a influência tanto de aspectos objetivos como de subjetivos (WERNKE, 2001).

Rossoni (2011) cita alguns dos métodos multicriteriais mais encontrados na literatura: (i) MAUT – Multiattribute Utility Theory; (ii) SMART – *Simple Multi-Attribute Rating Technique*; (iii) TODIM – Tomada de Decisão Interativa Multicritério; (iv) AHP – Método de Análise Hierárquica; (v) ELECTRE – *Elimination and Choice Translating Reality*; (vi) PROMÉTHEÉ – *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*; (vii) TOPSIS – *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*; (viii) MACBETH – *Measuring Attractiveness by a Categorical based Evaluation Technique*; e (ix) SAW – *Simple Additive Weighting*. Gomes et al. (2004) classificam os métodos segundo duas escolas, americana e europeia. Na primeira, considera-se que as alternativas de um problema devem ser claras e objetivas o suficiente para haja comparabilidade total e para que valha o princípio da transitividade (se **A** é melhor que **B**, e **B** é melhor que **C**, então **A** é melhor que **C**). Na segunda, admite-se a solução de melhor compromisso, não necessariamente a mais

racional, como objetivada pela escola americana. Para tanto, a escola europeia admite que soluções podem não ser comparáveis ou objetivamente separáveis, admitindo-se avaliações ambíguas (**A** é melhor ou igual a **B**), chamadas de comparabilidade parcial e que inviabilizam a transitividade (ZUFFO et al., 2002).

Técnicas de análise de decisão multicritério apresentam algumas limitações (TROXLER e BLANK, 1989):

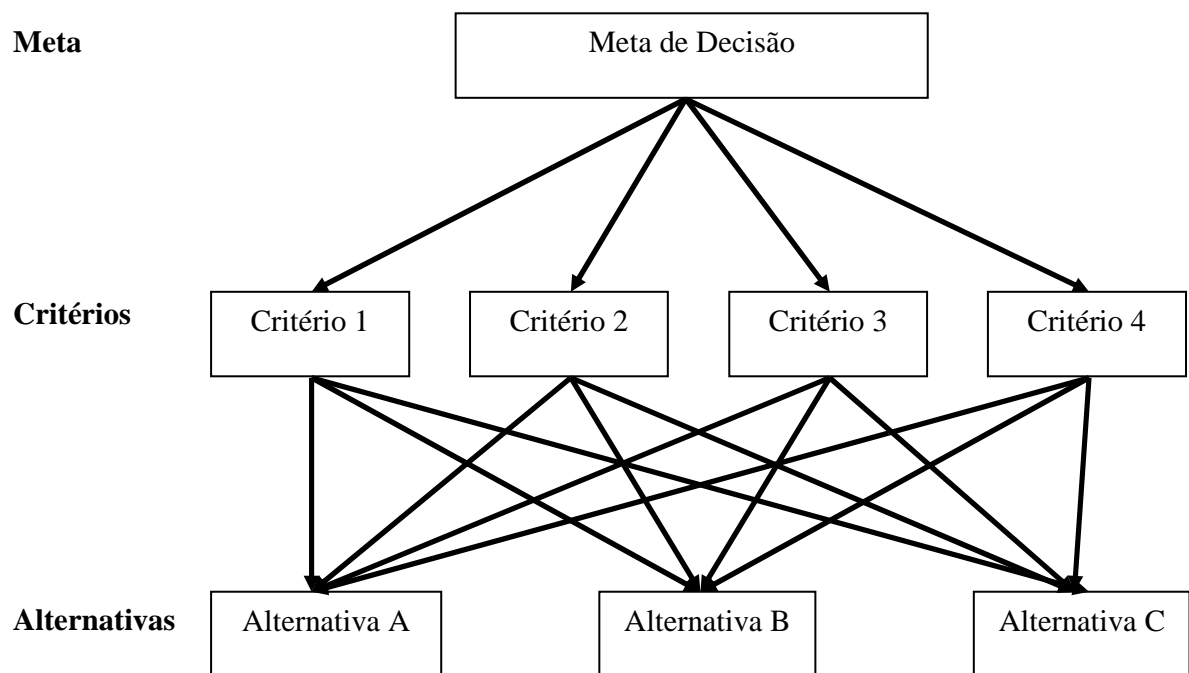
- (i) juízos de valor humano podem basear-se em considerações complexas que modelos matemáticos nem sempre conseguem captar;
- (ii) pessoas podem ter raciocínios ambíguos e limitados, logo os modelos podem ser imprecisos;
- (iii) mesmo que preferências possam ser representadas por modelos matemáticos, eles serão demasiadamente simplistas para refletir todas as formas como indivíduos combinam critérios e chegam a resultados;
- (iv) o resultado de um problema é específico, não podendo ser generalizado, nem mesmo a casos semelhantes; e
- (v) as preferências de um decisor refletem como ele (ou ela) entende o problema, não como o problema é.

Para esta dissertação, interessa a escola americana, pela sua objetividade. Dentro desta escola, interessa o AHP (*Analytic Hierarchy Process* – Processo de Análise Hierárquica), que foi o método mais encontrado na literatura nacional por Rodriguez et al. (2013) para análise e modelagem de problemas de manufatura. O AHP é um procedimento sistemático para representar e modelar os elementos de um problema de decisão multicritério. O AHP organiza e racionaliza o problema, dividindo-o em suas partes constituintes. Por meio de comparação em pares entre os critérios, calcula desempenhos para cada solução alternativa, permitindo priorização de solução e escolha final para o problema (SAATY, 1983).

Saaty (1983) afirma que o AHP fornece um quadro abrangente que pode lidar com fatores intuitivos e racionais, intangíveis e quantificáveis, ao mesmo tempo, integrando as diferentes percepções de decisores para obter uma síntese global sobre o problema. O AHP não exige que os julgamentos sejam totalmente consistentes ou transitivos. O grau de consistência dos julgamentos pode ser avaliado pela razão de consistência (*CR*).

O AHP organiza um problema complexo segundo uma estrutura hierárquica que mostre as relações entre os objetivos, os critérios de decisão e as alternativas de solução que compõem o processo de decisão, como na Figura 45.

**Figura 45 – Estrutura hierárquica genérica de problemas de decisão**



Fonte: Granemann e Gartner (1998).

Rossoni (2011) aponta quatro premissas do AHP: (i) comparação recíproca – o tomador de decisão deve ser capaz de fazer comparações e declarar a força de suas preferências. A intensidade das preferências deve satisfazer a condição recíproca: se **A** é  $x$  vezes mais preferido que **B**, **B** tem  $1/x$  da preferência de **A**; (ii) homogeneidade – as preferências são representadas por uma escala definida; (iii) independência – quando se expressam preferências, critérios para avaliação da melhor solução são assumidos, independente das alternativas; e (iv) expectativa/perspectiva – para os propósitos de tomada de decisão, a estrutura hierárquica é considerada completa.

Saaty (1983) aponta os passos para aplicação do AHP: (i) definir o problema e determinar o que se quer saber; (ii) estruturar a hierarquia, classificando, no topo, o principal objetivo e, no menor nível, as alternativas; (iii) construir a matriz de comparação de pares e realizar as  $(n-1)/2$  comparações; (iv) calcular o autovetor de máximo autovalor, que representa o vetor de prioridades dos critérios (médias dos julgamentos normalizados para



cada critério); e (vi) calcular o máximo autovalor  $\lambda_{\max}$  e a  $CR$  e eventualmente refazer julgamentos com elevado grau de inconsistência.

Para a comparação, Saaty (1983) desenvolveu a escala fundamental da Tabela 3.

**Tabela 3 – Escala fundamental de Saaty**

Grandeza	Valor Subjetivo	Descrição
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância pequena de uma para a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre as duas definições

Fonte: Saaty (1983).

A razão de consistência  $CR$  avalia a consistência do julgamento ( $CR > 0,1$  implica julgamento inconsistente). A  $CR$  é a probabilidade de que a estrutura de preferências que resultou do julgamento tenha sido criada por acaso, e não de um processo racional de escolha por decisores qualificados. A  $CR$  é calculada pela equação 1.

$$CR = [\lambda_{\max} - n] / [IR \cdot (n-1)] \quad (\text{equação 1})$$

Na qual: (i)  $n$  é o número de critérios; (ii)  $\lambda_{\max} \leq n$  é o maior autovalor; e (iii)  $IR$  é um índice randômico médio, obtido por simulação (DIAS et al., 2011).

Os proponentes do AHP sugerem que se aceite um julgamento ou processo de escolha se  $CR < 0,10$  (SAATY, 1991). Vargas (1982) demonstrou que valores abaixo de 0,1 são aceitáveis e apontam para graus de inconsistência inerentes a processos de decisão

racionalmente conduzidos. Caso este valor não seja alcançado, os proponentes recomendam que se identifiquem e que se reformulem os julgamentos inconsistentes. No entanto, deve-se atentar para um detalhe: sempre se pode esperar alguma inconsistência em modelos de preferências (HOGART, 1988), o que é apreendido por valores de  $CR > 0$ .

Vilas Boas (2005) sintetizou aspectos positivos e negativos do método (Quadro 3).

**Quadro 3 – Aspectos positivos e negativos do AHP**

Aspectos Positivos	Aspectos Negativos
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Clareza e simplicidade.</li> <li>- Facilidade de uso.</li> <li>- Permite interação entre analista e decisor.</li> <li>- Habilidade de manusear com julgamentos inconsistentes.</li> <li>- A representação hierárquica de um sistema pode ser usada para descrever como as mudanças em prioridades nos níveis mais altos afetam a prioridade dos níveis mais baixos.</li> <li>- Permite que todos os envolvidos no processo decisório entendam o problema da mesma forma.</li> <li>- O desenvolvimento dos sistemas estruturados hierarquicamente é preferível àqueles montados de forma geral.</li> <li>- Pequenas modificações em uma hierarquia bem estruturada têm efeitos pouco significativos.</li> <li>- Capacidade em lidar com problemas que envolvam variáveis tanto quantitativas como qualitativas; a forma de agregação dessas variáveis exige que o tomador de decisão participe ativamente no processo de estruturação e avaliação do problema, o que contribui para tornar os resultados propostos pelo modelo mais exequíveis.</li> <li>- Estruturando hierarquicamente um problema, os usuários são capazes de ordenar e comparar um uma lista menor de itens dentro de seus próprios contextos.</li> <li>- Sintetiza os resultados dentro de uma lista ordenada que permita a comparação de prioridades e importância relativa de cada fator.</li> <li>- É capaz de prover pesos numéricos para opções onde julgamentos subjetivos de alternativas quantitativas ou qualitativas constituem uma parte importante do processo de decisão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Subjetividade na formulação da matriz de preferência.</li> <li>- Deve ser procedida uma análise acurada para identificar e caracterizar as propriedades dos níveis da hierarquia que afetam o desempenho do objetivo mais alto.</li> <li>- É importante que haja consenso na priorização dos níveis mais altos da hierarquia.</li> <li>- Os critérios representados devem ser independentes ou, pelo menos, suficientemente diferentes, em cada nível.</li> <li>- Em qualquer processo de interação de grupo não deve haver idealismo demais nem forte predisposição para liderança entre os envolvidos.</li> <li>- Requer procedimento para estruturar o questionário de perguntas e preferências.</li> <li>- O trabalho computacional é sensivelmente maior quando se eleva o número de alternativas.</li> <li>- Pesos para os critérios são obtidos antes que as escalas de medida tenham sido ajustadas.</li> <li>- A introdução de novas opções pode mudar a posição relativa de algumas das opções originais.</li> <li>- O método não integra a chamada “condição fundamental de medida” ou não garante automaticamente sua satisfação;</li> <li>- O número de comparações pode ser alto.</li> <li>- Alternativas incomparáveis não são permitidas.</li> <li>- Por não existir nenhuma base teórica para a formação das hierarquias, os tomadores de decisão, quando se deparam com situações idênticas de decisão, podem derivar hierarquias diferentes, obtendo então diferentes soluções.</li> <li>- Existem falhas nos métodos para agregar os pesos individuais dentro dos pesos compostos.</li> <li>- Falta fundamento de teoria estatística.</li> </ul>

Fonte: Vilas Boas (2005).

Ilustra-se e explica-se o AHP com um exemplo extraído de Gomedes e Barros (2012), que priorizaram serviços de TI segundo três critérios. A aplicação é apresentada nas Tabelas 4 (comparação entre os critérios), 5 (normalização dos resultados) e 6 (cálculo do autovetor de máximo autovalor, que representa o vetor de prioridades dos critérios).

**Tabela 4 - Exemplo de matriz comparativa entre critérios**

	<b>Critério 1</b>	<b>Critério 2</b>	<b>Critério 3</b>
<b>Critério 1</b>	1	1/5	3
<b>Critério 2</b>	5	1	9
<b>Critério 3</b>	1/3	1/9	1
<b>Total</b>	6 1/3	1 14/45	13

Fonte: Gomedede e Barros (2012).

**Tabela 5 - Matriz comparativa normalizada**

	<b>Critério 1</b>	<b>Critério 2</b>	<b>Critério 3</b>
<b>Critério 1</b>	1 / 6,33 = 0,157	1/5 / 1,31 = 0,152	3 / 13 = 0,230
<b>Critério 2</b>	5 / 6,33 = 0,789	1 / 1,31 = 0,763	9 / 13 = 0,692
<b>Critério 3</b>	1/3 / 6,33 = 0,052	1/9 / 1,31 = 0,084	1 / 13 = 0,076

Fonte: Gomedede e Barros (2012).

**Tabela 6 - Cálculo do autovetor de máximo autovalor (prioridades dos critérios)**

	<b>Calculo do autovetor</b>	<b>Prioridades</b>
<b>Critério 1</b>	$(0,157+0,152+0,230) / 3 = 0,179$	17,90%
<b>Critério 2</b>	$(0,789+0,763+0,692) / 3 = 0,748$	74,80%
<b>Critério 3</b>	$(0,052+0,084+0,076) / 3 = 0,070$	7,00%

Fonte: Gomedede e Barros (2012).

Gomedede e Barros (2012) aplicaram a equação 3 e chegaram ao máximo autovalor  $\lambda_{\max}$  da equação 4.

$$\lambda_{\max} = \Sigma (\text{Prioridade } i \times \text{Total } i) \quad (\text{equação 3})$$

$$\lambda_{\max} = [(0,179 \times 6,33) + (0,748 \times 1,31) + (0,070 \times 13,00)] = 3,02 \quad (\text{equação 4})$$

Para o cálculo da *CR*, os autores usaram a Tabela 7, proposta por Saaty (1991).

**Tabela 7- Valores de IR para matrizes de diferentes tamanhos**

<b>Dimensão da matriz (n)</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Valor de RI</b>	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1991).

A *CR* foi calculada aplicando a equação 1, resultando a equação 5. Como  $CR < 0,1$ , o julgamento pode ser aceito.

$$CR = [3,02 - 3] / [0,58.(3-1)] = 0,0172 \quad (\text{equação 5})$$

## 2.4 DIMENSÕES ESTRATÉGICAS EM MANUFATURA

A manufatura pode ter papel estratégico na competição em uma indústria. Pode acontecer que decisões de rotina da manufatura limitem ou ampliem as opções estratégicas de uma empresa, principalmente aquelas ligadas a instalações, equipamentos, pessoal, controles e políticas de produção (SKINNER, 1969). A estratégia de produção está, portanto, preocupada em determinar como melhor utilizar os principais recursos da manufatura, de modo que haja compatibilidade entre esses recursos e a estratégia corporativa de longo prazo da empresa. A estratégia de produção aborda sobre como dispor recursos, a fim de se alcançarem os objetivos corporativos (DAVIS et al., 2001).

Davis et al. (2001) relatam que Skinner e outros autores identificaram, inicialmente, quatro prioridades competitivas básicas: custos, qualidade, entrega, e flexibilidade. As prioridades determinam características que são usadas para especificar os processos pelos quais uma empresa pode agregar valor ao produto que fornece. Estas quatro dimensões foram mencionadas por Ward et al. (1996) como as mais importantes na estratégia de manufatura: outras dimensões podem, eventualmente, ter importância em casos particulares, mas usualmente contém elementos presentes nestas quatro dimensões primitivas.

Miller e Roth (1994), em trabalho seminal quanto ao método de medição, definiram onze dimensões estratégicas, que foram testadas em um *survey* entre empresas, com o objetivo de agrupá-las conforme a importância de suas dimensões estratégicas de manufatura: (i) custo, que é a capacidade de a empresa competir por preço; (ii) flexibilidade de produto, que é a velocidade com que a empresa altera o produto; (iii) flexibilidade de volume, que é a capacidade com que a empresa muda o volume de produção; (iv) conformidade, que é a capacidade de oferecer qualidade consistente; (v) desempenho, que é a capacidade de oferecer produtos com alto desempenho; (vi) velocidade, que é a capacidade de prometer entregas nos prazos requeridos; (vii) confiabilidade, que é a capacidade de entregar os produtos nos prazos requeridos; (viii) serviços pós-venda, que é a capacidade de a empresa prestar serviços pós-vendas; (ix) publicidade, que é a capacidade de a empresa publicizar e promover seus produtos; (x) ampla distribuição, que é a capacidade de a empresa distribuir seus produtos amplamente; e (xi) ampla linha de produtos, que é a capacidade de oferecer uma ampla variedade de produtos.

Vickery et al. (1997) analisaram a evolução dos estudos em estratégia de manufatura, revisando as obras de Skinner (1966), Skinner (1974), Wheelwright (1978), Schmenner (1981), Hayes e Wheelwright (1984), Krajewski e Ritzman (1987), Hill (1989),



<b>8- Confiabilidade do produto</b>	X	X	X	X	X		X				X	
<b>9- Inovação</b>	X		X		X	X				X	X	

Fonte: Vickery (1997).

Ward et al. (1996) definiram, com base em estudos empíricos, que as dimensões custo, qualidade, flexibilidade e entrega, de uma forma mais ampla e abrangente, podem ser tomadas como as principais dimensões estratégicas da manufatura. Para esta dissertação, consideram-se estas quatro dimensões como dimensões primitivas, às quais eventuais outros aspectos importantes podem ser incluídos. A pesquisa de campo, portanto, delimitou-se a estas dimensões. O Quadro 5 traz uma descrição destas dimensões, conforme os autores.

