

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

Departamento de Engenharia de Produção

**PRODUÇÃO ENXUTA E LAYOUT: Aplicações de Ferramentas
Computacionais Gráficas na Construção do Layout**

Fábio Henrique de Oliveira

SÃO CARLOS

2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA

Departamento de Engenharia de Produção

**PRODUÇÃO ENXUTA E LAYOUT: Aplicações de Ferramentas
Computacionais Gráficas na Construção do Layout**

Fábio Henrique de Oliveira

Projeto de Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. João Alberto Camarotto

SÃO CARLOS

2011

DEDICO este trabalho à minha família, pelo apoio e incentivo durante todos meus anos de estudo, ao meu amigo e orientador Camarotto, aos meus colegas do SimuCAD e aos meus colegas da Hominiss, pelas conversas e ajuda que me deram durante este trabalho.

RESUMO

OLIVEIRA, F. H. **Produção Enxuta e Layout: Aplicações de Ferramentas Computacionais Gráficas na Construção do Layout**. 2011. 113f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

O objetivo desta pesquisa foi analisar como a aplicação de ferramentas computacionais gráficas auxilia no projeto de *layout* para um Sistema de Produção Enxuta. Para isso, buscou-se: verificar as características de um *layout* para a produção enxuta; analisar de que modo essas ferramentas computacionais gráficas auxiliam a visualização, o manuseio e a tomada de decisão no projeto do *layout*; e também definir em que fases do desenvolvimento do *layout* podem ser aplicadas as ferramentas computacionais gráficas e detalhar quais são essas ferramentas. A pesquisa constituiu em fazer uma análise bibliográfica acerca do sistema de produção enxuta; do projeto de *layout*; dos tipos de *layout*; da relação “*layout versus características lean*”; e das ferramentas computacionais gráficas aplicadas ao projeto do *layout*. Posteriormente foram apresentados dois casos do desenvolvimento de um projeto de *layout* para um sistema de produção enxuta em duas empresas diferentes, enfatizando o uso das ferramentas computacionais gráficas. Em seguida foi feita uma análise de como as metodologias para o projeto de *layout* apresentadas podem integrar-se e como elas podem ser complementadas com as ferramentas computacionais gráficas. A partir deste estudo pode-se concluir que as ferramentas computacionais gráficas não substituem as ferramentas tradicionais nem as metodologias para projeto de *layout*, entretanto atuam como ferramentas chave que contribuem em muito para o desenvolvimento do projeto de *layout*. Os principais benefícios encontrados foram: redução no tempo de projeto; aumento da qualidade do projeto; melhora a comunicação e apresentação da ideia do *layout*; auxilia a discussão e alteração dos conceitos de *layout*; melhora a observação, interação e análise de diferentes cenários; facilita a manipulação do *layout*; proporciona agilidade na criação, modificação e movimentação das formas para a geração das alternativas de *layout*; permite a identificação de problemas potenciais antes da construção; proporciona maior precisão no projeto; facilita a otimização dos recursos da fábrica aumentando sua eficiência, dentre outros.

Palavras-chave: layout, sistema de produção enxuta, instalações industriais, ferramentas computacionais gráficas, ferramentas CAD, projeto de unidades produtivas, projeto de fábrica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Casa do Sistema Toyota de Produção.....	19
Figura 2 – 14 Princípios do Modelo Toyota.	21
Figura 3 - Desperdícios em uma linha de montagem de chassis.....	23
Figura 4 - Composição de atividades na empresa e distintas abordagens de melhoria	23
Figura 5 - Mapa de fluxo de valor de um estado atual.....	27
Figura 6 - Processamento em fluxo contínuo.	28
Figura 7 – Metodologia DMAIC e sua abordagem em ciclos sucessivos.	32
Figura 8 – Ciclo DMAIC de projeto de <i>Lean Plant Design</i>	34
Figura 9 - Relação de causa-efeito nas alterações do layout.....	35
Figura 10 - Exemplo de um layout posicional	38
Figura 11 - Exemplo de layout funcional.....	38
Figura 12 - Exemplo de layout por produto.	39
Figura 13 - Exemplo de layout celular.....	39
Figura 14 – Exemplo esquemático de layout com mini-fábricas.	40
Figura 15 – Exemplo esquemático de um layout fractal.....	41
Figura 16 – Exemplo de um layout reconfigurável.	42
Figura 17 – Aderência às características de um layout <i>lean</i>	43
Figura 18 - Principais características de uma célula em fluxo contínuo.....	44
Figura 19 – Layout feito com gabaritos industriais utilizando papel e cartolina.	45
Figura 20 – Modelos de máquinas em metal e maquete industrial	46
Figura 21 – Layout 2D feito com ferramenta CAD.....	46
Figura 22 – Layout 3D de uma fábrica de embalagens feito com ferramenta CAD.	47
Figura 23 - Processo de Construção do <i>Plant Layout</i>	47
Figura 24 – Simbologia Utilizadas na Confecção do Centro de Produção.....	50
Figura 25 – Áreas consideradas no centro de produção.	50
Figura 26 – Representação (<i>template</i>) de um Centro de Produção.	50
Figura 27 - <i>Plant Layout</i> modelado no AutoCAD e renderizado no 3D Studio Max.....	53
Figura 28 – Funcionalidades dos principais <i>softwares</i> do Factory Design Suite.....	54
Figura 29 – Análise do fluxo no layout no AutoCAD do Factory Design Suite.....	55
Figura 30 – Modelos paramétricos do Factory Design Utilities no Inventor.....	56
Figura 31 – Interação com o modelo de layout 3D no Navisworks.	57

Figura 32 – Apresentação do modelo de layout 3D no Showcase.	57
Figura 33 – Representação 3D de um layout no Siemens Tecnomatix.	58
Figura 34 – AutoCAD customizado com o <i>software</i> FactoryCAD	59
Figura 35 – AutoCAD customizado com o <i>software</i> FactoryFLOW	60
Figura 36 – Tela do <i>software</i> Tecnomatix Plant Simulation.....	61
Figura 37 – Dassault Systemes DELMIA Quest.....	62
Figura 38 – Vista interna de uma instalação industrial usando <i>Game Engine</i>	65
Figura 39 – Vista aérea de um projeto de layout industrial finalizado usando <i>Game Engine</i>	66
Figura 40 – Tela do <i>software</i> de criação e edição de vídeo Nero Vídeo 11.	67
Figura 41 – MFV adaptado para projetos de layout.	69
Figura 42 – Geração de alternativas conceituais de layout no PowerPoint.	70
Figura 43 – Escopo do projeto formulado na metodologia <i>Lean Plant Design</i>	72
Figura 44 – Cronograma macro do projeto.	72
Figura 45 – MFV da situação atual feito no Microsoft Office Visio.....	74
Figura 46 – Layout atual da base de Macaé feito no AutoCAD.	75
Figura 47 – Diagrama de fluxo de uma família de produtos feito no AutoCAD.	76
Figura 48 – Calculo da movimentação mensal para cada família na situação inicial.	77
Figura 49 – Representação da matriz de inter-relações.	78
Figura 50 – Etapas para o desenvolvimento do layout da nova base.	79
Figura 51 – Lógica de formação das famílias macro por similaridade de processos.	80
Figura 52 – Resumo dos passos para a criação dos Grupos de Famílias.	80
Figura 53 – Representação do padrão de galpões utilizados feito no AutoCAD.	82
Figura 54 – Conceitos de layout das famílias feitos com as formas do PowerPoint.	82
Figura 55 – Layout detalhado dos grupos de famílias feitos no <i>software</i> AutoCAD.....	83
Figura 56 – Ganho no diagrama de fluxo do layout futuro feito no AutoCAD.	84
Figura 57 – Estratégia de alocação das famílias desenhada no PowerPoint.	85
Figura 58 – Terreno da nova desenhado no AutoCAD.....	86
Figura 59 – Alternativas de layout macro da nova base de Macaé feitas no AutoCAD.	88
Figura 60 – Representação da Proposta 04-J de <i>layout</i> futuro da nova base de Macaé - RJ. .	90
Figura 61 – Cronograma macro do projeto na empresa de equipamentos agrícolas.....	93
Figura 62 – Levantamento inicial das relações de precedência entre as macro-atividades. ...	94
Figura 63 – Mapa de Fluxo de Valor macro da situação inicial feito no <i>software</i> Visio.	95
Figura 64 – Distribuição inicial da carga de trabalho por operador.	96

Figura 65 – Diagramas de fluxo das rotas da logística de abastecimento.....	97
Figura 66 – Layout atual da linha de montagem feito no AutoCAD.....	97
Figura 67 – Representação de uma Tabela de Combinação de Trabalho (TCT)	98
Figura 68 – Distribuição futura da carga de trabalho por operador.....	99
Figura 69 – Gráfico de Gant do trabalho na linha de montagem.	100
Figura 70 – Layout futuro 2D da empresa feito no AutoCAD.....	101
Figura 71 – Layout futuro 3D da empresa feito no AutoCAD e no 3ds Max.....	101
Figura 72 – Layout futuro 3D dos boxes com os novos kits feito no AutoCAD e 3ds Max.	102
Figura 73 – Fotos das atividades de alteração do layout durante o evento <i>Kaizen</i>	103
Figura 74 – Possibilidade de integração das metodologias apresentadas.	105

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CARACTERIZAÇÃO DO TEMA DA PESQUISA.....	11
1.2	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVO DA PESQUISA	14
1.3	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	15
1.4	ESTRUTURA DO PROJETO DE MONOGRAFIA	15
2	METODOLOGIA DE PESQUISA	16
2.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	SISTEMA DE PRODUÇÃO ENXUTA	18
3.1.1	Os Princípios da Produção Enxuta	18
3.1.2	O Enfoque da Produção Enxuta.....	22
3.1.3	Os Desperdícios para a Produção Enxuta.....	24
3.1.4	Técnicas e Ferramentas da Produção Enxuta	26
3.1.4.1	Mapa de Fluxo de Valor	26
3.1.4.2	Fluxo Contínuo	28
3.1.4.3	Produção Puxada.....	28
3.1.4.4	O 5S.....	29
3.1.4.5	Trabalho Padronizado.....	30
3.1.4.6	Redução de Setup.....	30
3.1.4.7	Manutenção Produtiva Total.....	30
3.1.4.8	Sistema a Prova de Erros	31
3.2	DMAIC COMO MODELO PARA MELHORIA	31
3.3	LAYOUT	34
3.3.1	Porque Projetar o Layout?	35

3.3.2	Princípios e Recomendações de Layout	36
3.3.3	Tipos de Layout	37
3.4	LAYOUT <i>VERSUS</i> CARACTERÍSTICAS LEAN	42
3.5	FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS GRÁFICAS APLICADAS AO PROJETO DE LAYOUT	45
3.5.1	Autodesk AutoCAD 2012	52
3.5.2	Autodesk 3ds Max 2012.....	52
3.5.3	Autodesk Factory Design Suite 2012.....	53
3.5.4	Siemens Tecnomatix 9 (FactoryCAD, FactoryFLOW)	58
3.5.5	Dassaut Systemes DELMIA V5.....	61
3.5.6	CryENGINE da Crytek	64
3.5.7	Nero Vídeo 11.....	67
3.5.8	Microsoft Office Visio 2010	68
3.5.9	Microsoft Office PowerPoint 2010	70
4	PROJETO DE LAYOUT EM UMA EMPRESA DO RAMO DE ÓLEO E GÁS....	71
4.1	DEFINIR ESCOPO.....	73
4.2	MEDIR E MAPEAR A SITUAÇÃO ATUAL.....	73
4.2.1	Mapas de Fluxo de Valor.....	74
4.2.2	Layout Atual	75
4.2.3	Diagramas de Fluxo	76
4.2.4	Matriz de Inter-relações	77
4.2.5	Considerações Sobre a Fase de Medir e Mapear a Situação Atual.....	78
4.3	ANALISAR SITUAÇÃO ATUAL E DESENVOLVIMENTO DA SITUAÇÃO FUTURA.....	79
4.3.1	Criação dos Grupos de Famílias	80
4.3.2	<i>Layout</i> Futuro dos Grupos de Famílias.....	81

4.3.2.1	Desenvolvimento dos Conceitos de <i>Layout</i> das Famílias Macro	82
4.3.2.2	Detalhamento das Alternativas de <i>Layout</i> por Grupo de Família.....	83
4.3.3	Estratégia de Alocação no <i>Layout</i> Macro.....	84
4.3.4	Layout Futuro Macro da Nova Base de Macaé	85
4.3.4.1	Detalhamento e Avaliação das Alternativas de Layout Macro.....	87
4.4	CONTROLAR	90
4.5	CONSIDERAÇÕES DO PROJETO	91
5	PROJETO DE LAYOUT EM UMA EMPRESA DE EQUIPAMENTOS	
	AGRÍCOLAS	92
5.1	DEFINIR ESCOPO.....	93
5.2	MEDIR E IDENTIFICAR A SITUAÇÃO INICIAL	94
5.2.1	Mapeamento da Situação Inicial.....	94
5.2.2	Conteúdo do Trabalho e Distribuição Inicial do Trabalho.....	95
5.2.3	Layout Inicial.....	97
5.3	ANALISAR E DESENVOLVER A SITUAÇÃO FUTURA	98
5.3.1	Cenários de Demanda.....	99
5.3.2	Novo Layout para os Cenários Apresentados.....	100
5.4	IMPLANTAR SITUAÇÃO FUTURA	102
5.5	CONTROLAR	103
5.6	CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO	103
6	INTEGRAÇÃO DAS METODOLOGIAS APRESENTADAS COM AS	
	FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS GRÁFICAS	105
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	108
	REFERÊNCIAS.....	110

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo mostra uma visão geral do tema de pesquisa, caracterizando o tema e apresentando os objetivos e as justificativas do estudo, além de descrever a estrutura do trabalho como um todo.

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO TEMA DA PESQUISA

Os sistemas de produção passaram por algumas mudanças de paradigmas ao longo do tempo. Para Womack, Jones e Roods (2004), existiram três diferentes paradigmas de produção ao longo dos últimos três séculos, sendo eles a Produção Artesanal, a Produção em Massa, e a Produção Enxuta.

As origens da Produção Artesanal na indústria automobilística datam de 1880, posteriormente, por volta de 1915 houve uma transição para a Produção em Massa. O sistema de Produção em Massa atingiu seu estágio de amadurecimento na década de 1920, apresentando seus pontos fortes e fracos, que serviram como fontes de inspiração para o próximo avanço no pensamento industrial. Assim houve o nascimento da Produção Enxuta na década de 1950. (WOOMACK; JONES; ROODS, 2004).

Ainda baseado em Womack, Jones e Roods (2004), podem-se verificar algumas diferenças significativas dos sistemas de produção representadas de forma simplificada no Quadro 01 a seguir.

Quadro 1 - Características dos três paradigmas históricos da Gestão da Produção

Produção Artesanal	Produção em Massa	Produção Enxuta
Baixa Produtividade	Alta Produtividade	Alta Produtividade
Alta Flexibilidade	Baixa Flexibilidade	Alta Flexibilidade

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Womack, Jones e Roods (2004).

Tendo como característica o alinhamento da alta flexibilidade (variedade de produtos) com alta produtividade (volume de produtos por tempo), o sistema de Produção Enxuta tende a atender os recentes fatores de competitividade descritos por Sipper & Bulfin Jr (1997) e Slack et al (1997).

De acordo com Sipper e Bulfin Jr (1997) a competitividade se baseia atualmente em três fatores que concorrem entre si: custo, qualidade e tempo. Além disso, Slack et al. (1997) acrescentam ainda a flexibilidade e a confiabilidade. Desse modo cada vez mais as fábricas

necessitam de respostas rápidas em seus sistemas produtivos para atenderem a crescente variedade na demanda dos consumidores, além de necessitarem produzir em alto volume para atender a demanda atual. Hoje a competitividade é global e intensa, fazendo com que as fábricas busquem o máximo de eficiência em seus sistemas produtivos.

Segundo Silva (2009), o arranjo físico das instalações industriais tem grande impacto no desempenho da empresa. Desde a localização das unidades de negócio, à organização do micro-espço do posto de trabalho do operador, o projeto do *layout* deve ser conduzido de forma eficiente e eficaz. Isso porque os efeitos de um arranjo físico bom ou ruim irão ser percebidos pela organização nos resultados do seu negócio.

De acordo com Olivério (1985) o projeto do arranjo físico ou projeto de instalações industriais (Layout, Plant Layout, Facility Design) compreende o estudo e projeto do arranjo espacial e organizacional dos fatores de produção (materiais, equipamentos, mão-de-obra), dos serviços de apoio (utilidades, pessoal, suprimentos) e administrativo da fábrica. Ao estabelecer a localização de equipamentos, estoques e demais áreas e suas formas, o projetista do arranjo físico está estabelecendo as relações físicas existentes entre elas.

O sistema de Produção Enxuta enfatiza uma nova forma de pensar a empresa como um todo. Esta nova Filosofia de produção engloba um conjunto de técnicas e conceitos, como Fluxo Contínuo, Sistema *Kanban*, *Layout* Celular, Fornecimento *Just in Time*, etc. Dentro desse universo de ferramentas e conceitos Rother e Harris (2002) destacam que o Fluxo Contínuo é o objetivo principal da Produção Enxuta.

Sendo assim, para se conseguir implantar um fluxo contínuo é necessário, entre outros aspectos, organizar ou reorganizar os recursos disponíveis na fábrica, ou seja, projetar ou re-projetar o *layout*.

Para Silva (2009), a organização ou reorganização dos recursos produtivos constitui-se numa das peças chaves na concepção e implantação, com sucesso, da Produção Enxuta. Como será apresentado em detalhes mais adiante, dentre os tradicionais sete desperdícios identificados por Shingo no Sistema *Toyota* de Produção, três destes estão diretamente relacionados com a disposição física dos equipamentos de produção: Transporte Excessivo, Movimentação Desnecessária e Estoques.

O projeto de fábrica ou plant design é um aspecto básico do projeto de qualquer instalação produtiva; o que se busca com os conceitos de layout enxuto, lean plant design, layout lean ou lean facility, é a adaptação do layout produtivo à filosofia lean, ou a facilitação do arranjo físico em suportar os preceitos da mesma.

Os problemas envolvendo layout são complexos e difíceis de serem formulados através de meios analíticos, pois envolvem um grande conjunto de combinações viáveis e possuem características subjetivas que dificultam um tratamento puramente matemático. (CAMAROTTO; MENEGON, 2006)

Em resposta a essas dificuldades, existem atualmente várias técnicas e ferramentas computacionais que auxiliam o desenvolvimento do projeto de arranjos físicos.

De acordo com Torres (2001), atualmente três tipos de ferramentas computacionais têm sido mais usadas no desenvolvimento de projetos de plantas industriais:

- Ferramentas de Projeto Auxiliado por Computador (CAD – Computer Aided Design): usado para representar as plantas dos projetos e também para representação tridimensional do layout. Também podem ser usadas para análise de design de novos produtos.
- Ferramentas de Simulação de Sistemas de Eventos Discretos – Esses softwares são aplicados para a análise dos processos produtivos e da programação da produção, principalmente do desempenho deles. Com esse tipo de ferramenta pode-se analisar os efeitos dos processos ou da programação da produção sobre um layout e vice-versa;
- Ferramentas de Simulação Humana – Softwares que foram desenvolvidos para analisar o elemento humano em seu posto de trabalho, visando tornar os projetos desses postos mais adaptados ao homem, reduzindo os problemas de interação homem-espaco de trabalho.

Essas ferramentas têm evoluído continuamente, tendo sido aplicadas mundialmente com sucesso (TORRES, 2001).

Este trabalho foca nas ferramentas computacionais gráficas aplicadas ao projeto do layout enxuto, que auxiliem a visualização, o manuseio e a tomada de decisão. Enfatizando as Ferramentas de Projeto Auxiliado por Computador (CAD – Computer Aided Design).

Na área de projetos gráficos, desenvolveram-se excelentes softwares, cada vez mais customizados para aplicações específicas, envolvendo tanto softwares CAD (AutoCAD, DELMIA, etc.), como os softwares de animação gráfica (3D Studio Max, Crysis, etc.). De acordo com Camarotto e Menegon (2006), a combinação das características dos softwares de computação gráfica, articulados por uma metodologia apropriada para a abordagem dos problemas de layout, surge como uma alternativa viável ao projeto das instalações industriais.

Com base neste cenário, este trabalho busca analisar como a aplicação de ferramentas computacionais gráficas auxiliam no projeto de layout para um Sistema de Produção Enxuta.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVO DA PESQUISA

Como apontado por Camarotto e Menegon (2006) a complexidade do projeto de layout exige que busquemos novas ferramentas que auxiliem o projeto das unidades produtivas.

Aliando o projeto de layout aos princípios da Produção Enxuta em busca de uma maior eficiência do sistema produtivo nos deparamos com mais variáveis quantitativas e qualitativas a considerar que segundo Silva (2009) além de mostrar a importância do *layout* em termos de redução de movimentação de peças, poucos estudos têm buscado mostrar quais são os ganhos qualitativos que o *layout* pode gerar como, gerenciamento visual, influência no nível de complexidade da programação, redução do *lead time*, melhoria da qualidade, entre outros.

Assim enfatiza-se o uso de novas ferramentas que auxiliem o projeto de layout. Nesse contexto, pode-se formular a questão de pesquisa principal para esse trabalho e suas questões subsequentes:

- Como as ferramentas computacionais gráficas auxiliam no projeto de layout para um Sistema de Produção Enxuta?
 - Quais as características do layout para a produção enxuta?
 - Como as ferramentas computacionais gráficas auxiliam a visualização, o manuseio e a tomada de decisão no layout?
 - Em que fases do desenvolvimento do layout podem-se aplicar as ferramentas computacionais gráficas? Quais ferramentas?

A partir dessas questões, o objetivo principal deste trabalho será:

Analisar como a aplicação de ferramentas computacionais gráficas auxilia no projeto de layout para um Sistema de Produção Enxuta.

1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A Filosofia de Produção Enxuta propõe uma resposta de adaptação dos sistemas produtivos às necessidades do mercado consumidor atual. Esta nova forma de produzir levou a *Toyota* a patamares de excelência ainda perseguidos por muitas empresas.

O *layout* assume grande importância perante o Sistema de Produção Enxuta. A análise do *layout*, com base nos conceitos de fluxo contínuo, fluxo unitário de peças, estoques zero, gestão visual, entre outros fatores é a base para uma empresa ter um sistema de manufatura flexível.

Devido à complexidade no projeto de layout adaptado aos conceitos da produção enxuta, deve-se buscar o uso de ferramentas e tecnologias computacionais que auxiliem o projeto.

Hoje, as ferramentas computacionais gráficas são bastante acessíveis para aplicação em projetos de layout. Assim, justifica-se o seu uso em busca da racionalização gerada por projetos de layouts mais eficientes (redução da área ocupada, criação de *single-derection-flow* de materiais e produtos, redução da movimentação dos mesmos, etc.).

Além disso, o custo de execução de um layout ruim ou de um que otimize os resultados é praticamente o mesmo.

1.4 ESTRUTURA DO PROJETO DE MONOGRAFIA

Este projeto de monografia está estruturado em quatro capítulos. No Capítulo 1 é apresentado uma introdução, abordando a caracterização do tema da pesquisa, a formulação do problema e objetivo da pesquisa, a justificativa da pesquisa, e a estrutura do projeto de monografia. No Capítulo 2 é formulada a metodologia de pesquisa. No Capítulo 3 é apresentada a revisão bibliográfica. Em seguida no Capítulo 4 e Capítulo 5 são apresentados dois casos de projetos de layout. No Capítulo 6 é mostrado como as metodologias para desenvolvimento de layout podem ser integradas e complementadas com as ferramentas computacionais gráficas. Por fim no Capítulo 7 serão feitas as considerações finais do trabalho.

2 METODOLOGIA DE PESQUISA

Como abordado no capítulo primeiro desta monografia, foi definido o seguinte problema de pesquisa:

- Como as ferramentas computacionais gráficas auxiliam no projeto de layout para um Sistema de Produção Enxuta?
 - Quais as características do layout para a produção enxuta?
 - Como as ferramentas computacionais gráficas auxiliam a visualização, o manuseio e a tomada de decisão no layout?
 - Em que fases do desenvolvimento do layout podem-se aplicar as ferramentas computacionais gráficas? Quais ferramentas?

A partir desta delimitação foi determinado o seguinte objetivo da pesquisa:

Analisar como a aplicação de ferramentas computacionais gráficas auxilia no projeto de layout para um Sistema de Produção Enxuta.

Este capítulo visa à proposição de uma análise metodológica quanto à caracterização desta pesquisa em relação a sua natureza, quanto a abordagem do problema, quanto aos objetivos e quanto ao método.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O método a ser utilizado é o estudo de caso. De acordo com Miguel (2007), o estudo de caso é um estudo de natureza empírica que investiga um determinado fenômeno, geralmente contemporâneo, dentro de um contexto real de vida, quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto em que ele se insere não são claramente definidas. Trata-se de uma análise aprofundada de um ou mais objetos (casos), para que permita o seu amplo e detalhado conhecimento. Seu objetivo é aprofundar o conhecimento acerca de um problema não suficientemente definido visando estimular a compreensão, sugerir hipóteses e questões ou desenvolver a teoria.

O objetivo da pesquisa pode ser classificado como exploratório, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses, envolvendo levantamento bibliográfico e a análise de exemplos que estimulem a compreensão.

A abordagem do problema é qualitativa, pelo modo da análise ser subjetiva e não depender de nenhuma análise estatística ou matemática.

A natureza da pesquisa é aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à soluções de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais.

O Quadro 2 resume a classificação desta pesquisa.

Quadro 2 – Classificação da pesquisa.

Quanto à natureza	Aplicada
Quanto à abordagem do problema	Qualitativa
Quanto aos objetivos	Exploratória
Quanto ao método	Estudo de Caso

Fonte: Proposto pelo autor.

Portanto, buscando responder as questões originadas do problema de pesquisa, neste projeto, a pesquisa ocorrerá da seguinte forma:

Primeiramente será feita uma análise bibliográfica acerca do sistema de produção enxuta, do projeto de *layout*, dos tipos de *layout*, e das ferramentas computacionais gráficas aplicadas ao projeto do *layout*.

Posteriormente serão apresentados dois casos do desenvolvimento de um projeto de *layout* para um sistema de produção enxuta em duas empresas diferentes, com o intuito de estimular a compreensão do problema de pesquisa. Essa apresentação será feita enfatizando o uso das ferramentas computacionais gráficas ao longo dos projetos.