#### Quadro 5 – Dimensões Estratégicas

<b>Dimensão Estratégica</b>	<b>Descrição das capacidades competitivas da manufatura</b>
<b>Custo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Todos os fabricantes estão preocupados em algum grau com o custo, mas a maioria não quer competir exclusivamente nesta base;</li> <li>Escolhas dos fabricantes sobre reduções marginais no custo são geralmente tecnológicas na medida em que envolve o capital, despesas gerais, de trabalho ou materiais;</li> <li>- Avançadas tecnologias de fabricação, incluindo hardware, software e técnicas de gestão, mudaram a natureza das compensações para os fabricantes;</li> <li>- Novas tecnologias de produção fizeram a busca de economias de escala através da produção de produtos <i>standard</i>.</li> </ul>
<b>Qualidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uma estrutura de oito dimensões de qualidade para superar as definições conflitantes de qualidade retratadas por funções organizacionais, tais como engenharia, marketing e manufatura: desempenho, características, confiabilidade, conformidade, durabilidade, facilidade de manutenção, estética e qualidade percebida;</li> <li>- A manufatura geralmente se concentra na dimensão conformidade de qualidade;</li> <li>- Cada uma das outras dimensões da qualidade também representam possíveis bases de concorrência, mas requerem uma coordenação mais interfuncional entre produção, marketing, pesquisa e desenvolvimento e engenharia do que se alcançar a qualidade de conformidade;</li> <li>- A capacidade mais essencial possuída por um fabricante é alto nível de qualidade de conformidade. Em geral, um fabricante deve atingir um elevado nível de conformidade antes que possa perseguir custo baixo ou vantagens de entrega.</li> </ul>
<b>Entrega</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As duas dimensões principais de desempenho de entrega são a confiabilidade e a velocidade;</li> <li>- Confiabilidade de entrega é a capacidade de fornecer segundo cronograma prometido, mas esta não é suficiente; é necessário também velocidade de entrega;</li> <li>- Embora as duas dimensões sejam separáveis, o sucesso em longo prazo requer que as promessas de velocidade de entrega devam ser mantidas com elevado grau de sucesso.</li> </ul>
<b>Flexibilidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As dimensões de flexibilidade mais perseguidas pelos fabricantes estão relacionadas com mix de produtos, volume e transição;</li> <li>- O ingrediente essencial em cada uma das dimensões de flexibilidade de fabricação é reduzir o tempo e o esforço envolvidos na criação de um diferente produto;</li> <li>- Flexibilidade de fabricação tem sido tradicionalmente realizada a custo alto, usando máquinas de uso geral, em vez de mais eficientes máquinas de uso especial e pela implantação de mais trabalhadores altamente qualificados do que seria necessário;</li> <li>- Quando adequadamente implementadas, tecnologias avançadas de manufatura têm reduzido o custo para atingir a flexibilidade, permitindo vantagem por flexibilidade.</li> </ul>

Fonte: Ward et al. (1996).

Alves Filho et al. (2007) afirmam que autores têm acrescentado prioridades competitivas às quatro mais importantes anteriormente descritas. Para exemplificar estes acréscimos, Leong et al. (1990) apontam inovação como prioridade competitiva da produção, representando a capacidade que uma empresa tem para introduzir em suas linhas novos produtos e/ou processos num certo horizonte de tempo. Alguns autores consideram-na como elemento da flexibilidade. Silva (2003) aponta a confiabilidade na entrega como prioridade competitiva, mas relata que há autores que a consideram como um dos elementos da entrega. Silva et al. (2012) acrescentaram gestão ambiental e segurança como dimensão de competição, reconhecendo que a mesma pode também ser interpretada como elemento de qualidade. Sellitto e Walter (2006) apontam comunicação com clientes e tecnologia como dimensão de competição, mas também apontam que estas dimensões podem ser consideradas elementos de entrega e de flexibilidade, respectivamente. Davis et al. (2001) acrescentaram serviço associado ao produto, que pode, eventualmente, ser elemento de qualidade.

Como a pesquisa limitou-se às quatro dimensões, é conveniente retomá-las. Oliveira et al. (2006) descreveram características e subprioridades existentes nas quatro prioridades citadas por Ward et al. (1994), sintetizadas no Quadro 6.

**Quadro 6 – Subdivisão das dimensões competitivas primitivas e aspectos envolvidos**

<b>Prioridade</b>	<b>Subprioridades</b>
<b>Custo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo inicial - o preço ou o custo de se adquirir um produto;</li> <li>- Custo operacional - o custo de operar ou usar um produto ao longo de sua vida útil;</li> <li>- Custo de manutenção - o custo de manutenção de um produto (reparos e reposição de peças).</li> </ul>
<b>Qualidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desempenho - as características primárias de operação de um produto;</li> <li>- Características - as características secundárias de um produto;</li> <li>- Confiabilidade - a probabilidade de um produto falhar durante um período de tempo;</li> <li>- Conformidade - o grau em que um produto ou serviço reúne os padrões preestabelecidos;</li> <li>- Durabilidade - o tempo que um produto pode ser usado antes de deteriorar-se;</li> <li>- Nível de serviço - depende da velocidade, da cortesia e da competência dos reparos;</li> <li>- Estética - a aparência, o sentimento, o gosto, o cheiro e o som de um produto ou serviço;</li> <li>- Qualidade percebida - o impacto da marca, a imagem da empresa e a propaganda.</li> </ul>
<b>Entrega</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Precisão - se os itens corretos foram entregues nas quantidades certas;</li> <li>- Completude - se os carregamentos (entregas) foram completos na primeira vez;</li> <li>- Confiabilidade - se os produtos foram entregues na data estipulada;</li> <li>- Disponibilidade - a probabilidade de ter em estoque certo item no momento do pedido;</li> <li>- Velocidade - o tempo decorrido entre a emissão do pedido e a entrega;</li> <li>- Disponibilidade de informação - o grau de disponibilidade de informações de transporte;</li> <li>- Facilidade de emissão de pedidos - a maneira como a empresa recebe os pedidos (eletronicamente ou não) e informa os itens que estão em estoque;</li> <li>- Qualidade - a condição do produto após o transporte;</li> <li>- Flexibilidade de emissão de pedidos - se há limites estabelecendo o número mínimo de itens por pedido e selecionando os itens de um pedido isolado;</li> <li>- Flexibilidade de transporte - habilidade de modificar o roteiro de entrega;</li> <li>- Facilidade de retorno - velocidade com que os retornos são processados.</li> </ul>

<b>Flexibilidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexibilidade de produto - a velocidade com que os produtos são introduzidos;</li> <li>- Customização - habilidade de projetar um produto para atender especificações particulares;</li> <li>- Modificação - a habilidade de modificar produtos para atender necessidades especiais;</li> <li>- Flexibilidade de volume - habilidade de responder a súbitas mudanças no volume;</li> <li>- Flexibilidade de processo - a velocidade com que a manufatura pode variar a produção;</li> <li>- Flexibilidade de mix - a habilidade de mudar a variedade de produtos de um lote;</li> <li>- Flexibilidade de substituição - a habilidade de ajustar o mix de produtos a longo prazo;</li> <li>- Flexibilidade de roteiro - o grau em que a sequência de fabricação ou de montagem pode ser modificada se uma máquina ou um equipamento estiver com problemas;</li> <li>- Flexibilidade de materiais - a habilidade para substituições das matérias-primas;</li> <li>- Flexibilidade nos sequenciamentos - a habilidade de modificar a ordem de alimentação dos pedidos no processo produtivo,</li> </ul>
----------------------	---

Fonte: Oliveira et al. 2006.

## 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A revisão bibliográfica teve como objetivo revisar os conteúdos que suportaram esta pesquisa e foi organizada em quatro blocos: sistemas de manufatura, FMS e equipamentos; métodos para avaliação multicriterial de viabilidade, e dimensões ou prioridades de competição estratégicas e manufatura.

A revisão sobre sistemas de manufatura incluiu os quatro principais tipos de arranjos: de posição fixa (*project-shop*), por produto (*flow-shop*), por processo (*job-shop*), e manufatura celular, baseada em tecnologia de grupo.

A revisão sobre FMS incluiu variadas definições de autores, descrição e análise dos tipos de equipamentos que mais frequentemente comparecem em FMS. Também foram descritos e analisados os principais aplicativos de software de manufatura integrada e redes de comunicação.

A revisão sobre métodos multicriteriais de apoio à decisão abrangeu as escolas americana e europeia, focando na primeira e, mais especificamente, no método AHP, que foi usado nesta dissertação.

Por fim, a revisão sobre prioridades de competição em manufatura incluiu variadas dimensões e focou nas quatro principais estudadas nesta dissertação: custo, qualidade, flexibilidade, e entrega.

Com isto, está montado o referencial teórico necessário para a parte de campo da pesquisa, que se inicia no próximo capítulo.





### 3 METODOLOGIA

Metodologia é a organização, os caminhos a serem percorridos para se realizar uma pesquisa ou um estudo, ou para se fazer ciência. Etimologicamente, significa o estudo dos caminhos, dos instrumentos utilizados para fazer uma pesquisa científica (GERHARDT e SILVEIRA, 2009). Os autores também salientam que a metodologia não deve ser confundida com método, pois ela se interessa pela validade do caminho escolhido para se chegar ao fim proposto pela pesquisa e, portanto, não deve ser confundida com o conteúdo nem com os procedimentos. As considerações metodológicas dividem-se em método de pesquisa (escolha da estratégia de pesquisa) e método de trabalho (como a pesquisa foi desenvolvida).

#### 3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA

O objeto de pesquisa foi uma manufatura da indústria automotiva, e o método de pesquisa escolhido é o estudo de caso, que, embora tenha uma limitada capacidade de generalização de resultados, é indicado quando a questão de pesquisa é do tipo *como* (YIN, 2001). Goode e Hatt (1079) apontam que o estudo de caso pode ser um meio de organizar dados já coletados, preservando o caráter unitário e exclusivo do objeto estudado. Para Yin (2001), o estudo de caso permite uma investigação para se preservar as características holísticas e significativas dos eventos da vida real. Por fim, Stake (2000) afirma que o estudo de caso caracteriza-se pelo interesse em casos individuais e não pelos casos generalistas que outros métodos de investigação podem abranger.

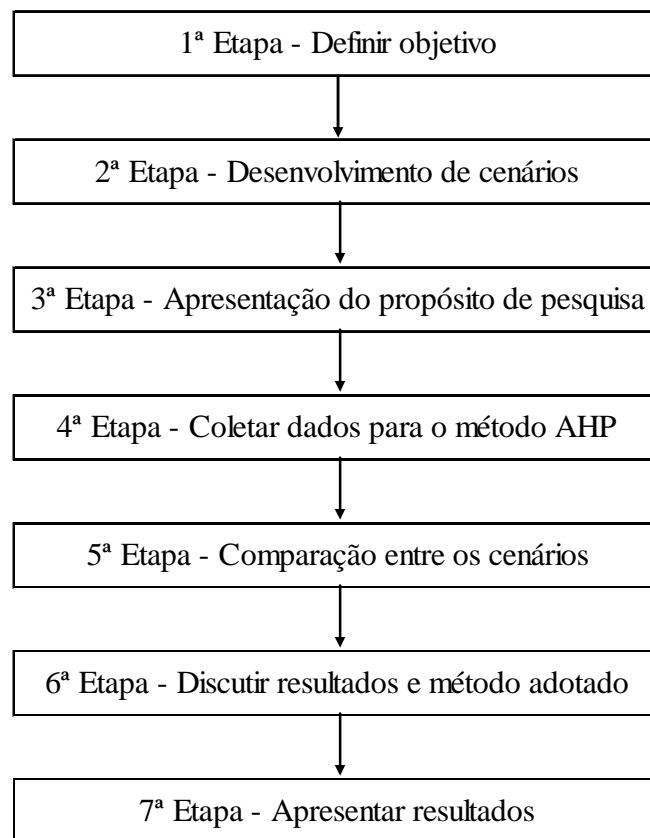
Esta pesquisa usará modelos para apoio à decisão no contexto do estudo de caso, e a modelagem é uma ferramenta para construção de micromundos do sistema real para avaliações de resultados de ações no tempo e no espaço (ANDRADE et al., 2006). Para Pidd (2004), a modelagem contribui para representar as principais características de um objeto de estudo ou de um sistema; contudo, é a forma mais rápida e de baixo custo para manipular modificações do sistema. Pidd (2004) também afirma que o modelo mental é construído em forma de elementos básicos, que podem ser construídos e reconstruídos, em um processo de aprendizado. Por fim, Pidd (2004) descreve que o modelo formal, quando construído a partir de diversos modelos mentais, com diferentes visões de tempo, qualidade e custo (entre outros valores), pode contribuir para a elaboração de um modelo mental focado para a resolução ou entendimento de um problema em equipe.

A modelagem computacional quantitativa geralmente permite dar mais confiabilidade e credibilidade às pesquisas. Neste caso, aos modelos construídos por meio de validações e análises estatísticas comparativas entre o sistema em funcionamento no mundo real e sua modelagem – e posteriormente na comparação entre cenários – permitem avaliar de forma mais precisa se um conjunto de resultados pode ser considerado semelhante a outro (AHLERT, 2010). Ahlert (2010) também comenta que a pesquisa qualitativa é, fundamentalmente, interpretativa, podendo surgir aspectos variados sobre o estudo à medida que o pesquisador descobre o que perguntar e para quem fazer as perguntas.

### 3.2 MÉTODO DE TRABALHO

O método de trabalho apresenta o conjunto de procedimentos que foi seguido na pesquisa. Segue abaixo o método em esquema na Figura 46.

**Figura 46 – Método para desenvolvimento do modelo**



Fonte: O Autor.

As etapas deste processo estão descritas a seguir são reproduzidas na Figura 46:

- a) 1ª etapa: definir o objeto: foi definida a implantação de FMS na célula de fabricação de bobinas de motores de arranque da Valeo, Gravataí. Nesta etapa, foi estudada a situação da célula, produto, processos, demandas, etc.;
- b) 2ª etapa: com apoio de especialistas, propor cenários de implantação de FMS na célula, para avaliação. Nesta etapa, foram desenhados três cenários com alternativas diferentes de recursos tecnológicos. Os cenários foram desenvolvidos no software *SolidWorks 2013 Standard*;
- c) 3ª etapa: reunir grupo de especialistas da empresa, apresentar o problema, apresentar as quatro dimensões de competição definidas (custo, qualidade, entrega, flexibilidade), apresentar os três cenários de implantação de FMS definidos, apresentar o método AHP, e ouvir considerações sobre a pesquisa como um todo. Eventualmente, corrigir passos da pesquisa segundo considerações dos especialistas;
- d) 4ª etapa: individualmente, apoiar os especialistas em seus julgamentos e coletar suas preferências, em forma da matriz de preferências, avaliadas pela CR, e obtidas segundo a escala fundamental;
- e) 5ª etapa: ordenar os cenários segundo dois métodos de cálculo; comparação em pares entre os cenários, segundo cada dimensão; e avaliação qualitativa individual. Comparar os resultados segundo os dois métodos, ordenar os cenários e concluir a respeito das preferências dos especialistas;
- f) 6ª etapa: discutir a respeito dos resultados da aplicação e do método adotado
- g) 7ª etapa: apresentar o resultado aos especialistas e ouvir suas considerações.

## 4 A PESQUISA

### 4.1 O OBJETO DE ESTUDO: UMA CÉLULA DE MANUFATURA NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

A empresa estudada foi a Valeo, mais especificamente a unidade instalada no município de Gravataí, RS.

A Valeo é um fornecedor automotivo, parceiro de todas as montadoras em todo o mundo. Como uma empresa de tecnologia, a Valeo propõe produtos e sistemas inovadores que contribuam para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e para o desenvolvimento de um transporte mais eficiente. A Valeo tem sede em 29 países, possui 123 fábricas e mais de 78.600 funcionários, 16 centros de pesquisa, 12 plataformas de distribuição e 34 centros de desenvolvimentos. A Figura 47 apresenta a presença da Valeo no mundo.

**Figura 47 – Mapa mundi com destaques dos países que sediam unidades da VALEO**



Fonte: <http://www.valeo.com/en/the-group/>

A estrutura de atividade empresarial da Valeo é composta por quatro grupos de negócios e uma atividade de revenda e serviços de pós-venda, a Valeo Service. Os quatro grupos são: a *Comfort and Driving Assistance Systems Business Group*, que desenvolve sistemas de interface entre o condutor, o veículo e o meio ambiente que ajudam a melhorar o conforto e segurança; a *Powertrain Systems Business Group*, que desenvolve soluções inovadoras de motores que visam reduzir o consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>; a *Thermal Systems Business Group*, que desenvolve e fabrica sistemas, módulos e componentes para gerenciar a energia térmica do motor e proporcionar conforto dentro da cabine para cada passageiro; e a *Visibility Systems Business Group*, que produz sistemas inovadores que oferecem a visibilidade perfeita motorista, melhorando, assim, a segurança do motorista e a dos passageiros. Já a atividade de revenda, a *Valeo Service*, fornece peças de reposição de equipamentos originais para as montadoras e peças de reposição para o mercado de reposição independente. A *Valeo Service* oferece uma ampla gama de produtos e serviços para todas as atividades de pós-venda em todo o mundo.

A unidade da Valeo, instalada no município de Gravataí, pertence à *Powertrain Systems Business Group*, que concentra suas atividades para a produção de válvulas, sensores e componentes do motor de partida. A empresa possui 110 funcionários, trabalha em regime de dois turnos e já conta com cinco anos de atividade.

## 4.2 DESCRIÇÃO DA CÉLULA DE MANUFATURA ESTUDADA

O estudo de caso foi realizado na empresa VALEO Sistemas Automotivos, situada na cidade de Gravataí, e o objeto estudado na pesquisa foi a célula de montagem da bobina do motor de partida. A área é formada por três linhas de produção, das quais duas linhas produzem a bobina convencional e a terceira linha produz um novo modelo de bobina (com melhor característica de desempenho). A área produz em regime de dois turnos de produção de oito horas trabalhadas, no período semanal de segunda a sexta-feira. A linha estudada é formada por quatorze postos de trabalho e dez operadores que executam as atividades de montagem da célula.

### 4.2.1 Produto

A bobina é um componente do motor de partida que tem como função dar ignição em automóveis. Uma explicação é dada pela revista Verdade Genuína GM (2011), que

descreve os passos para ignição do motor: inicia-se quando o condutor gira totalmente a chave do veículo, o motor de partida é acionado e mantido em funcionamento até que a chave se solte. A alimentação de energia elétrica no motor de partida é feita diretamente por um cabo ligado à bateria. Durante o funcionamento, o solenóide/automático (6) é alimentado com positivo, proveniente da chave, puxando o conjunto pistão e garfo que, por sua vez, desliza o roda livre (2) até acoplar com a cremalheira (roda dentada no volante do motor de combustão). Ao mesmo tempo, o solenoide fecha o circuito principal, energizando a bobina (4) e o induzido (3) através das escovas (5), criando um campo magnético e, assim, o movimento de rotação. Os mancais (1) são peças importantes e de precisão, eles conservam o induzido centralizado e muito próximo da bobina, sem que se encostem, para garantir o torque necessário para impulsionar o motor do automóvel.

A Figura 48 ilustra o motor de partida ao qual pertence a bobina.

**Figura 48 – Motor de partida explodido**



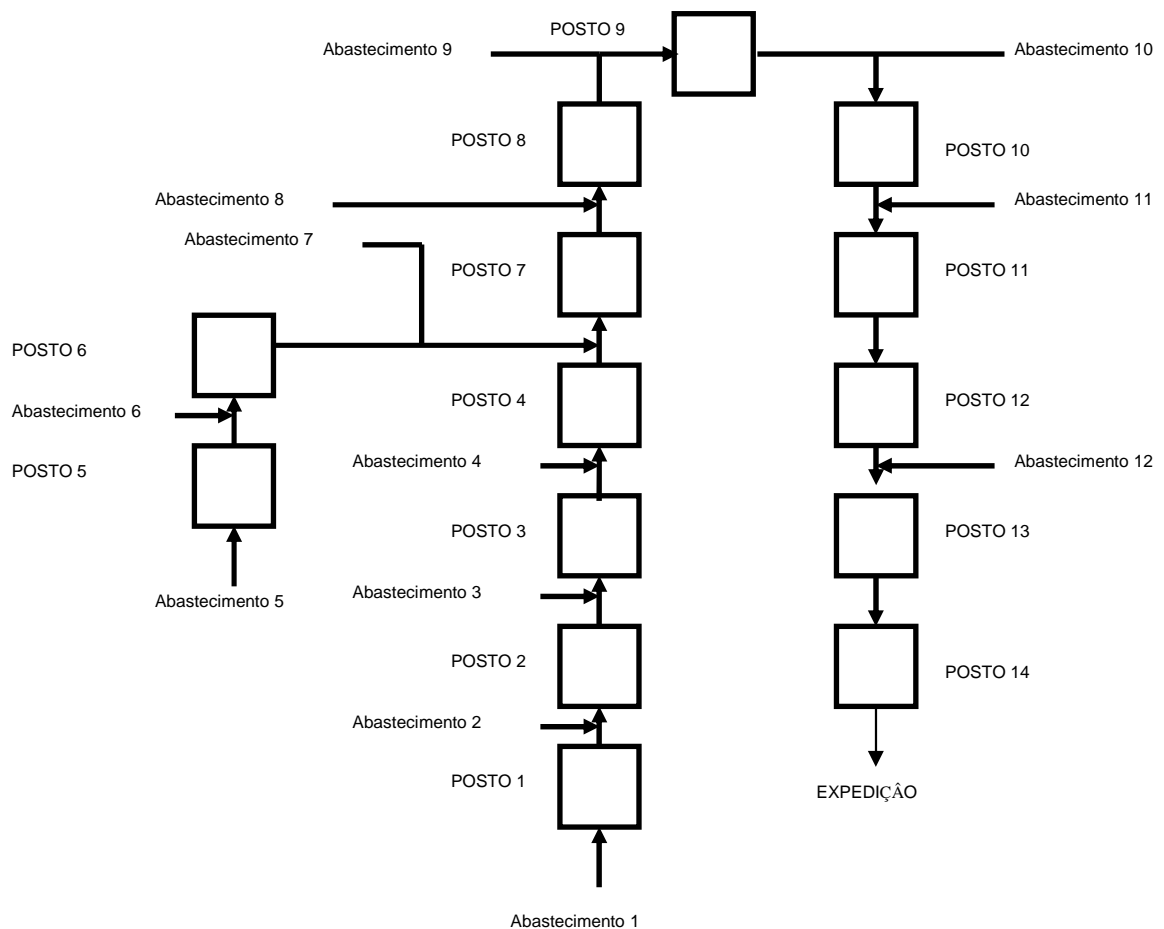
Fonte: Revista Verdade Genuína GM, 2011.

#### 4.2.2 Layout Atual

O *layout* da linha de montagem da bobina é caracterizado por *layout* celular tipo “U”, permitindo fácil deslocamento dos operadores ao longo dos equipamentos que formam

a célula, existindo também abastecimento de subprodutos ao longo da linha que agiliza o processo de montagem do produto. Os postos de trabalho apresentados na Figura 49 incluem os equipamentos que transformam os componentes em produtos e os abastecimentos são os locais na qual são inseridos novos componentes para a montagem do produto.

**Figura 49 – Layout tipo “U”, para montagem da bobina do motor de partida**



Fonte: O autor

As atividades de montagem dos produtos são realizadas da seguinte forma:

- sete operadores operam dentro do *layout* em forma de “U”, otimizando os tempos produtivos e mantendo o mínimo de estoque entre as estações;
- um operador exclusivo para o posto 5;
- um operador revezando entre o posto 5 e o posto 6;
- um operador realizando o abastecimento dos materiais no local especificado.



### 4.2.3 Equipamentos e Controles de Qualidade

Os equipamentos e seus respectivos controles são:

- a) No posto 1, ocorre o início do processo, que é determinado pelo bobinamento de fios de cobre em um carretel com núcleo vazio. Os controles de qualidade realizados neste posto são: medição da resistência ôhmica, medição dos diâmetros dos fios de cobre, controle do número de voltas do bobinamento e o controle de remoção da resina dos fios de cobre (parte que fará contato elétrico).
- b) No posto 2, aplica-se fluído de limpeza na extremidade dos fios bobinados e, após, é aplicado estanho nas extremidades. Os controles de qualidade realizados neste posto são: o controle do nível do fluído de limpeza, para garantir a aplicação do estanho, e o controle de temperatura do banho de estanho líquido.
- c) No posto 3, realiza-se o corte das extremidades dos fios de cobre, instala-se o núcleo de aterramento da bobina e as juntas de vedação das extremidades dos fios da bobina. Os controles de qualidade realizados neste posto são: o controle de altura do corte e o posicionamento correto do núcleo de aterramento.
- d) No posto 4, é realizado a solda de uma das extremidades do fio de cobre no núcleo de aterramento da bobina. Os controles de qualidade realizados neste posto são: a resistência ao arrancamento do fio soldado, a quantidade de ciclos dos componentes da solda, a pressão de soldagem e a corrente aplicada.
- e) No posto 5, são montadas as tampas das chaves magnéticas, sendo um tampa específica para cada produto. Os controles de qualidade realizados são: altura dos bornes instalados e fixação dos componentes da tampa.
- f) No posto 6, realiza-se a instalação de um componente específico somente para o produto A. O controle de qualidade realizado é a garantia de instalação dos componentes na tampa.
- g) No posto 7, realiza-se a instalação da tampa na bobina magnética, assim como a instalação do contato móvel que fará a ligação elétrica da bobina. Os controles de qualidade realizados neste processo são: o posicionamento correto da tampa e o posicionamento correto do contato.
- h) No posto 8, instala-se a bobina dentro de um corpo metálico (chamado de “carcaça”), junto com uma borracha de vedação elétrica. Os controles de qualidade realizados são: o posicionamento correto da bobina na carcaça e a instalação da borracha de isolamento elétrica.

- i) No posto 9, realiza-se a fixação da tampa na “carcaça”. Os controles de qualidade realizados são: resistência ao torque da tampa fixada e pressões de conformação.
- j) No posto 10, é realizada a soldagem com estanho das extremidades dos fios de cobre da bobina na tampa da chave magnética. Os controles de qualidade realizados são: a verificação da qualidade da soldagem e as temperaturas dos ferros de soldagem.
- k) No posto 11, são realizados testes elétricos na chave magnética montada. Os controles de qualidade realizados são: marcações na carcaça da peça para os produtos aprovados nos testes elétricos.
- l) No posto 12, registra-se um código interno na “carcaça” da chave magnética para futura rastreabilidade. Os controles de qualidade realizados são: a verificação do código correto e a qualidade de impressão da superfície do produto.
- m) No posto 13, aplica-se, somente para o produto B, um adesivo para isolamento elétrico externo à peça. Os controles de qualidade realizados são o posicionamento correto do adesivo e a aderência do adesivo na “carcaça” da chave magnética.
- n) No posto 14, realiza-se uma inspeção geral na peça, verificando condições estéticas da peça e pontos críticos do produto.

#### **4.2.4 Abastecimento da Linha de Montagem**

Os abastecimentos da linha de montagem consideram os sub-produtos e os componentes de máquina que são inseridos nos equipamentos em intervalos menores do que 24 horas para a montagem do produto. Os produtos semiacabados gerados em todos os equipamentos não farão parte da descrição do abastecimento, pois estes seguem o fluxo de montagem descrito na Figura 51. Para todos os abastecimentos existem controles de qualidade que garantem a rastreabilidade dos componentes utilizados, assim como o controle de acesso de materiais (fila ou FIFO – *First In, First Out*). Os abastecimentos são:

- a) Abastecimento 1: são realizados abastecimentos de quatro componentes: fios de cobre grosso e fino de forma semiautomática, carretel e núcleo da bobina, de forma manual, diretamente no equipamento;

- b) Abastecimento 2: são realizados o abastecimento de dois componentes: fluxo de limpeza e estanho. O fluxo e o estanho são aplicados manualmente, tendo seu nível controlado visualmente;
- c) Abastecimento 3: são realizados os abastecimento de dois componentes: junta de vedação das extremidades dos fios das bobinas e núcleos de aterramento. Os componentes são instalados no produto e posicionados no equipamento de forma manual. As juntas são armazenadas em um compartimento junto do equipamento e os núcleos são colocados em um escorregador, tendo sua saída no lado do equipamento;
- d) Abastecimento 4: são abastecidos dois componentes: a ponteira para o sistema de soldagem e os contatos de aterramento para a soldagem do fio. Os componentes são substituídos no equipamento, após um período pré-definido. Os componentes são armazenados no almoxarifado da empresa;
- e) Abastecimento 5: são abastecidos sete componentes diferentes, entre arruelas, parafusos, rebites e a tampa, os quais ficam estocados em pequenos compartimentos na frente do equipamento. Os componentes são instalados de forma manual. Considera-se, também, abastecimento para o equipamento o ferramental utilizado para a montagem das peças, sendo praticamente um ferramental exclusivo para cada produto. Estes ferramentais são substituídos de forma manual e através de pontos pré-definidos via *poka-yokes* (*poka-yoke* é um dispositivo de detecção de necessidade de correção no processo, que paralisa a condição causadora do problema até que o defeito tenha sido corrigido (SHINGO, 1996)). Os ferramentais são armazenados em armários perto do equipamento;
- f) Abastecimento 6: abastecem-se os componentes exclusivos para o produto A. Os componentes são posicionados em locais pré-definidos para que sejam instalados na tampa;
- g) Abastecimento 7: são abastecidos o contato móvel e a tampa montada, através de uma esteira de roletes dentro de caixas. Os dois componentes são posicionados em cima da bobina por um conjunto de poka-yokes;
- h) Abastecimento 8: são abastecidas a carcaça e a borracha de vedação elétrica interna. Os dois componentes são abastecidos dentro de caixas em cima de esteira de roletes, posicionados e montados manualmente;

- i) Abastecimento 9: são abastecidos os ferramentais para a montagem dos produtos, sendo um exclusivo por produto, e sua substituição é manual;
- j) Abastecimento 10: são abastecidos o rolo de fio de estanho para a soldagem e as ponteiros dos ferros de soldas. O rolo é armazenado individualmente no equipamento em uma haste, e as ponteiros, em um compartimento junto ao equipamento;
- k) Abastecimento 11: são abastecidos os ferramentais que realizam os testes elétricos, sendo um ferramental específico para cada produto. Os ferramentais são armazenados em um armário ao lado do equipamento, sendo substituídos manualmente; e
- l) Abastecimento 12: abastece-se o adesivo de isolamento elétrico externo, sendo exclusivo para o produto B. Sua armazenagem é realizada em rolos colocados junto à linha. A aplicação do adesivo é realizada manualmente.

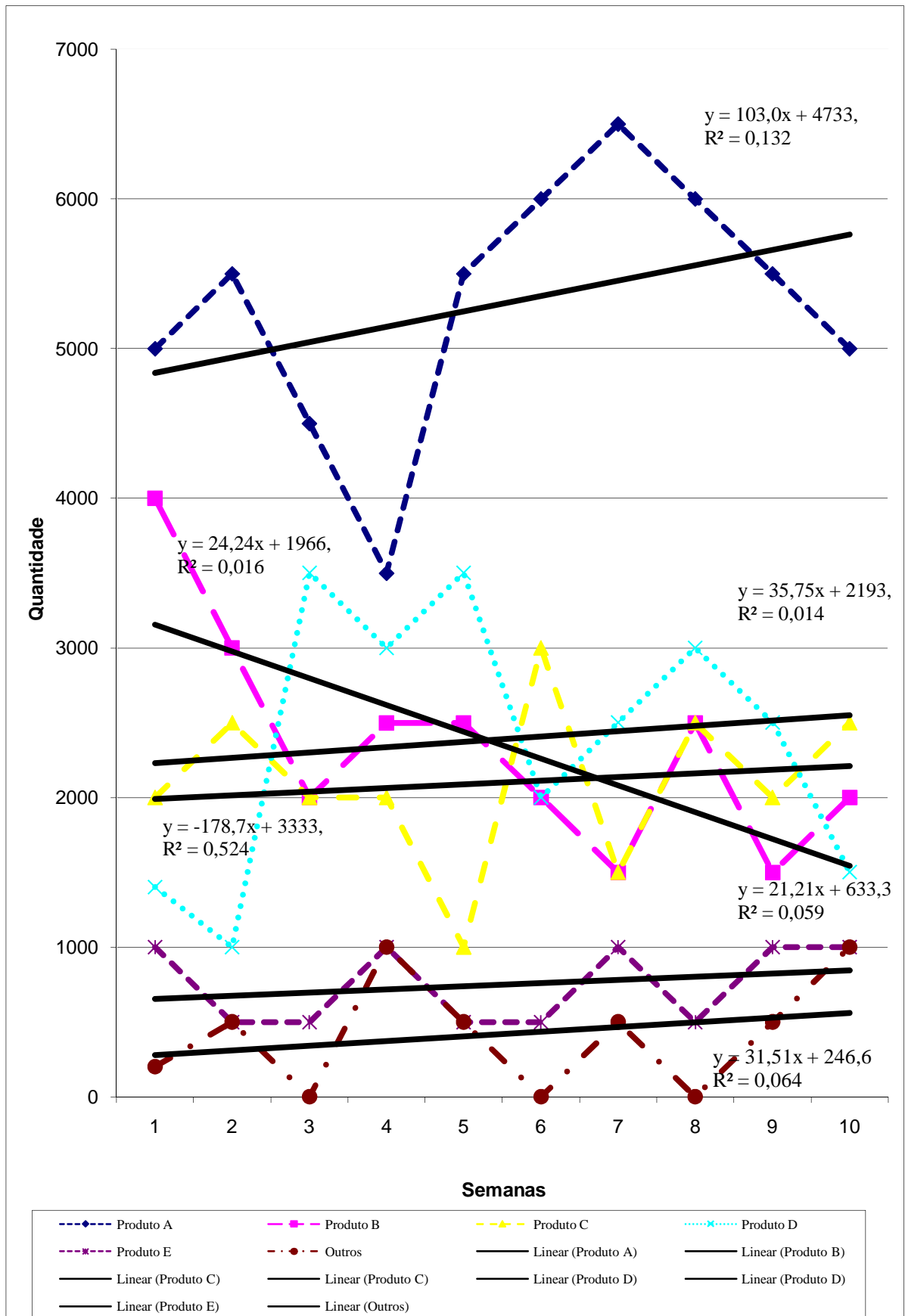
#### 4.2.5 Demandas

A demanda de produção da bobina do motor de partida é composta por pedidos de diversas cadeias de suprimentos de montadoras espalhadas pelo Brasil. O planejamento das demandas inclui trinta semanas, o que permite que os setores logísticos realizem os planejamentos de compra e fornecimento de produtos. A cada semana, o planejamento é refeito, podendo ser alterados os valores de produto em até 20%, para mais ou para menos.

A Figura 52 mostra a variação da demanda por produto ao longo de dez semanas, caracterizada pelo domínio da demanda do produto A. Os produtos B, C e D aparecem de forma secundária e alternam a superioridade da demanda entre eles. O produto E possui demanda mais baixa em relação aos demais produtos, mas ainda são representativos para a demanda de produção. Os produtos considerados outros são o agrupamento de oito produtos destinados para o abastecimento das vendas.

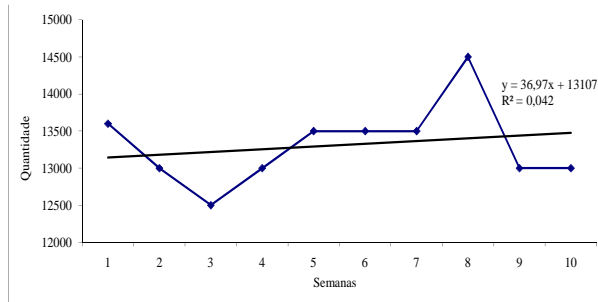
As Figuras 50 e 51, respectivamente, apresentam exemplos de dez semanas de demanda, tanto individual como agregada. Os valores do coeficiente de determinação  $R^2$  próximos a zero indicam que, no período, a demanda oscilou em redor de uma média fixa, o que aponta para comportamento aleatório e estacionário. Apenas um valor é significativamente diferente de zero (demanda do produto B caindo), o que aponta crescimento tendencial decrescente da demanda no período.

Figura 50 – Comportamento da demanda de produção por produto ao longo das semanas



Fonte: O AUTOR

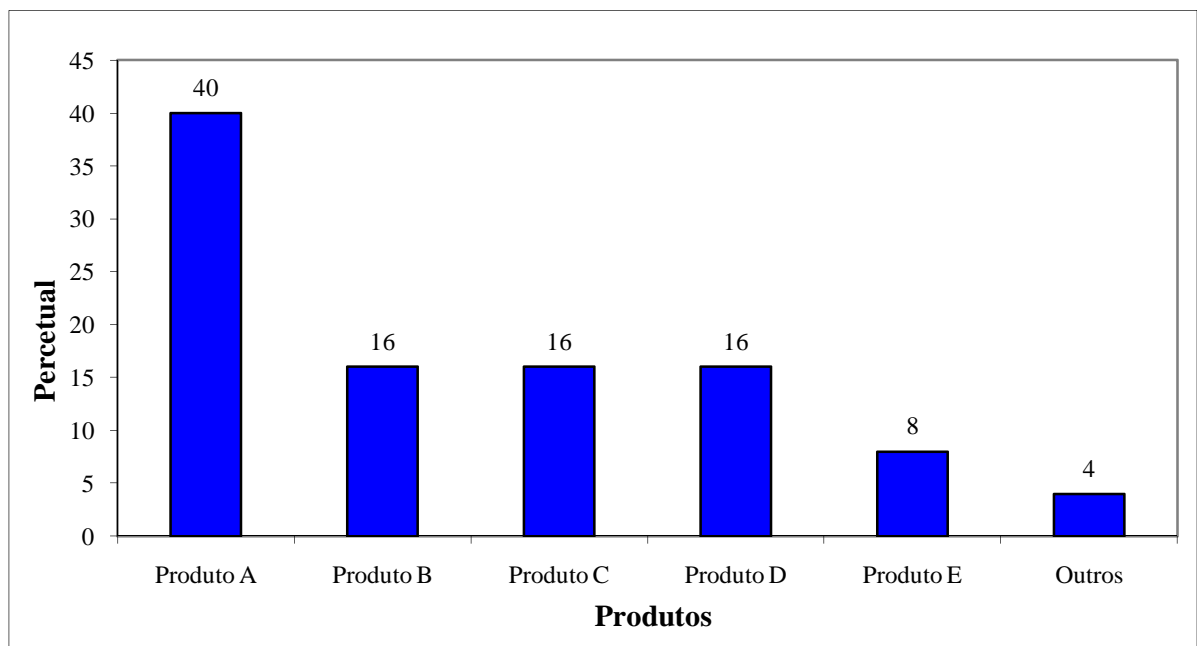
**Figura 51 – Comportamento da demanda total de produção por produto ao longo de 10 semanas**



Fonte: O autor

A Figura 52 apresenta um percentual médio de demanda de produção mensal, o que exige que a produção possua uma flexibilidade considerável para alterar o produto que está sendo produzido, pois as expedições do produto para Campinas (local onde são montados os motores de partida) são realizadas duas vezes por semana, o que exige um planejamento de *mix* de produção para atender aos abastecimentos das bobinas.