Em seguida será feito uma análise de como as metodologias para o projeto de *layout* apresentadas podem integrar-se e como elas podem ser complementadas com as ferramentas computacionais gráficas.

Por fim serão feitas as considerações finais e apresentadas as conclusões acerca de como essas ferramentas computacionais gráficas podem contribuir para um projeto de *layout* feito para um sistema de produção enxuta.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica que dará base para execução desse projeto de monografia, abordando: o sistema de produção enxuta, conceitos de layout, layout *versus* características *lean* e ferramentas computacionais gráficas aplicadas ao projeto de layout.

3.1 SISTEMA DE PRODUÇÃO ENXUTA

Levando-se em consideração as questões apresentadas até então acerca da necessidade de um aprofundamento no que vem a serem as práticas de produção enxuta e quais seus impactos sobre o layout, é apresentado neste tópico alguns dos principais autores e literaturas que descrevem estratégias de organização que levaram ao surgimento das práticas da produção enxuta.

Serão abordados os princípios da produção enxuta, seu enfoque, os desperdícios e por fim algumas de suas técnicas ferramentas.

3.1.1 Os Princípios da Produção Enxuta

O Sistema Toyota de Produção, conhecido também como Produção Enxuta teve seu início na *Toyota Motor Company* logo após a Segunda Guerra Mundial. Esse sistema foi criado com o objetivo de produzir carros com melhor qualidade, o menor custo e o *lead time* mais curto pela eliminação sistemática de desperdícios e constante busca de melhorias (LIKER, 2005).

De acordo com Liker (2005), para explicar o Sistema Toyota de Produção aos funcionários e fornecedores da Toyota, Taiichi Ohno e Eiji Toyoda (ambos executivos da Toyota), criaram a figura “Casa do Sistema Toyota de Produção”. Esta casa está fundamentada sobre dois pilares, o *Just-in-time* (JIT) e *Jidoka* (autonomação), que podem ser vistos na Figura 1.

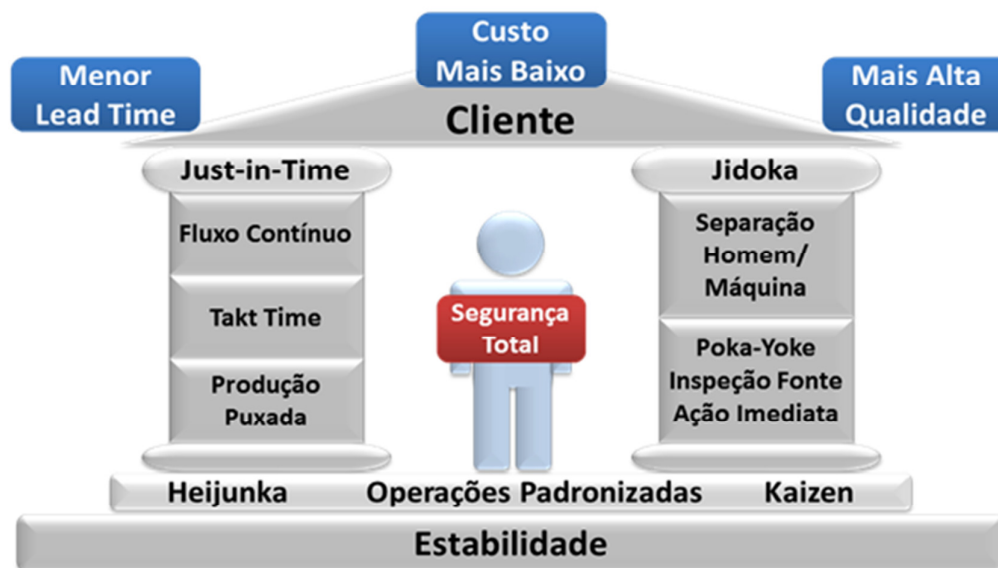


Figura 1 – Casa do Sistema Toyota de Produção

Fonte: Adaptado pelo autor com base em LIKER, 2005.

A casa do Sistema Toyota de Produção é representada desse modo para dar ênfase em sua forma estrutural. Essa estrutura só será forte se todas as suas partes (pilares, bases, telhado e suas conexões) forem fortes. Esse sistema está fundamentado em dois pilares, o *Just-in-time* (JIT) e *Jidoka* (autonomação). O telhado representa os objetivos a serem alcançados, menor *lead time*, menor custo, e qualidade mais alta. No alicerce da casa está o Heijunka (Nivelamento da Produção), as Operações Padronizadas e o Kaizen (Melhoria Contínua). Suportando toda a estrutura está a base, a Estabilidade (LIKER, 2005).

O *Just in Time* tem como objetivo reduzir ao máximo o tamanho dos estoques. Este pilar visa produzir e entregar as peças somente no momento em que serão utilizadas e na quantidade necessária. Para isso a produção deve estar baseada em um fluxo contínuo, a quantidade produzida deve estar de acordo com o *takt time* (ritmo de consumo pelo cliente) e a produção deve ser controlada pela lógica do sistema puxado (LIKER, 2005).

O *Jidoka* (autonomação) tem suas origens no período pré-guerra. Toyoda, fundador da Toyota, introduziu o conceito de *jidoka* no início do século XX, ao incorporar um dispositivo para parada automática de seus teares, o qual interrompia o funcionamento de uma máquina caso um fio se partisse. O objetivo era separar o trabalho humano das atividades realizadas por máquinas e em impedir a geração e propagação de defeitos no processamento e fluxo de produção, possibilitando que um mesmo operador trabalhasse em diversas máquinas ao mesmo tempo (multifuncionalidade). O pilar do *Jidoka* está intimamente relacionado à forma de trabalhar com máquinas e aos métodos de se construir qualidade dentro do processo.

Seus conceitos e ferramentas permitem reduzir os custos e aumentar a qualidade e produtividade simultaneamente (LIKER, 2005).

Esses dois pilares da Produção Enxuta têm, por sua vez, como fundamentação o *Heijunka* (nivelamento da produção), o trabalho padronizado, o *Kaizen* (melhoria contínua) e a Estabilidade.

Womack e Jones (1996) apresentam cinco princípios básicos da Produção Enxuta:

- Determinar o que realmente é **Valor** sob o ponto de vista do cliente: identificar o que agrega valor para o cliente, o que efetivamente gera resultados que o cliente esteja disposto a pagar.

- Identificar o **Fluxo de Valor**: identificar toda a sequência de operações e atividades que agregam e que não agregam valor no processo produtivo. A empresa não deve enxergar suas atividades pontualmente, mas sim o fluxo de valor como um todo.

- Implantar **Fluxo Contínuo**: pela análise do fluxo de valor deve-se implantar fluxo contínuo que é a melhor maneira de reduzir a maioria dos desperdícios. Deve-se produzir em lotes unitários, com cada item sendo imediatamente passado ao processo seguinte evitando assim a geração estoques ou paradas.

- Onde não for possível implantar fluxo contínuo estabelecer a lógica da **Produção Puxada**: em alguns casos quando não é possível implantar fluxo, deve-se estabelecer a lógica puxada, ou seja, produzir somente o que é necessário e quando for solicitado pelo processo seguinte, evitando superproduções e estoques.

- Buscar a **Perfeição**: a melhoria contínua deve ser sempre o objetivo da empresa, sempre que o nível satisfatório for alcançado deve-se evoluir em busca de melhorias. Como a perfeição é um objetivo inalcançável, tornam-se infinitas as possibilidades de melhoria.

Com base em 20 anos de estudo da Toyota, Liker (2005) faz uma abordagem mais completa ao descrever 14 princípios que constituem o Modelo Toyota. Os princípios propostos foram divididos em quatro categorias: Filosofia, Processo, Funcionários/Parceiros e Solução de Problemas como observado na Figura 2.

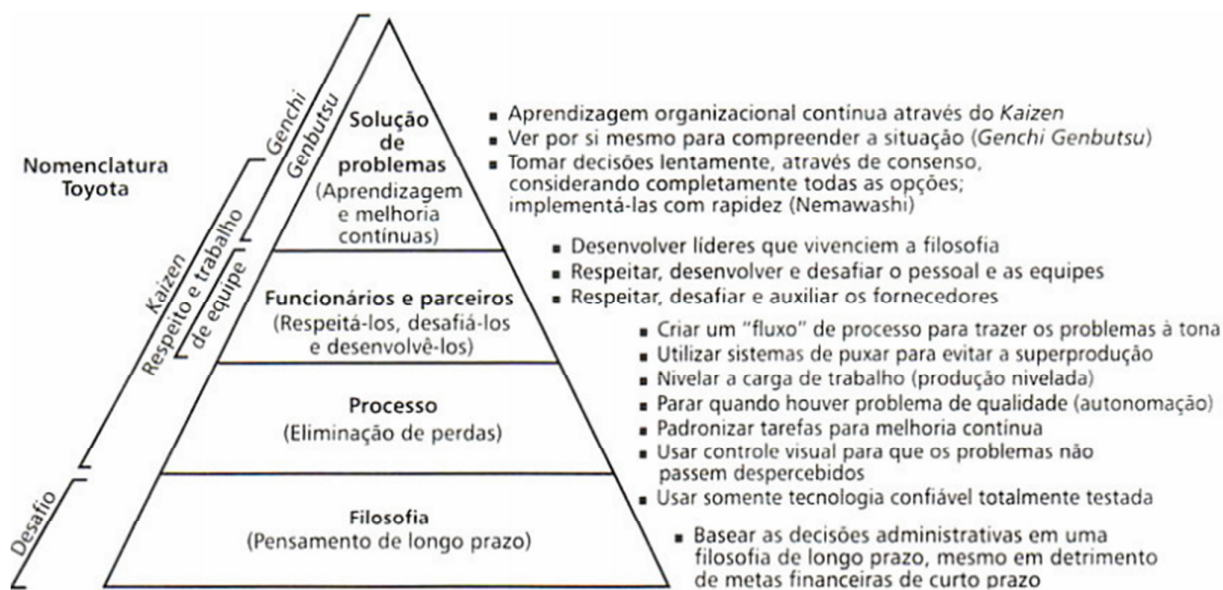


Figura 2 – 14 Princípios do Modelo Toyota.

Fonte: LIKER, 2005.

Segundo Liker (2005), os 14 princípios que constituem o Modelo Toyota são:

Categoria 1: Filosofia de pensamento a longo prazo.

- 1 - Basear as decisões administrativas em uma filosofia de longo prazo, mesmo em detrimento de metas financeiras de curto prazo.

Categoria 2: O processo certo produzirá os resultados certos.

- 2 - Criar um fluxo de processo contínuo para trazer os problemas à tona.
- 3 - Usar sistemas puxados para evitar a superprodução
- 4 - Nivelar a carga de trabalho (*heijunka*).
- 5 - Construir uma cultura de parar e resolver os problemas, obtendo a qualidade logo na primeira tentativa.
- 6 - Tarefas padronizadas são a base para a melhoria contínua e a capacitação dos funcionários.
- 7 - Usar controle visual para que nenhum problema fique oculto.
- 8 - Usar somente tecnologia confiável e completamente testada que atenda aos funcionários e processos.

Categoria 3: Valorização da organização através do desenvolvimento de seus funcionários.

- 9 - Desenvolver líderes que compreendam completamente o trabalho, que vivam a filosofia e a ensinem aos outros.
- 10 - Desenvolver pessoas e equipes excepcionais que sigam a filosofia da empresa.

- 11 - Respeitar sua rede de parceiros e de fornecedores desafiando-os e ajudando-os a melhorar.

Categoria 4: A solução contínua de problemas na origem estimula a aprendizagem organizacional

- 12 - Ver por si mesmo para compreender completamente a situação (*Gemba*).
- 13 - Tomar decisões lentamente por consenso, considerando completamente todas as opções e implementá-las com rapidez.
- 14 - Tornar-se uma organização de aprendizagem através da reflexão incansável (*hansei*) e da melhoria contínua (*kaizen*).

Liker (2005) enfatiza que a maioria das empresas aproveita as ferramentas da Produção Enxuta, mas não compreendem a filosofia que as faz funcionarem juntas em um sistema. A cultura da melhoria contínua e a eliminação sistemática de desperdícios são necessárias para sustentar os princípios do modelo Toyota. O tópico a seguir fornece uma descrição mais detalhada desse enfoque.

3.1.2 O Enfoque da Produção Enxuta

A Produção Enxuta, como mencionado anteriormente, foca na diminuição ou eliminação dos desperdícios tanto da produção quanto da empresa como um todo. Segundo Womack, Jones e Roods (2004), desperdício é qualquer atividade que absorve recursos como mão-de-obra e energia, mas não cria valor para o cliente final. A seguir seguem as definições dos três tipos de atividades que existem em um sistema produtivo:

- **Atividades que agregam valor (AV):** atividades que tornam o produto ou serviço mais valioso para o cliente.

- **Atividades necessárias que não agregam valor (NAV):** atividades que não tornam o produto ou serviço mais valioso aos olhos do cliente final, mas que são necessárias, sendo classificadas como *muda* tipo 1.

- **Atividades que não agregam valor (NAV):** atividades que não tornam o produto ou serviço mais valioso para o cliente e não são necessárias mesmo nas atuais circunstâncias, sendo classificadas como *muda* tipo 2.

Na Figura 3 exemplificam-se algumas atividades que agregam valor na montagem de um chassi. Todas as outras são NAV.

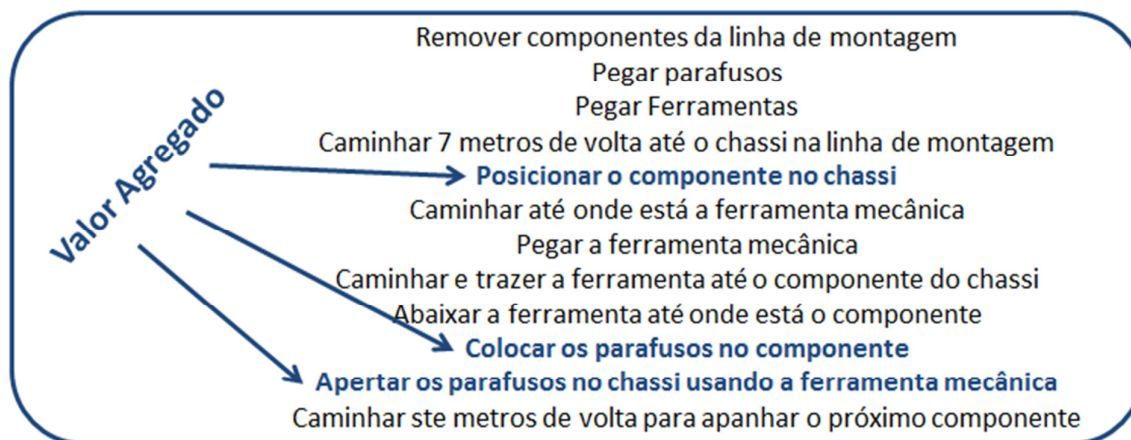


Figura 3 - Desperdícios em uma linha de montagem de chassis.

Fonte: Adaptado pelo autor com base em LIKER, 2005.

De acordo com Hynes e Taylor (2000), o foco da produção enxuta difere dos sistemas de produção tradicionais, pela busca de eliminação do desperdício por meio do combate as NAV, enquanto os sistemas de produção tradicionais foca suas preocupações nas atividades que agregam valor. A Figura 4 representa esse enfoque:

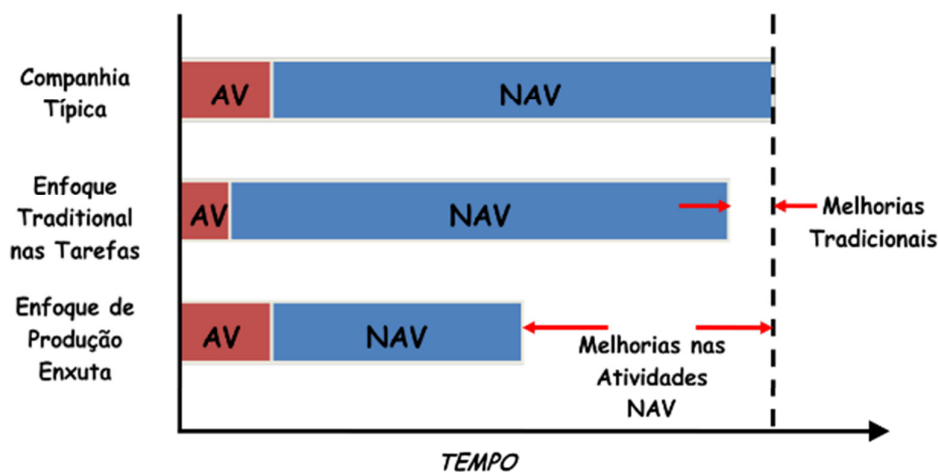


Figura 4 - Composição de atividades na empresa e distintas abordagens de melhoria

Fonte: Adaptado pelo autor com base em HYNES e TAYLOR, 2000.

Hines e Taylor (2000) ainda complementam que em muitas empresas de manufatura estes três tipos de atividades podem ser encontrados, em média, na seguinte proporção:

- 5% de atividades que agregam valor.
- 60% de atividades que não agregam valor.
- 35% de atividades que não agregam valor, porém necessárias.

O que sugere a existência de um ambiente propício para a realização de esforços voltados para a redução do desperdício.

3.1.3 Os Desperdícios para a Produção Enxuta

A categoria das atividades que não agregam (NAV) valor foram segmentadas e classificadas em tipos diferentes de desperdícios, detalhadas de acordo com Ohno (1997) como:

- **Superprodução:** esse desperdício é caracterizado por produzir muito ou mais cedo do que a necessidade do cliente. A empresa estará usando recursos de forma desnecessária, gerando custos. A superprodução é um desperdício de destaque, pois gera boa parte dos demais desperdícios.

- **Estoques:** sob a ótica do cliente, estoques não geram valor algum, e ainda representam custos para as empresas. Esse desperdício é resultado da superprodução e tem como grave consequência o aumento do *lead-time* de produção, aumento de área necessária de armazenagem, aumento de recursos para gerenciamento dos estoques.

- **Espera:** a espera de pessoas, equipamentos, materiais e informações geram custos para a empresa e não agregam valor. É caracterizado por operadores olhando as máquinas trabalharem esperando peças ou componentes; por máquinas paradas devido às faltas de peças e por peças esperando para serem processadas;

- **Transporte:** o transporte de peças em processo, matéria-prima ou produto acabado de um lugar a outro da fábrica, ou entre fábricas, na maioria das ocasiões, não agrega valor ao cliente final, devendo, portanto ser combatido.

- **Movimentação:** diferentemente do desperdício de transporte, esse desperdício está ligado à movimentação de pessoas. Toda movimentação de operadores (procura de peças ou ferramentas, armazenamento ou caminhadas) que não resulte em transformação do produto são desnecessários, sendo assim consideradas desperdícios.

- **Defeitos:** é o desperdício gerado por peças defeituosas, sendo refugos (peças perdidas) ou retrabalhos (peças que necessitam ser processadas novamente para serem aproveitadas).

- **Processamento inadequado:** qualquer esforço que não gere valor ao cliente é considerado desperdício e deve ser eliminado. Esse desperdício caracterizado por processos desnecessários ou ineficientes para produzir as peças, devido ao projeto ou utilização de ferramentas inadequadas. Pode gerar perda de produtividade e defeitos. Mesmo processos de inspeção são desnecessários, pois utilizam recursos da empresa e não são revertidos em ganhos adicionais.

Alguns autores como o Liker (2005), consideram um oitavo desperdício:

- **Criatividade dos funcionários (talento):** esse desperdício é caracterizado pela perda de tempo, ideias e oportunidades de melhorias devido ao não envolvimento dos funcionários nos processos de melhoria.

A fim de eliminar esses desperdícios Rother e Shook (1999) propõe sete recomendações:

- **Produza de acordo com o seu *takt time*:** *takt time* é o ritmo que uma empresa deve produzir uma peça, baseado no ritmo de consumo do cliente. O *takt time* é calculado dividindo o tempo disponível por turno pela demanda do cliente por turno, como a equação 1:

$$Takt\ time = \frac{Tempo\ disponível\ por\ turno}{Demanda\ do\ cliente\ por\ turno} \quad (1)$$

- **Desenvolva um fluxo contínuo onde for possível:** fluxo contínuo significa produzir e passar para o próximo processo uma peça por vez, sem interrupção. Produzir em fluxo contínuo reduz o *lead time* e os estoques em processo, além de facilitar a detecção de defeitos;

- **Use supermercado para controlar a produção onde o fluxo contínuo não se estende aos processos fluxo acima:** em alguns pontos do fluxo não é possível utilizar fluxo contínuo e a fabricação de lotes é necessária devido a diversos motivos como processos não-dedicados, processos distantes, processos com *lead time* muito elevado ou com baixa confiabilidade. Para esses casos, recomenda-se a utilização de um sistema puxado com supermercados;

- **Tente enviar a programação do cliente para apenas um processo de produção:** após a implantação de sistemas puxados deve-se programar apenas um processo do fluxo, chamado de processo puxador. A programação desse processo define o ritmo de produção dos processos anteriores. O processo puxador deve ser o primeiro processo após o último supermercado do fluxo, ou seja, a partir do processo puxador não deve mais existir supermercado, somente fluxo contínuo;

- **Distribua a produção de diferentes produtos uniformemente no decorrer do tempo no processo puxador (nivele o mix de produção):** Produzir em lotes com grandes quantidades de peças implica na dificuldade de atendimento das necessidades dos clientes que poderão requisitar peças diferentes da que está sendo produzida. Nivelar o mix de produtos significa distribuir a produção de diferentes produtos uniformemente durante um período de tempo. Aumentando a flexibilidade do processo produtivo para o atendimento da real demanda do cliente.

Crie uma “puxada” inicial com a liberação e retirada de somente um pequeno e uniforme incremento de trabalho no processo puxador (Nivele o volume de produção):

Na quinta recomendação foi nivelado o mix de produção, já na sexta deve-se nivelar o volume de produção. Esse nivelamento deve ser realizado em um quadro (*Heijunka Box*) onde é mostrada a programação do processo puxador. Para cada janela de tempo, conhecida como *pitch*, será programado um determinado produto para ser produzido;

Desenvolva a habilidade de fazer “toda peça todo dia” nos processos de fabricação anteriores ao processo puxador: TPT (toda peça todo dia) é a frequência com que um lote de peças é produzido, ou seja, o intervalo de tempo desde o início de produção de um o tipo de peça até a próxima vez que esse item será produzido. Quanto menor o TPT, maior a flexibilidade do processo e menor os estoques em processos.

3.1.4 Técnicas e Ferramentas da Produção Enxuta

Existem inúmeras técnicas e ferramentas da produção enxuta que ajudam a criar um processo considerado enxuto. Essas técnicas vão além da manufatura e são usadas, também, para beneficiar processos de serviços. A seguir são apresentadas algumas dessas técnicas e ferramentas.

3.1.4.1 Mapa de Fluxo de Valor

Fluxo de valor é toda ação (agregando valor ou não) necessária para trazer um produto por todos os fluxos necessários a cada produto: o fluxo de produção desde a matéria-prima até o consumidor e o fluxo do projeto do produto, da concepção até o lançamento. O mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta necessária na implementação da Produção Enxuta devido aos seguintes fatores (ROTHER; SHOOK, 1999):

- Auxilia na visualização do fluxo como um todo e não apenas dos processos isolados e desconectados;
- Ajuda a identificar os desperdícios e também as fontes desses desperdícios;
- Fornece uma linguagem comum para tratar dos processos;
- Torna as decisões sobre o fluxo visíveis e facilita a discussão de todas as pessoas envolvidas;

- Forma a base de um plano para a implementação da Produção Enxuta;
- Mostra a relação entre o fluxo de informação e o fluxo de materiais.

O Mapa de Fluxo de Valor é um método utilizado para analisar e diagnosticar a situação atual além de auxiliar no planejamento da situação futura de uma empresa. É através dele que os gestores da empresa podem enxergar as oportunidades de melhoria na situação atual e projetar a situação futura com as ferramentas certas para atacar cada tipo de desperdício. Para mapear um fluxo de valor é necessário conhecer todos os processos pelos quais o produto passa, desde a entrada da matéria-prima até a expedição do produto acabado. Em seguida, é necessário que estes processos sejam desenhados em sequência um ao lado do outro, acompanhados da representação do cliente e dos fornecedores, respectivamente no fim e no início do fluxo. O mapa deve também conter as informações dos fluxos de materiais e de informação, representados por setas específicas em cada um dos fluxos. A Figura 5 exemplifica um mapa de fluxo de valor da situação atual com as informações citadas acima:

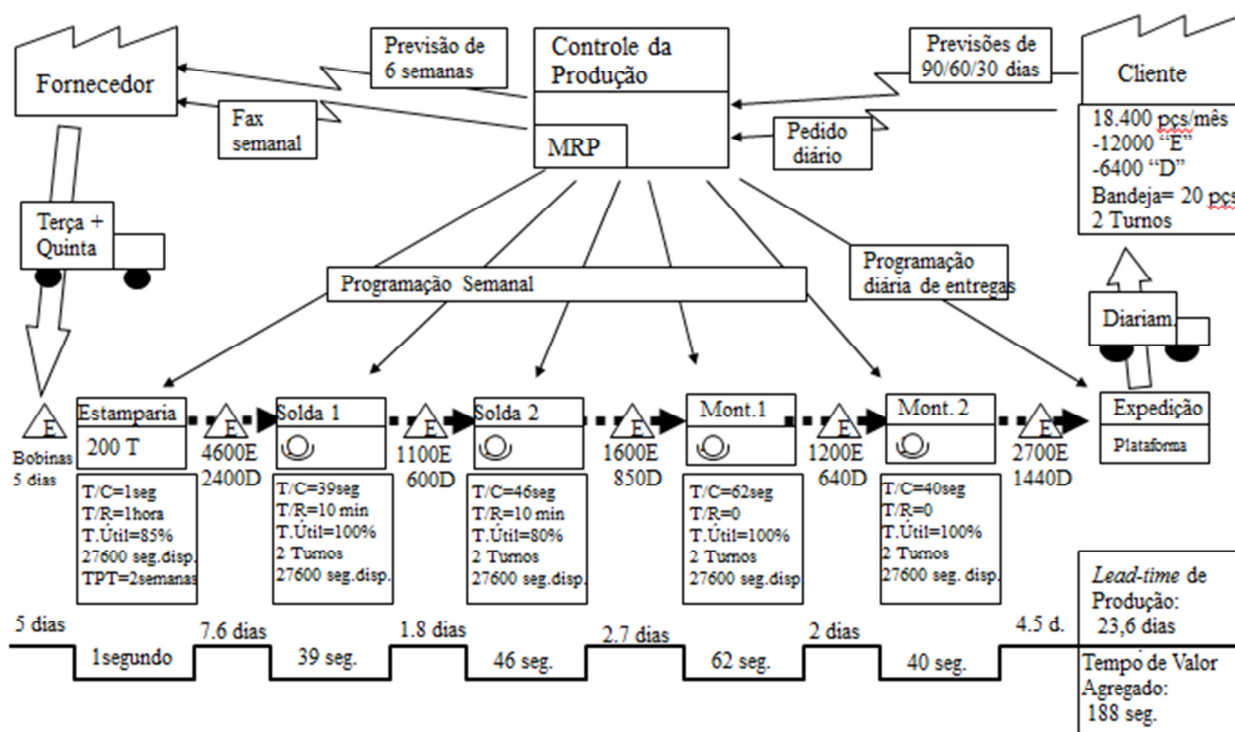


Figura 5 - Mapa de fluxo de valor de um estado atual.

Fonte: HOMINISS CONSULTING, 2011a.

3.1.4.2 Fluxo Contínuo

A criação do fluxo contínuo na cadeia produtiva é um dos principais objetivos da Produção Enxuta. Cada vez mais as empresas buscam inserir o fluxo contínuo em suas operações, pois percebem que a técnica traz agilidade e redução de desperdícios na fábrica. Produzir em fluxo contínuo significa processar e movimentar um item por vez (ou um lote pequeno de itens) ao longo de uma série de etapas de processamento, continuamente, sendo que em cada etapa se realiza apenas o que é exigido pela etapa seguinte. Também chamado de fluxo de uma peça ou fluxo de uma só peça (*one-piece flow*), o fluxo contínuo pode ser realizado tanto em linhas de produção ou montagem quanto em células manuais ou automáticas (ROTHER & HARRIS, 2002).

Deve-se introduzir fluxo contínuo sempre que possível. A Figura 6 ilustra uma situação em que o fluxo contínuo é utilizado.

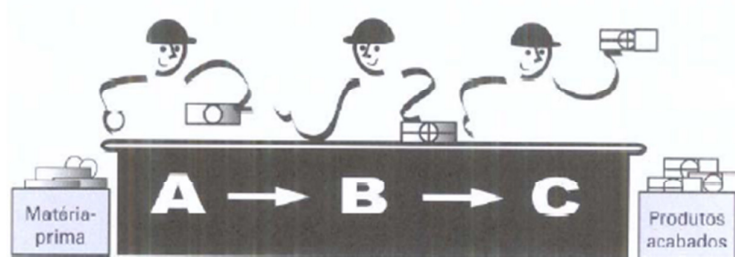


Figura 6 - Processamento em fluxo contínuo.

Fonte: LEAN INSTITUTE BRASIL, 2011

O fluxo contínuo permite que cada peça percorra seu fluxo de fabricação sem interrupção, evitando esperas, formação de estoques intermediários e superprodução, reduzindo a movimentação e o transporte.

3.1.4.3 Produção Puxada

De acordo com Almeida (2006) implementar a produção puxada seria criar um sistema de produção em que cada etapa do processo deve produzir um bem ou serviço quando um processo posterior ou o cliente final o solicite. O seu objetivo é controlar a produção no processo do fornecedor, sem a necessidade de programação. A previsão é realizada com base em uma demanda real e não em uma previsão de vendas, como é normal em uma produção empurrada, a qual acaba potencializando vários tipos de desperdícios. O controle *First in*,

First Out (FIFO) é, para Rother & Shook (1999), uma condição necessária para a implementação do sistema puxado, para manter a precisão na produção e na sequência de movimentação de materiais, garantindo que a primeira peça a entrar em um processo ou local de armazenamento também seja a primeira peça a sair. Isso assegura que as peças armazenadas não se tornem obsoletas e que problemas de qualidade não sejam ocultados pelo estoque.

3.1.4.4 O 5S

O 5S tem como principal objetivo organizar os postos de trabalho de forma a aumentar a produtividade e diminuir os desperdícios associados aos processos de negócio. Trata-se de uma filosofia básica para a implementação dos conceitos da Produção Enxuta. A técnica de melhoria do 5S foi criada no Japão e tem o seu significado em cinco expressões japonesas: *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu*, *Shitsuke*. Correa & Correa (2007), cita alguns benefícios do 5S, como: maior motivação e empenho do trabalhador, devido a uma melhoria das condições do ambiente de trabalho; menor índice de acidentes, devido à limpeza e organização do ambiente de trabalho; maior produtividade, proporcionada pela organização e padronização.

Cada um dos 5S são definidos a seguir (RIBEIRO, 2006):

1ºS “Seiri” (Senso de utilização) refere-se à eliminação dos itens desnecessários.

2ºS “Seiton” (Senso de Ordenação) procede-se à criação de uma nova metodologia de organização dos postos de trabalho.

3ºS “Seiso” (Senso de Limpeza) consiste em efetuar uma limpeza a fundo, bem como criar condições para que a limpeza e arrumação se mantenham.

4ºS “Seiketsu” (Senso de Padronização): foca na definição de uma metodologia que permita manter e controlar os três primeiros S’s.

5ºS “Shitsuke” (Senso de Auto-disciplina) consiste na necessidade de um trabalho contínuo, para que os esforços e recursos utilizados sejam mantidos na empresa, cada vez com mais e melhores resultados.

Os 5S reflete uma idéia de profunda mudança comportamental. São idéias simples e muito importantes que ajudam na aplicação de todas as outras ferramentas da produção enxuta.

3.1.4.5 Trabalho Padronizado

O trabalho padrão tem como característica o estudo do trabalho de um operador para se desenvolver procedimentos baseados na taxa em que os produtos devem ser produzidos para atender a demanda dos clientes, a sequência exata em que o operador deve realizar suas tarefas para atender a esta taxa e na avaliação da quantidade de estoque em processo que se pode ter neste conjunto de atividades. (ALMEIDA, 2006),

3.1.4.6 Redução de Setup

Um dos objetivos da produção enxuta é diminuir os intervalos de troca (*Setup*) e tamanho do lote, que de acordo com Shingo (2000), busca aumentar a flexibilidade do sistema produtivo aliado à confiabilidade, os lotes de produção devem ser menores e a balanceados para manter a produção nivelada, logo o *setup* deve ser encarado como uma atividade rotineira. Diferente da mentalidade voltada à produção de grandes lotes em que o *setup* é visto, segundo Almeida (2006), como uma atividade especial feita por especialistas, a mentalidade enxuta acredita que as operações de *setup* devem ser simples, para que eles ocorram com maior frequência. A idéia de se diminuir os intervalos de troca está relacionado com o conceito de se nivelar a produção a um ritmo mais frequente e criar condições para se implementar o sistema de produção enxuta.

3.1.4.7 Manutenção Produtiva Total

Consiste em realizar manutenções sistematicamente nos equipamentos para mantê-los sempre operantes, minimizando assim as interrupções no processo. Busca a máxima eficiência do sistema de produção e maximiza o ciclo total de vida útil dos equipamentos (CORRÊA e CORRÊA, 2007).

Almeida (2006) enfatiza o envolvimento do operário e a manutenção autônoma, ajudando a eliminar os tempos de espera por máquina quebrada (ou em manutenção), baseada no raciocínio de capacitar os operadores com o propósito de torná-los aptos a promover, no seu ambiente de trabalho, mudanças que garantam altos níveis de produtividade e qualidade sem desperdícios.

3.1.4.8 Sistema a Prova de Erros

O *Poka-Yoke* ou sistema a prova de defeitos é um conjunto de métodos para o que fazem com que uma operação só possa ser desempenhada da maneira certa, o que ajuda os operadores a evitarem erros em seu trabalho, tais como a montagem de uma peça incorreta. (LEAN INSTITUTE BRASIL, 2011).

3.2 DMAIC COMO MODELO PARA MELHORIA

Muitas vezes o processo de transformação e implementação dos conceitos da produção enxuta esbarram em obstáculos dentro da própria empresa.

De acordo com Rentes (2000) o processo de transformação se constitui de uma somatória de incertezas, assim para ser bem sucedida, é necessária a construção mútua de confiança. Desse modo, o processo de gestão da mudança se torna muito importante para que o desenvolvimento da transformação caminhe como o esperado e para que as pessoas não abandonem os seus objetivos.

A teoria do *Six Sigma* e sua metodologia para implementação de melhoria DMAIC, com suas 5 fases (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*) surgiu dentro da Motorola nos anos 80 com o objetivo da empresa atingir níveis altos de qualidade para se destacar num mercado cada vez mais competitivo. Como outros métodos de melhoria contínua, o DMAIC é apoiado no PDCA (*Plan, Do, Check, Action*) de Deming.

A partir da integração do *Six Sigma* e do DMAIC com os conceitos de Produção Enxuta (*Lean*) surgiu o termo denominado *Lean Six Sigma*, que consiste na junção dos pontos fortes de ambas as teorias, tornando-se uma metodologia muito mais ampla para a resolução de problemas e para condução da melhoria contínua. Segundo Queiroz (2007) a junção das duas teorias traz muito mais benefícios para empresa do que sua utilização isolada.

De acordo com Hahn (2000) e com a Hominiiss Consulting (2011a), cada etapa da metodologia *Lean Six Sigma* pode ser traduzida em uma ação, e segue uma ordem cronológica do processo de raciocínio. A seguir é apresentada a metodologia DMAIC adaptada do *Six Sigma*, sendo um acrônimo de cada uma de suas etapas:

- *Define* (Definir): na etapa de Definir o escopo, é delineado formalmente o escopo do projeto, formação das equipes, capacitações iniciais, etc.

- *Measure* (Medir): na etapa Medir e Mapear a Situação Atual são levantadas as principais medidas de resultado do projeto, e é feito o Mapeamento do Fluxo de Valor das famílias de produtos e serviços definidas na etapa anterior (escopo do projeto)

- *Analyse* (Analisar): nesta etapa é feita a Análise da Situação Atual, identificados os principais problemas e suas causas-raízes, bem como desenvolvida a situação futura a ser implantada.

- *Improve* (Melhorar): nesta etapa são feitas as implantações das melhorias definidas a partir da situação futura projetada.

- *Control* (Controlar): é uma fase crucial para efetiva sustentabilidade das melhorias que foram implantadas. Nesta etapa são definidos os padrões de auditoria quanto à conformidade dos processos implantados.

Utiliza-se esta metodologia em ciclos de desenvolvimentos sucessivos, conforme representado na Figura 7.



Figura 7 – Metodologia DMAIC e sua abordagem em ciclos sucessivos.
Fonte: HOMINISS CONSULTING, 2011a.

A metodologia DMAIC derivada do *Lean Six Sigma* e adaptada às necessidades de criação, implantação e controle de projetos de layout fabril gerou o DMAIC adaptado para

projetos de layout industrial, denominado *Lean Plant Design*. (HOMINISS CONSULTING, 2011a). Similar à metodologia original, suas etapas são descritas a seguir.

- **Definir escopo:** etapa na qual é feita a formalização das equipes de trabalho e suas respectivas dedicações ao projeto em questão, além de capacitações iniciais e uma análise prévia da relação de volume de demanda e famílias de produtos que podem apoiar a decisão de definir escopo.

- **Medir e identificar:** quando são identificados e validados os processos das principais famílias de produtos e/ou fluxos de valor, é feito o mapeamento da situação atual das famílias de produto, bem como levantado o arranjo físico atual e as eventuais restrições e requisitos existentes.

- **Analisar e desenvolver:** é feita a análise da situação atual, são desenvolvidas as alternativas conceituais de novos arranjos físicos. É feita a escolha das melhores alternativas conceituais, que serão detalhadas em termos de posicionamento de processos, movimentação, armazenagem, etc. Por fim, é feita a avaliação final e seleção da alternativa a ser implantada

- **Implantar:** é gerado o plano de implantação, priorizadas as etapas de mudança e/ou instalação em termos de precedências técnicas e lógicas, e, também, ocorre auxílio quanto à gestão do processo de implantação no novo *layout*

- **Controlar:** são definidos os parâmetros de desempenho e conformidade com o novo padrão de trabalho e arranjo físico implantados, é feita a documentação do trabalho realizado, e é definida a forma e a rotina de auditoria para garantia de sustentabilidade para os novos processos.

A Figura 8 ilustra a metodologia DMAIC para projetos de *Lean Plant Design* descrita anteriormente e suas principais etapas.



Figura 8 – Ciclo DMAIC de projeto de *Lean Plant Design*.

Fonte: HOMINISS CONSULTING, 2011a.

3.3 LAYOUT

Para facilitar o entendimento de layout, podem-se enunciar algumas definições do mesmo:

“O *layout* industrial é a representação espacial dos fatores que concorrem para a produção envolvendo homens, materiais e equipamentos, e as suas interações.” (CAMAROTTO, MENEGON, 2006).

O *layout* ou arranjo físico consiste da organização racional de todos os recursos e tecnologias necessárias para a consecução em nível operacional dos objetivos da empresa industrial, materializando-se na forma como esses recursos serão dispostos no espaço tridimensional. Como organização racional entende-se a busca da harmonização e integração de equipamentos, mão-de-obra (direta e indireta), materiais, áreas de movimentação e de estocagem e demais recursos e tecnologias (OLIVÉRIO, 1985).

Desse modo no projeto do layout, o projetista estabelecerá as relações e iterações existentes entre a localização das pessoas, equipamentos, estoque e demais áreas.

3.3.1 Porque Projetar o Layout?

No planejamento do sistema produtivo, o projeto de layout é de grande importância, como descrito pelos autores:

A eficiência da manufatura depende de inúmeros fatores, entre eles o layout das máquinas e equipamentos (DJASSEMI, 2007).

O planejamento do layout é importante, pois esse, normalmente, representa os maiores e mais caros recursos da organização. (CANEN et al, 1998).

O tempo despendido no planejamento do arranjo físico antes de sua implantação evita que as perdas assumam grandes proporções e possibilita que todas as modificações se integrem segundo um programa global e coerente, que permite o estabelecimento de uma sequência lógica para as mudanças, além de facilitá-las. (MUTHER, 1976).

Os custos de implantação de um bom arranjo físico ou de um arranjo físico deficiente podem ser praticamente idênticos. Mas, uma vez implantado um arranjo deficiente, os custos relativos ao rearranjo, interrupção de produção e novos investimentos tornam quase impossível transformá-lo num arranjo eficiente. (MUTHER, 1976).

Além disso, Olivério (1985) apresenta uma série de fatores condicionantes que podem requerer alteração no layout (causas) e suas frequentes consequências no layout (efeitos), apresentando uma matriz de causa-efeito como mostrado na Figura 9:

CAUSA	Mudança do projeto do produto	Novo produto	Melhoria condições de trabalho e redução acidentes	Variações na demanda do produto	Substituição de equipamento	Mudança no processo produtivo	Mudança do mercado de consumo (e fornec.)	Introdução de novos métodos de organização e controle	Redução de custos
EFEITO									
Pequenas alterações de layout	O	R	MF	O	F	R	O	MF	MF
Rearranjo de plant Layout	MF	F	F	F	F	R	O	MF	F
Transferência para edifícios novos ou ampliações	O	P	R	F	R	R	P	R	O
Construção de fábrica Nova	R	F	R	F	R	O	F	R	R
Legenda MF: MUITO FREQUENTE, F: FREQUENTE, O: OCASIONAL, R: RARO									

Figura 9 - Relação de causa-efeito nas alterações do layout

Fonte: adaptado pelo autor com base em OLIVÉRIO, 1985.

3.3.2 Princípios e Recomendações de Layout

Olivério (1985) lista alguns princípios que devem ser seguidos no projeto de layout, devendo ser aplicados a todas as etapas do processo de desenvolvimento do layout:

Princípio da integração: através do qual se pretende que todas as partes da planta contribuam de forma sinérgica para a consecução dos objetivos da planta produtiva;

Princípio da mínima distância: pelo qual se pretende diminuir os esforços de movimentação que em geral nada acrescentam ao valor final do produto;

Princípio de obediência ao fluxo de operações: pelo qual se pretende, além de reduzir as distâncias, também a eliminação de cruzamentos, retornos e interrupções;

Princípio do uso das três dimensões: pelo qual se pretende racionalizar o uso do espaço tridimensional e não apenas o espaço planar. Isso pode ser traduzido no uso de armazenagem verticalizada, no uso de transportadores aéreos, construções com vários andares, uso de subsolo, entre outros;

Princípio da satisfação e segurança: que visa reduzir os riscos potenciais do ambiente industrial à saúde dos seus usuários;

Princípio da flexibilidade: para fazer frente às necessidades de alteração rápidas nos condicionantes do sistema produtivo e do layout;

Além dos princípios, Olivério (1985) também descreve uma série de recomendações para o projeto de *layout*:

Planejar o todo e depois o detalhe: como se pretende ter a planta integrada de tal forma que não haja concorrência entre suas partes, mas para que todas elas sejam orientadas para os mesmos objetivos gerais, uma visão geral do conceito da planta é importante. Sem essa orientação inicial corre-se o risco de se incorrer em detalhes excessivos;

Planejar o ideal e depois o prático: não se deve incluir limitações nas etapas iniciais do desenvolvimento pois isso pode limitar a solução final ou mesmo torná-la impossível. Além disso, a existência da solução “ideal” servirá como padrão para comparação com a solução final e também como ponto de partida para a inclusão das limitações reais até que se chegue a uma solução aceitável;

Planejar para o futuro: Há que se considerar durante a fase de concepção do arranjo físico possíveis expansões ou alterações significativas que poderão ocorrer no futuro. Assim, por exemplo, deve ser considerada a possibilidade de aumento do sistema produtivo ou de capacidade e consequente expansão das instalações existentes. Isso implica, entre outras

coisas, na necessidade de se ter flexibilidade para estabelecer a localização dos equipamentos e ampliações dos edifícios;

Procurar a idéia de todos: Dada a interferência de vários fatores condicionantes no processo de desenvolvimento do *layout* há que se capturar, de maneira adequada, as idéias e propostas de elementos de outros setores da empresa. Esse tipo de contribuição é importante para a introdução de alterações que tenham impacto considerável, considerando-se que a idéia precisa ser “vendida” antes de ser implantada;

Utilizar os melhores elementos de apresentação: ao discutir as idéias, há que se dispor de meios adequados para discussão de alternativas e também para convencimento das partes interessadas. Entre esses meios estão os mapas, fluxogramas e demais recursos gráficos;

Preparar para vender a idéia: A criação de uma alternativa e o convencimento sobre a sua validade depende de uma série de fatores como técnicas de convencimento e relações interpessoais para que se consiga a aprovação.

3.3.3 Tipos de Layout

Existem quatro tipos tradicionais de *layouts*: *layout* funcional ou por processo, *layout* por produto ou em linha, *layout* posicional e o *layout* celular. Esses conceitos de *layout* são os mais encontrados nas empresas (SILVA, 2009).

- Layout Posicional

De acordo com Camarotto, Menegon (2006), este *layout* é caracterizado por um arranjo espacial onde o material a ser trabalhado (peça, parte ou item) permanece parado enquanto que os operadores e os equipamentos se movimentam ao seu redor. Para Silva (2009), este é um tipo muito particular de *layout* e, normalmente, é utilizado na fabricação de produtos de grande porte ou produtos que permanecerão fixos no local de fabricação. Exemplo: prédios, pontes, navios, etc. A Figura 10 ilustra esse tipo de *layout*:

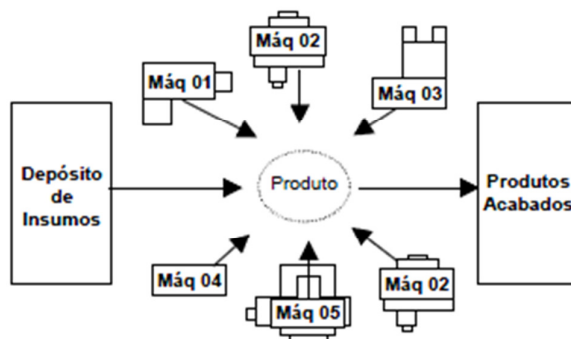


Figura 10 - Exemplo de um layout posicional

Fonte: TORRES, 2001

- *Layout Funcional (por processo)*

Neste tipo clássico, os equipamentos são agrupados em função da similaridade de suas operações no processo de produção, independente do produto processado. É característico deste tipo de arranjo o agrupamento de máquinas semelhantes formando departamentos ou setores de processos com nomenclatura bastante comum nas fábricas, como: setor de estampagem, departamento de usinagem, seção de tingimento, setor de acabamento, etc. Nestas configurações não se identifica a fábrica, ou seus setores, pelos produtos fabricados, mas, pelos seus processos (CAMAROTTO, MENEGON, 2006). A Figura 11 ilustra um *layout funcional*:

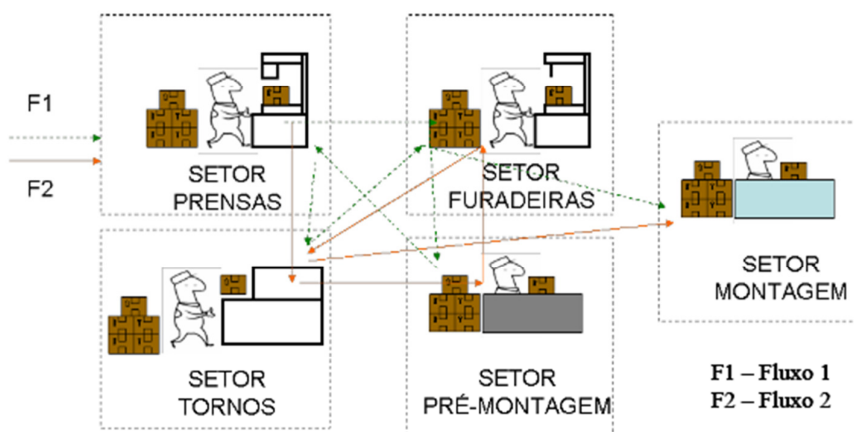


Figura 11 - Exemplo de layout funcional.

Fonte: SILVA, 2009.

- *Layout por Produto*

Neste tipo de layout, a disposição dos postos de trabalho obedece a sequência do processamento do produto, formando um conjunto de equipamentos, mantendo em comum o processamento sequencial de partes de um produto. Neste o material que se movimenta para sofrer as operações (OLIVÉRIO, 1985). A Figura 12 a seguir ilustra esse tipo de layout:

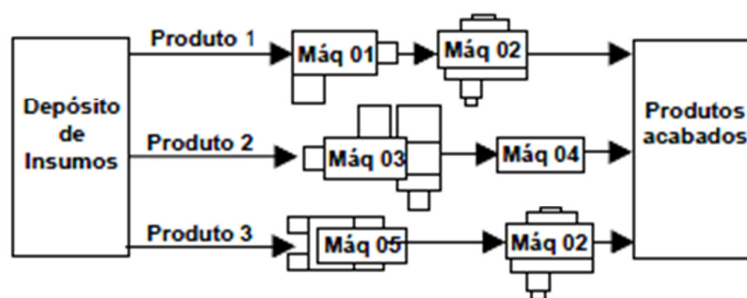


Figura 12 - Exemplo de layout por produto.

Fonte: TORRES, 2001

- Layout Celular

Uma célula, de acordo com Rother e Harris (2002), é definida como um arranjo de pessoas, máquinas, materiais e métodos em que as etapas do processo estão próximas e ocorrem em ordem sequencial, através da qual as partes são processadas em fluxo contínuo. Os componentes processados são agrupados em famílias (similaridade de formas e/ou dimensões e/ou processos). O *layout* físico de uma célula em “U” é o mais conhecido, mas muitas formas variadas são possíveis. A Figura 13 a seguir representa esse tipo de layout.

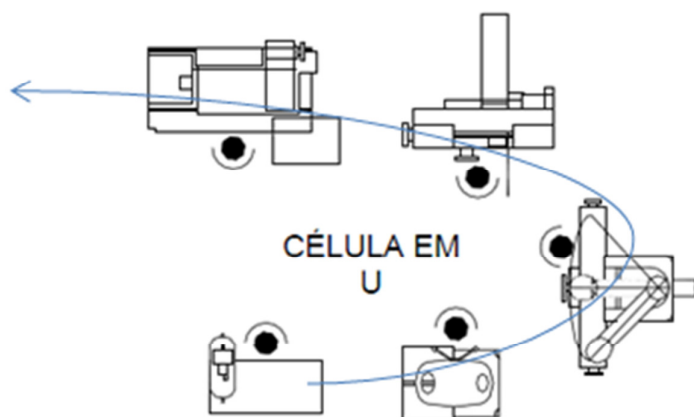


Figura 13 - Exemplo de layout celular.

Fonte: adaptado pelo autor com base em SILVA, 2009.

- Outros tipos de Layout

De acordo com Olivério (1985), Camarotto e Menegon (2006) os *layouts* reais são normalmente combinações destes tipos clássicos, pois as indústrias possuem, normalmente em suas instalações, misturas desses tipos de *layout*.

Silva (2009) apresenta alguns autores como Venkatadri ET AL. (1997), Silva e Rentes (2002), Gonçalves Filho (2005) que descrevem alguns novos conceitos de *layout*, como:

- Layout Modular:

Um módulo de um arranjo físico modular é definido como um pequeno grupo de máquinas que tem as características e um padrão de fluxo de um tipo específico de arranjo físico. As variações dos módulos podem ser: módulo célula, módulo centro de usinagem, módulo fluxo em linha, módulo funcional e etc. A idéia central do *layout* modular é que as máquinas sejam agrupadas segundo os tipos de módulos citados e dispostos no chão-de-fábrica de modo que o fluxo através dos módulos ocorra em um único sentido (GONÇALVES FILHO, 2005 apud SILVA, 2009).

- Layout com Mini-fábricas;

Mini-fábricas de produção é a organização do *layout* do setor de manufatura em ilhas de produção. Neste caso, os equipamentos de produção são separados de forma a dividir a fábrica em áreas de processamento de produtos específicos, ou seja, a fábrica é seccionada em setores onde cada um produz parte dos produtos pertencentes ao portfólio de produtos da empresa. Quando se trabalha com o conceito de mini-fábricas de produção problemas como duplicação de máquinas são minimizados porque, por exemplo, não existe uma dedicação tão exclusiva para uma linha de produtos como no ambiente celular. (SILVA e RENTES, 2002).

Dentro da mini-fábrica o fluxo das peças é multidirecional. A vantagem desse conceito de arranjo físico consiste na redução dos estoques em comparação a outros modelos de *layout*, a gestão unificada de itens semelhantes e a redução de movimentação devido à aproximação de recursos. A Figura 14 representa um exemplo esquemático de um layout com mini-fábricas.