**Figura 52 – Proporção aproximada da média de produção mensal**



Fonte: O AUTOR

### 4.3 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA IMPLANTAÇÃO DO FMS NA CÉLULA ESTUDADA

Foram elaborados três cenários para futura implantação de FMS, com vistas a conferir melhores condições competitivas para a empresa. Os cenários foram elaborados pelo pesquisador, tendo como principal apoio para o desenvolvimento as obras de Groover (2011) e Shivanand et al (2006). Para o detalhamento dos cenários, foram realizadas entrevistas individuais com responsáveis de empresas fornecedoras de equipamentos. De posse das informações, foram definidos três *layouts* com tecnologias diferentes para cada situação. Os cenários foram discutidos e aperfeiçoados com os membros do grupo de especialistas da empresa que participou da pesquisa (este grupo será apresentado no próximo capítulo). Os modelos dos cenários foram desenvolvidos com apoio do software *SolidWorks 2013 Standard*, para melhor visualização dos respondentes para os métodos aplicados. Os cenários são repetidos em maior escala nos anexos, para mais clareza na visualização.

#### 4.3.1 Cenário 1

Este cenário é formado pelo *layout* escada, que possui esteira transportadora num único sentido de movimentação e onde os materiais são transportados em cima de pallets. A interface entre o pallet e os equipamentos existentes ocorre através de sistemas pneumáticos capazes de suspender as peças do pallet até os equipamentos. Seguem as principais características deste cenário:

- os equipamentos bobinadeira, preparação e acabamento final são CNCs, capazes de manter uma excelente capacidade aos produtos;
- a produção é gerenciada pela CIM;
- há centro de inspeção dimensional de componentes e produtos, para garantir a qualidade;
- as variáveis de processo são controladas por controladores lógicos programáveis (CLP);
- a comunicação entre os equipamentos e os computadores de controle ocorre por rede *Field Bus*;
- há um magazine central de ferramentas, no qual se encontram todas as ferramentas necessárias para manter o processo estável;

- os equipamentos bobinadeira, preparação e acabamento final são interligados por sistema pneumático para agilizar o fluxo de peças;
- a entrada e a saída de peças estão em locais distintos;
- o equipamento de produção de capôs está fora do ramo por inserir seu produto na estação de acabamento final;
- a estante de armazenamento é do tipo AS/RS, capaz de armazenar todos os componentes até por quatro horas.

As vantagens deste cenário são:

- múltiplas atividades podem ser realizadas simultaneamente devido à capacidade de se ter pallets disponíveis;
- a montagem é interligada por um sistema pneumático, garantindo produtividade diferenciada;
- o sistema pneumático possui custos relativamente mais baixos comparados a outros dispositivos;
- magazine de ferramentas centralizado permite que uma ferramenta seja substituída sem que a máquina pare.

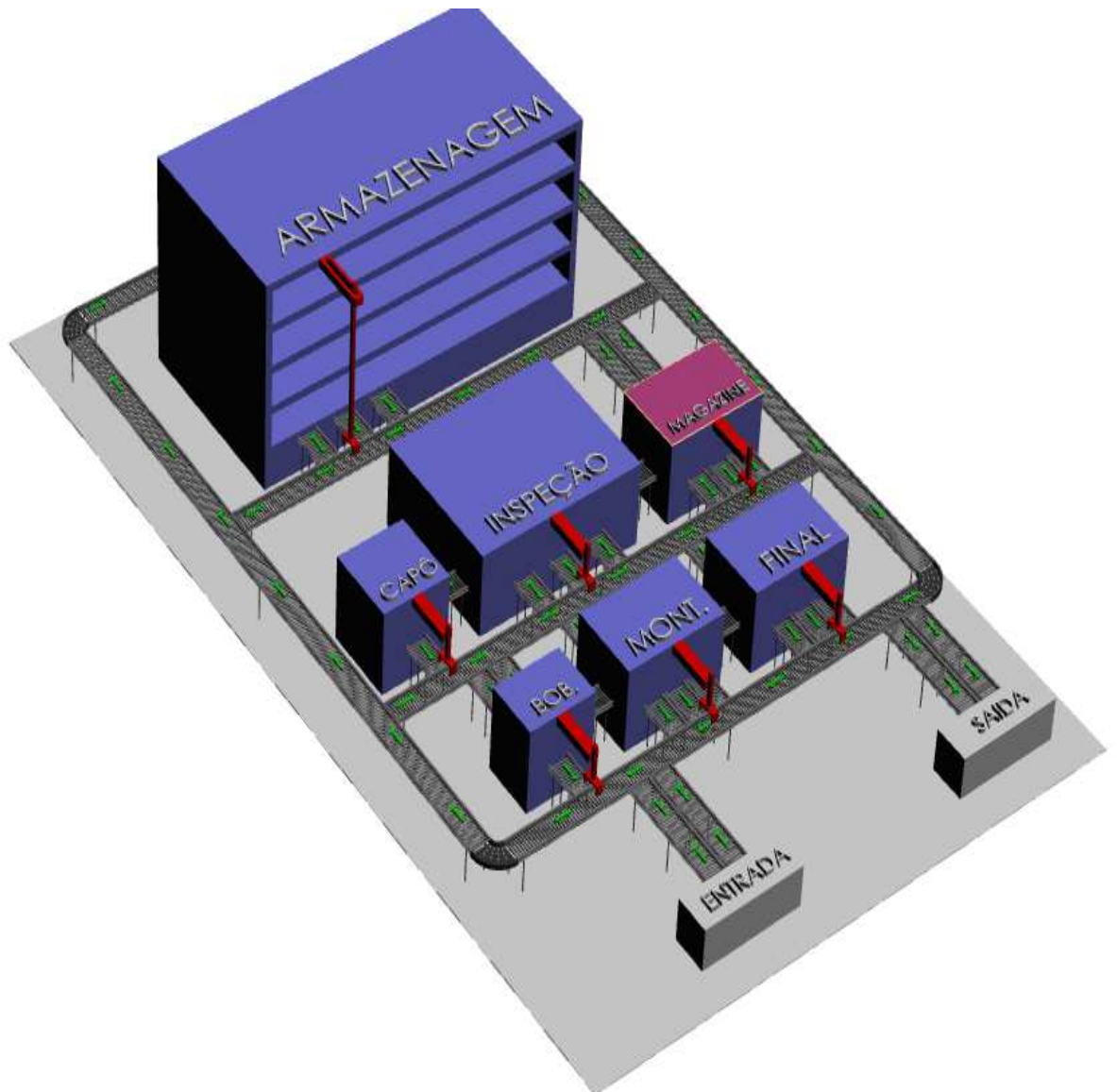
As desvantagens deste cenário são:

- o sistema de transporte possui um único sentido de movimentação, o que pode gerar conflitos e esperas;
- sistemas pneumáticos não possuem uma precisão constante e apresentam desgaste mais prematuro;
- magazine de ferramentas centralizado gera tempos de set-up e reposição de ferramentas com tempos mais longos;

A Figura 53 ilustra o Cenário 1.

**Figura 53 – Cenário 1 – Layout escada com conversor com forma de transporte e sistemas pneumáticos realizando o abastecimento e descarga dos equipamentos**





Fonte: O AUTOR (desenho desenvolvido *SolidWorks 2013 Standard*).

#### 4.3.2 Cenário 2

Este cenário é formado pelo *layout* de campo aberto, no qual AVGS fazem o transporte e movimentação de produtos. Os AGVS são capazes de abastecer e descarregar os equipamentos. Seguem as principais características existentes neste cenário:

- os equipamentos bobinadeira, preparação e acabamento final são equipamentos CNC, capazes de manter uma excelente capacidade aos produtos;
- a produção é gerenciada pela CIM;
- possui um centro de inspeção dimensional para componentes e produtos, para garantir a qualidade;

- as variáveis de processo são controladas por controladores lógicos programáveis (CLP);
- a comunicação entre os equipamentos e os computadores de controle é por rede sem fio;
- possui um magazine de ferramentas independente em cada equipamento;
- as conexões entre os equipamentos são realizadas exclusivamente pelos AVGS;
- a entrada e saída de peças são realizadas em um único local;
- o equipamento de produção de capôs está perto dos demais equipamentos que realizam as operações de produção, para diminuir o tempo de transporte requerido pelos AVGS;
- a estante de armazenamento é do tipo carrossel, capaz de armazenar todos os componentes por até oito horas.

As vantagens deste cenário são:

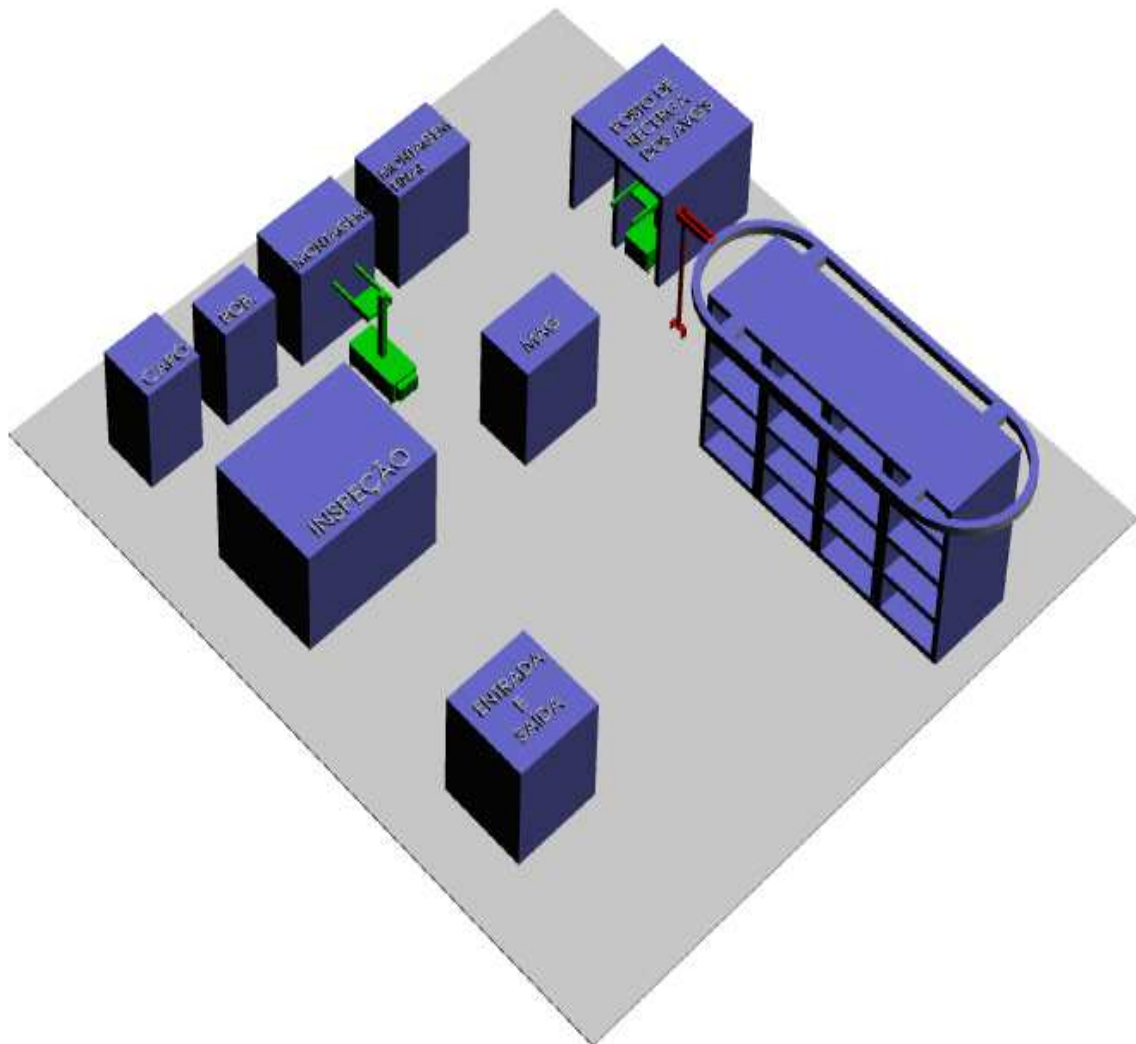
- os AVGS possuem uma utilização melhor comparada aos outros sistemas, devido à sua flexibilidade de movimentação dentro do *layout*;
- AVGS possuem maior precisão;
- magazine de ferramentas independente por equipamento permite tempos de *set-ups* e troca de ferramentas mais rápidos ou praticamente instantâneos;
- sistema de transporte possui maior grau de liberdade e sentidos de movimentação;

As desvantagens deste cenário são:

- a disponibilidade do transporte depende da disponibilidade do AVG;
- podem gerar ineficiência entre as operações caso o AVG não realize o transporte no momento esperado;
- os AVGS possuem autonomia de duas horas;
- entrada e saída de materiais pelo mesmo local pode gerar esperas.

A Figura 54 ilustra o Cenário 2.

**Figura 54 – Cenário 2 – Layout Campo Aberto com AVGS com forma de transporte e manuseio de produtos**



Fonte: O AUTOR (desenho desenvolvido *SolidWorks 2013 Standard*).

### 4.3.3 Cenário 3

Este cenário é formado pelo *layout* centrado por robô, no qual os braços robóticos se movimentam em cima de uma esteira e realizam as movimentações dos materiais. A forma de abastecimento é através de uma esteira em forma de circular, a qual transporta o material à estante até a posição para os braços robóticos pegarem-nos. Seguem as principais características existentes neste cenário:

- os equipamentos bobinadeira, preparação e acabamento final são equipamentos CNC, capazes de manter uma excelente capacidade aos produtos;
- a produção é gerenciada pela CIM;

- possui um centro de inspeção dimensional para componentes e produtos, para garantir a qualidade;
- as variáveis de processo são controladas por controladores lógicos programáveis (CLP);
- a comunicação entre os equipamentos e os computadores de controle é por rede *Field Bus*;
- possui uma central de magazine de ferramentas independente por equipamento;
- os equipamentos bobinadeira, preparação e acabamento final são interligados através do braço robótico, permitindo agilidade;
- a entrada e a saída de materiais são realizadas pelo mesmo local;
- o equipamento de produção de capôs está em torno dos robôs, permitindo um transporte rápido;
- a estante de armazenamento é do tipo AS/RS capaz de armazenar todos os componentes por até duas horas;

As vantagens deste cenário são:

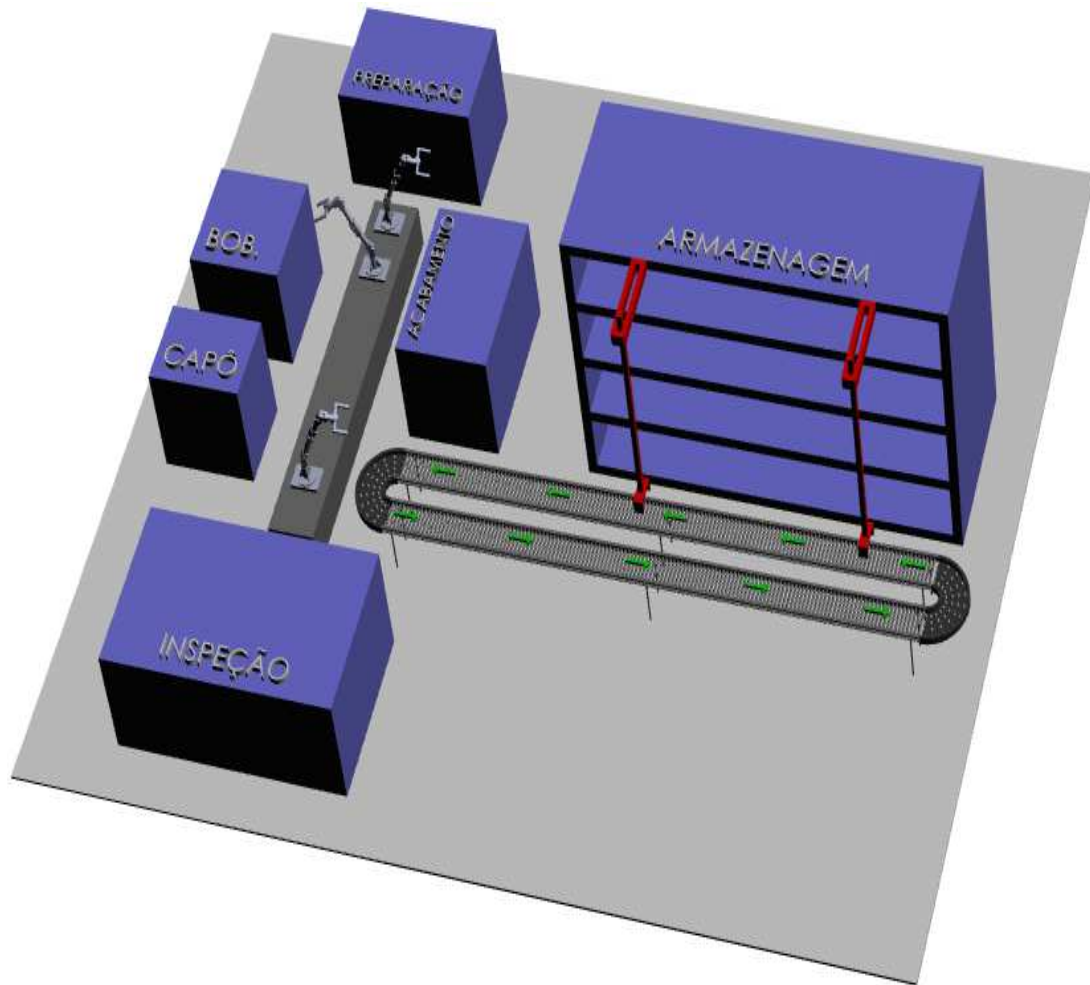
- possui múltiplas atividades realizadas simultaneamente, devido à flexibilidade de movimentos dos braços robóticos;
- a montagem é interligada por um sistema pneumático, garantindo produtividade;
- magazine de ferramentas independentes permite tempo de set-ups e de substituição de ferramentas reduzido;
- elevada precisão dos movimentos;

As desvantagens deste cenário são:

- o sistema de transporte possui um único sentido de movimentação, o que pode gerar conflitos e esperas;
- ocupação dos braços robóticos e falta de sincronismos podem gerar perdas;
- acesso e saída de materiais pelos braços robótico no mesmo local pode gerar perdas;

A Figura 55 ilustra o Cenário 3.

**Figura 55 – Cenário 3 – Layout centrado por robô**



Fonte: O AUTOR (desenho desenvolvido *SolidWorks 2013 Standard*)

**Quadro 7 – Resumo da estrutura dos cenários**

	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
<b>Equipamentos</b>	CNC	CNC	CNC
<b>Gerenciamento da Produção</b>	CIM	CIM	CIM
<b>Layout</b>	Escada	Campo Aberto	Centrado por Robô
<b>Movimentação de Materiais</b>	Esteira	AGV	Robô
<b>Manipulação de Materiais</b>	Sistema Pneumático	AGV	Robô
<b>Comunicação de Rede</b>	Field Bus	Rede sem fio	Field Bus
<b>Magazine de Ferramentas</b>	Externo ao Equipamento	Externo ao Equipamento	Interno ao Equipamento
<b>Inspeção Dimensional</b>	CMM	CMM	CMM
<b>Armazenagem de Materiais</b>	AS / RS	Carrossel	AS / RS

Fonte: O Autor

## 5 ESCOLHA ENTRE CENÁRIOS: APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

A escolha entre os três cenários previamente determinados para adoção de tecnologia FMS na célula de manufatura estudada foi conduzida com apoio do método AHP. Para tanto, foram levadas em consideração as opiniões de seis especialistas, representantes de diferentes áreas da empresa afetadas pela decisão:

- a) qualidade;
- b) produção;
- c) processo;
- d) manutenção; e
- e) logística; e
- f) gerência industrial.

Os representantes das áreas, apoiados pelo pesquisador, definiram preferências quanto às relações entre as dimensões estratégicas competitivas de custo, qualidade, entrega e flexibilidade. Para o estudo, o grupo focou-se apenas nestas quatro dimensões, a introdução de outras dimensões foi remetida à continuidade de pesquisa. Foi construída uma matriz de preferência, utilizando a escala proposta por Saaty (SAATY, 1983).

Usualmente, o método AHP pode ser aplicado de dois modos: em atividades de grupo, mediadas por um analista (neste caso, o pesquisador); ou individualmente. No primeiro caso, o grupo deve ter consenso, o que nem sempre é fácil, e algumas vezes é impossível. No segundo caso, trabalha-se com algum tipo de agregação de resultados como, por exemplo, a média das preferências.

Nesta pesquisa, preferiu-se trabalhar com respondentes individuais, agregando posteriormente os resultados em busca de um resultado global. Em dois momentos, o pesquisador trabalhou com o grupo de respondentes, mediando a atividade: no início, quando foi apresentada a metodologia e a hierarquia construída para representar o problema; e quando foi necessário apresentar os resultados agregados usados para a escolha de cenário. Nas demais atividades, o pesquisador trabalhou individualmente com os respondentes, agregando posteriormente suas respostas.

O Quadro 7 apresenta o perfil dos respondentes, ou seja, dos especialistas da empresa que fizeram parte do estudo.

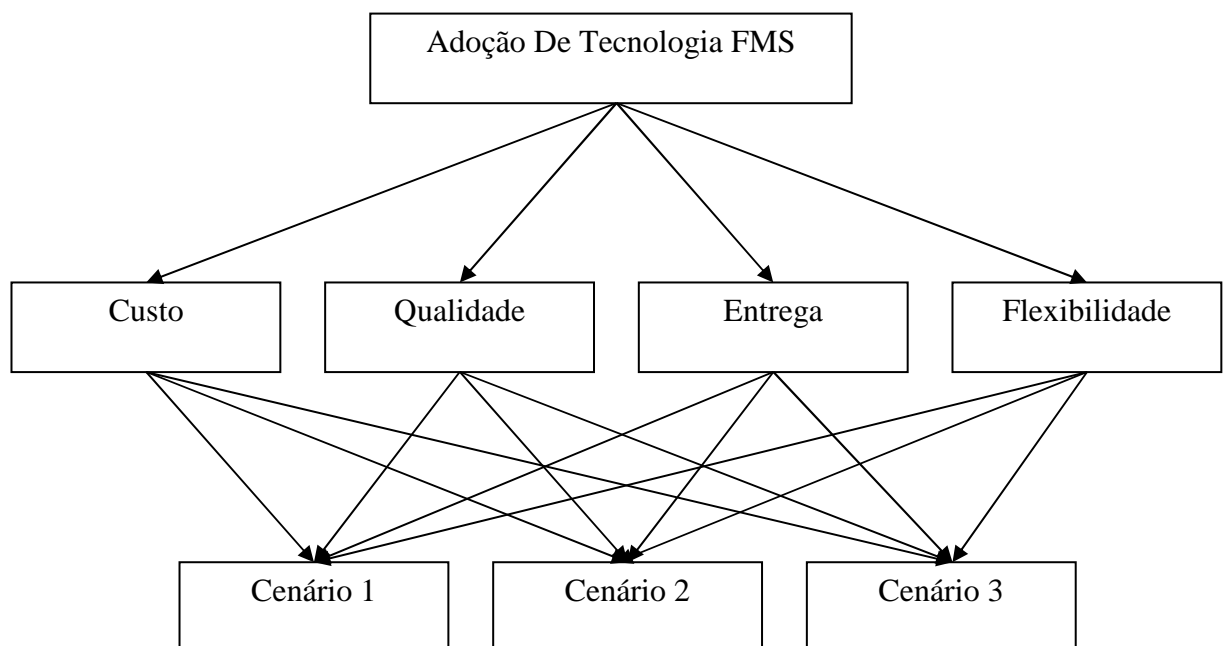
**Quadro 8 – Perfil dos respondentes**

Respondente	Formação	Experiência	Cargo
R1	Engenheiro Mecânico.	4 anos no cargo, 6 anos de profissão	Coordenador de Qualidade
R2	Engenheiro Mecatrônico.	1 ano no cargo, 14 anos de profissão	Supervisor de Produção
R3	Administração em Gestão da Produção.	4 anos no cargo, 17 anos de profissão	Analista de Métodos e Processos
R4	Acadêmico de Engenharia Elétrica.	5 anos no cargo, 16 anos de profissão	Coordenador de Manutenção e Métodos e Processos
R5	Técnico em Logística.	4 anos no cargo, 8 de profissão	Supervisor Logístico
R6	Bacharel em Administração de Empresas, MBA em Gestão e Estratégia Empresarial, MBA em Mastering Business Excellence	10 anos no cargo, 21 de profissão	Gerente Industrial

Fonte: O autor

### 5.1 ESTRUTURAS DE PREFERÊNCIAS DOS ESPECIALISTAS

No início dos trabalhos, mediados pelo pesquisador, o grupo de respondentes tomou conhecimento e familiarizou-se com o método AHP, com a escala fundamental e com a hierarquia da Figura 56, necessária para aplicação do método.

**Figura 56 – Níveis hierárquicos do método AHP aplicados**

Fonte: O autor

O próximo passo foi a comparação em pares entre as quatro dimensões competitivas, feita individualmente pelos seis respondentes responsáveis pelas áreas de qualidade, produção, processo, manutenção, logística e gerência industrial. As opiniões dos especialistas geraram as matrizes de preferências e as *CR* das Tabelas de 8 a 13, respectivamente.

**Tabela 8 – Prioridades determinadas pela área de Qualidade**

	<b>Custo</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Entrega</b>	<b>Flexib.</b>	<b>Prioridades</b>
<b>Custo</b>	1	1/3	3	5	26%
<b>Qualidade</b>	3	1	5	7	56%
<b>Entrega</b>	1/3	1/5	1	3	12%
<b>Flexib.</b>	1/5	1/7	1/3	1	6%

*CR* = 0,07

Fonte: O AUTOR

**Tabela 9 – Prioridades determinadas pela área de Produção**

	<b>Custo</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Entrega</b>	<b>Flexib.</b>	<b>Prioridades</b>
<b>Custo</b>	1	1/7	1	5	27%
<b>Qualidade</b>	4	1	4	7	41%
<b>Entrega</b>	1	1/4	1	5	27%
<b>Flexib.</b>	1/5	1/7	1/5	1	5%

*CR* = 0,04

Fonte: O AUTOR

**Tabela 10 – Prioridades determinadas pela área de Processo**

	<b>Custo</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Entrega</b>	<b>Flexib.</b>	<b>Prioridades</b>
<b>Custo</b>	1	1/7	1/7	3	8%
<b>Qualidade</b>	7	1	1	9	44%
<b>Entrega</b>	7	1	1	9	44%
<b>Flexib.</b>	1/3	1/9	1/9	1	4%

*CR* = 0,05

Fonte: O AUTOR

**Tabela 11 – Prioridades determinadas pela área de Manutenção**

	<b>Custo</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Entrega</b>	<b>Flexib.</b>	<b>Prioridades</b>
<b>Custo</b>	1	3	1	5	39%
<b>Qualidade</b>	1/3	1	1/3	3	15%
<b>Entrega</b>	1	3	1	5	39%
<b>Flexib.</b>	1/5	1/3	1/5	1	7%

*CR* = 0,02

Fonte: O AUTOR

**Tabela 12 – Prioridades determinadas pela área de Logística**

	<b>Custo</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Entrega</b>	<b>Flexib.</b>	<b>Prioridades</b>
<b>Qualidade</b>	1	1/3	1/5	1/5	6%
<b>Entrega</b>	3	1	1/3	1/3	9%
<b>Flexib.</b>	5	3	1	1	43%
<b>Custo</b>	5	3	1	1	43%

*CR* = 0,02

Fonte: O AUTOR



**Tabela 13 – Prioridades determinadas pela Gerência Industrial**

	<b>Custo</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Entrega</b>	<b>Flexib.</b>	<b>Prioridades</b>
<b>Custo</b>	1	1	1/3	1/3	38%
<b>Qualidade</b>	1	1	1/3	1/3	38%
<b>Entrega</b>	1/3	1/3	1	1	13%
<b>Flexib.</b>	1/3	1/3	1	1	13%

$CR = 0,00$

Fonte: O AUTOR

Observa-se que todas as  $CR$  foram inferiores a 0,1. Com isto, segundo os proponentes do método, é possível considerar os julgamentos como manifestações consistentes de decisores racionais. Em suma, os julgamentos foram aceitos.

A seguir, foram obtidas as médias das prioridades e apresentadas aos seis respondentes, que discutiram os resultados e consideraram-nos aceitáveis. Com isto, o vetor da Tabela 14 (Prioridades médias) foi aceito como a distribuição de prioridades entre os critérios competitivos da célula de manufatura na indústria.

**Tabela 14 – Prioridades médias de competição na indústria**

<b>Áreas</b>	<b>Prioridades médias</b>	<b>Desvio-padrão das prioridades</b>
<b>Custo</b>	23%	0,14
<b>Qualidade</b>	38%	0,18
<b>Entrega</b>	28%	0,15
<b>Flexibilidade</b>	12%	0,15

Fonte: O AUTOR

A tabela também apresenta o desvio-padrão das avaliações. Observa-se que eles são altos em relação à média, mas similares entre si.

O segundo passo da aplicação do método AHP foi a comparação em pares entre os cenários tecnológicos, segundo cada uma das dimensões de competição, por cada um dos respondentes: custo, qualidade, entrega e flexibilidade, julgados pelas áreas de qualidade, produção, processo, manutenção, logística e gerência industrial. Para a comparação, cada respondente respondeu à seguinte questão: Para todos os cenários e dimensões, como você classifica o cenário  $i$  em relação ao cenário  $j$  em relação à capacidade de influir na dimensão competitiva  $k$ ? Os resultados das comparações e as  $CR$  são apresentados nas Tabelas de 15 a 42, respectivamente. Após as seis tabelas relativas às seis avaliações de respondentes sobre uma dada dimensão competitiva, uma tabela é introduzida, com o resultado geral médio de prioridades dos cenários com relação à dimensão (Tabelas 43, 44, e 45).

**Tabela 15 – Relação entre os cenários com base no custo pela área da Qualidade**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	1	3	5	63%
<b>Cenário 2</b>	1/3	1	3	26%
<b>Cenário 3</b>	1/5	1/3	1	11%

CR = 0,05

Fonte: O AUTOR

**Tabela 16 – Relação entre os cenários com base no custo pela área da Produção**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	1	1	1/5	14%
<b>Cenário 2</b>	1	1	1/5	14%
<b>Cenário 3</b>	5	5	1	71%

CR = 0,00

Fonte: O AUTOR

**Tabela 17 – Relação entre os cenários com base no custo pela área do Processo**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	1	1	3	43%
<b>Cenário 2</b>	1	1	3	43%
<b>Cenário 3</b>	1/3	1/3	1	14%

CR = 0,00

Fonte: O AUTOR

**Tabela 18 – Relação entre os cenários com base o custo pela área da Manutenção**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	1	1/3	1/3	14%
<b>Cenário 2</b>	3	1	1	43%
<b>Cenário 3</b>	3	1	1	43%

CR = 0,00

Fonte: O AUTOR

**Tabela 19 – Relação entre os cenários com base o custo pela área da Logística**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	1	1/4	1	17%
<b>Cenário 2</b>	4	1	4	67%
<b>Cenário 3</b>	1	1/4	1	17%

CR = 0,00

Fonte: O AUTOR

**Tabela 20 – Relação entre os cenários com base no custo pela Gerência Industrial**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	1	5	7	72%
<b>Cenário 2</b>	1/5	1	3	19%
<b>Cenário 3</b>	1/7	1/3	1	8%

CR = 0,00

Fonte: O AUTOR

**Tabela 21 – Resultado geral de prioridades dos cenários com relação ao custo**

Cenário	Prioridades
Cenário 1	37%
Cenário 2	35%
Cenário 3	27%

Fonte: O AUTOR

**Tabela 22 – Relação entre os cenários com base na qualidade pela área da Qualidade**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
Cenário 1	1	1/3	1/3	14%
Cenário 2	3	1	1	43%
Cenário 3	3	1	1	43%

CR = 0,00

Fonte: O AUTOR

**Tabela 23 – Relação entre os cenários com base na qualidade pela área da Produção**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
Cenário 1	1	1/3	1/5	11%
Cenário 2	3	1	1/3	26%
Cenário 3	5	3	1	63%

CR = 0,00

Fonte: O AUTOR

**Tabela 24 – Relação entre os cenários com base na qualidade pela área do Processo**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
Cenário 1	1	1	5	45%
Cenário 2	1	1	5	45%
Cenário 3	1/5	1/5	1	9%

CR = 0,00

Fonte: O AUTOR

**Tabela 25 – Relação entre os cenários com base a qualidade pela área da Manutenção**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
Cenário 1	1	1	1	33%
Cenário 2	1	1	1	33%
Cenário 3	1	1	1	33%

CR = 0,00

Fonte: O AUTOR

**Tabela 26 – Relação entre os cenários com base a qualidade pela área da Logística**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
Cenário 1	1	1/7	1/3	8%
Cenário 2	7	1	5	72%
Cenário 3	3	1/5	1	19%

CR = 0,10

Fonte: O AUTOR

**Tabela 27 – Relação entre os cenários com base a qualidade pela Gerência Industrial**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
Cenário 1	1	1/4	1/6	9%
Cenário 2	4	1	1/3	27%
Cenário 3	6	3	1	64%

CR = 0,07

Fonte: O AUTOR

**Tabela 28 – Resultado geral de prioridades dos cenários com relação à qualidade**

Cenário	Prioridades
Cenário 1	20%
Cenário 2	41%
Cenário 3	39%

Fonte: O AUTOR

**Tabela 29 – Relação entre os cenários com base na entrega pela área da Qualidade**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
Cenário 1	1	1/4	1/8	7%
Cenário 2	4	1	1/4	23%
Cenário 3	8	4	1	70%

CR = 0,08

Fonte: O AUTOR

**Tabela 30 – Relação entre os cenários com base na entrega pela área da Produção**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
Cenário 1	1	5	1/3	32%
Cenário 2	1/5	1	1/7	10%
Cenário 3	3	7	1	58%

CR = 0,08

Fonte: O AUTOR

**Tabela 31 – Relação entre os cenários com base na entrega pela área do Processo**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
Cenário 1	1	1/4	1	17%
Cenário 2	4	1	4	67%
Cenário 3	1	1/4	1	17%

CR = 0,00

Fonte: O AUTOR

**Tabela 32 – Relação entre os cenários com base na entrega pela área da Manutenção**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
Cenário 1	1	1/3	1/5	11%
Cenário 2	3	1	1/2	31%
Cenário 3	5	2	1	58%

CR = 0,00

Fonte: O AUTOR

**Tabela 33 – Relação entre os cenários com base na entrega pela área da Logística**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	1	7	4	70%
<b>Cenário 2</b>	1/7	1	1/3	9%
<b>Cenário 3</b>	1/4	3	1	21%

CR = 0,05

Fonte: O AUTOR

**Tabela 34 – Relação entre os cenários com base na entrega pela Gerência Industrial**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	1	1/4	1/4	11%
<b>Cenário 2</b>	4	1	1	44%
<b>Cenário 3</b>	4	1	1	44%

CR = 0,00

Fonte: O AUTOR

**Tabela 35 – Resultado geral de prioridades dos cenários com relação à entrega**

Cenário	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	25%
<b>Cenário 2</b>	31%
<b>Cenário 3</b>	44%

Fonte: O AUTOR

**Tabela 36 – Relação entre os cenários com base na flexibilidade pela área da Qualidade**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	1	6	4	70%
<b>Cenário 2</b>	1/6	1	1/2	11%
<b>Cenário 3</b>	1/4	2	1	19%

CR = 0,01

Fonte: O AUTOR

**Tabela 37 – Relação entre os cenários com base na flexibilidade pela área da Produção**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	1	3	1/4	23%
<b>Cenário 2</b>	1/3	1	1/6	10%
<b>Cenário 3</b>	4	5	1	67%

CR = 0,05

Fonte: O AUTOR

**Tabela 38 – Relação entre os cenários com base na flexibilidade pela área do Processo**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	1	3	1/4	22%
<b>Cenário 2</b>	1/3	1	1/6	9%
<b>Cenário 3</b>	4	6	1	69%

CR = 0,07

Fonte: O AUTOR

**Tabela 39 – Relação entre os cenários com base na flexibilidade pela área da Manutenção**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	1	1	4	44%
<b>Cenário 2</b>	1	1	4	44%
<b>Cenário 3</b>	1/4	1/4	1	11%

CR = 0,00

Fonte: O AUTOR

**Tabela 40 – Relação entre os cenários com base na flexibilidade pela área da Logística**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	1	5	3	63%
<b>Cenário 2</b>	1/5	1	1/3	11%
<b>Cenário 3</b>	1/3	3	1	26%

$CR = 0,05$

Fonte: O AUTOR

**Tabela 41 – Relação entre os cenários com base na flexibilidade pela Gerência Industrial**

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	1	1/4	1/8	7%
<b>Cenário 2</b>	4	1	1/4	23%
<b>Cenário 3</b>	8	4	1	70%

$CR = 0,08$

Fonte: O AUTOR

**Tabela 42 – Resultado geral de prioridades dos cenários com relação à flexibilidade**

Cenário	Prioridades
<b>Cenário 1</b>	38%
<b>Cenário 2</b>	18%
<b>Cenário 3</b>	44%

Fonte: O AUTOR

Feitas as comparações pareadas e calculadas as  $CRs$ , pode-se observar que todas, sem exceção, ficaram abaixo de 0,1. Com isto, todos os julgamentos foram aceitos.

## 5.2 CÁLCULOS DOS MÉRITOS DOS TRÊS CENÁRIOS

Parte-se para o cálculo do mérito percentual de cada cenário. Para tanto, recupera-se o vetor de prioridades para as quatro dimensões de competição: custo = 23%; qualidade = 38%; entrega = 28%; e flexibilidade = 12%. O mérito de cada alternativa é dado pela soma dos produtos das prioridades (ou importâncias) de cada cenário em cada dimensão pela prioridade (ou importância) de cada dimensão. A Tabela 43 apresenta os méritos (ou prioridades) de cada alternativa. Observe-se que a soma dos méritos alcança 100%, como era de se esperar.