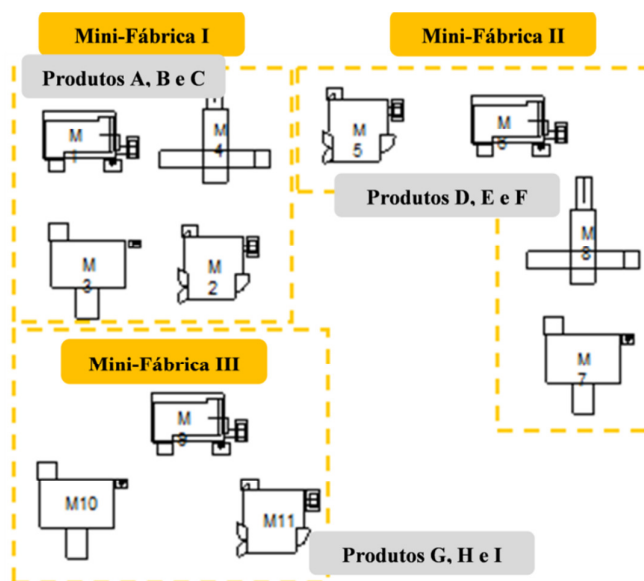


Figura 14 – Exemplo esquemático de layout com mini-fábricas.

Fonte: adaptado pelo autor com base em HOMINISS CONSULTING, 2011a.

- Layout Fractal;

A unidade básica de formação do *layout* fractal é a célula fractal, um conjunto de máquinas colocadas próximas umas das outras no chão-de-fábrica e capazes de processar a maioria, senão todos os produtos que entram no sistema de fabricação. Cada tipo de máquina na célula fractal é aproximadamente igual à proporção daquele tipo de máquina na fábrica. Não é suposto que as células fractais sejam independentes, ou seja, que cada uma delas sejam capazes de processar inteiramente um conjunto de peças. Pode ser necessário que a peça passe por duas ou mais células fractais para estar completa. Com isso, determinadas máquinas e equipamentos serão utilizados por mais de uma célula fractal. Isto deve ocorrer, principalmente, quando máquinas caras, em número reduzido são utilizadas por um grande número de peças (GONÇALVES FILHO, 2005 apud SILVA, 2009). A Figura 15 mostra um exemplo esquemático de layout fractal.

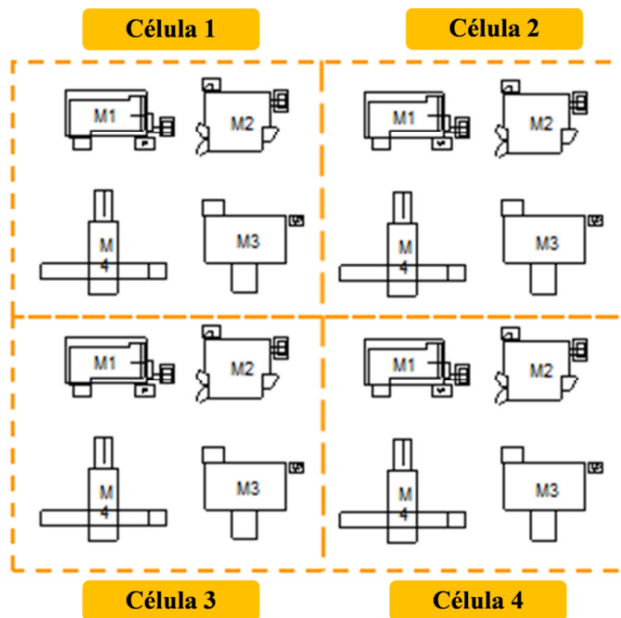


Figura 15 – Exemplo esquemático de um layout fractal.

Fonte: adaptado pelo autor com base em HOMINISS CONSULTING, 2011a.

- Layout Reconfigurável;

“Sistema de manufatura reconfigurável (RMS) é um sistema de produção que permite a reconfiguração de equipamento, do processo de produção, da capacidade de produção, com objetivo de atender a mudanças na demanda” (MEHRABI *ET AL*, 2002 apud SILVA, 2009).

A idéia do *layout* reconfigurável envolve utilizar máquinas que podem ser movidas de um tipo de *layout* para outro, permitindo dessa forma a configuração do sistema de manufatura para produtos individuais.

De acordo com Mehrabi *et al* (2002) apud Silva (2009), o RMS permite: redução do *lead time* de implantação de novos sistemas de produção ou da reconfiguração do sistema existente; rápida modificação e integração de novas tecnologias e ou novas funções dentro de um sistema de produção já existente. Mas, este conceito de *layout* apresenta algumas limitações como custo, dificuldade de movimentação de equipamentos de grande porte, dificuldade em se delimitar pontos de instalação de ar, energia, entre outros fatores.

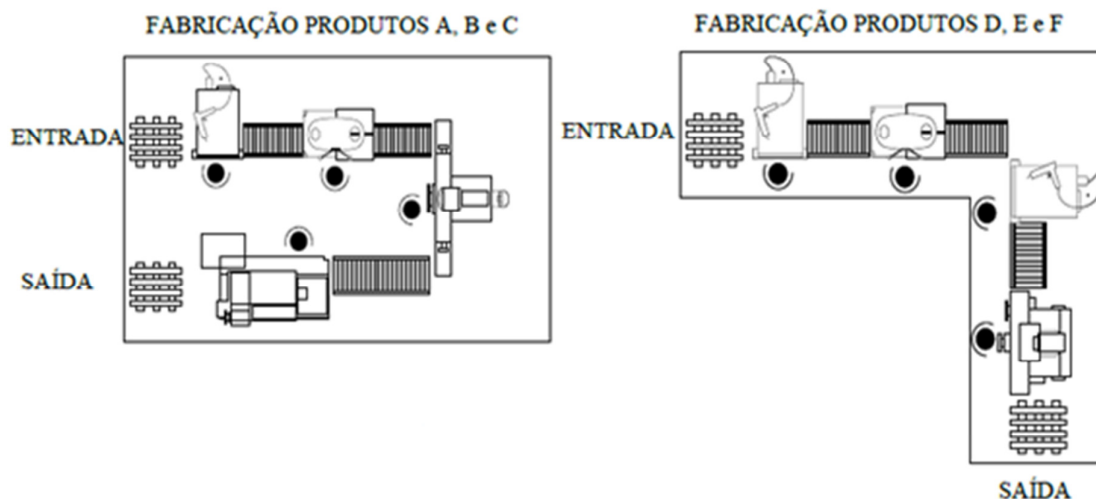


Figura 16 – Exemplo de um layout reconfigurável.
Fonte: SILVA, 2009.

Cada *layout* apresentado possui características próprias que os aproximam ou distanciam dos conceitos de Produção Enxuta. A seguir, será realizada uma análise desses arranjos físicos em relação à Produção Enxuta.

3.4 LAYOUT VERSUS CARACTERÍSTICAS LEAN

De acordo com Corrêa e Corrêa (2007) um bom projeto de arranjo físico pode visar tanto eliminar atividades que não agregam valor como enfatizar atividades que agregam valor.

Analisando os modelos de layout apresentados podem-se identificar quais modelos de layout aproximam ou distanciam do sistema de Produção Enxuta. Silva (2009) analisou esses arranjos físicos em relação à Produção Enxuta. As características de um layout *lean* analisados pelo autor foram:

- Baixa “movimentação” de materiais e produtos e pessoas, eliminando desperdícios.

- Alto “fluxo contínuo”, permitindo que as peças fluam continuamente entre as estações de trabalho.
- Boa “gestão visual” para auxílio ao gerenciamento das atividades do chão de fábrica.
- Alta “flexibilidade” para alterar de forma rápida e eficiente o *mix* e o volume de produção, atendendo a sazonalidade da demanda.
- Baixo “nível de estoques” em processo (WIP), que é uma das principais fontes de desperdício.
- Foco na alta “qualidade”, o fluxo contínuo e a transferência unitária de peças permite que o defeito seja identificado mais rapidamente pelo processo seguinte.
- Alta utilização de “mão-de-obra multifuncional”, a proximidade dos equipamentos possibilita que um operador trabalhe em mais de um posto de trabalho diferente.
- Baixo “nível de complexidade de programação da produção”, quanto melhor o fluxo do processo produtivo, maior é a facilidade de se programar a produção nas estações de trabalho.

Analisando a aderência do tipo de layout em relação às características de um layout sob a ótica da produção enxuta gerou um quadro ilustrado na Figura 17, com os seguintes resultados:

Tipos de Layout	Características de um Layout Lean						
	Alto Fluxo Contínuo	Baixo WIP	Alta Gestão Visual	Foco na Alta Qualidade	Alta Flexibilid. de Mix e Volume	Mão de Obra Multi-Funcion.	Baixa Complex. de Program.
Funcional	baixo	alto	baixo	baixo	alto	baixo	alto
Linha Prod.	alto	baixo	alto	alto	baixo	baixo	baixo
Posicional	baixo	baixo	alto	alto	alto	alto	baixo
Celular	alto	baixo	alto	alto	baixo	alto	baixo
Fractal	baixo	alto	baixo	baixo	alto	baixo	alto
Mini-Fáb	médio	médio	alto	médio	alto	baixo	médio
Reconfigurável	alto	baixo	alto	alto	alto	alto	médio

Legenda (aderência às características de um layout lean):



Boa



Média



Ruim

Figura 17 – Aderência às características de um layout *lean*.

Fonte: adaptado pelo autor com base em SILVA, 2009.

Como apontado por Silva (2009), não existe um *layout* ideal a ser utilizado. As particularidades de cada caso conduzirão a um tipo de *layout* específico.

As empresas que utilizam o sistema *lean*, em muitos casos tem adotado sistema híbrido desses *layouts*, concordando com Olivério (1985), Camarotto e Menegon (2006). Para determinadas etapas do processo utilizam, por exemplo, um *layout* celular ou até mesmo um *layout* funcional. E para outras etapas do processo utilizam um *layout* em linha. Esta mescla de *layouts* pode trazer muitos benefícios, como a não necessidade de duplicação de equipamentos e a formação de um fluxo eficiente de produção.

Observando a Figura 17, verifica-se que o layout celular é o que melhor se aproxima dos conceitos do Sistema de Produção Enxuta, apesar de ter suas limitações. As principais características de uma célula em fluxo contínuo são mostradas na Figura 18:

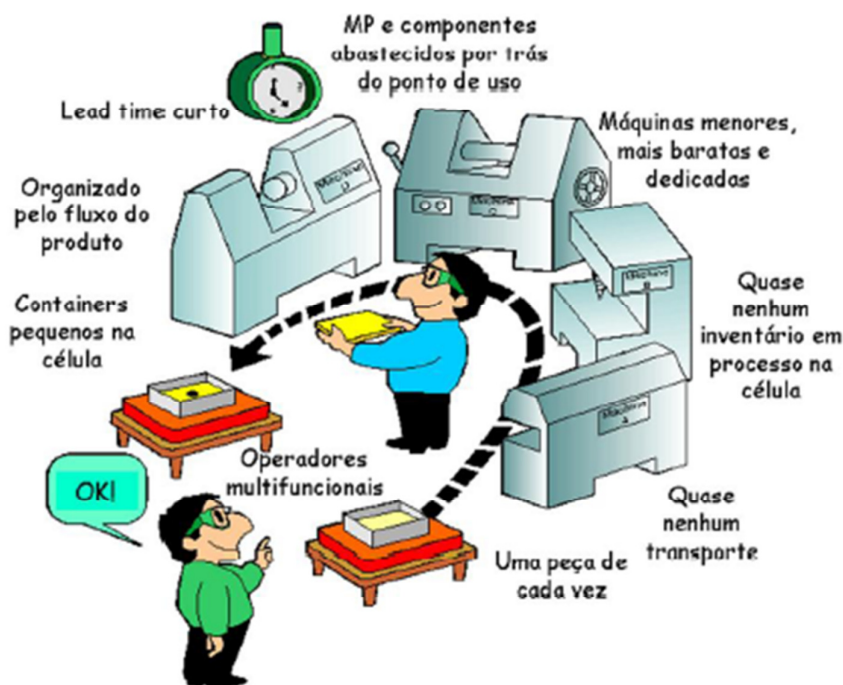


Figura 18 - Principais características de uma célula em fluxo contínuo.
Fonte: SILVA, 2009.

Além da eliminação do estoque em processo a utilização de células em fluxo contínuo possui vantagens relacionadas à qualidade, pois se torna mais rápida a percepção de defeitos e peças não conformes, visto que o consumo das peças pelo processo seguinte é praticamente instantâneo (SILVA, 2009).

3.5 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS GRÁFICAS APLICADAS AO PROJETO DE LAYOUT

A representação gráfica é utilizada para facilitar a visão do projetista e de todos os envolvidos no projeto de layout das instalações industriais. De acordo com Muther (1976) é mais fácil movimentar modelos sobre uma folha de papel do que movimentar máquinas e alterar paredes diretamente, além disso, a representação gráfica auxilia no desenvolvimento de arranjos físicos melhores, numa visão geral da fábrica e possibilita a análise de vários cenários.

A Figura 19 ilustra um layout complexo feito com gabaritos industriais utilizando plantas de papel e cartolina.

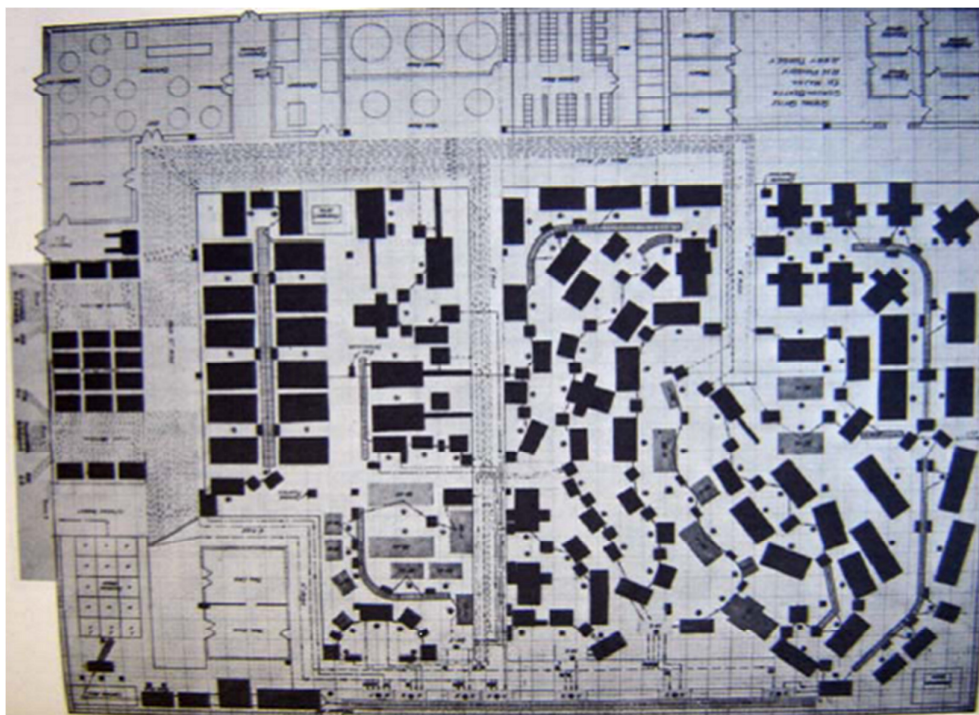


Figura 19 – Layout feito com gabaritos industriais utilizando papel e cartolina.
Fonte: TORRES, 2007

Anteriormente à utilização de ferramentas computacionais para visualização gráfica do layout em 3D eram utilizadas outras formas para essa representação. De acordo com Pemberton (1977), no contexto do arranjo industrial é necessário representar tridimensionalmente a planta industrial em situações de apresentação e discussão do arranjo físico, tanto para explicar e desenvolver novos métodos como para apresentar e discutir com as diretorias. Devido ao apelo imediato dos modelos de representação, estes causam impacto mais rapidamente.

Segundo Pemberton (1977) e Moore (1970), alguns métodos que foram ou são utilizados para representação do layout tridimensional são a utilização de modelos de madeira, isopor, papelão e até modelos metálicos ou de plástico. Onde a base do layout é constituída conforme a planta industrial em estudo. A Figura 20 representa algumas máquinas em metal e uma maquete industrial.

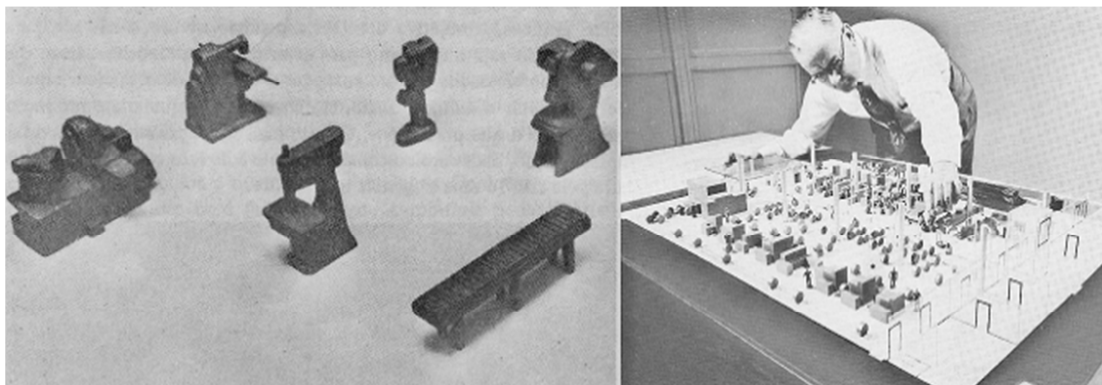


Figura 20 – Modelos de máquinas em metal e maquete industrial

Fonte: PEMBERTON, 1977 e MOORE, 1970.

Atualmente estes métodos apresentados para visualização tridimensional passam a ser cada vez menos utilizados e as ferramentas computacionais assumem um papel cada vez mais importante.

A grande acessibilidade aos computadores e o desenvolvimento de *hardwares* mais potentes, fez com que, recentemente a forma de representação gráfica mais utilizada seja a computacional. Desenhos computacionais utilizando ferramentas gráficas CAD (Computer Aided Design, ou Projeto Auxiliado por Computador) estão sendo cada vez mais usadas. A Figura 21 e a Figura 22 representam layouts industriais desenvolvidos utilizando a ferramenta CAD.

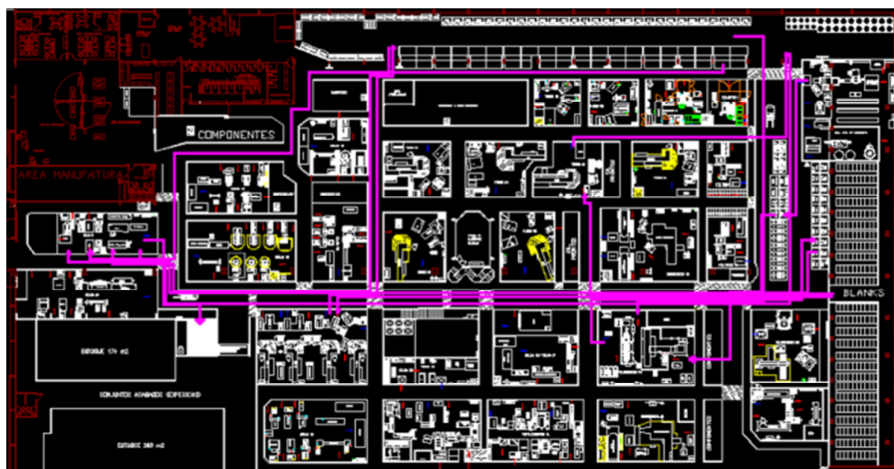


Figura 21 – Layout 2D feito com ferramenta CAD.

Fonte: HOMINISS CONSULTING, 2011a.

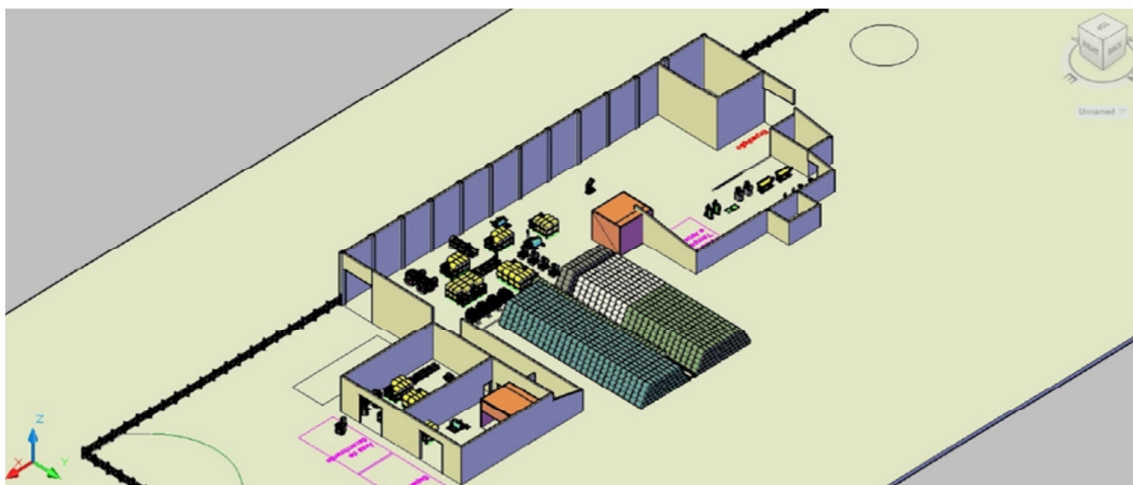


Figura 22 – Layout 3D de uma fábrica de embalagens feito com ferramenta CAD.

Fonte: OLIVEIRA *et al*, 2010.

Muitos benefícios são obtidos utilizando-se ferramentas computacionais gráficas, como a fácil manipulação do layout, maior precisão, menor tempo de confecção dos modelos tridimensionais e maior facilidade de armazenamento dos projetos. Porém há desvantagens como a necessidade de treinamento do projetista, investimentos em tecnologias e eventuais dificuldades na compatibilidade de arquivos de diferentes *softwares*.

Existem muitas ferramentas computacionais gráficas acessíveis aos projetistas. Menegon, Costa e Camarotto (1997) enfatizam a utilização integrada de softwares gráficos (CAD, 3D Studio Max) no projeto do *plant layout*.

Menegon, Costa e Camarotto (1997) apresentam uma metodologia para o projeto de layout onde são aplicadas ferramentas computacionais gráficas no desenvolvimento do arranjo físico, representada na Figura 23:

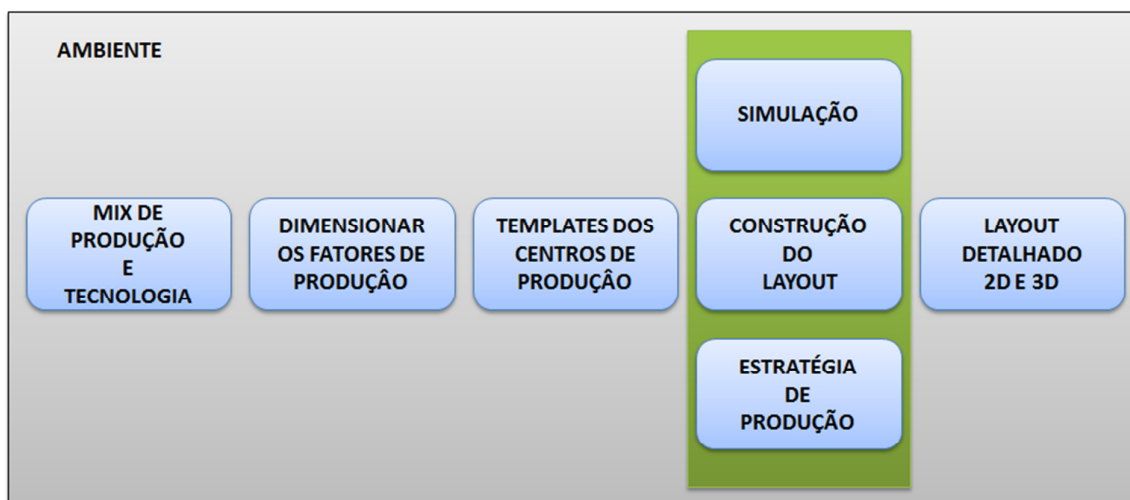


Figura 23 - Processo de Construção do *Plant Layout*.

Fonte: Adaptado pelo autor com base em MENEGON; COSTA; CAMAROTTO, 1997.

De acordo com Camarotto e Menegon (2006), a compreensão do que representa a metodologia ilustrada pela Figura 23 pode ser descrita da seguinte forma:

O processo de projeto é circunscrito pelo **ambiente** representado na figura do retângulo maior. O ambiente representa a fronteira do negócio e a estratégia decorrente, condicionando o processo de construção do plant layout industrial e, mais importante, mostrando o contexto onde as soluções serão avaliadas.

O primeiro passo considera o **mix de produtos e a tecnologia de produção** que será adotado na unidade. Trata-se de compreender exatamente quais são os produtos ou serviços a serem produzidos e os seus processos de obtenção.

Em seguida, deve-se buscar quantificar os recursos necessários para o processo produtivo. A esta etapa designamos de **pré-dimensionamento dos fatores de produção**. Trata-se de quantificar os fatores diretos e indiretos de produção agrupados em: homens, materiais e equipamentos.

Após a quantificação dos fatores de produção, segue a etapa denominada de **construção dos templates dos centros de produção**. Esta etapa trata de obter representações das demandas espaciais bi ou tridimensionais quando requerida. É uma etapa fundamental no processo de projeto do layout. Além dos centros produtivos, devemos considerar nesta fase todas as demais demandas espaciais decorrentes das instalações, dos serviços, das utilidades e da gestão que irão concorrer para que as atividades produtivas ocorram. Ao final desta etapa teremos reunido as informações necessárias para entrarmos no processo de construção do *layout* propriamente dito.

Na etapa de **construção do layout**, as fases de **definição da estratégia de produção**, e de **simulação** ocorrem concomitantemente e são mostradas na Figura 23 de modo paralelo com o intuito de enfatizar o processo de geração de alternativas, avaliação e escolha. Nesta fase devem-se considerar detalhadamente as diferentes possibilidades de arranjo para os fatores de produção articulados em torno de uma dada estratégia. As diversas soluções geradas devem ser comparadas tanto em critérios objetivos como subjetivos. Este é um processo iterativo. As melhores soluções irão surgir após considerarmos uma ampla gama de possibilidades. O processo de validação se dá a partir da consideração de uma estratégia de produção, da do layout decorrente (integração dos vários centros de produção) e da simulação desta implementação. Os resultados obtidos devem responder as questões mais gerais impostas pelo ambiente, contra as quais a solução é avaliada.