**Tabela 43 – Cálculo do mérito percentual de cada cenário pela primeira abordagem**

Alternativa	Cálculo	Mérito percentual
<b>Cenário 1</b>	$(0,37 \times 0,23) + (0,20 \times 0,38) + (0,25 \times 0,28) + (0,38 \times 0,12)$	0,275
<b>Cenário 2</b>	$(0,35 \times 0,23) + (0,41 \times 0,38) + (0,31 \times 0,28) + (0,18 \times 0,12)$	0,340
<b>Cenário 3</b>	$(0,27 \times 0,23) + (0,39 \times 0,38) + (0,44 \times 0,28) + (0,44 \times 0,12)$	0,385

Fonte: O AUTOR

O segundo método de cálculo de mérito dos cenários lança mão de avaliações qualitativas dos respondentes acerca da efetividade de cada cenário em cada dimensão de competição. Para todos os cenários e dimensões, dado o cenário  $i$  e a dimensão  $j$ , cada respondente respondeu à seguinte pergunta: na sua opinião, quanto o cenário  $i$  aplicado à célula em estudo contribui para ganho de competitividade segundo a dimensão  $j$ ? As respostas foram quantificadas segundo uma escala: [1 = contribuição muito alta; 0,75 = contribuição alta; 0,5 = contribuição média; 0,25 = contribuição baixa; e 0 = contribuição muito baixa]

As opiniões dos respondentes, as médias e os desvios-padrão são apresentadas nas Tabelas de 44 a 47, para as quatro dimensões: custo, qualidade, entrega, e flexibilidade.

**Tabela 44 – Avaliação dos cenários pelas áreas, referente ao custo**

Áreas	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Qualidade	0,75	0,75	0,75
Produção	0,75	0,75	0,5
Processo	0,75	0,5	0,5
Manutenção	0,75	0,5	0,5
Logística	0,75	0,75	0,75
Gerência	0,5	0,5	0,5
Médias	0,71	0,63	0,58
Desvios-padrão	0,10	0,14	0,13

Fonte: O AUTOR

**Tabela 45 – Avaliação dos cenários pelas áreas, referente à qualidade**

Áreas	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Qualidade	0,75	0,75	0,75
Produção	0,75	1	1
Processo	0,75	0,75	0,5
Manutenção	1	1	1
Logística	0,75	0,75	1
Gerência	0,75	1	1
Médias	0,79	0,88	0,92
Desvios-padrão	0,10	0,20	0,21

Fonte: O AUTOR

**Tabela 46 – Avaliação dos cenários pelas áreas, referente à entrega**

Áreas	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Qualidade	0,75	1	1
Produção	0,75	0,75	1
Processo	0,5	0,75	1
Manutenção	0,75	0,75	1
Logística	0,75	0,75	1
Gerência	0,5	1	1
Médias	0,67	0,83	1,00
Desvios-padrão	0,13	0,13	0,0

Fonte: O AUTOR

**Tabela 47 – Avaliação dos cenários pelas áreas, referente à flexibilidade**

Áreas	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Qualidade	0,75	0,75	1
Produção	1	1	1
Processo	1	1	1
Manutenção	0,75	0,75	0,75
Logística	1	1	1
Gerência	0,75	1	1
Médias	0,88	0,92	0,96
Desvios-padrão	0,14	0,13	0,10

Fonte: O AUTOR

À exceção do Cenário 3 (entrega), que teve unanimidade de avaliação e, portanto, variabilidade nula, as demais avaliações tiveram desvios-padrão similares.

De posse das médias das avaliações dos três cenários, referentes às quatro dimensões estratégicas, calculou-se o mérito de cada alternativa. O mérito de um cenário é dado pela soma de produtos [média da avaliação na dimensão x importância da dimensão], resultando uma combinação linear.

As equações 6, 7, e 8 calculam o mérito dos cenários.

$$\text{Mérito do cenário 1} = (0,71 \times 0,23) + (0,79 \times 0,38) + (0,67 \times 0,28) + (0,88 \times 0,12) = 0,756 \text{ equação (6)}$$

$$\text{Mérito do cenário 2} = (0,63 \times 0,23) + (0,88 \times 0,38) + (0,83 \times 0,28) + (0,92 \times 0,12) = 0,822 \text{ equação (7)}$$

$$\text{Mérito do cenário 3} = (0,58 \times 0,23) + (0,92 \times 0,38) + (1,00 \times 0,28) + (0,96 \times 0,12) = 0,878 \text{ equação (8)}$$

A Tabela 48 apresenta os méritos percentuais dos cenários.

**Tabela 48 – Mérito percentual dos cenários**

Cenário	Mérito	Mérito percentual
1	0,757	30,8%
2	0,822	33,4%
3	0,878	35,7%

Fonte: O AUTOR



Observa-se que, de novo, o Cenário 3, na média, é o preferido dos especialistas. Também observa-se que a ordem de preferência é a mesma (Cenário 3, Cenário 2, Cenário 1) para os especialistas segundo os dois métodos de cálculo.

### 5.3 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Nesta sessão, discutem-se os resultados da aplicação. A Tabela 49 recupera o resultado geral das análises hierárquicas por cenários.

**Tabela 49 – Resultado Geral das Análises Hierárquicas por Cenários**

Cenários	Custo	Qualidade	Entrega	Flexibilidade	Soma
<b>Cenário 1</b>	37%	20%	25%	38%	120%
<b>Cenário 2</b>	35%	41%	31%	18%	125%
<b>Cenário 3</b>	28%	39%	44%	44%	155%
<b>Soma</b>	100%	100%	100%	100%	400% / 400%

Fonte: O AUTOR

Os resultados apontam que o Cenário 1 obteve desempenho superior aos demais em custo. O Cenário 2 obteve desempenho superior aos demais em qualidade. O Cenário 3 obteve desempenho superior aos demais em entrega e flexibilidade. Na combinação das prioridades, o Cenário 3 obteve desempenho global superior aos demais. Alguns *trade-off's* podem ser observados: Cenário 1 é bom em custo, mas é ruim em qualidade; Cenário 2 é bom em qualidade mas é ruim em flexibilidade; Cenário 3 é ruim em custo, mas é bom em entrega e flexibilidade.

Discute-se a seguir os campos desta tabela.

#### 5.3.1 Cenário 1 *versus* custo

Os especialistas comentaram que o Cenário 1 é formado por um conjunto de esteiras que movimentam os materiais sobre os pallets e que a manipulação dos materiais é realizada por sistemas pneumáticos, possuindo um magazine central de ferramentas. Todos estes itens citados possuem custo de investimento e custo de manutenção substancialmente inferior aos sistemas dos demais cenários, o que favorece uma estratégia baseada em redução de custo.

### **5.3.2 Cenário 2 *versus* custo**

Os especialistas apontaram que, apesar de não haver custo com um sistema interligado de esteiras, é necessário investimento em equipamentos e especialistas confiáveis para manter elevada capacidade no sistema. Adicionalmente, pode haver alguma dúvida quanto ao custo de operação e de manutenção de AGV's para manter um fluxo ótimo e sincronizado de produção. Uma vantagem de custo apontada pelos especialistas é a comunicação sem fio de equipamentos, que elimina investimento e manutenção de redes por cabos. Outra vantagem sinalizada foi a capacidade de o sistema armazenar componentes por oito horas, o que tornaria desnecessário grandes locais de estoque externo e a diminuição da quantidade de alimentação das peças no sistema.

### **5.3.3 Cenário 3 *versus* custo**

Os especialistas ressaltaram que o investimento para implantação de dispositivos mais complexos e com manutenção mais especializada seria mais elevado, comparado com os demais sistemas. Sua capacidade de armazenamento de sistema de duas horas foi considerada muito baixa, o que exigiria uma maior frequência de alimentação no sistema. O número de robôs e o carregamento deles para manter o fluxo de produção poderiam apresentar alguma incerteza. A quebra de um robô poderia parar todo o sistema de produção, o que requer redundâncias, elevando os custos. Os magazines de ferramentas individuais por equipamentos aumentariam os custos com investimentos e manutenção. Portanto, os especialistas concordaram que este cenário é o pior em custo.

### **5.3.4 Cenário 1 *versus* qualidade**

Os especialistas comentaram que, pelo histórico de outros equipamentos com sistema de esteiras com pallets e sistemas pneumáticos na manipulação dos produtos, a qualidade da produção no que diz respeito às condições superficiais dos produtos eram afetadas, devido à elevada frequência de queda dos produtos dos pallets e marcas causadas pelo sistema pneumático. Em suma, a precisão do sistema de movimentos é inferior aos dos demais cenários, acarretando problemas de qualidade. Um ponto ressaltado foi o nível de conhecimento do especialista que acompanharia o sistema, devido ao nível tecnológico inferior ao dos demais cenários. A exigência quanto ao especialista em manutenção seria

inferior à dos demais cenários, com custo menor. Outro ponto ressaltado pelos especialistas são as condições de limpeza e organização exigidas pelo Cenário 1, pois as esteiras geram resíduos ao longo do tempo e a forma com que são instaladas dificultam o acesso para realização de manutenção e limpeza. Um ponto positivo ressaltado pelos especialistas foi que o Cenário 1 possui sistema de abastecimento e descarga do sistema independentes, o que gera maior confiabilidade ao sistema.

### **5.3.5 Cenário 2 *versus* qualidade**

Os especialistas afirmaram que as condições de movimentação e manipulação são superiores às do cenário 1, também reforçando que o *layout* de campo aberto para movimentação dos AGV's facilita a organização e a limpeza do sistema, o que influencia positivamente a qualidade do produto. A acessibilidade de manutenção aos equipamentos foi ressaltada devido a não haver lugares isolados e à comunicação sem fio, o que também facilita a inspeção da produção. Os especialistas sinalizaram que uma estante de armazenamento de oito horas pode gerar perdas por estoque, o que prejudica o custo. O nível de competência dos especialistas em manutenção do sistema deverá ser elevado, o que trará bons resultados de qualidade em geral ao cenário. Este é um cenário favorável à competição por aumento de qualidade no produto.

### **5.3.6. Cenário 3 *versus* qualidade**

Os especialistas citaram que o sistema de movimentação e manipulação oferece qualidade superior à do Cenário 1, mas o pequeno sistema de esteira existente para movimentar os materiais até a estante e o robô geram qualidade inferior à do Cenário 2. O estoque de apenas duas horas foi visto positivamente, pois reduz perdas de estocagem. Adicionalmente, alguns produtos poderiam ser abastecidos diretamente da alimentação do sistema ao robô, o que reduziria uma movimentação do sistema e preveniria problemas de qualidade. O nível dos especialistas do sistema, assim como o Cenário 2, são vistos como positivos para a qualidade geral do cenário. Outro ponto ressaltado foi um magazine independente por equipamento, o que contribui para a qualidade das ferramentas e, por consequência, das superfícies das peças.

### **5.3.7 Cenário 1 *versus* entrega**

Os especialistas citaram que a tecnologia de transporte por esteiras e a manipulação de materiais por sistemas pneumáticos são menos confiáveis do que os sistemas dos demais cenários, o que pode acarretar atrasos em entregas por problemas de manutenção nos equipamentos. O processo de transporte por pallets também foi colocado em dúvida em situações de alta demanda de produção, pois a grande quantidade de transferências de materiais poderia sobrecarregar o sistema de transportes. O magazine de ferramentas centralizado poderia acarretar atrasos, devido à distância entre os equipamentos. A estante de armazenamento de componentes com capacidade de quatro horas foi ponto positivo para garantir as entregas.

### **5.3.8 Cenário 2 *versus* entrega**

Os especialistas entenderam que a tecnologia do Cenário 2 pode garantir melhor as entregas, mas também poderia ocorrer saturação do transporte por AGVs, pois o fluxo de produção é totalmente independente deste transporte. Por isto, este cenário perde para o Cenário 3 em entrega. O magazine de ferramentas centralizado também pode gerar atrasos na produção, devido à distância entre os equipamentos e a possível baixa disponibilidade dos AGVs para o transporte. A estante de armazenamento com oito horas de capacidade permite mais garantia de entregas.

### **5.3.9 Cenário 3 *versus* entrega**

Os especialistas sinalizaram que a confiabilidade de entregas do Cenário 3 é influenciada positivamente por duas situações: abastecimento por esteira e movimentação por robôs. O abastecimento por esteira apresenta menos confiabilidade, porém, como a esteira é relativamente pequena, não trará maiores complicações ao sistema. O uso de robôs possui alta confiabilidade e será responsável pelas principais movimentações de materiais do sistema, garantindo, assim, as entregas. A agilidade dos braços robóticos é vista como diferencial tático importante para prevenir saturação no transporte, sendo capaz de suportar altas demandas. O magazine individual por equipamento permite agilidade na reposição de ferramentas, diminuindo atrasos. A estante de armazenamento de duas horas de capacidade

diminuirá filas e, por conseqüência, reduzirá tempo de atravessamento. Este cenário parece ser adequado para estratégia baseada em confiabilidade e velocidade de entregas.

#### **5.3.10 Cenário 1 *versus* flexibilidade**

Os especialistas sinalizaram que o cenário 1 poderá realizar *set-ups* rápidos, devido à quantidade de pallets existentes. No entanto, podem ocorrer alguns atrasos devido à distância do magazine de ferramentas. As alterações no produto poderiam ser realizadas automaticamente pelo sistema CIM. Uma alteração imprevista de produto na linha de produção poderia atrasar o *set-up* devido ao volume de produto em processo. O sentido de movimentação do transporte nas esteiras poderá proporcionar rotas maiores do que a distância entre os equipamentos, o que pode trazer significativa perda de flexibilidade.

#### **5.3.11 Cenário 2 *versus* flexibilidade**

Os especialistas sinalizaram que o Cenário 2 também poderá realizar *set-ups* rápidos, mas atrasos poderão ocorrer por saturação dos AGVs e também pelo magazine centralizado. As alterações no produto podem ser realizadas automaticamente pelo sistema CIM. Uma alteração imprevista de produto na linha de produção poderia atrasar o *set-up* devido ao volume de produto em processgo. A movimentação do AGVs pode ser prejudicada, podendo haver dificuldades em realizar rotas otimizadas nos transportes, o que reduz a flexibilidade do cenário.

#### **5.3.12 Cenário 3 *versus* flexibilidade**

Os especialistas sinalizaram que o Cenário 3 poderá realizar *set-ups* rápidos. Os magazines individuais por equipamento também permitirão alta velocidade no processo de troca de ferramenta. As alterações no produto podem ser realizadas automaticamente pelo sistema CIM. Uma alteração imprevista de produto na linha de produção poderia ser realizada com maior rapidez, se comparada aos demais cenários, devido à agilidade dos robôs. A combinação de diversos braços robóticos permitirá que as movimentações sejam realizadas sem atrasos, devido à capacidade que os braços robóticos têm de se adequarem e alcançarem os componentes em variadas posições. Este cenário parece ser adequado para estratégia baseada em aumento de flexibilidade.

#### 5.4 DISCUSSÕES SOBRE A APLICAÇÃO DO MÉTODO: REAÇÃO DOS RESPONDENTES E DIFICULDADES

Nesta sessão, discute-se a aplicação do método, a reação dos respondentes, as dificuldades, as facilidades, e os aperfeiçoamentos necessários para novas aplicações. Foram apresentados os resultados aos respondentes e coletadas suas opiniões a respeito do estudo.

O método foi aplicado de forma individual com os respondentes, com exceção da aplicação do método AHP para a priorização das dimensões estratégicas, para a qual foram reunidos todos os respondentes em sessão única. Foram apresentadas a metodologia de pesquisa, o método AHP e suas características e propriedades, as dimensões estratégicas escolhidas e os cenários desenvolvidos. A estrutura hierárquica do método AHP foi explicada com base na Figura 56.

A reação dos respondentes ao processo de pesquisa ficou mais caracterizada em duas situações: grupal e individual. Na reunião em grupo, com a presença do gerente industrial, observou-se que a opinião do gerente, devido ao seu cargo, influenciava na opinião dos demais participantes. Tal influência inviabilizou a busca por consenso em sessões grupais, reforçando a necessidade de avaliações individuais e posterior agregação de resultados. Um indicativo de que reuniões em grupo possivelmente chegariam a um consenso pouco confiável são os expressivos desvios-padrão calculados para as avaliações. Por exemplo, nas Tabelas 15 e de 44 a 47, em apenas uma ocasião não houve variabilidade. Nas demais, os desvios-padrão foram significativos e semelhantes, o que pôde apontar para diferenças de percepção entre os especialistas. Tais diferenças podem se originar de dois fatores: crenças estratégicas diversas sobre o negócio e sobre a influência de cada tipo de tecnologia sobre as prioridades de competição; e perspectivas enviesadas pela especialidade, pois cada especialista tende a entender melhor a parte do quadro que lhe interessa mais. Ambos os fatores são fonte relevante de conhecimento e diversidade, que podem ser perdidas na busca de um consenso, às vezes forçado pela hierarquia vigente na empresa.

A segunda situação de destaque foram as reuniões individuais, nas quais os respondentes tiveram liberdade para opinar segundo suas preferências. De modo geral, parece que os respondentes perceberam que o método poderia auxiliar a escolher tecnologias adequadas, pois todas as opiniões de especialistas que poderiam contribuir para a decisão foram consideradas. Houve manifestação de mais de um respondente que, normalmente, em problemas desse tipo, poucos especialistas assumiriam a responsabilidade pela compra de um equipamento, muitas vezes sem consultar a opinião de todos os demais usuários da futura

tecnologia, com risco de perda de informação na escolha. As dificuldades apresentadas pelos respondentes durante o processo de escolha foram divididas em três causas principais: a dificuldade de agendamento de encontros, dificuldade de entendimento do método AHP, e a grande quantidade de equipamentos nos cenários.

Os agendamentos para aplicação do método foram durante o horário de trabalho, no qual, muitas vezes, a aplicação do método era interferida por problemas urgentes ou telefonemas, tirando a concentração do respondente. Para tanto, para próximas aplicações, se possível, recomenda-se reunião fora do contexto da atividade laboral. A principal dificuldade em relação ao método AHP foi a premissa da transitividade. Alguns respondentes tiveram dificuldade em cumprir esta premissa, o que demandou esforços do pesquisador em esclarecimentos adicionais sobre o método e sobre a importância da consistência nos julgamentos. Ainda assim, apesar de se ter chegado a *CRs* satisfatórias, os desvios-padrão das avaliações apontaram para a existência de diversidade nas opiniões, que pode ser aumentada quando a transitividade não é pacífica. Com isto, parece ficar claro que, além de métodos da escola americana, também métodos da escola europeia podem e devem ser empregados em decisão multicriterial sobre manufatura.

Por fim, cenários com inúmeras tecnologias diferentes trouxeram dificuldades para os respondentes em imaginar as características e as implicações de cada cenário nos resultados e nas prioridades estratégicas. Para que se obtivessem comparações bem sucedidas, foi necessário auxílio constante, por parte do pesquisador, na explicação de cada tecnologia e de suas diferenças. Para novas aplicações, talvez seja necessário preparar melhor os especialistas, ou talvez até recorrer a especialistas mais qualificados, mesclando o grupo com representantes dos fabricantes de equipamentos para FMS. Neste caso, cuidados devem ser tomados para não enviesar a pesquisa, pois representantes dos fabricantes podem ter interesses comerciais nos resultados. Outra possibilidade é o uso de cenários dinâmicos, construídos por simulação visual, com quantificação de resultados. Esse tipo de construção poderia deixar mais explícitas as diferenças existentes entre cenários, exigindo menos capacidade de abstração dos respondentes.

## 5.5 IMPLICAÇÕES GERENCIAIS DOS RESULTADOS

A principal discussão que houve na apresentação dos resultados para os respondentes foi o questionamento sobre os equipamentos CNC, magazine de ferramentas e inspeção automática. Esses questionamentos dividiram os respondentes em dois grupos: o primeiro

acreditava que os maiores detalhamentos destas tecnologias trariam ainda mais dúvidas para a diferenciação dos cenários e, por consequência, menos facilidade de escolha; e o segundo acreditava que mais detalhamento dos cenários traria mais enriquecimento ao estudo e, por consequência, mais facilidade de escolha. Conclui-se que este tipo de escolha exige mais esforço dos principais especialistas da empresa no tema para a compreensão das implicações do que outras escolhas feitas no dia a dia da empresa.

O melhor Cenário foi o 3, que poderá contribuir fundamentalmente para as prioridades de competição entrega e flexibilidade. Outros cenários obtiveram desempenhos superiores nas demais prioridades.

Resta examinar uma última questão: o Cenário 3, mesmo sendo o melhor dos três cenários tecnológicos propostos, é melhor do que o Cenário atual? Colocando de outro modo, investir no Cenário 3 é melhor do que não fazer nada?

Uma última avaliação foi feita pelos especialistas, que julgaram o desempenho do cenário atual pelo mesmo critério usado na construção das Tabelas de 44 a 47. A pergunta foi: em sua opinião, quanto a célula atual contribui para ganho de competitividade segundo as quatro dimensões [1 = contribuição muito alta; 0,75 = contribuição alta; 0,5 = contribuição média; 0,25 = contribuição baixa; e 0 = contribuição muito baixa]? Para fins de simplificação, na Tabela 50, apresentam-se apenas as médias das avaliações do cenário atual e retoma-se, para comparação, a avaliação do Cenário 3 e as importâncias relativas das prioridades.

**Tabela 50 – Avaliação comparativa do cenário escolhido com o cenário atual.**

Prioridades	Importâncias relativas	Cenário 3	Cenário atual
<b>Custo</b>	23%	0,58	0,71
<b>Qualidade</b>	38%	0,92	0,54
<b>Entrega</b>	28%	1	0,37
<b>Flexibilidade</b>	12%	0,96	0,54
<b>Mérito ponderado</b>		0,88	0,54

Fonte: O AUTOR

Os especialistas concordaram que o custo do Cenário 3 será mais elevado, tanto pela amortização do investimento como pela manutenção mais complexa. Eventualmente, se a escala de produção subir, e se com isto a empresa passar a operar também em turno noturno, este aumento pode ser diluído, pois o número de operadores humanos cai neste cenário. No entanto, ressalta-se que este aumento é incerto. O nível de qualidade do produto crescerá com o Cenário 3, devido à capacidade do sistema CIM de desenvolver, produzir e controlar todos



os aspectos do produto, de oferecer condições de rastreabilidade, testes dimensionais e devido à capacidade aumentada dos novos equipamentos. Haveria menos variabilidade nas características de qualidade de produtos, devido às leituras constantes do processo, sinalizando e prevenindo a ocorrência de problemas. A entrega seria mais veloz e pontual, devido à confiabilidade e à velocidade dos equipamentos, e à configuração, que reduz filas. Por fim, a flexibilidade aumentará devido ao sistema CIM, que poderá gerenciar alterações imprevistas de programas de produção e as características de *set-up* rápido nas máquinas conferidas pelo CAM e por magazines de ferramentas individuais.

A principal implicação deste estudo é: investir no Cenário 3 é mais vantajoso do que nada fazer. Adicionalmente, observe-se que o atual cenário é mais vantajoso para uma estratégia baseada em custo do que o futuro cenário automatizado. Olhada isoladamente, a avaliação por custo não recomenda a adoção de FMS na célula estudada. Portanto, provavelmente, métodos de avaliação baseados exclusivamente em análises financeiras e projeção de fluxos de caixa a partir da realidade atual, sem considerar novos encaixes que podem vir a acontecer por acréscimos de competitividade em dimensões de difícil avaliação, não recomendariam a adoção de FMS, como amplamente descrito na literatura revisada.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste estudo foi desenvolver e testar um método de apoio à decisão de escolha de tecnologia em Sistemas Flexíveis de Manufatura (FMS). O método de pesquisa empregado na dissertação foi o estudo de um caso em uma célula de manufatura de uma empresa da indústria automotiva. Seis especialistas da empresa contribuíram com suas opiniões e avaliações para o estudo de caso. O método multicriterial AHP de apoio à decisão foi empregado para obter as estruturas de preferências dos especialistas.

Os objetivos específicos foram:

- dentre as dimensões competitivas em manufatura apresentadas pela literatura, escolher e priorizar as dimensões competitivas que são mais importantes;
- formular um método e aplicar em um caso real para avaliar opções para escolha de tecnologia e implantação de FMS em manufatura, usando as dimensões escolhidas; e
- discutir a aplicação.

O primeiro objetivo foi atingido no referencial teórico: as dimensões escolhidas foram custo, qualidade, entrega, e flexibilidade. Apesar de outras dimensões de competição serem estudadas na literatura, autores apontaram estas quatro como dimensões primitivas, mais indicadas para estudos iniciais, até pelo fato de poderem, mesmo que sem total completude, englobarem outras dimensões, mais recentemente propostas.

O segundo objetivo foi atingido no capítulo 4, no qual foi apresentado e testado o método utilizado, resultando uma escolha: o cenário 3.

O terceiro objetivo foi atingido no capítulo 5, no qual foram discutidos os resultados da aplicação e o método aplicado. Conclusões de aprimoramento foram obtidas e ao menos uma implicação importante foi extraída: apesar da adoção do Cenário 3 ser vantajosa, esta conclusão, possivelmente, não teria sido atingida por métodos baseados exclusivamente em análises financeiras e baseadas em fluxo de caixa.

A questão de pesquisa foi: como avaliar opções para escolha de tecnologia FMS na manufatura? O método desenvolvido nesta dissertação respondeu à pergunta.

Os principais os principais objetivos determinados pela pesquisa foram alcançados, contudo a pesquisa entrou em diversos campos de estudo que necessitam serem comentadas as dificuldades e oportunidades de avanços de estudos nos campos que discutiremos abaixo:

- As principais dimensões estratégicas foram retiradas das literaturas, baseando-se em artigos e livros de autores renomados no assunto, na qual foi determinado que as dimensões custo, qualidade, flexibilidade e entrega se enquadrariam as necessidades da empresa, porém ao executar a pesquisa percebeu-se, que apesar destas dimensões serem fortemente conhecidas por pesquisadores do ramo, estas dimensões não estava claro para os entrevistados da empresa que colaboram com a pesquisa. O principal questionamento das entrevistas era sobre a amplitude da dimensão, sabendo-se, por exemplo, que a dimensão qualidade ou custo, possuem muitas derivações, na qual poderia dar focos diferentes aos entrevistados. Talvez em um próximo estudo possamos avançar em uma avaliação mais detalhada da dimensão competitiva que trará mais alinhamento entre os entrevistados e que se encaixará melhor aos desafios da empresa. Também os entrevistados comentaram que outras dimensões como inovação ou marketing poderiam contribuir para a pesquisa, sendo assim vemos que a amplitude das dimensões estratégicas é fundamental para a elaboração de um projeto de alterações significativas das empresas.

- Os cenários desenvolvidos tiveram como base inicial os layout's descritos em artigos e livros citados na pesquisa, havendo poucas conversas com os entrevistados sobre o tema, cabendo ao autor desta pesquisa ser o elaborador destes cenários, pois possui formação em engenharia de controle e automação. Os cenários possuem layout's, formas de transportes, manuseio de materiais e alguns acessórios para produção muito bem distinta entre os cenários, mas os principais equipamentos de transformação e programas computacionais que auxiliam nos desenvolvimentos dos produtos e processos são iguais. Com esta limitação vemos a oportunidade de novas pesquisas para desenvolvimentos de cenários, talvez tenha consultados fabricantes do ramo ou mais especialistas no seguimento de engenharia mecatrônica, poderão reforçar e distinguir mais as características do cenário. Contudo, visualizado nosso cenário de automação do país, vemos raras empresas que empregam auto nível de automação para processo que exigem flexibilidade, por estes fato relevante vemos que os cenários desenvolvidos para pesquisa atendem a necessidade, mas para uma definitiva implantação do cenário escolhido deverá ser realizado mais estudos para dimensionamento correto dos equipamentos escolhidos.

- O método AHP demonstrou-se um método eficaz para escolha multicriterial, vendo que os entrevistados possuíam uma tendência natural em entrar em variáveis mais subjetivas, se encaminham para escolhas para o tipo dos métodos multicriterias da escola européia, na qual aceitam a transitividade nas escolhas. Com explicações mais profundas sobre os métodos e suas diferenças para os métodos da escola européia, os entrevistados

tiveram facilidade no preenchimento dos quadros, atendendo quase totalmente a razão de consistência, havendo raras correções. A forma com que a hierarquia criada pelo método deixa claro o objetivo de escolha e a percentual criado pelo método ajuda a distinguir as maiores importâncias dadas pelos entrevistados. Como oportunidade de pesquisa podemos ter métodos para avaliar qual avaliação multicriterial se enquadraria melhor para situação ou aplicação do método objetivo e subjetivo simultaneamente e avaliar seus resultados.

- As entrevistas, assim como dita anteriormente, tiveram maior significância quando foram realizadas individualmente, visto que as reuniões em grupo inibiam e condicionavam as opiniões dos respondentes devido à presença da gerente industrial. As entrevistas por exigência dos entrevistados foram realizadas no expediente normal de trabalho, ocorrendo algumas situações que interrompiam a pesquisa, por exemplo, telefonemas urgentes para solucionar problemas ou problemas trazidos por funcionários, estes fatos em algumas vezes encerravam a entrevista para se iniciar em outro momento. Como oportunidade de melhorar esta se viu a necessidade para próximas pesquisas de solicitar a empresa tempos pré-definidos aos seus funcionários para que possam contribuir de forma sólida e sem interrupção para a pesquisa.

- Com a apresentação dos resultados os entrevistados demonstraram favoráveis a escolha do cenário 3 como cenário mais favorável, entretanto levou um questionamento a pesquisa se apenas do fato de haver uma escolha por um método reconhecido mundialmente é suficiente para determinar a implantação e investimento muito elevados de recursos. Contudo os fatores necessitaram ser avaliados em outras pesquisas, não apenas o fato do cenário ser o perfeito, mas sim as atenderão todos as exigências no cenário industrial.

## 6.1 FUTURAS PESQUISAS

A partir desta pesquisa outras poderão ser desenvolvidas para o aprimoramento de métodos de apoio à escolha de tecnologia FMS para manufatura.

As principais sugestões de continuidade dizem respeito às limitações desta pesquisa e às fragilidades apontadas na discussão sobre o método. Em síntese: introdução de mais prioridades de competição na análise; uso de métodos multicriteriais da escola europeia, não apenas da americana; presença de especialistas da indústria fornecedora no grupo de trabalho; uso de cenários dinâmicos, construídos por simulação visual, com quantificação de resultados; e aplicação de um método mais robusto em outras indústrias, tais como eletrônica, farmacêutica, química, e biotecnologia, que usam FMSs.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHLERT, F. **Utilização do mapeamento e processos e da simulação computacional no auxílio à tomada de decisão em um ambiente hospitalar**: um estudo quali-quantitativo. 2010. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo: 2010.

ALVES FILHO, A.; VANALLE, R.; PEREIRA, G. Estratégia de Produção e Competitividade: o caso de uma empresa do setor de máquinas-ferramenta. **Anais do XXVII ENEGEP**, Encontro Nacional de Engenharia da Produção, Foz do Iguaçu: 2007.

ANDRADE, A.; SELEME, A.; RODRIGUES, L.; SOUTO, R. **Pensamento Sistêmico**: caderno de campo – o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELETRICA E ELETRÔNICA, 2015. Disponível em <[www.abinee.org.br](http://www.abinee.org.br)>. Acesso em março de 2015;

ASKIN, R.; STANDRIDGE, C. **Modeling and Analysis of Manufacturing Systems**. New York: John Wiley & Sons, 1993.

BARBERA, H.; PEREZ, D. Development of a flexible AGV for flexible manufacturing systems. **Industrial Robot: An International Journal**, v. 37, n. 5, p. 459-468, 2010.

BELOTTI JR., M. **CIM – Manufatura Integrado por Computador**. Monografia de Conclusão de Curso em Tecnologia de Automação Industrial, Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga, Taquaritinga: 2010.

BENAVENTE, J. **Um sistema para o projeto e fabricação remota de peças prismáticas via internet**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: 2007.

BLANCHARD, B.; FABRYCKY, W.; FABRYCKY, W. **Systems engineering and analysis**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1990.

BLOG ROBÓTICA, 2015. Disponível em <[informacionesderobotica.blogspot.com.br](http://informacionesderobotica.blogspot.com.br)>. Acesso em março de 2015.

BOADA, Y.; MORALES, L.; SOTOMAYOR, N. Control de Seguimiento de Trayectoria y Paletización de un Robot de Tres Grados de Libertad tipo SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm). **Revista Politécnica**, v. 33, n. 1, p. 1-9, 2014.

BOYER, K. Longitudinal linkages between intended and realized operations strategies. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 18, n. 4, p. 356-373, 1998.

BRANDEAU, M.; ZARIC, G.; RICHER, A. Resource allocation for control of infectious diseases in multiple independent populations: beyond cost-effectiveness analysis. **Journal of Health Economics**, v. 22, n. 4, p. 575-598, 2003.

BROWNE, J.; DUBOIS, D.; RATHMILL, K.; SETHI, S.; STECKE, K. Classification of flexible manufacturing systems. **The FMS Magazine**, v. 2, n. 2, p. 114-116, 1984.

BUZACOTT, J.; SHANTHIKUMAR, J. A general approach for coordinating production in multiple-cell manufacturing systems. **Production and Operations Management**, v. 1, n. 1, p. 34-52, 1992.

CAPELLI, A. **Automação Industrial: Controle do Movimento e Processos Contínuos**. São Paulo: Érica, 2008.

CASTRO FILHO, J. **Os limites da subjunção do trabalho intelectual no processo produtivo de software**. Dissertação de Mestrado em Economia da Universidade Federal de Sergipe, Aracaju: 2010.

CLEVELAND, G.; SCHROEDER, R.; ANDERSON, J. A theory of production competence. **Decision Sciences**, v. 20, n. 4, p. 665 – 688, 1989.

CRESWELL, J. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Porto Alegre: Artmed, 2007.

DAVIM, J.; CORREIA, A. **Maquinagem a alta velocidade: fresagem/CNC**, Lisboa: Publindústria, 2006.

DIAS, M.; FERNSTENSEIFER, J.; SELBITTO, M. Análise multicriterial em estratégia de operações: estudo de caso com compradores de arroz de seis redes supermercadistas. **Produção Online**, v. 11, n. 3, p. 707-734, 2011.

DOMINIAC, A. **Projeto de uma bancada didática para o estudo de redes industriais**. Monografia de conclusão de Especialização em Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba: 2012.

ESTREMOTE, M. **Manipulação Remota de um Braço Mecânico (SCORBOT ER - III) utilizando a Rede Mundial de Computadores**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Elétrica, UNESP, Ilha Solteira: 2006.

ETTLIE, J.; BRIDGES, W.; O'KEEFE, R. Organization strategy and structural differences for radical versus incremental innovation. **Management Science**, v. 30, n. 6, p. 682-695, 1984.

FERDOWS, K.; DE MEYER, A. Lasting improvements in manufacturing performance: in search of new theory. **Journal of Operations Management**, v.9, n.2, p. 168 – 184, 1990;

FERREIRA, J. **Sistemas Integrados de Manufatura**. Disponível em <<http://www.grima.ufsc.br/jcarlos>>. Acesso em 21 jan., 2015.

FISHER, G. Utility Models for Multiple Objective Decisions: Do They Accurately Represent Human Preference. **Decision Sciences**, v. 10, n. 7, p. 451-479, 1979.

FLYNN, B.; JACOBS, R. **A simulation comparison of group technology with traditional job shop manufacturing**, International Journal of Production Research, v. 24, n. 5, p. 1171-1192, 1986.

GARDNER Publication. **The 2014 World Machine – Tool Output & Consumption Survey**. 2014. Disponível em: <[http://www.gardnerweb.com/cdn/cms/2014wmtocs\\_SURVEY.pdf](http://www.gardnerweb.com/cdn/cms/2014wmtocs_SURVEY.pdf)>, Acesso em março de 2014.

GERHARDT, T.; SILVEIRA, D. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Plageder, 2009.

GHASEMZADEH, F.; ARCHER, N. Project portfolio selection through decision support. **Decision Support Systems**, v. 29, n. 1, p. 73-88, 2000.

GOMEDE, E.; BARROS, R. Utilizando o Método Analytic Hierarchy Process (AHP) para Priorização de Serviços de TI: Um Estudo de Caso. **Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação**, p. 408-419, São Paulo: 2012.

GOMES, L.; ARAYA, C.; CARIGNANO, C. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOMES, L.; GOMES, C. **Tomada de Decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2012.

GÓMEZ, A.; LORENA, L. Modelagem de Sistemas de Manufatura Flexíveis considerando restrições temporais e a capacidade do magazine. **Gestão & Produção**, v. 5, n. 1, p.68-80, 1998.

GOODE W.; HATT, P. **Métodos em pesquisa social**; São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1979.

GRANEMANN, S.; GARTNER, I. Seleção de financiamento para aquisição de aeronaves: uma aplicação do método de análise hierárquica (AHP). **Revista Transportadores**, v. 6, n. 1, p. 18-40, 1998.

GRIMA – Grupo de Integração da Manufatura. PPG em Engenharia Mecânica da UFSC. 2014. Disponível em <<http://www.grima.ufsc.br/jcarlos/>>. Acesso em dezembro de 2014.

GROOVER, M. **Automação Industrial e Sistemas de Manufatura**. São Paulo: Pearson, 2011.

HANDFIELD, R.; PAGELL, M. An analysis of the diffusion of flexible manufacturing systems. **International Journal of Production Economics**, v. 39, n. 3, p. 243 -253, 1995.

HAYES, R.; PISANO, G.; UPTON, D.; WHEELWRIGHT, S. **Produção, Estratégia e Tecnologia: em busca da vantagem competitiva**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

HAYES, R.; WHEELWRIGHT, S. **Restoring our Competitive Edge: Competing through Manufacturing**. Wiley: New York, 1984.

HESSE, S. **99 exemplos de aplicações pneumáticas**. Hannover: Festo, 2001.

HILL, T. **Manufacturing Strategy Text and Cases**. Irwin, Homewood, Illinois, 1989.

HOGARTH, R. **Judgement and choice**. John Wiley & Sons: Essex, 1988.

INTEGRATED SYSTEM DESIGN, 2015. Disponível em < [www.isddd.com](http://www.isddd.com)>. Acesso em março de 2015.

KAKATI, M.; DHAR U. Investment justification in flexible manufacturing systems. **Engineering Costs and Production Economics**, v. 21, n. 3, p. 203-209, 1991.

KARSAK, E.; KUZGUNKAYA, O. A fuzzy multiple objective programming approach for the selection of a flexible manufacturing system. **International Journal of Production Economics**, v. 79, n. 2, p. 101-111, 2002.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L. **Operations Management, Strategy and Analysis**, 1ª edição. Addison Wesley, Reading, Massachusetts, 1987;

LEITE, W. **Desenvolvimento e Fabricação de Moldes para Produtos de Plásticos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 2011.