A etapa de **detalhamento do layout** envolve a especificação de todos os elementos que irão contribuir para o funcionamento da unidade industrial. Constitui-se na elaboração de um documento detalhado que irá orientar os diferentes profissionais que irão participar da implementação da unidade.

Ainda os autores afirmam que a metodologia apresentada tem sido testada em diversos projetos de layout e re-layout. Os resultados obtidos nos trabalhos de planejamento e implementação de sistemas de produção, integrando ferramentas computacionais de simulação animada e de CAD mostram uma grande consistência na análise dos layouts produzidos. A comunicação entre usuário e projetista tem sido facilitada, devido aos recursos gráficos animados utilizados, criando um maior interesse no usuário em aumentar a sua participação no projeto. Este fato tem aproximado usuário e projetista facilitando a comunicação entre eles e aumentando a cumplicidade do usuário em relação ao projeto.

Olivério (1985) enfatiza a criação dos *templates* dos centros de produção que são construídos a partir do conceito de centro de produção que é entendido como “qualquer unidade de funcionamento da fábrica que colabora diretamente para a transformação de qualquer matéria prima em produto acabado”.

É importante considerar detalhadamente o processo de construção destes templates. Os templates dos centros de produção são representações bi e tridimensionais onde consideram as demandas espaciais definidas pelo equipamento, operação, manutenção, processamento, transporte, serviços, acessos, segurança e ergonomia. Uma questão básica a ser atendida trata da forma de representação propriamente dita, para a qual em muito contribuem as ferramentas computacionais. Softwares gráficos como o AutoCAD MicroStation, Catia e 3D Studio Max, dentre outros, podem ser amplamente utilizados. (MENEGON; COSTA; CAMAROTTO, 1997).

A Figura 24 representa a simbologia utilizada na confecção do centro de produção, a Figura 25 representa a padronização de cores utilizadas e a Figura 26 ilustra um exemplo de um template em 2D de um centro de produção completo elaborado no software AutoCAD.

	Entrada de água
	Entrada de ar comprimido
	Entrada de gás liquefeito de petróleo
	Entrada de gás nitrogênio
	Entrada de energia
	Entrada de óleo lubrificante
	Alimentação de matéria prima
	Descarga de produto acabado
	Área destinado ao operador

Figura 24 – Simbologia Utilizadas na Confecção do Centro de Produção
Fonte: SIMUCAD, 2006.

	Homens/Operadores (Verde 94)		Acessos (Amarelo)
	Manutenção (Verde Padrão)		Serviços (Azul)
	Equipamentos e Dispositivos (Preto)		Segurança (Magenta)
	Processos, Materiais e Transporte (Vermelho)		

Figura 25 – Áreas consideradas no centro de produção.
Fonte: TORRES e MENEGON, 1997.

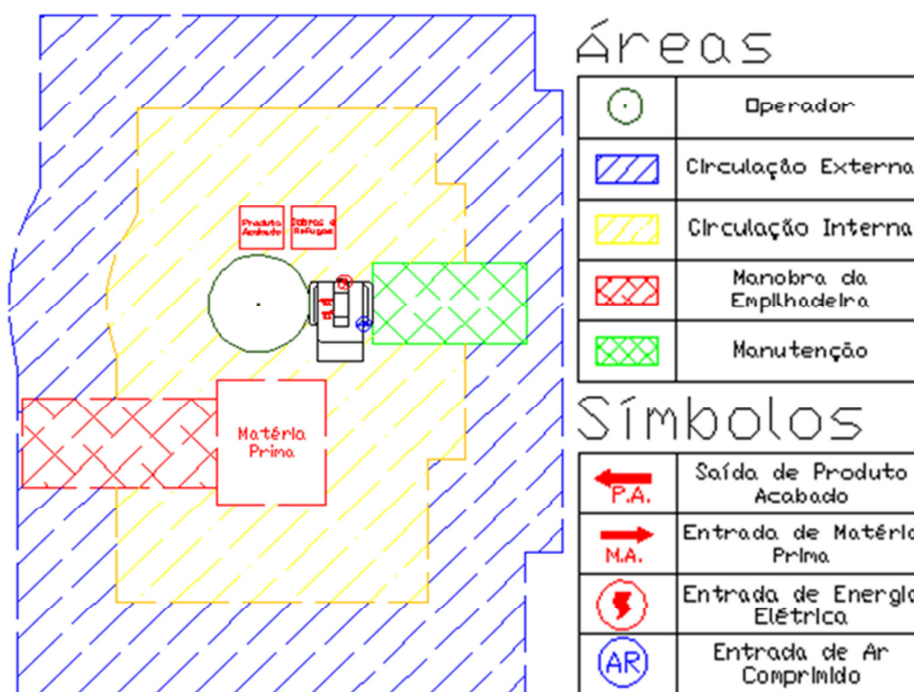


Figura 26 – Representação (*template*) de um Centro de Produção.
Fonte: Proposto por DERTONIO, 2010 com base em TORRES e MENEGON, 1997.

Observando a representação final, pode-se perceber que a área total é muito maior do que a área inicial (considerando apenas a área do equipamento). Quando se desenvolve o *template* do centro de produção, todos os equipamentos da unidade produtiva ficam com uma área total relativamente grande. Para se evitar que existam muitas áreas vazias desnecessariamente na fábrica, algumas áreas podem ser sobrepostas. Segundo Torres e Menegon (1997), poderão ser sobrepostas as áreas de mesma cor, ou seja, áreas de corredores, de manutenção e de segurança, individualmente. Ainda, áreas de manutenção e de segurança pertencentes a centros de produção diferentes e áreas de segurança e podem ser sobrepostos.

Na área de softwares gráficos, desenvolveram-se programas customizados com aplicações cada vez mais específicas para o desenvolvimento do plant layout. Atualmente existe uma grande quantidade de softwares gráficos que podem ser aplicados no projeto de layout.

Os *softwares* aqui apresentados atuam como ferramentas computacionais gráficas aplicadas ao projeto do layout e foram escolhidos devido a estes serem oferecidos pelos maiores fabricantes mundiais de *softwares* gráficos, e também devido à familiaridade do autor com os mesmos. Além disso, estes softwares compreendem a maioria das diferentes categorias de softwares gráficos aplicados ao projeto de layout, sendo que, a extensão da lista apenas indicaria variações de uma mesma categoria de software. Essas categorias foram intituladas conforme a própria classificação do fabricante no seu website institucional.

O Quadro 3 apresenta os softwares gráficos que serão apresentados, separados por categorias diferentes.

Quadro 3 – Softwares gráficos aplicados ao projeto de layout.

Categoria do Software	Nome do Software
CAD (<i>Computer Aided Design</i>)	- Autodesk AutoCAD 2012 - Autodesk Factory Design Suite 2012
Modeladores e Animadores Gráficos	- Autodesk 3ds Max 2012
PLM (Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto)	- Siemens Tecnomatix 9 (FactoryCAD, FactoryFLOW) - Dassaut Systemes DELMIA V5
<i>Game Engine</i>	- CryENGINE da Crytek
Criação e Edição de Vídeo	- Nero Video 11
Ferramentas para Diagramação	- Microsoft Office Visio 2010
Ferramentas para Apresentação	- Microsoft Office Power Point 2010

Fonte: Proposto pelo autor.

3.5.1 Autodesk AutoCAD 2012

O Autodesk AutoCAD é um software do tipo CAD (Computer Aided Design ou Projeto Auxiliado por Computador) criado e comercializado pela Autodesk, Inc. desde 1982. É utilizado principalmente para a elaboração de peças de desenho técnico em duas dimensões (2D) e para criação de modelos tridimensionais (3D). Além dos desenhos técnicos, o software vem disponibilizando, em suas versões mais recentes, vários recursos para visualização em diversos formatos. É amplamente utilizado em arquitetura, design de interiores, engenharia mecânica, engenharia geográfica, engenharia elétrica e em vários outros ramos da indústria (AUTODESK, 2011). Pode ser amplamente utilizado no projeto das instalações industriais e o arranjo físico dos equipamentos.

3.5.2 Autodesk 3ds Max 2012

O Autodesk 3ds Max, anteriormente conhecido como 3D Studio Max, é um programa de modelagem tridimensional que permite a renderização de imagens e animações. Sendo usado em produção de filmes de animação, criação de personagens de jogos em 3D, vinhetas e comerciais para TV, maquetes eletrônicas e na criação de qualquer mundo virtual (AUTODESK, 2011). Assim pode ser aplicado na renderização e animação de um layout industrial.

A Figura 27 apresenta uma representação de um layout modelado no *software* AutoCAD e renderizado e animado no *software* 3ds Max:

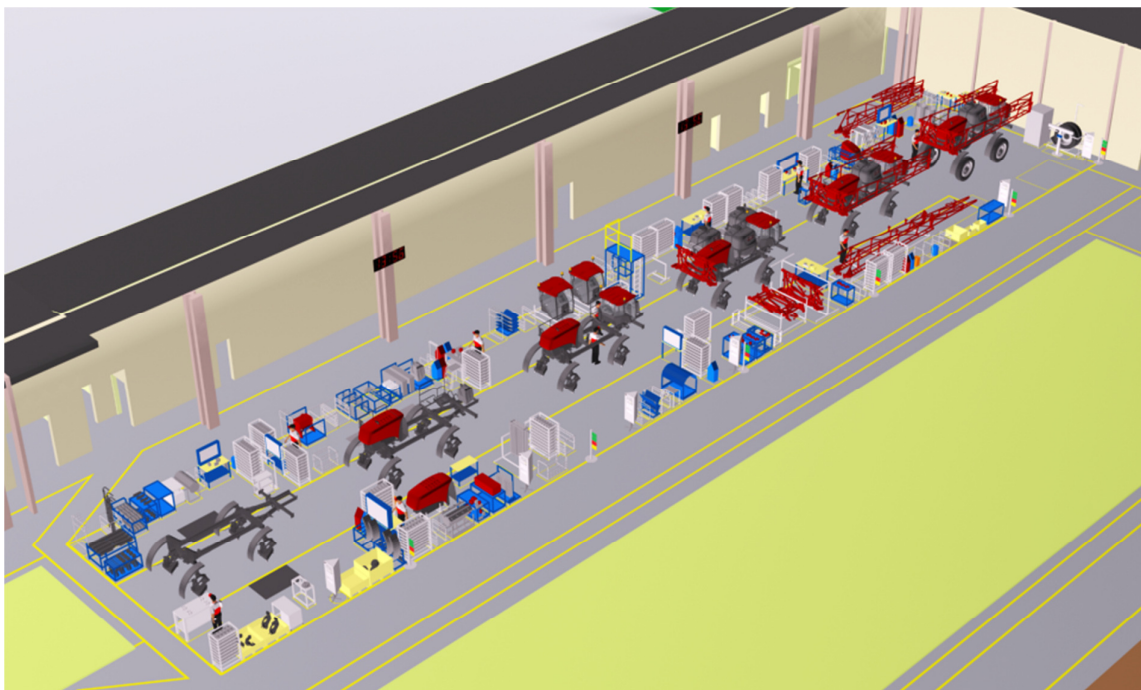


Figura 27 - Plant *Layout* modelado no AutoCAD e renderizado no 3D Studio Max.
Fonte: HOMINISS CONSULTING, 2011b.

3.5.3 Autodesk Factory Design Suite 2012

O Autodesk Factory Design Suite é um conjunto de *softwares* para otimização e projeto 2D e 3D do layout de fábrica. Auxilia eficientemente na criação dos layouts de fábrica através do desenvolvimento de um modelo digital da fábrica completo. É um pacote com vários *softwares* da Autodesk integrados. A versão *Ultimate* é composta pelos seguintes *softwares*: AutoCAD® Architecture; AutoCAD® Mechanical; Autodesk® Showcase®; Autodesk® Vault; Autodesk® Factory Design Utilities; Autodesk® 3ds Max® Design; Autodesk® Navisworks® Manage e Autodesk® Inventor® Professional (AUTODESK, 2011).

Esta suíte inclui um conjunto de ferramentas que trabalham juntas no desenvolvimento de projetos 2D e 3D da fábrica, auxiliando em diversos aspectos a construção do layout como na criação do layout conceitual da fábrica, no projeto e detalhamento do layout 2D e 3D, na criação dos equipamentos da fábrica e na análise e visualização 3D. A Figura 28 apresenta os principais softwares desta suíte com uma descrição resumida de suas principais funcionalidades.

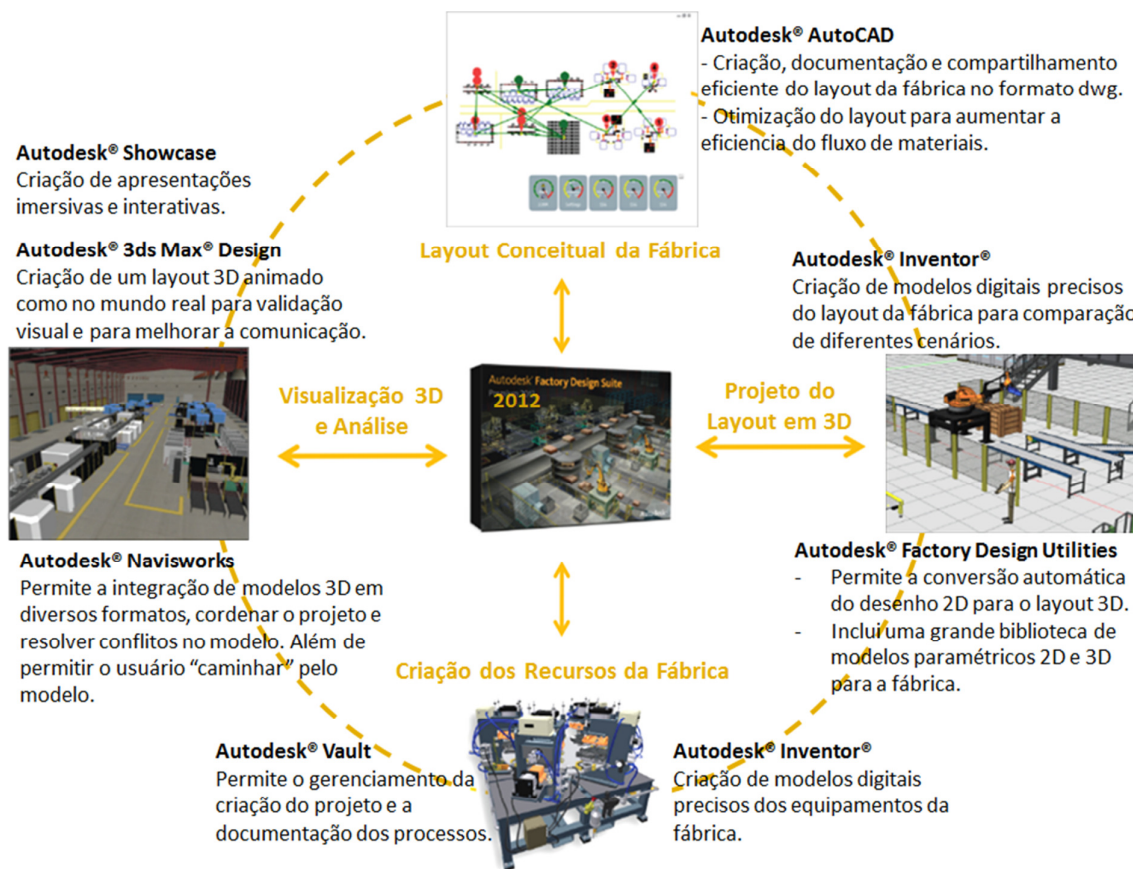


Figura 28 – Funcionalidades dos principais *softwares* do Factory Design Suite.

Fonte: adaptado e traduzido pelo autor com base em AUTODESK, 2011.

Na etapa de desenvolvimento do layout conceitual da fábrica, o Factory Design Suite permite a otimização do layout da fábrica. Propicia a análise do layout para descobrir um fluxo eficiente de material, melhor utilização de máquinas e utilização mais eficiente de energia logo nos primeiros estágios do seu projeto de layout. Permite a identificar os custos que não adicionam valor e considerar rapidamente diferentes cenários. Com essas ferramentas de análise, o *software* possibilita um aumento da flexibilidade da produção e da eficiência do layout como um todo, criando layouts de fábricas que ajudam a reduzir qualquer tipo de desperdício (AUTODESK, 2011). A Figura 29 representa a análise do fluxo no layout utilizando o AutoCAD do Factory Design Suite.

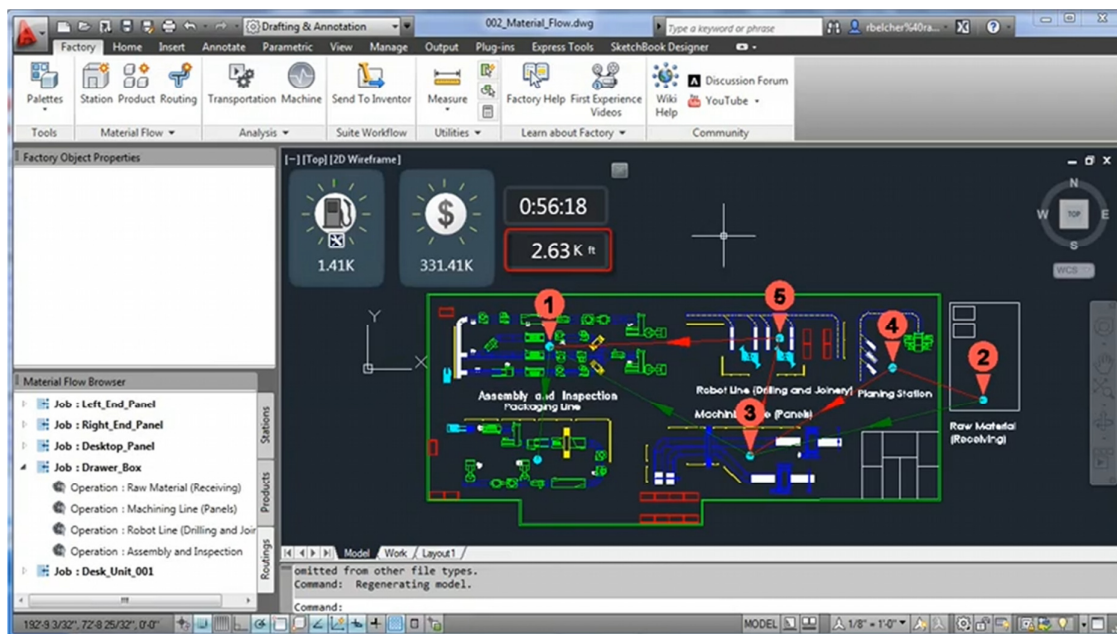


Figura 29 – Análise do fluxo no layout no AutoCAD do Factory Design Suite.

Fonte: AUTODESK, 2011.

Na etapa de projeto 2D e 3D do layout fabril, os softwares dessa suíte em conjunto possibilitam a conversão automática de desenhos 2D para modelos em 3D, permitindo que os projetistas integrem diversos modelos em 3D de máquinas e componentes da fábrica, tornando mais fácil visualizar diferentes cenários digitalmente e encontrar as melhores soluções no layout. Auxiliam a criar layouts muito mais rapidamente do que as ferramentas tradicionais do AutoCAD (AUTODESK, 2011).

Com o Factory Design Utilities esta suíte inclui comandos especialmente desenvolvidos para um ambiente focado em criar projetos de fábrica rapidamente. Ao invés de criar os modelos manualmente, o software possui uma extensa biblioteca de conteúdos (modelos) para projeto de fábricas como transportadores, equipamentos de manipulação de material, robôs, equipamentos elétricos e etc. Esses protótipos digitais possuem conectores, que permitem posicionamento simplificado no ambiente do layout. Dispõem também de objetos 3D de fácil manipulação como paredes, portas, janelas e colunas. Por serem objetos parametrizados, o redimensionamento e a edição de todos os modelos ficam facilitadas (AUTODESK, 2011). A Figura 30 mostra alguns modelos 3D paramétricos do Factory Design Utilities no Inventor.

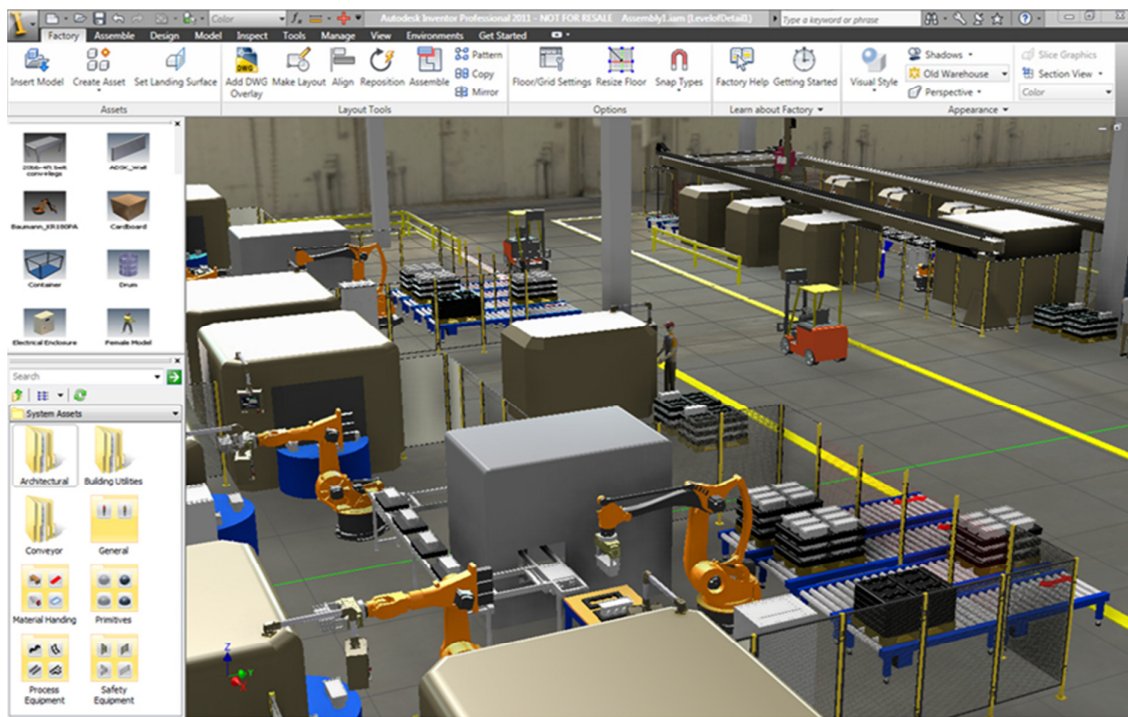


Figura 30 – Modelos paramétricos do Factory Design Utilities no Inventor.

Fonte: adaptado pelo autor com base em SOLIDSMACK, 2011.

Para a visualização 3D e análise, este pacote disponibiliza softwares capazes de criar animações interativas e renderizações foto-realísticas de layouts em 3D. Essas boas ferramentas de visualização tornam-se muito eficientes para comunicar ideias do layout de forma convincente às partes interessadas. A Figura 31 e a Figura 32 apresentam imagens dessas ferramentas de visualização tridimensionais.

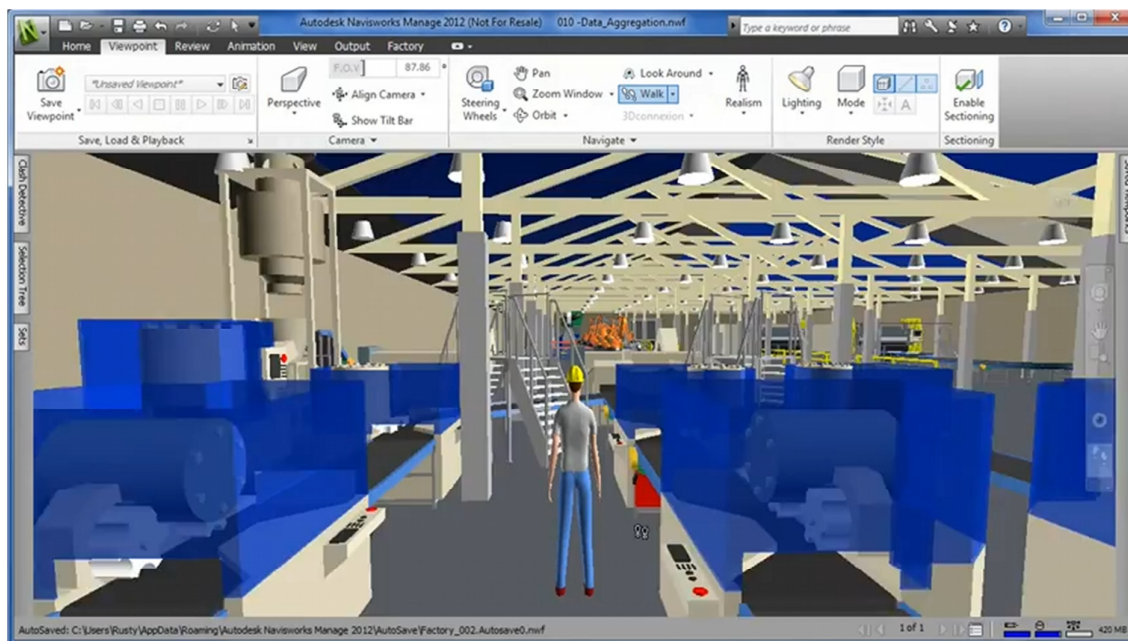


Figura 31 – Interação com o modelo de layout 3D no Navisworks.

Fonte: AUTODESK, 2011.