LEITE, W.; NIGRI, E.; FARIA, P.; OLIVEIRA, R.; RUBIO, J. Cenário de Manufatura Integrada: Fabricação de moldes para peças plásticas termo-moldadas. **Anais do XXX ENEGEP**, Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Carlos: 2010.

LEITE, W.; NIGRI, E.; OLIVEIRA, E.; ABRÃO, A.; RUBIO, J. Projeto orientado para a manufatura: compensação dos desvios geométricos de máquinas-ferramenta por meio do seu produto acabado. **Anais do VI Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, Caxias do Sul: 2011.

LIESIO, J.; MILD, P.; SALO, A. Preference programming for robust portfolio modeling and project selection. **European Journal of Operational Research**, v. 181, n. 3, p. 1488-1505, 2007.

LIMA, C. **Um estudo comparativo de sistemas de medição aplicáveis ao controle dimensional de superfícies livres em peças de médio e grande porte**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: 2006.

LOCH, C.; PICH, M.; TERWIESCH, C.; URBSCHAT M. Selecting R&D Projects at BMW: A Case Study of Adopting Mathematical Programming Models; **IEEE Transactions on Engineering Management**; v. 48, n. 1, p. 70-80, 2001.

LUGLI, A.; SANTOS, M. **Redes Industriais para Automação Industrial AS-I, Profibus e Profinet**. São Paulo: Érica, 2012.

MAFFEI, A. **Characterisation of the Business Models for Innovative, Non-Mature Production Automation Technology**. PhD Thesys, Production Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm: 2012.

MEDAGLIA, L. GRAVES, S.; RINGUEST J. A multiobjective evolutionary approach for linearly constrained project selection under uncertainty. **European Journal of Operational Research**, v. 179, n. 3, p. 869-894, 2007.



MEDINA, R.; CRISPIM, S. Fatores determinantes no processo de decisão de investimentos em robotização na indústria brasileira de autopeças. **Gestão da Produção**, v. 17, n.3, p. 567-578, 2010.

MILLER, J.; ROTH, A. A taxonomy of manufacturing strategies. **Management Science**. v. 40, n. 3, p. 385- 304; 1994.

MONAHAM, G.; SMUNT, T. A Multilevel Decision Support System for the Financial Justification of Automated Flexible Manufacturing Systems. **Interfaces**. v. 17, n. 6, p. 29-40, 1987.

NOGUEIRA, T. **Redes de Comunicação para Sistemas de Automação Industrial**. 2009. Trabalho de Conclusão do Curso de engenharia de controle de automação da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto: 2009.

OLIVEIRA, G.; MAIA, J.; MARTINS, R. Estratégia de produção e desenvolvimento de produto em uma empresa do setor de cosméticos. **Sistemas & Gestão**, v. 1, n. 1, p. 58-74, 2006.

PARSAEI, H.; KARWOWSKI, W.; WILHELM, M.; WALSH, A. A methodology for economic justification of flexible manufacturing systems. **Computers & Industrial Engineering**, v. 15, n. 1-4, p. 117-122, 1988.

PEIXOTO, J. **Desenvolvimento de sistemas de automação da manufatura usando arquiteturas orientadas a serviço e sistemas multiagentes**; Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: 2012.

PIDD, M. **Systems Modelling: theory and practice**. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.

RENZI, C.; LEALI, F.; CAVAZZUTI, M.; ANDRISANO, A. A review on artificial intelligence applications to the optimal design of dedicated and reconfigurable manufacturing systems. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 72, n. 1-4, p. 403-418, 2014.

REZAEI, K.; OSTADI, B. A mathematical model for optimal and phased implementation of flexible manufacturing systems. **Applied Mathematics and Computation**, v. 184, n. 2, p. 729-736, 2007.

RODRIGUEZ, D; COSTA, H; CARMO, L. Métodos de auxílio multicritério à decisão aplicados a problemas de PCP: Mapeamento da produção em periódicos publicados no Brasil. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 1, p. 134-146, 2013.

ROMANO, V.; DUTRA, M. Introdução à Robótica Industrial. In: ROMANO, V. (org.) **Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processo**, São Paulo: Edgard Blücher, p. 1-19, 2002.

ROODA, J.; VERVOORT, J. **Analysis of Manufacturing Systems**. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, 2004. Disponível em: <<http://se.wtb.tue.nl>>. Acesso em março de 2013.

ROSÁRIO, J. **Automação industrial**. São Paulo: Baraúna, 2009.

ROSSONI, C. **Decisão Multicritério: uma pesquisa experimental para avaliação da percepção dos gestores de MPE acerca do modelo de tomada de decisão multicritério T-ODA quanto à sua aplicação.** Dissertação de Mestrado em Administração, Faculdade Campo Limpo Paulista. Campo Limpo Paulista: 2011.

ROTH, A.; MILLER, J. **Manufacturing strategy, manufacturing strength, managerial success, and economic outcomes.** Netherlands: Springer, 1990;

RUDD, J.; GREENLEY, G.; BEATSON, A.; LINGS, I. Strategic planning and performance: Extending the debate. **Journal of Business Research**, v. 61, n. 2, p. 99-108, 2008.

SAATY, T. **Método de Análise Hierárquica.** São Paulo: Makron Books, 1991.

SAATY, T. **Priority Setting in Complex Problems.** IEEE Transactions Engineering Management, v. 30, n. 3, p. 140-155, 1983.

SALLES, J. **Organização da produção e do trabalho em ambiente de comando numérico.** Dissertação de Mestrado em Administração. FGV, São Paulo: 1989.

SCHEER, A. **CIM: evoluindo para a fábrica do futuro.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1993.

SCHMENNEN, R. W. Production Operations Management: Concepts and Situations. **Science Research Associates**, 1981;

SELL, A. R.; HAMANN, E.; NOLASCO, L. E.; **Projeto e implementação de um sistema automático de armazenamento: transelevador didático.** Monografia de conclusão de Especialização em Mecatrônica Industrial. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Joinville, 2013.

SELLITTO, M.; WALTER, C. Avaliação do desempenho de uma manufatura de equipamentos eletrônicos segundo critérios de competição. **Produção**, v. 16, n. 1, p. 34-47, 2006.

SENCORPWHITE, 2015. Disponível em <[sencorpwhite.com](http://sencorpwhite.com)>. Acesso em março de 2015.

SEPRO, 2015. Disponível em [www.sepro-america.com](http://www.sepro-america.com). Acesso em março de 2015.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção,** Porto Alegre: Artmed, 1996.

SHIVANAND, H.; BENAL, M.; KOTI, V. **Flexible Manufacturing System,** Bangalore: New Age International Publishers, 2006.

SCHROEDER, R. G.; LAHR, T. N.; Development of manufacturing strategy: a proven process. **Manufacturing Strategy**, v. 8, n. 9, p. 3 – 14, 1990;

SILVA, A. **Desenvolvimento Integrado CAD/CAM de componentes para turbinas a gás.** Dissertação de mestrado em Engenharia Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos: 2006.

SILVA, B.; FINARDI, C.; FORNECK, M.; SELBITTO, M. Análise comparativa e avaliação de prioridades de competição em três cadeias de suprimentos do setor petroquímico. **Produção**, v. 22, n. 2, p. 225-236, 2012.

SILVA, E. **Alinhamento das estratégias competitivas como as estratégias de produção: Estudo de casos no polo moveleiro de Votuporanga – SP**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos: 2003.

SKINNER, W. Production under pressure. **Harvard Business Review**, v. 44, n. 6, p. 139 – 146, 1966;

SKINNER, W. Manufacturing-missing link in corporate strategy. **Harvard Business Review**, v. 47, n. 3, p. 136-145, 1969.

SKINNER, W. The Focused Factory. **Harvard Business Review**, v. 52, n. 3, p. 113 – 121, 1974;

SSI SCHÄFER. **Conveyor System Components: Modular flexibility in any dimension**; Alemanha: 2009. 48 p. Catálogo.

STAKE, R. Case studies. In: Denzin, N.; Lincoln, Y. (eds). **Handbook of qualitative research**. London: Sage; 2000.

TEGRUPOSETE7, 2015. Disponível em <[tegruposete7.wordpress.com](http://tegruposete7.wordpress.com)>. Acesso em março de 2015.

TONI, A.; TONCHIA, S. Manufacturing Flexibility: a literature review. **International Journal of Production Research**, v. 36, n. 6, p. 1587-617, 1988.

TRACEY, M; VONDEREMBSE, M.; LIM, J. Manufacturing technology and strategy formulation: keys to enhancing competitiveness and improving performance. **Journal of Operations Management**, n. 17, p. 411-428, 1999.

TROXLER, J.; BLANK, L. A comprehensive methodology for manufacturing system evaluation and comparison. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 8, n. 3, p. 175-183, 1989.

US BUREAU OF LABOR STATISTICS, 2015. Disponível em <<http://www.bls.gov>>. Acesso em março de 2015.

VALEO SISTEMAS AUTOMOTIVOS. Grupo Valeo – Mapa da Valeo no mundo; disponível em <<http://www.valeo.com/en/the-group>>. Acesso em 21 de janeiro de 2015.

VALERI, S.; TRABASSO, L. Desenvolvimento integrado do produto: uma análise dos mecanismos de integração das ferramentas DFX. **Anais do IV CBGDP**, Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produtos, Gramado: 2003.

VARGAS, L. Reciprocal matrices with random coefficients. **Mathematical Modelling**, v. 3, n. 1, p. 69-81, 1982.

VERDADE GENUÍNA. **Motor de partida**. São Paulo: General Motors do Brasil, Março de 2011.

VERONESE JR., E. **Avaliação da viabilidade técnica da aplicação de termoplásticos em painéis exteriores automotivos**. Dissertação de Mestrado em Gestão Tecnologia, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. Salvador:, 2010.

VICKERY, S.; DRÖGE, C.; MARKLAND, R. Dimensions of manufacturing strength in the furniture industry. **Journal of Operations Management**. v. 15, n. 4, p. 317-330, 1997.

VILAS BOAS, C. Método multicritérios de análise de decisão (MMAD) para as decisões relacionadas ao uso múltiplo de reservatórios: Analytic hierarchy process (AHP), **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, João Pessoa, 2005.

WABALICKIS, R. Justification of FMS with the analytic hierarchy process. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 7, n. 3, p. 175-182, 1988.

WARD, P.; BICKFORD, D.; LEONG, G. Configurations of manufacturing Strategy, business strategy, environment and structure. **Journal of Management**. v. 22, n. 4, p. 597- 626, 1996.

WHEELWRIGHT, S. C. Reflecting corporate strategy in manufacturing decisions. **Business Horizons**, v. 21, n. 1, p. 57 – 66, 1978;

WERNKE, R. A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais. **Revista Contabilidade & Finanças**. v. 14, n. 25, p. 60-71, 2001.

WITTE, H. **Máquina Ferramentas**: Elementos básicos de Máquinas e Técnicas de Construção. São Paulo: Hemus, 1998.

WOOD, C. H.; RITZMAN, L. P.; SHARMA, D. Intended and achieved competitive priorities: measures, frequencies and financial impact. **Manufacturing Strategy**, v. 8, n. 9, p. 225 – 232, 1990;

YIN, R. **Estudo de Caso**: Planejamento e Métodos. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZHANG, Q.; VONDEREMBSE, M.; CAO, M. Product concept and prototype flexibility in manufacturing: Implications for customer satisfaction. **European Journal of Operational Research**, v. 194, n. 1, p. 143-154, 2009.

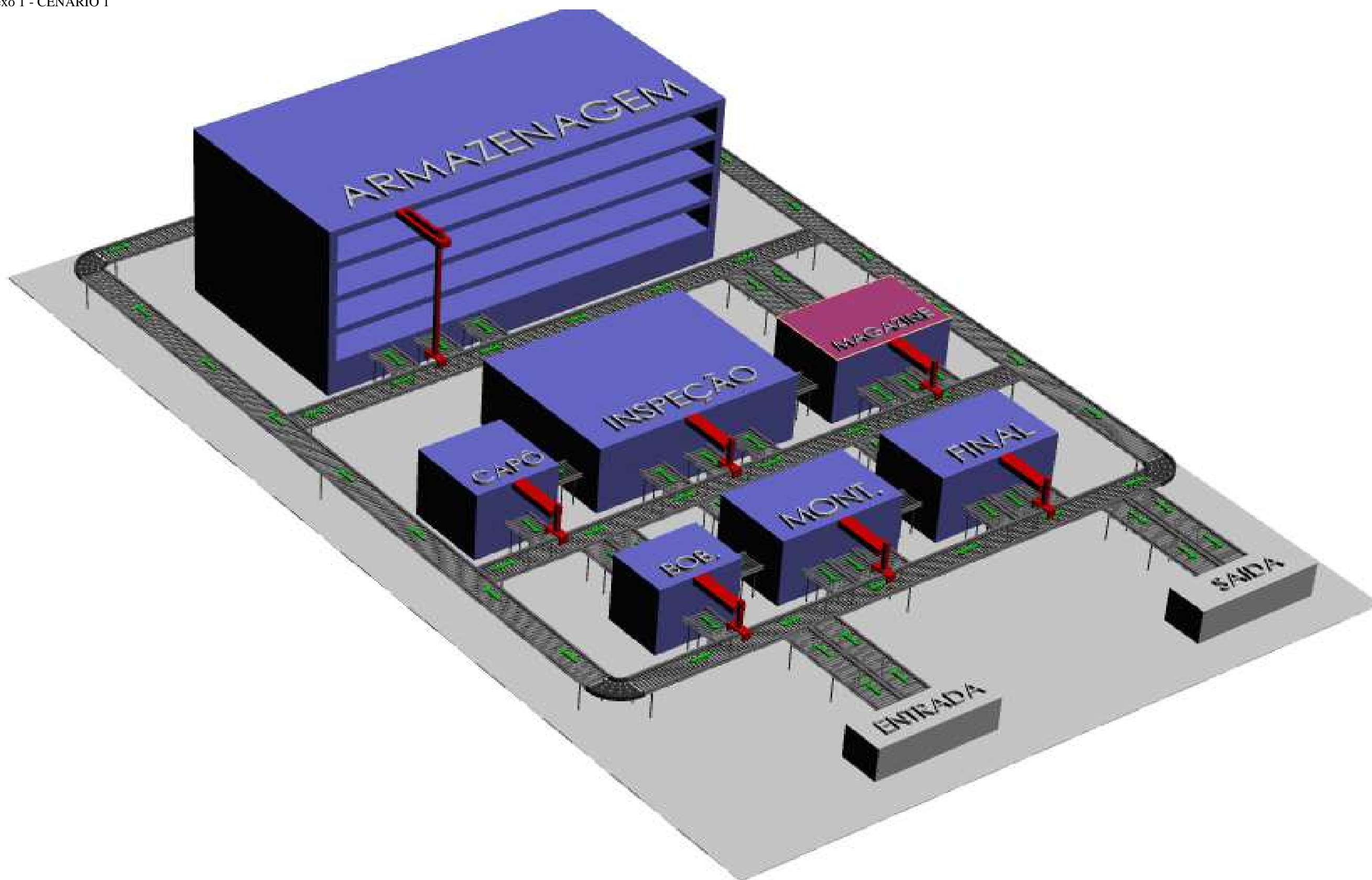
ZUFFO, A.; REIS, L.; SANTOS, R.; CHAUDHRY, F. Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 81-102, 2002.

**LISTA DE ANEXOS**

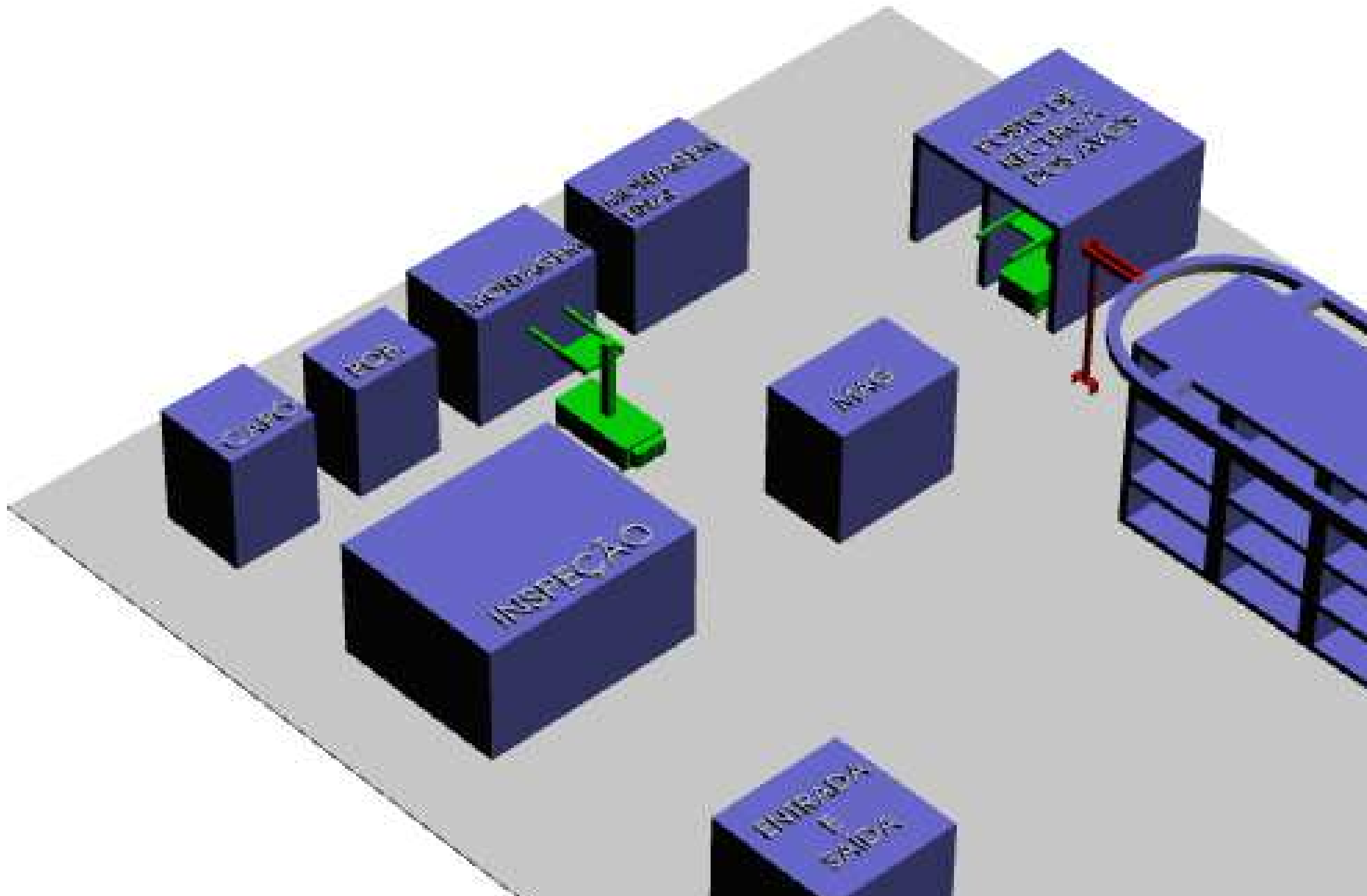
Anexo 1 - CENÁRIO 1 .....	124
Anexo 2 - CENÁRIO 2 .....	125
Anexo 3 - CENÁRIO 3 .....	126

## ANEXOS

Anexo 1 - CENÁRIO 1



Anexo 2 - CENÁRIO 2



Anexo 3 - CENÁRIO 3