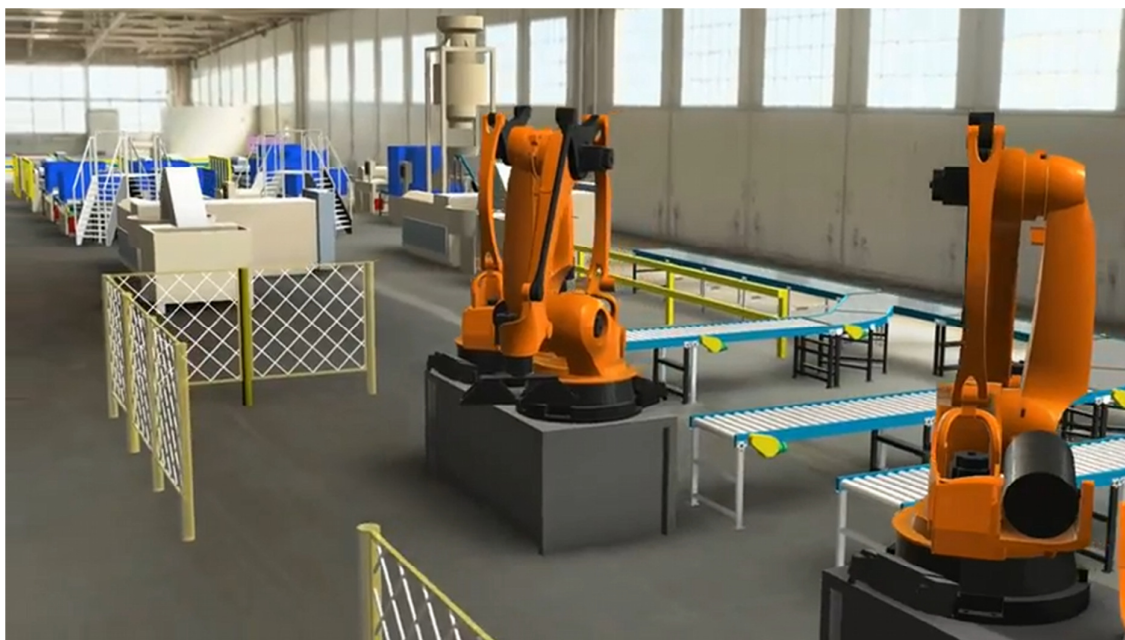


Figura 32 – Apresentação do modelo de layout 3D no Showcase.

Fonte: AUTODESK, 2011.

De acordo com a Autodesk (2011) o Factory Design Suite permite que se gaste menos tempo desenhado e mais tempo projetando, otimizando e comunicando visualmente os layouts de fábrica. As principais contribuições apontadas com o uso *software* são: os processos de projeto de layout das fábricas se tornam mais rápidos; possui alta compatibilidade com os softwares já existentes e amplamente utilizados como o AutoCAD, tendo suporte 100% ao

formato de arquivo DWG; torna fácil a geração e comparação de diferentes cenários de layout; permite a otimização dos recursos da fábrica aumentando sua eficiência; reduz custos de projeto e implementação; possibilita a identificação de problemas potenciais antes da construção; proporciona uma boa comunicação e interação com o projeto de layout.

3.5.4 Siemens Tecnomatix 9 (FactoryCAD, FactoryFLOW)

O Siemens Tecnomatix é constituído por um portfólio abrangente de softwares aplicados na manufatura digital. Une as diversas disciplinas de fabricação à engenharia do produto, desde a validação de peças e montagem, robótica e planejamento da automação, projeto do layout do processo, simulação, projeto e otimização de fábricas, até o auxílio na fabricação em si. Está construído sobre uma plataforma PLM (*Product Lifecycle Management* ou Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto) (SIEMENS, 2011).

A abordagem PLM garante que se tenha uma visão de todas as fases da existência do produto, integrando pesquisa e desenvolvimento, engenharia e manufatura com as outras áreas da empresa e permitindo que toda documentação relacionada ao produto, processo e negócio estejam interligadas, e acessíveis (TECMES, 2011).

Dentre as diversas áreas englobadas pelo Siemens Tecnomatix, o enfoque será o módulo *Plant Design and Optimization* (Projeto e Otimização de Fábricas). A Figura 33 apresenta uma representação 3D do layout de um processo de fabricação no Tecnomatix.



Figura 33 – Representação 3D de um layout no Siemens Tecnomatix.
Fonte: BDEXPERT, 2011.

O Tecnomatix *Plant Design and Optimization* inclui softwares como o FactoryCAD, o FactoryFLOW e o Plant Simulation, que auxiliam na criação do layout, planejamento das instalações em 3D e análise e otimização do fluxo de materiais, do manuseio e da logística.

Tompkins et al., 1996, cita os softwares FactoryCAD e FactoryFLOW. Para o autor, a maioria destes pacotes comerciais tem a intenção de ser uma ferramenta de desenho eletrônico para facilitar o projeto ou manutenção de layout ou ser uma ferramenta de validação de layout.

O Tecnomatix FactoryCAD é um software que customiza o AutoCAD e permite ao usuário desenvolver layout de novas fábricas ou modificar fábricas existentes. Inclui “objetos inteligentes” que são modelos 3D paramétricos que auxiliam de forma eficiente e rápida o projeto de layout. É uma ferramenta que permite ao usuário desenhar paredes, portas, janelas, colunas e linhas de utilidades. O usuário pode escolher desenhos de máquinas, sistemas de transporte de material ou pallets que estão contidas em uma biblioteca e inserir com relativa facilidade no layout. Podem-se fazer algumas animações e calcular centro de áreas de trabalho (SIEMENS, 2011). A Figura 34 apresenta uma tela do AutoCAD customizado com o FactoryCAD.

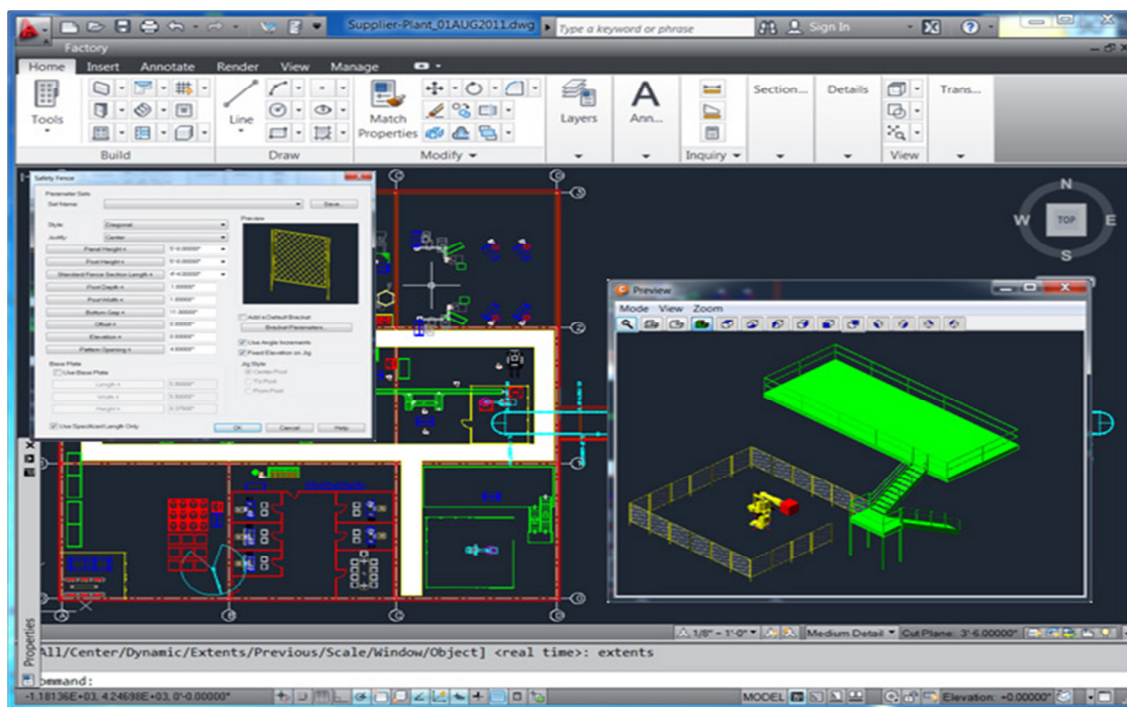


Figura 34 – AutoCAD customizado com o *software* FactoryCAD .

Fonte: SIEMENS, 2011.

O Tecnomatix FactoryFLOW também é um software que customiza o AutoCAD. É uma ferramenta de análise de layout. Integra desenhos de plantas reais e fluxos de materiais

com dados da produção e de manuseio de materiais. Os resultados são diagramas que mostram o caminho e a direção do fluxo assim como a frequência ou custo das viagens feitas através das rotas. Este *software* requer a existência de um layout gerado pelo software AutoCAD. É necessário cadastrar os produtos, quantidades, rotas e equipamentos de transporte de material. Depois da inserção dos dados são definidos os caminhos de fluxo. Em seguida, o software calcula a distância, intensidade, custo e cria o diagrama de fluxo. Opcionalmente setas podem ser adicionadas às linhas para indicar a direção do fluxo. O diagrama de fluxos compostos do FactoryFLOW calcula a soma dos fluxos entre centros de produção para os produtos selecionados. A capacidade deste diagrama mostra o custo total de manuseio de materiais ou a intensidade de fluxo entre centros de produção e é uma ajuda visual essencial para projetar ou re-projetar instalações. Ele indica a distância e a intensidade total de fluxo “de” e “para” os centros de produção. Os dados são codificados por cores de acordo com faixas especificadas pelo usuário para que os fluxos significantes sejam detectados. Conforme o resultado obtido o usuário pode fazer mudanças e fazer uma nova análise para buscar melhores resultados (BRITO, 2010). A Figura 35 apresenta uma tela do AutoCAD customizado com o FactoryFLOW.

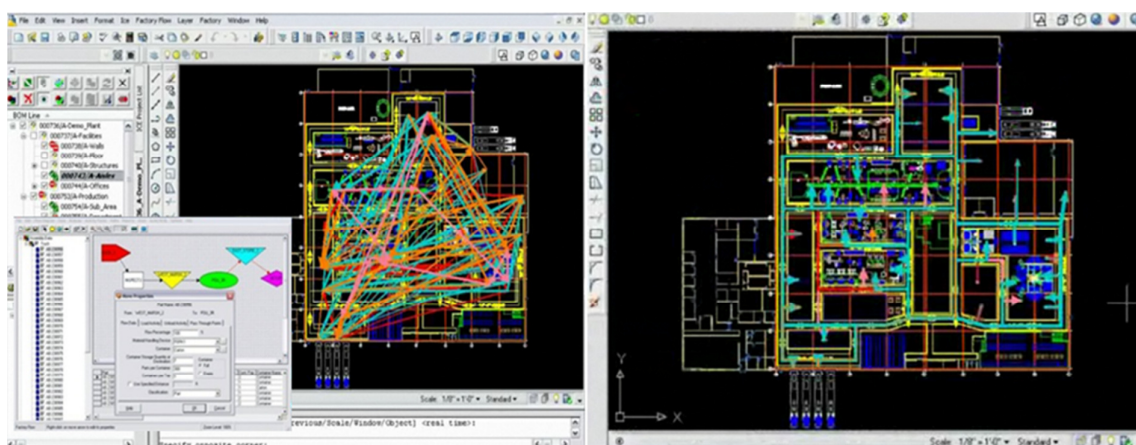


Figura 35 – AutoCAD customizado com o *software* FactoryFLOW .

Fonte: adaptado pelo autor de com base em SIEMENS, 2011.

O Tecnomatix Plant Simulation é uma ferramenta de simulação de eventos discretos que permite a criação de modelos digitais de sistemas de produção e logísticos. Pode-se modelar e simular os sistemas de produção e seus processos a fim de otimizar o fluxo de materiais, a utilização de recursos e a logística para todos os níveis de planejamento de fábrica, desde o macro layout até o micro layout. Com esses modelos digitais, pode-se projetar e testar diversos cenários hipotéticos sem afetar os sistemas de produção existentes, ou, bem antes que os sistemas de produção reais sejam instalados. Inclui ferramentas de

análises estatísticas e gráficas que permitem avaliação de diferentes cenários de fabricação. Os resultados fornecem as informações necessárias para tomar decisões rápidas e confiáveis nos primeiros estágios do planejamento da produção. (SIEMENS, 2011). A Figura 36 apresenta uma tela do software Tecnomatix Plant Simulation.

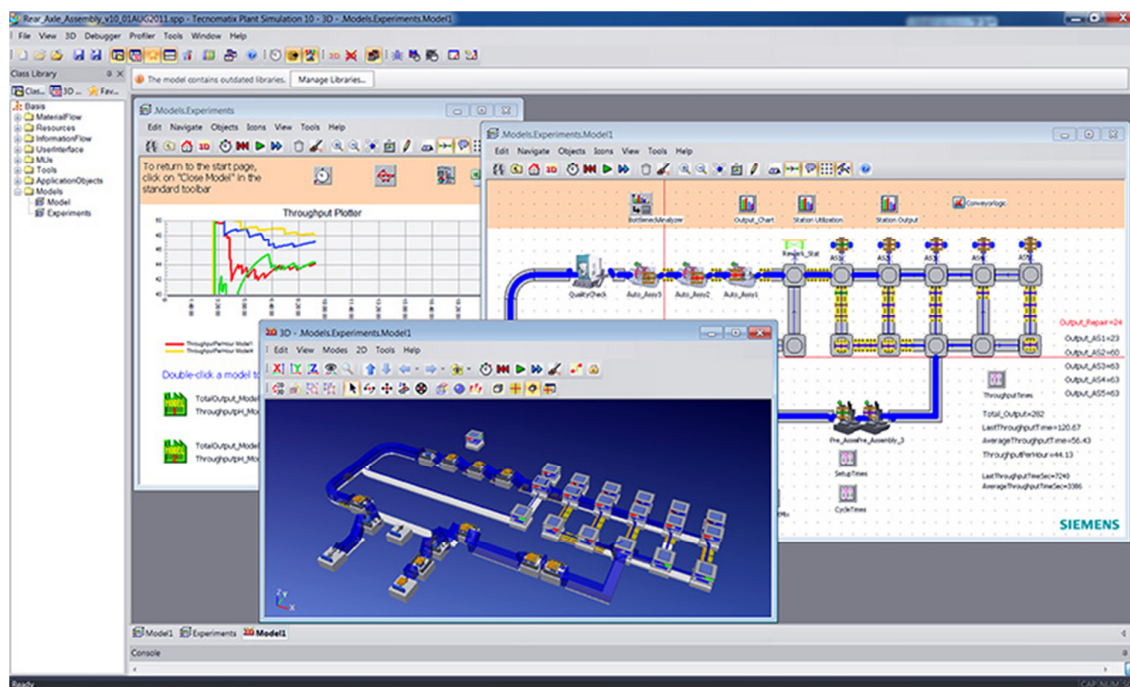


Figura 36 – Tela do *software* Tecnomatix Plant Simulation.

Fonte: SIEMENS, 2011.

Os principais benefícios apontados pela Siemens (2011) com uso dos *softwares* integrados foram: a redução no tempo de projeto da fábrica; a otimização da utilização dos equipamentos existentes; a redução nos custos de manuseio de material; otimização do fluxo de materiais; redução do trabalho sem valor agregado; otimização da utilização do espaço da fábrica; redução nos níveis de inventário; diminuição do *lead time* de produção; aumento da eficiência dos sistemas de produção; transmissão eficiente das informações do projeto e comunicação aprimorada entre os diversos atores envolvidos.

3.5.5 Dassaut Systemes DELMIA V5

O Dassaut Systemes DELMIA, também está inserido numa plataforma PLM (Product Lifecycle Management ou Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto). O PLM é uma abordagem que enfatiza a criação de uma base de conhecimento, que suporte e promova a criação colaborativa, gerenciamento, disseminação e uso das informações do produto desde

sua concepção até o final de seu ciclo de vida, integrando pessoas, processos, sistemas de negócios e informações (TECMES, 2011).

O *software* DELMIA engloba um conjunto de softwares aplicados na manufatura digital que permitem que os fabricantes interajam com os processos da fábrica no início da fase de concepção e muito antes da produção real do produto. Projetistas, gestores e todas as partes interessadas podem visualizar tridimensionalmente o projeto, podendo avaliar diversos cenários, fazer mudanças, otimizar as operações do chão de fábrica e identificar e eliminar erros. O software permite que se defina, planeje, crie, monitore e controle todos os processos de produção, desde o processo de planejamento inicial e simulação até a completa definição das instalações e dos equipamentos de produção. Promove uma maior eficiência na produção, redução de custos e uma melhora a qualidade (DASSAUT SYSTEMES, 2011).

É constituído por diversos módulos com funções específicas no PLM. De acordo com a TECMES (2011), seus principais módulos são: DELMIA Quest, DELMIA Robotics, DELMIA Automation, DELMIA DPM Assembly, DELMIA Human, DELMIA A.W.I. e DELMIA Process Eng. Devido a estar mais relacionado com o projeto da fábrica como um todo, o DELMIA Quest será enfatizado.

O DELMIA Quest é o módulo que permite a simulação de eventos discretos. Auxilia a criação de um ambiente fabril digital, modelado completamente em 3D, para a simulação e análise de fluxo de processos com precisão e confiabilidade. Possui um ambiente de simulação flexível e orientado ao objeto que combina uma visualização tridimensional rica com a simulação e análise dos fluxos dos processos. O software propicia: a observação, interação e análise de diferentes possibilidades; a possibilidade de importação de desenhos CAD; a integração com os outros módulos do DELMIA; a identificação dos gargalos produtivos; a otimização dos recursos. Desse modo auxiliam os tomadores de decisão a avaliar as soluções criadas. (TECMES, 2011). A Figura 37 apresenta imagens do *software* DELMIA Quest.



Figura 37 – Dassault Systemes DELMIA Quest.

Fonte: adaptado pelo autor com base em TECMES, 2011.

Segundo a TECMES (2011), os outros módulos do DELMIA que auxiliam no PLM têm as seguintes funções:

O DELMIA Robotics é uma ferramenta para programação e simulação “off-line” de robôs. Permite ao usuário, projetar, simular, otimizar e programar células robotizadas em um ambiente 3D de simulação fabril.

O DELMIA Automation permite a programação colaborativa para definir, controlar e monitorar sistemas automatizados digitalmente. Com este *software* é possível fazer a programação de vários Controladores Lógicos Programáveis (CLP), e validação desta lógica em uma máquina virtual, uma célula virtual ou uma linha de produção virtual completa e assim analisar o desempenho deste sistema.

O DELMIA DPM Assembly é destinado para otimizar tanto a engenharia de processo quanto o processo de fabricação e montagem, permitindo ao usuário simular e validar o planejamento do processo de fabricação.

O DELMIA Human é uma ferramenta 3D usada para criar, validar e simular manequins humanos definidos digitalmente pelo usuário, criando "trabalhadores" no ambiente tridimensional para interação dos recursos humanos com o processo produtivo e para análise ergonômica antes da fabricação.

O DELMIA A.W.I. é permite a geração automática de instruções de montagens a partir de dados do desenho 3D. Auxilia na criação e na documentação das instruções de trabalho para o chão de fábrica.

O DELMIA Process Engineer possibilita, através de um planejamento estruturado, o reconhecimento prévio de riscos no processo, a utilização de processos confiáveis, a rastreabilidade de mudanças e decisões e acesso a informações de processos dispersos. É uma ferramenta de planejamento e análise completa dos processos.

Segundo a TECMES (2011) os benefícios do uso do DELMIA são: maximização da eficiência da produção e da utilização da fábrica; otimização do investimento; bom suporte a utilização das melhores práticas; melhor utilização dos recursos de produção; redução do *lead time* de fabricação; aumento da inovação nos processos; melhor observação, interação e análise de diferentes cenários; possibilidade de identificação gargalos produtivos.

3.5.6 CryENGINE da Crytek

O CryENGINE é um *Game Engine* (GE) lançado pela Crytek. Um *Game Engine* é um sistema desenvolvido para criação e desenvolvimento de jogos. Suas funcionalidades típicas são: renderização gráfica 2D e 3D, detecção de colisão, animações sonoras, criação de roteiro, criação de animação, inserção de inteligência artificial, conexão na rede, *streaming*, gerenciamento de memória e execução de cenas gráficas. (MYCRYENGINE, 2011).

De acordo com Braatz et al (2011) o *Game Engine* CryENGINE da Crytek foi usado na modelagem de uma indústria de fabricação e montagem de bens de consumo. Os resultados revelaram que esse desenvolvimento deve ser usado dentro de uma abordagem que promova a incorporação do conhecimento dos profissionais envolvidos em um processo colaborativo e inovador no projeto da fábrica. Pode-se observar que o setor do entretenimento oferece novas tecnologias para aplicação no campo da engenharia industrial.

Braatz et al (2011) apresentou um trabalho afim de explorar as questões conceituais e metodológicas que apoiem o uso dessas tecnologias. A seguir será apresentado uma descrição do que foi desenvolvido.

Os modelos digitais das estações de trabalho foram feitos bidimensionalmente em um ambiente CAD e o modelo de simulação fábrica foi desenvolvido e validado em outros *softwares*, gerando os resultados iniciais ao projeto da fábrica.

Em seguida o uso do Game Engine começou a ser aplicado como pode ser visto na Figura 38.



Figura 38 – Vista interna de uma instalação industrial usando *Game Engine*.
Fonte: BRAATZ ET AL, 2011.

Inicialmente os modelos de CAD 3D foram importados para o GE junto com os *templates* dos centros de produção em 2D. A colocação das estações de trabalho 3D foram feitas manualmente no *Game Engine*.

No final da etapa, as instalações projetadas poderiam ser visualizadas completamente no GE e depois foram aplicados alguns ajustes estéticos como texturas, configurações do horário do dia, inserção de veículos, entre outros que já existiam em uma biblioteca de objetos no GE que contribuiu para aumentar o realismo e a aparência do cenário. Uma vista aérea das instalações completas da fábrica é mostrada na Figura 39.



Figura 39 – Vista aérea de um projeto de layout industrial finalizado usando *Game Engine*.
Fonte: BRAATZ ET AL, 2011.

As principais percepções dos autores foram que o projeto pode ser discutido em diversos casos, nos quais permitem a antecipação e adição de detalhes importantes vindo de diferentes perspectivas, desde a alta gerência até experiência do operador do chão de fábrica. Isto é possível, pois o GE permite que diferentes atores entendam o projeto, não apenas pela visualização realista, mas também por permitir a interação com o cenário através de um joystick para andar pelo cenário e ver a partir de qualquer posição desejada.

Os principais resultados apontados foram: a antecipação de problemas, como a identificação de conflitos no cenário com um alto nível de precisão; a possibilidade de os próprios atores visualizarem seus departamentos de trabalho, verificando os detalhes do projeto com grande liberdade de interação; a possibilidade de, durante as interações, fazer alterações no layout, arrastando e reposicionando as máquinas e equipamentos de acordo com a sugestão dos atores.

Por fim, Braatz *et al* concluí que a aplicação da tecnologia de GE não substitui as ferramentas e métodos tradicionais do projeto de unidades produtivas, mas sim traz colaborações significativas para a fase de análise e detalhamento das propostas de layout. O uso do GE como apoio ao processo de projeto se destaca pelo alto grau de realismo nas representações tridimensionais e pela rica possibilidade de interação com o ambiente quando comparado a outros softwares. A renderização de imagens em tempo real permite que se faça alterações em tempo real para que o projeto possa ser revisto e melhorado em cada interação.

Desta forma, esta ferramenta pode atuar como um indutor da interação entre os atores heterogêneos no processo de projeto das instalações industriais.

3.5.7 Nero Vídeo 11

O Nero Vídeo 11 é *software* que atua como ferramenta de criação e edição de vídeo de forma fácil ou avançada, possui diversos modelos de efeitos, e edição em múltiplas linhas do tempo, sobreposição de vídeo personalizada e oferece controle por *keyframes* (NERO, 2011).

Segundo o fabricante Nero (2011), esta ferramenta de edição de vídeo possibilita facilmente cortar, ordenar e adicionar efeitos e legendas nos vídeos. Na edição avançada é possível a utilização de múltiplas linhas do tempo e o controle dos efeitos por *keyframes*. É possível adicionar sobreposições a linha do tempo com a função arrastar-e-soltar para ordenar os efeitos. Além dos efeitos de vídeo, o software permite também a edição e controle dos efeitos de áudio. A Figura 40 apresenta na tela do software a linha do tempo múltipla com os efeitos sobrepostos, a biblioteca de efeitos e o vídeo sendo editado.



Figura 40 – Tela do *software* de criação e edição de vídeo Nero Vídeo 11.

Fonte: NERO, 2011.

Verifica-se que esta ferramenta pode atuar de forma integrada com os outros *softwares* gráficos aplicados no projeto de layout, possibilitando a edição de todos os vídeos e imagens geradas pelos outros *softwares* gráficos apresentados. Permite a criação de um vídeo para apresentação do projeto da fábrica, auxiliando principalmente a comunicação, a discussão e o convencimento da ideia da proposta de layout.

3.5.8 Microsoft Office Visio 2010

O Microsoft Office Visio 2010 é uma *software* de diagramação que auxilia a simplificação, a organização e apresentação dos dados. Pode-se criar um organograma, um diagrama de rede, um processo empresarial, um Mapa de Fluxo de Valor (MFV), dentre outros. Tem a função principal de facilitar a criação dos diagramas (MICROSOFT, 2011a).

Segundo a Microsoft (2011) o Visio contém formas pré-definidas, modelos inteligentes e desenhos exemplificados que facilitam a diagramação. O *software* auxilia na adição e no alinhamento das formas de maneira fácil e precisa, com recursos como as formas rápidas, a grade dinâmica, o redimensionamento automático de páginas, o alinhamento automático, e o ajuste do layout das formas. Na medida em que o diagrama se torna grande e complexo, o Visio possibilita agrupar as formas relacionadas visualmente e logicamente utilizando sub-processos e containers. Para que o diagrama fique mais atrativo, possui diversas ferramentas de formatação e opções de desenho, incluindo formas visuais modernas, uma galeria de temas e a visualização dinâmica. Permite a criação de diagramas que exibem dados em tempo real, usando diagramas dinâmicos conectados a uma ou mais fontes de dados, como o Excel ou o SQL Server.

Na elaboração de um Mapa de Fluxo de Valor o *software* Visio pode ser amplamente utilizado, pois faz com que o mapeamento dos processos existentes nas empresas se torne mais fácil. No Mapeamento do Fluxo de Valor é necessário conhecer todos os processos pelos quais o produto passa, desde a entrada da matéria prima até a expedição do produto acabado. O mapa deve conter também todos os dados referentes tanto ao fluxo de materiais quanto ao fluxo de informação no processo analisado. O MFV é um método utilizado na análise e diagnóstico na situação atual, e auxilia no projeto da situação futura (HOMINISS CONSULTING, 2011a).

O Mapa de Fluxo de Valor adaptado para ser utilizado nos projetos de layout considera quais os tipos de movimentadores de materiais entre os processos e considera as distâncias percorridas por esses materiais no fluxo. Desta forma considera variáveis importantes no projeto de layout, como a distância percorrida e a forma de movimentação dos materiais (HOMINISS CONSULTING, 2011a). A Figura 41 apresenta um exemplo genérico de um MFV customizado para projetos de layout feito no *software* Visio.

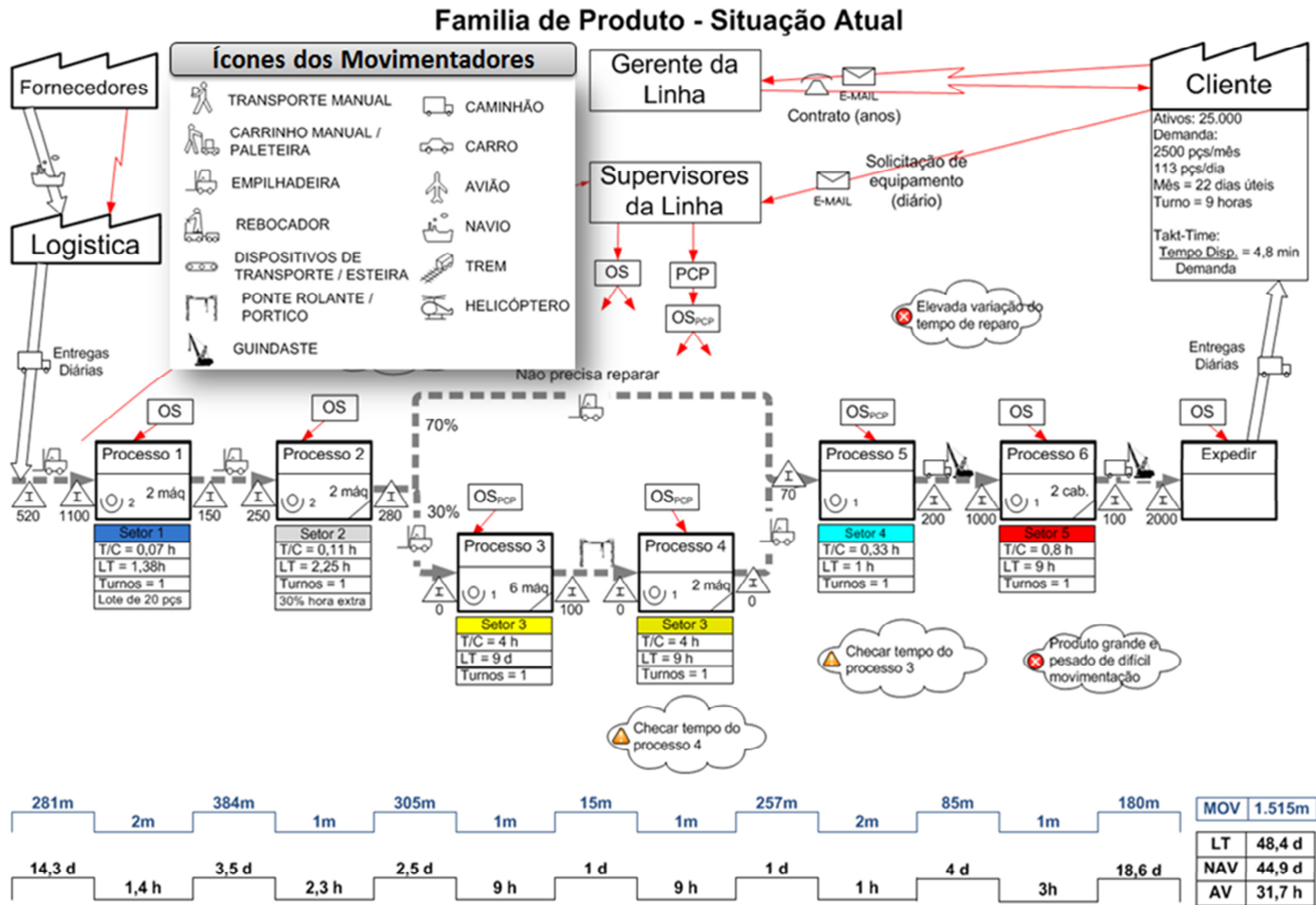


Figura 41 – MFV adaptado para projetos de layout.

Fonte: adaptado pelo autor com base em RENTES, 2011.

3.5.9 Microsoft Office PowerPoint 2010

O Microsoft Office PowerPoint 2010 é um software para criação e elaboração de apresentações e para compartilhá-las com os telespectadores. Permite também o trabalho simultâneo com outros usuários ou a postagem de apresentação online usando a web ou um *smartphone* (MICROSOFT, 2011b).

Além de funcionar como uma excelente ferramenta de apresentação dos projetos de layouts das instalações industriais, o PowerPoint, segundo a Hominiss Consulting (2011a) pode também atuar como uma boa ferramenta gráfica para assessorar a criação e a geração de alternativas conceituais de layout.

O software contém uma grande quantidade de formas e linhas totalmente ajustáveis e de fácil utilização, o que possibilita agilidade na criação, modificação e movimentação das formas para a geração das alternativas conceituais. Auxilia a discussão e alteração do conceito de layout em uma reunião envolvendo os vários atores que podem contribuir para o projeto.

A Figura 42 ilustra um exemplo de alternativas conceituais de layout geradas no PowerPoint e a “aba” de formas ajustáveis que o software possui para auxiliar o desenho do layout. As formas representam as instalações e os materiais e as setas representam o fluxo de acordo com cada conceito.

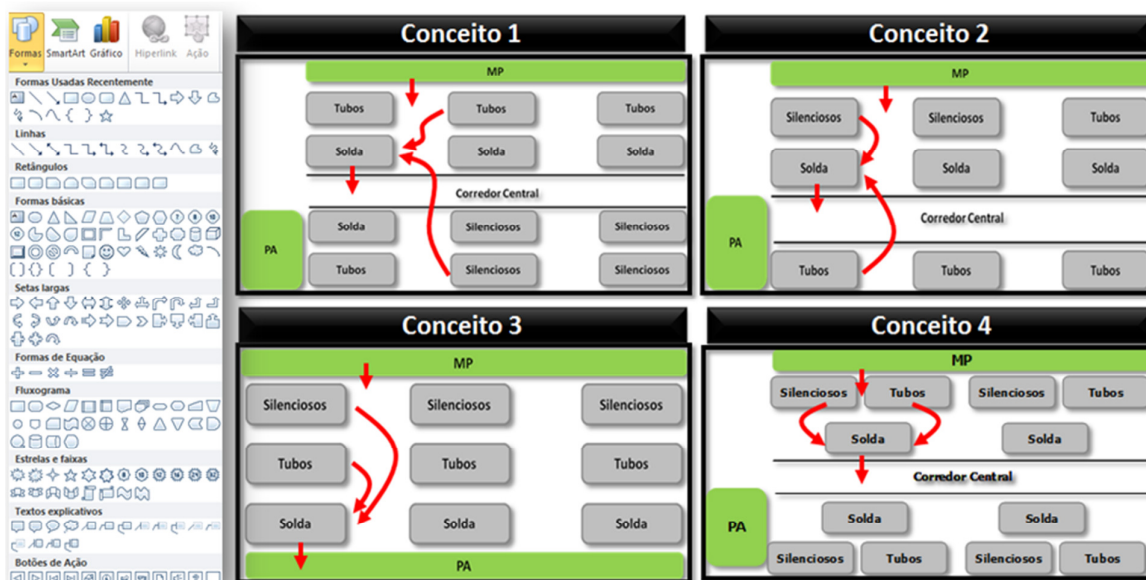


Figura 42 – Geração de alternativas conceituais de layout no PowerPoint.

Fonte: adaptado pelo autor com base em HOMINISS CONSULTING, 2011a.

4 PROJETO DE LAYOUT EM UMA EMPRESA DO RAMO DE ÓLEO E GÁS

Este tópico tem como objetivo apresentar o projeto de *Lean Plant Design*, desenvolvido para a uma empresa do ramo de óleo e gás, envolvendo sua base de operações localizada em Macaé – RJ, dando ênfase ao uso das ferramentas computacionais gráficas ao longo do projeto.

A empresa apresentada é uma das maiores do mundo em serviços petrolíferos, operando em mais de 100 países contando com mais de 60.000 colaboradores em todo o mundo. O portfolio de serviços e produtos abrange todo o ciclo de vida de um poço: avaliação, perfuração, completação, produção e intervenção, além de importantes ações relacionadas à pesquisa e desenvolvimento.

O projeto consistiu em transferir as instalações industriais da base de Macaé - RJ com suas respectivas projeções de crescimento na demanda, da área atual de 66.700m² para uma área futura de 266.905m². O projeto da base visou, concomitantemente, a condição ótima dos fluxos em termos de movimentação e transporte, a flexibilidade das instalações em termos de variedade de produtos processados e as possibilidades de expansão das linhas atuais e também para novas linhas.

A princípio pode-se observar que a base existente cresceu de forma orgânica, apresentando diversas oportunidades de melhoria relacionadas à aplicação de um *layout* racionalizado.

O projeto foi desenvolvido conforme a metodologia *Lean Plant Design*, apresentada neste trabalho, a fim de atender as necessidades de criação, implantação e controle de projetos fabris. A Figura 43 apresenta o escopo deste projeto formulado na metodologia citada contendo as principais etapas do projeto.



Figura 43 – Escopo do projeto formulado na metodologia *Lean Plant Design*.

O plano de trabalho deste projeto compreendeu atividades a serem desenvolvidas ao longo de 3 meses, com as fases presentes na metodologia sendo desenvolvidas em paralelo ao longo deste período, conforme pode ser visto na figura a seguir.

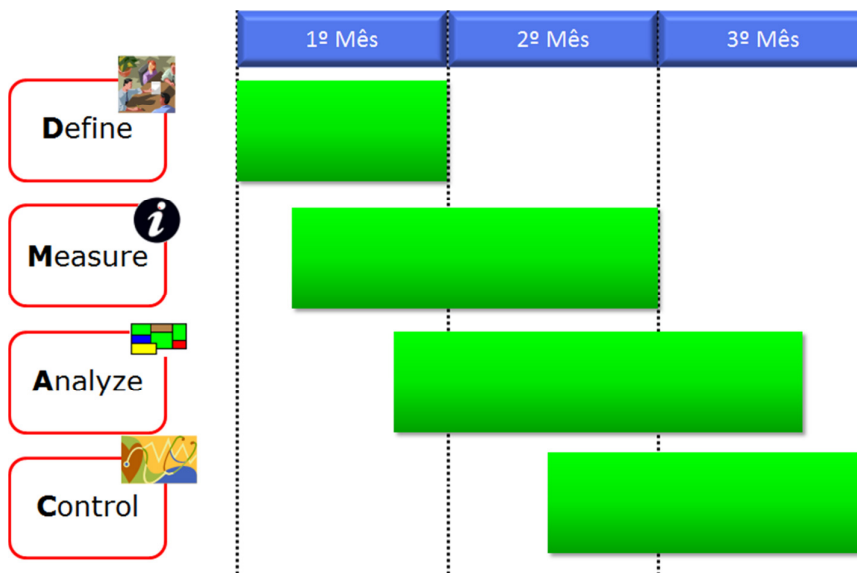


Figura 44 – Cronograma macro do projeto.

4.1 DEFINIR ESCOPO

A etapa Definir Escopo teve duração de quatro semanas, seguindo o cronograma previsto no início do projeto, durante as quais houve forte envolvimento de membros-chave (*Plant Manager* e supervisores) da base de Macaé - RJ. Este envolvimento foi fundamental para a garantia da qualidade das informações obtidas, rápida identificação e redução de barreiras ao processo de mudança e, principalmente, para garantir envolvimento interno durante a execução das atividades.

A fim de facilitar a visão do fluxo de valor, nesta etapa foi feita a definição das linhas de produtos existentes na base, totalizando 16 linhas. Foram obtidos também os dados da projeção da demanda, levantados com o *Plant Manager* da base de Macaé e com o *Country Manager* do Brasil. Dados estes que são muito importantes para que o projeto seja flexível e possa se adaptar às diferentes condições de mercado.

A capacitação de multiplicadores internos que são responsáveis pela multiplicação do conhecimento para outras pessoas é muito importante. Desse modo, juntamente a estas etapas foi feita a capacitação das pessoas. No escopo deste projeto, a capacitação dos agentes-chaves compreendeu dois módulos: Introdução dos Conceitos da Produção Enxuta; e Mapeamento do Fluxo de Valor.

4.2 MEDIR E MAPEAR A SITUAÇÃO ATUAL

A segunda fase envolve a medição e mapeamento da situação atual. Para mapear os processos foi necessário definir quais seriam as possíveis famílias e, então, realizar reuniões com os supervisores das linhas para que se pudesse entender o fluxo dos processos.

Os Mapas de Fluxo de Valor fornecem a visão do fluxo como um todo, sendo possível identificar os pontos de melhoria para o sistema e as implicações para os outros processos da mesma família. Porém, essa ferramenta não fornece uma boa visão de movimentação de materiais durante a execução de seus processamentos na base.

Para preencher essa lacuna foram desenhados os diagramas de fluxo, permitindo identificar o caminho percorrido pelos produtos e evidenciando o desperdício de transporte.

4.2.3 Diagramas de Fluxo

Os diagramas de fluxo, também conhecidos como diagramas de spaghetti facilitam a análise de uma das principais premissas para a elaboração do layout, a redução do desperdício de transporte. Especificamente neste projeto é de grande importância, pois os equipamentos são de grande porte e sua movimentação é bastante custosa.

A Figura 47 apresenta um diagrama de fluxo atual para uma família de produtos da base de Macaé e a distância total percorrida pelo produto ao longo de todas as etapas do seu processo de manutenção. O diagrama de fluxo foi feito no AutoCAD.



Figura 47 – Diagrama de fluxo de uma família de produtos feito no AutoCAD.

Após serem feitos os diagramas de fluxo para todas as famílias de produtos, pode-se criar uma tabela de distâncias da Situação Atual representado pela Figura 48. A primeira coluna representa as famílias de produtos. A segunda coluna apresenta a distância percorrida, na base atual, para que todas as etapas de processamento sejam cumpridas. A terceira coluna mostra a demanda média mensal (em unidades) da respectiva família de produtos e a quarta coluna apresenta o lote de transferência normalmente utilizado por esta família.

Família	Spaghetti Inicial (m)	Demanda Mensal (u./mês)	Lote de transferência (u.)	Spaghetti Inicial x Demanda Mensal (m/mês)
...	2.942	2.486	4	1.828.453
...	1.200	44	4	13.200
...	1.021	40	1	40.840
...	76	13	1	1.003
...	646	4	1	2.842
...	390	9	1	3.432
...	241	66	2	7.953
...	1.236	34	1	42.024
...	890	15	2	6.675
...	2.661	25	2	33.263
...	1.067	210	1	224.070
...	1.206	54	1	65.124
...	276	40	1	10.930
...	140	12	2	840
...	189	2	2	189
...	155	44	2	3.410
...	979	5	2	2.448
...	1.500	100	1	150.150
...	3.012	5	1	13.554
...	60	5	1	300
...	315	20	10	630
Total	20.202	3.233	2	2.451.329 m/mês 2.451 km/mês

Figura 48 – Cálculo da movimentação mensal para cada família na situação inicial.

Dessa forma, na quinta coluna, podemos visualizar a distância total mensal percorrida por todas as linhas de produtos, que resultou em mais de 2.400 quilômetros mensais.

4.2.4 Matriz de Inter-relações

A matriz de inter-relações ajuda a observar a necessidade de garantir a proximidade física de algumas operações com o fluxo preferencial de uma família de produto. Esta matriz apresenta uma relação qualitativa quanto à importância da proximidade física entre os diferentes setores, classificadas da seguinte forma: A (Absolutamente Necessário); M (Muito Importante); I (Importante); P (Pouco Importante); D (Desprezível); X (Indesejável).

Na Figura 49 é uma representação da matriz de inter-relações. Esta matriz inter-relaciona todos os setores da base (linhas de produto, recursos compartilhados e demais instalações envolvidas no processo de transformação destes produtos). Para construção e validação dessa matriz foram feitas reuniões com os representantes de todas as linhas de produtos, dos recursos compartilhados e dos demais setores. Pela combinação destas análises

qualitativas podemos observar, em termos gerais, quais entidades devem estar mais próximas e/ou mais afastadas umas das outras.

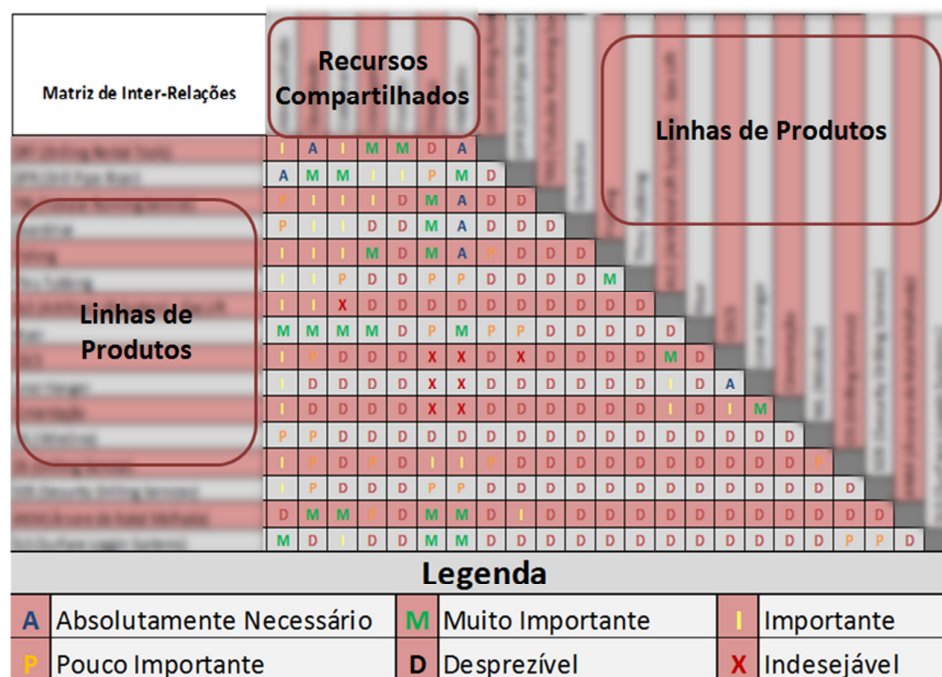


Figura 49 – Representação da matriz de inter-relações.

Em seguida foi definida a utilização dos recursos compartilhados da base de Macaé – RJ. Para estabelecer a ordem de utilização desses recursos para cada família foi realizada uma reunião com os supervisores dessas áreas e com o supervisor de PCP. A ordem de utilização desses recursos foi definida a partir da quantidade média de horas dos setores compartilhados apontadas para cada linha de produto.

Assim, com base na utilização dos recursos compartilhados, pode-se determinar uma prioridade quantitativa em termos de proximidade entre as diferentes linhas de produtos e os recursos compartilhados.

4.2.5 Considerações Sobre a Fase de Medir e Mapear a Situação Atual

A fase de Medir e Mapear a Situação Atual possibilitou ter-se uma visão dos processos das diferentes famílias de produtos em termos de tempos de processamento, utilização de recursos e movimentação.

Foram identificadas grandes oportunidades de melhoria que por meio de sua implantação têm potencial de resultar, em última instância, em maior disponibilidade dos equipamentos.

A movimentação e transporte excessivos observados resultam em um elevado estoque em processo (WIP). Além disso, em termos qualitativos, percebe-se elevado uso de guindastes e empilhadeiras resultando em um fluxo ineficiente do processo e altas esperas por equipamentos de movimentação.

Os recursos compartilhados apresentavam sobrecarga de utilização em determinados períodos e para algumas famílias, evidenciando-se a oportunidade de dedicação de alguns destes recursos para determinadas famílias.

Para obtenção de todas essas informações de forma clara e rápida, as ferramentas computacionais gráficas utilizadas foram de extrema importância. Nesta etapa verificamos principalmente a utilização dos *softwares* Microsoft Office Visio e do Autodesk AutoCAD.

4.3 ANALISAR SITUAÇÃO ATUAL E DESENVOLVIMENTO DA SITUAÇÃO FUTURA

Na análise da situação atual foi feito o agrupamento dos produtos em famílias por similaridade de processo e não por áreas de negócios. Esse tipo de classificação favorece o fluxo de materiais no ambiente produtivo.

Foram geradas alternativas conceituais para o fluxo dentro de cada linha de produção. Em seguida, após a escolha dos fluxos que melhor satisfaziam as necessidades de cada linha, considerando a estratégia de alocação das mesmas, foram elaborados os conceitos dos layouts macro. Por fim foram feitos os detalhamentos dos layouts macro. A Figura 50 resume os passos citados.

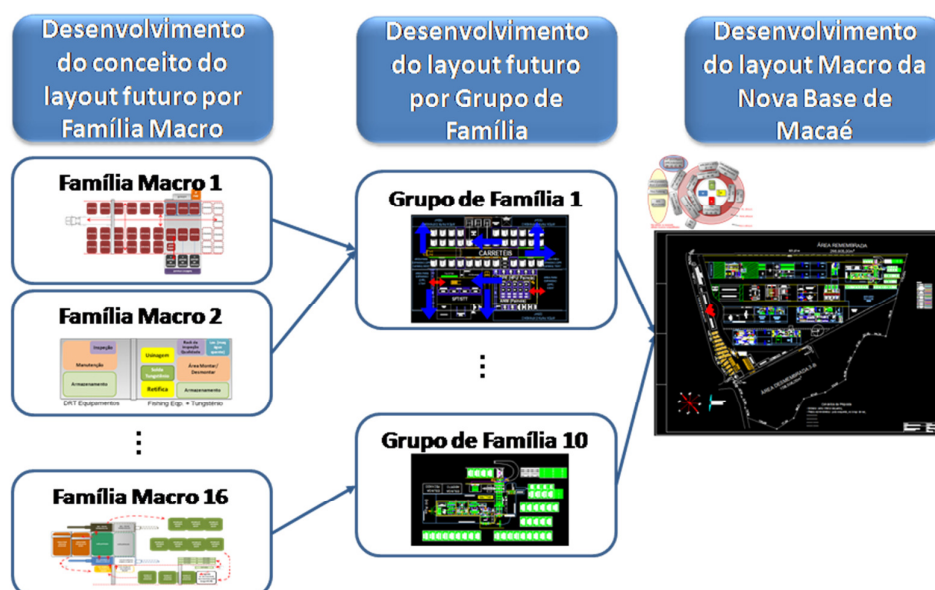


Figura 50 – Etapas para o desenvolvimento do layout da nova base.

Nos tópicos a seguir serão detalhadas estas etapas para o desenvolvimento do layout da nova base e as implicações do uso das ferramentas computacionais gráficas.

4.3.1 Criação dos Grupos de Famílias

As 16 linhas de produtos definidas na fase de Definir Escopo desse projeto, referem-se a uma classificação quanto aos tipos dos diferentes negócios e operações da empresa. Analisando todos os produtos inseridos em cada linha de produto, observou-se a presença de diferentes fluxos de manutenção. Cada um desses fluxos diferentes passou a representar uma Família de Produtos Micro.

Uma vez definidas as famílias de produto micro, pode-se observar uma similaridade entre famílias micro das diferentes linhas de produtos. Essas Famílias de Produto Micro, que apresentaram poucas discrepâncias entre seus processos de manutenção, foram então reorganizadas em Famílias de Produto Macro. A Figura 51 apresenta a lógica da formação das Famílias de Produtos Macro a partir da similaridade dos processos.

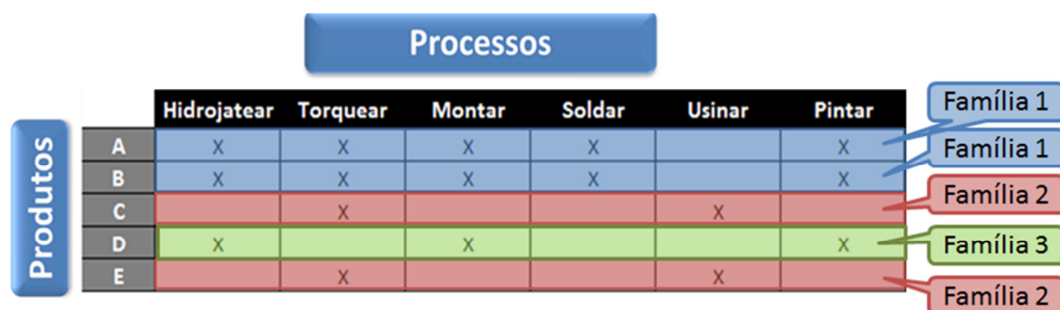


Figura 51 – Lógica de formação das famílias macro por similaridade de processos.

Após a definição das Famílias de Produtos Macro, foram estabelecidos os Grupos de Famílias. Para a definição destes Grupos de Famílias, além da similaridade de processos, foram considerados: a similaridade das características produtos; a facilidade no gerenciamento das linhas; e a utilização compartilhada de recursos similares. A Figura 52 mostra um resumo dos passos percorridos para a criação dos Grupos de Famílias.



Figura 52 – Resumo dos passos para a criação dos Grupos de Famílias.

A partir desses Grupos de Famílias, foram criados os padrões de galpões que foram utilizados para elaborar o layout macro da nova base de Macaé.

O tópico a seguir apresenta as principais etapas no desenvolvimento do layout futuro desses Grupos de Famílias.

4.3.2 Layout Futuro dos Grupos de Famílias

Antes de elaborar as propostas de *layout* para a Nova Base de Macaé, foram definidos os possíveis conceitos para o fluxo interno de cada Família Macro, os quais impactam diretamente na composição do Grupo de Família e, por fim, na definição do *layout* da nova Base. Otimizando o fluxo interno dos galpões, essa etapa possibilita gerar resultados operacionais expressivos.

Levou-se em consideração para a determinação dos conceitos de layout das famílias os recursos produtivos necessários, o fluxo de materiais entre esses processos e os dispositivos de movimentação.

A minimização do desperdício de transporte entre os processos é fundamental para redução do *Lead Time* de manutenção, evitar possíveis estoques intermediários, reduzir esperas e até reduzir riscos de perda de qualidade oriundos do transporte excessivo de equipamentos de difícil movimentação.

Entre outras ações, os conceitos procuram: dedicar os recursos às principais famílias para otimizar o fluxo dos produtos de alta demanda; criar mini-áreas de caldeiraria, usinagem, lavagem e almoxarifado interna aos galpões flexibilizando a produção e minimizando a utilização dos compartilhados; priorizar dispositivos de movimentação simples e dedicados para uso das principais famílias de modo a minimizar a utilização de empilhadeiras e guindastes.

Quanto aos galpões de manutenção, seu comprimento é dado pela necessidade da linha, sendo a largura padrão definida por 25m. Essa dimensão minimiza os custos de construção para galpões sem pilares na área produtiva e possibilita aproveitar os recursos de movimentação interna (ponte-rolante) da Base Atual, uma vez que essa apresenta galpões com a mesma largura. Um anexo a esse galpão pode ser construído em uma de suas laterais para alocar área administrativa, almoxarifado, área de lavagem, entre outros. Esse anexo de ter largura máxima de 6m e comprimento limitado pela área produtiva. O conjunto galpão + anexo pode ser germinado com outro conjunto galpão + anexo, com a criação de áreas de acesso de caminhões, possibilitando a descarregamento/carregamento dos mesmos com o

auxílio da ponte-rolante. A Figura 53 apresenta uma representação desse modelo de galpões utilizados na nova base.

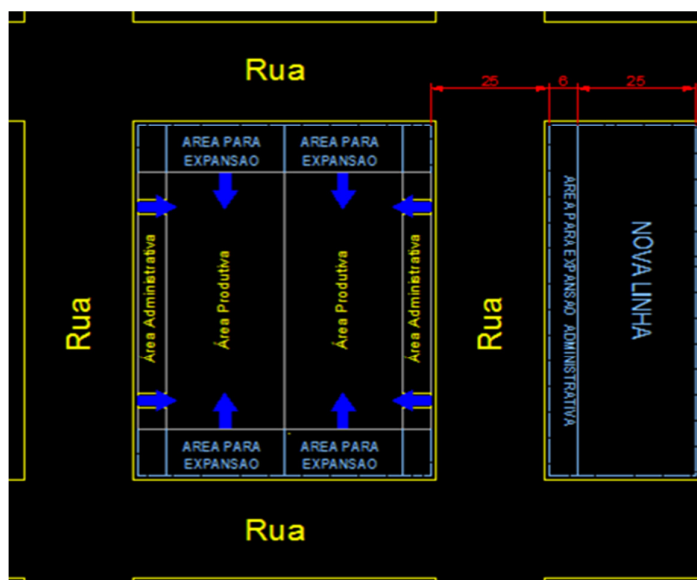


Figura 53 – Representação do padrão de galpões utilizados feito no AutoCAD.

4.3.2.1 Desenvolvimento dos Conceitos de *Layout* das Famílias Macro

Foram desenvolvidos cenários conceituais para cada uma das linhas identificadas. Esses cenários dizem respeito, principalmente, à lógica de processamento (etapas existentes) e estratégias de movimentação e transporte.

Os conceitos foram discutidos e desenhados em figura livre (sem escala e proporção) utilizando o *software* PowerPoint como foi apresentado neste trabalho. A Figura 54 apresenta um exemplo de dois conceitos de layout das famílias gerados com as formas do PowerPoint.

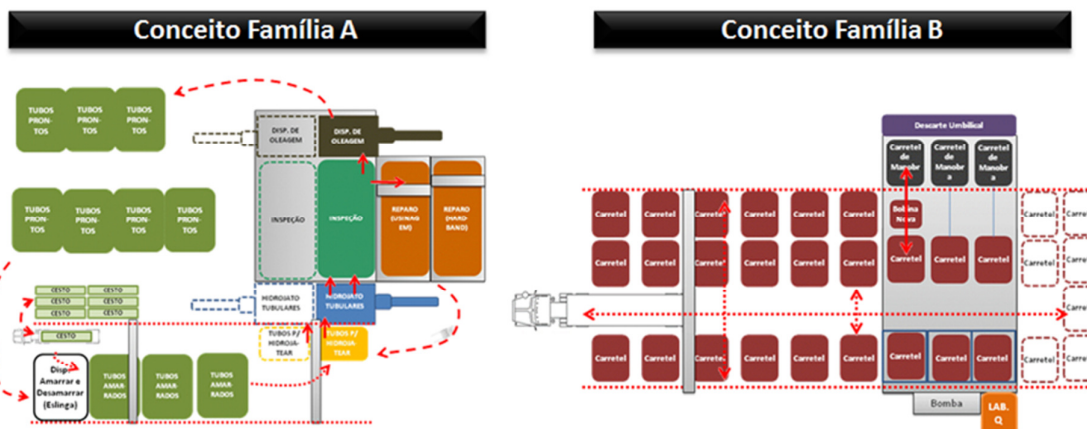


Figura 54 – Conceitos de layout das famílias feitos com as formas do PowerPoint.

Após a discussão e validação junto a todos os supervisores de cada linha e também da definição dos conceitos de *layouts* para todas as linhas, partiu-se para etapa de detalhamento das alternativas de *layout* por Grupo de Famílias, onde estes foram desenhados em escala.

4.3.2.2 Detalhamento das Alternativas de *Layout* por Grupo de Família

Com os conceitos em mãos pode-se iniciar a etapa de detalhamento das alternativas de *layout*. Foram detalhados todos os fatores importantes do *layout* para a geração de uma planta em escala e detalhada com todas as informações necessárias para a implementação do mesmo. Dentre os fatores detalhados estão: os recursos necessários para cada família; as máquinas contempladas; a necessidades de recursos de armazenamento; a forma de armazenamento; os recursos de transporte; as áreas de circulação dos recursos de transporte; a área para os processos; áreas para buffers e supermercados; *layout* e posição das áreas de apoio; os requisitos de segurança e meio ambiente, dentre outros.

Para a geração da planta detalhada dos *layouts* utilizou-se o *software* AutoCAD. A Figura 55 apresenta imagens da planta detalhada de dois Grupos de Famílias feitas no AutoCAD.

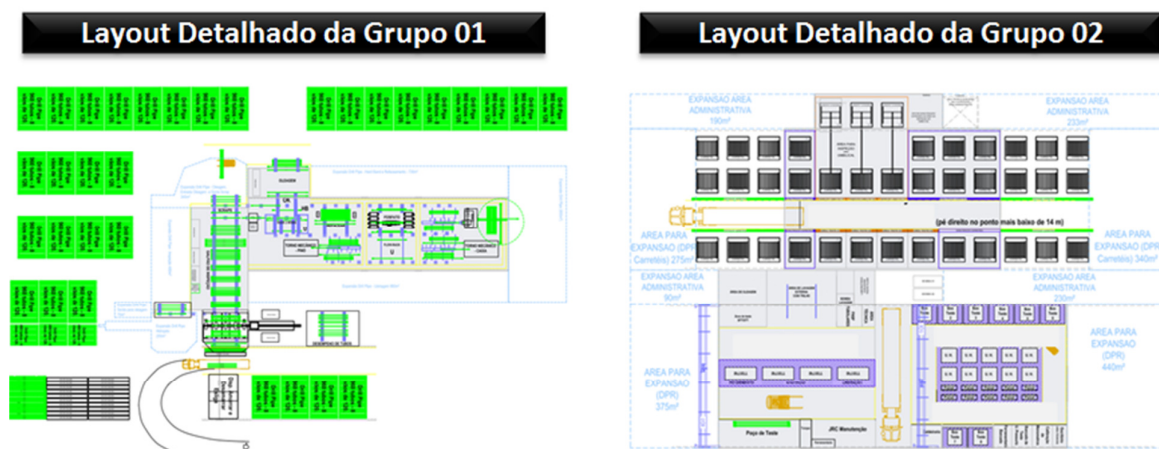


Figura 55 – Layout detalhado dos grupos de famílias feitos no *software* AutoCAD.

O detalhamento foi feito para todos os Grupos de Famílias criados. Após esta etapa pode ser feito o diagrama de fluxo do layout futuro detalhado para os Grupos de Famílias que não utilizavam os recursos compartilhados já que a posição dos recursos compartilhados não estava definida no *layout* macro da base. Após a construção do layout macro, que será descrita nos tópicos seguintes, faz-se o diagrama de fluxo para todos os Grupos de Famílias. A Figura

56 apresenta um diagrama de fluxo do layout futuro que representa a redução na movimentação obtida em comparação com a situação inicial.

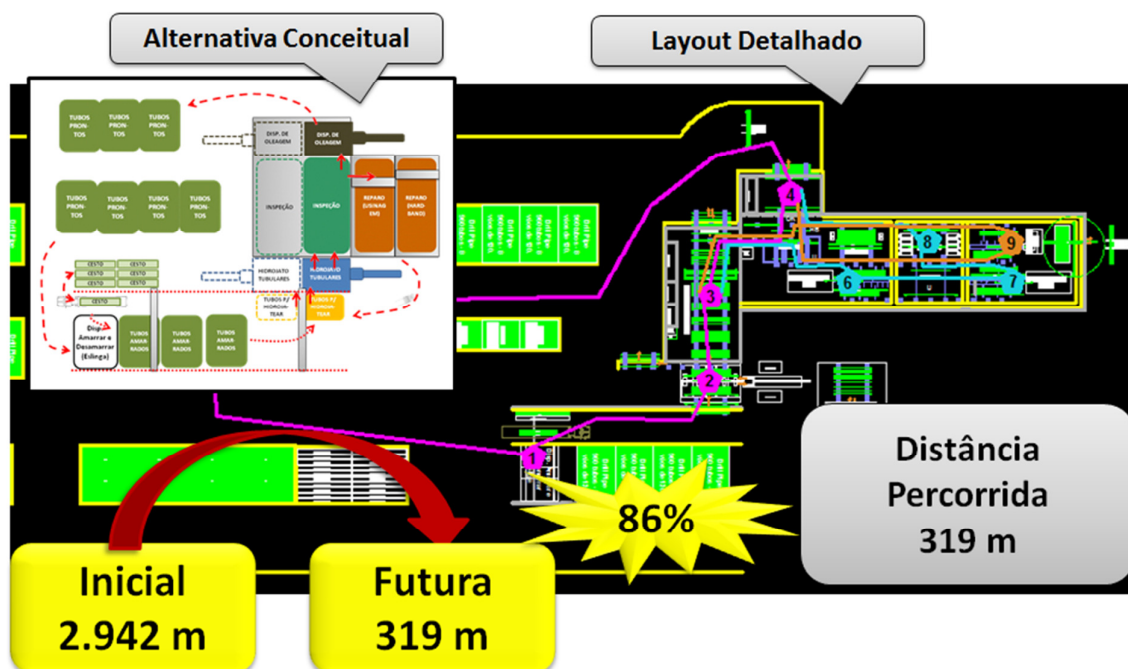


Figura 56 – Ganho no diagrama de fluxo do layout futuro feito no AutoCAD.

Após serem feitos todos os detalhamentos dos Grupos de Famílias, pode-se desenvolver o layout macro da nova base, começando-se pela definição da estratégia de alocação.

4.3.3 Estratégia de Alocação no *Layout Macro*

O desenvolvimento da estratégia de alocação teve como base: as famílias formadas, as alternativas conceituais validadas referentes a estas famílias e, principalmente, o grau de utilização dos recursos compartilhados por cada família de forma proporcional à frequência e intensidade de uso dos recursos compartilhados de acordo com o volume total demandado pela respectiva linha. Como recurso compartilhado entende-se as operações de Usinagem, Pintura, Hidrojato e Caldeiraria.

Conforme se pode visualizar na Figura 57, as famílias foram segregadas em:

- Famílias que representam grande percentual da demanda total da base fazendo, assim, mais sentido termos recursos que hoje são tidos como compartilhados de forma dedicada para estas famílias;

- Famílias que utilizam os recursos compartilhados, mas que não representam porção mais significativa da demanda da base, devendo continuar a utilizar estes recursos de forma compartilhada. Neste caso, as linhas foram subdivididas quanto ao grau de utilização desses recursos, sendo classificadas como: alta utilização; média utilização; baixa utilização;

- Famílias que não utilizam (ou raramente utilizam) os recursos compartilhados.

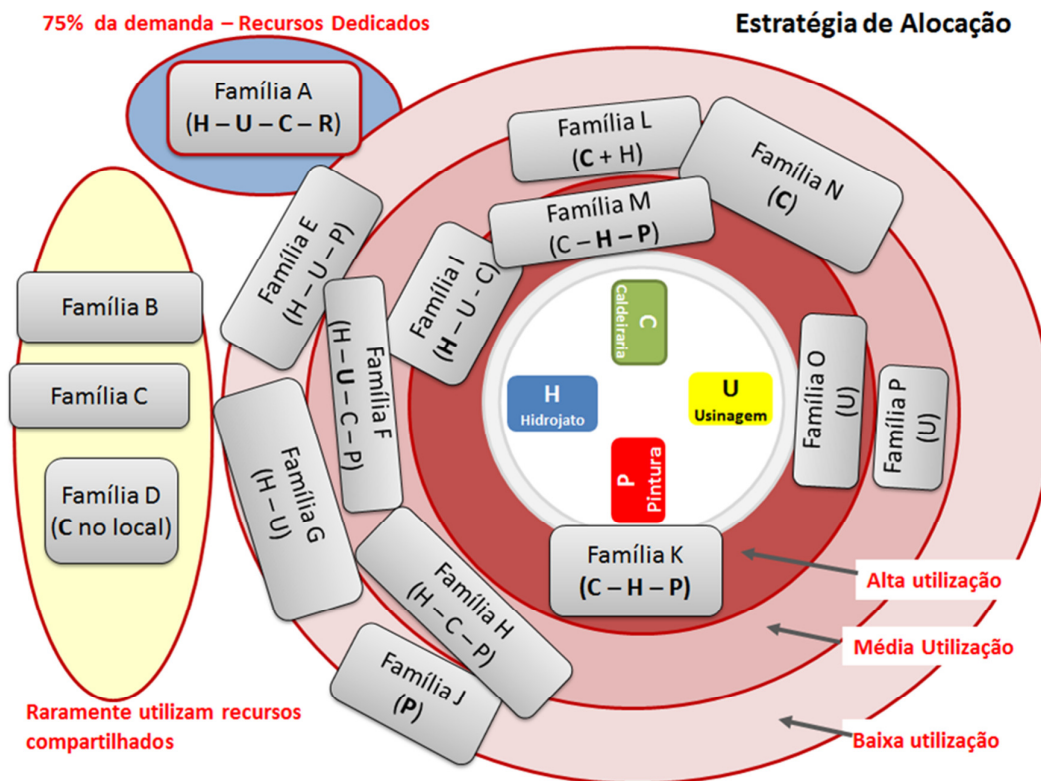


Figura 57 – Estratégia de alocação das famílias desenhada no PowerPoint.

A partir da definição da estratégia de alocação passou-se para as próximas etapas do desenvolvimento o *layout* macro da nova base de Macaé.

4.3.4 Layout Futuro Macro da Nova Base de Macaé

Estabelecidos os conceitos das Famílias Macro, definidos os *layouts* detalhados dos Grupos de Famílias e elaborada a estratégia de alocação, a próxima etapa foi a elaboração das premissas e dos conceitos de *layout* macro que nortearão o desenvolvimento de alternativas. Essas premissas conceitos foram elaboradas em reuniões entre a Equipe do Projeto e a alta direção da empresa.

O desenvolvimento da base considerou todas as premissas, as áreas e as instalações necessárias para seu pleno funcionamento, dentre elas: estacionamento para carretas, ônibus, motos e carros; área térrea para prédio administrativo; área para centro de pesquisa e desenvolvimento; portaria única para entrada e saída de caminhões visando facilitar o controle de acesso à base e minimizar custos; área para sistemas de tratamento de efluentes oleosos e de esgoto; subestações elétricas equidistantes; áreas confinadas para o fluxo de empilhadeiras; blocos de galpões padronizados; área para os recursos compartilhados; área de expansão dos recursos compartilhados; ruas com largura adequada possibilitando raio de manobra de carretas para acesso aos galpões de todos os Grupos de Família; área para almoxarifado central para bens de consumo comuns; área para almoxarifados satélites presentes nas linhas para bens de consumo exclusivos ou com alto giro; direção adequada do galpão a fim de minimizar o risco de danos causado pelo vento; áreas para todos os Grupos de Famílias com o crescimento de demanda projetado; área de expansão para cada Grupo de Família além da demanda projetada; áreas previstas para novos galpões possibilitando a inclusão de novas linhas; dentre outros.

Em seguida foram desenvolvidos cenários conceituais para direcionar o desenvolvimento de propostas de *layout* macro da nova base. Ao longo do projeto, 10 conceitos foram criados. Os conceitos se distinguem basicamente por três aspectos: localização da portaria; localização do prédio administrativo; localização da linha de maior demanda.

Posteriormente foram criadas diversas alternativas de layout macro para cada conceito e foram feitos os detalhamentos e as avaliações das alternativas de layout macro que serão discutidos no tópico a seguir.

4.3.4.1 Detalhamento e Avaliação das Alternativas de Layout Macro

As propostas de layout foram desenvolvidas a partir dos conceitos apresentados, visando atender as premissas e os objetivos estabelecidos anteriormente. Foram geradas, no total, 34 propostas detalhadas de layout macro para a nova base. De todas as alternativas geradas, foram escolhidas 9 propostas para serem avaliadas e comparadas detalhadamente. A Figura 59 apresenta todas as propostas geradas destacando as escolhidas para serem comparadas.



Figura 59 – Alternativas de layout macro da nova base de Macaé feitas no AutoCAD.

Para cada alternativa escolhida para serem comparadas detalhadamente, foram feitas principalmente 3 análises:

- Análise qualitativa: identificando os prós e contras de cada proposta;
- Análise das áreas: medição das áreas da nova base no AutoCAD, com o detalhamento de todos os Grupos de Famílias, dos recursos compartilhados e dos setores de apoio;
- Análise da movimentação: resultado dos diagramas de fluxo criados no AutoCAD, com a compilação das movimentações de materiais na nova base.

Na análise da movimentação foram elaborados, para cada proposta, os diagramas de fluxo para todas as linhas de produtos. As distâncias obtidas foram comparadas entre as propostas geradas e a situação atual. A diferença representa a variação na movimentação do produto ao longo de todas as etapas de seu processo de manutenção. Reduzindo a distância percorrida, os recursos de movimentação (empilhadeiras, guindastes e transportadores) serão otimizados.

A Tabela 1 apresenta a comparação da movimentação entre cada proposta e a situação atual, contendo as seguintes informações: distâncias percorridas por todas as linhas no layout atual; distâncias percorridas por todas as linhas para cada proposta; movimentação

atual em metros por mês; a movimentação futura em metros por mês; a redução na movimentação em metros por mês; a redução na movimentação em quilômetros por mês; a redução percentual na movimentação ponderado pela demanda de cada linha de produto.

Tabela 1: Comparação da Movimentação das Propostas com Situação Atual

Propostas	Spaghetti Atual (m)	Spaghetti Futuro (m)	Movimentação Atual (m/mês)	Movimentação Futura (m/mês)	Variação na Movimentação (m/mês)	Variação na Movimentação (km/mês)	Resultado Ponderado (%)
04-H	16.651	4981	2.411.392	516.995	-1.894.397	-1.894	69%
04-J		4415		400.347	-2.011.045	-2.011	75%
09-A		5070		464.734	-1.946.658	-1.947	72%
09-B		5143		559.104	-1.852.288	-1.852	66%
09-C		5261		476.080	-1.935.312	-1.935	70%
09-D		4698		445.439	-1.965.953	-1.966	75%
09-E		5300		522.343	-1.889.049	-1.889	68%
10-A		4745		460.360	-1.951.032	-1.951	73%
10-B		4981		516.995	-1.894.397	-1.894	69%
Média	16.651	4.955	2.411.392	484.710	-1.926.681	-1.927	71%

Os resultados obtidos com o diagrama de fluxo apresentam uma redução média de 1.927 km percorridos por mês. Para quantificar melhor esta redução, foi feita uma comparação desta com a distância entre o Rio de Janeiro - RJ e Macaé - RJ, que é de 192 km de acordo com Google Maps. Essa redução na movimentação equivale a 10 viagens de por mês, ou 120 viagens por ano através desse trajeto por meio de empilhadeiras, guindastes e dispositivos de movimentação.

Na análise das áreas foram medidas: as áreas do layout atual; a área futura das linhas projetadas; a área coberta das linhas projetadas; a área de expansão das linhas projetadas; a área futura somada com área de expansão; a área para novos galpões; o total da área produtiva; total da área dos setores compartilhados; total da área dos setores de apoio; e o total geral de áreas. Com essas medidas foi gerado a Tabela 2, que apresenta um comparativo de áreas futuras entre as propostas.

Tabela 2: Tabela comparativa de áreas entre as propostas em m².

Áreas Totais (m²)	Proposta 04-H	Proposta 04-J	Proposta 09-A	Proposta 09-B
Área Futura das Linhas Projetadas	69.706	74.181	68.806	69.306
Área Coberta das Linhas Projetadas	28.576	28.796	28.576	28.576
Área de Expansão das Linhas Projetadas	27.917	26.808	21.026	24.341
Área Futura + Área de Expansão (m²)	93.343	96.709	85.552	89.367
Área para Novos Galpões (m²)	19.212	24.955	26.732	20.127
Total da Área Produtiva (m²)	112.555	121.664	112.284	109.494
Total dos Setores Compartilhados	10.375	10.375	10.375	10.375
Total dos Setores de Apoio	26.332	27.265	26.900	25.900
Total Geral (m²)	149.262	159.304	149.559	145.769

Com os resultados, podem-se destacar as melhores propostas quanto às áreas, quanto à movimentação e quanto aos aspectos qualitativos dos prós e contras. A partir da análise das propostas e dos resultados pelos integrantes da equipe de projeto e pela alta diretoria da empresa, a alternativa escolhida foi a Proposta 04-J. A Figura 60 mostra uma representação da Proposta 04-J desenhada e detalhada no AutoCAD e apresentada no PowerPoint.

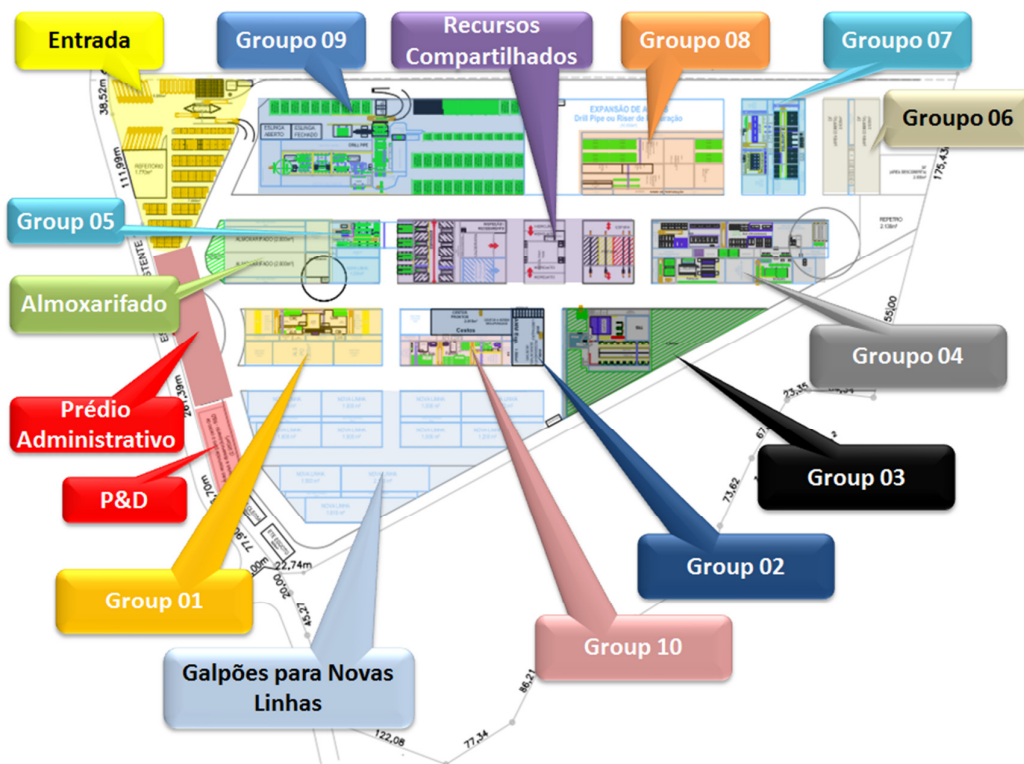


Figura 60 – Representação da Proposta 04-J de *layout* futuro da nova base de Macaé - RJ.

4.4 CONTROLAR

Nesta fase foi desenvolvida toda a documentação do projeto, contendo todas as plantas feitas em AutoCAD e todas as informações necessárias à implementação. Essa documentação foi publicada na forma de um livro de projeto. Também foram definidos os parâmetros de desempenho que deverão ser utilizados quando o projeto for implantado. O principal parâmetro de desempenho utilizado foi a movimentação ao longo do processo de manutenção dos produtos obtidos pelos diagramas de fluxo, neste caso, quanto menor a movimentação melhor é o processo de manutenção.

4.5 CONSIDERAÇÕES DO PROJETO

O escopo desse projeto não conteve a fase de implementação, que será realizada e conduzida pela própria empresa cerca de um ano depois do termino desse projeto. Desse modo, para a obtenção dos resultados esperados é muito importante a aderência da implantação aos aspectos considerados durante o projeto. Há possibilidade de haver restrições ainda não previstas (por exemplo, relativas aos recursos existentes, técnicas e diretrizes de construção civil e etc.) durante a fase de implantação.

Na fase de implantação deve haver grande atenção para:

- Os aspectos de macro layout: quantidade e disposição das áreas, tanto em termos absolutos quanto em termos de seus inter-relacionamentos (entre as linhas de produto, entre as áreas compartilhadas e áreas de apoio);
- Os aspectos de micro layout: a utilização adequada;
- O entendimento dos conceitos propostos e aderência das operações a estes conceitos de movimentação e de planejamento e controle das operações.

Nesse projeto as ferramentas computacionais gráficas foram essenciais em diversas etapas, dentre elas: a construção dos diagramas de fluxo que foram feitos no *software* AutoCAD; a construção das alternativas conceituais no PowerPoint; a construção e detalhamento do layout em si feito no AutoCAD; a impressão das plantas a partir do AutoCAD; dentre outras.

As ferramentas computacionais gráficas utilizadas para o desenvolvimento desse projeto aumentaram a velocidade e a qualidade do mesmo. Auxiliaram principalmente o manuseio do layout e a tomada de decisão dos envolvidos no projeto.

Adicionalmente podia ter-se utilizado outras ferramentas computacionais gráficas (como apresentadas no tópico de revisão bibliográfica) que agilizariam e tornariam possível a construção do layout 3D, desse modo, enriqueceriam as discussões do layout e do projeto. Essas ferramentas também facilitariam o entendimento da ideia para todos os atores envolvidos.

5 PROJETO DE LAYOUT EM UMA EMPRESA DE EQUIPAMENTOS AGRÍCOLAS

Este tópico tem como objetivo apresentar o projeto de *Lean Plant Design*, desenvolvido para a uma empresa do ramo de equipamentos agrícolas, envolvendo sua planta industrial localizada em Piracicaba - SP, dando ênfase no uso das ferramentas computacionais gráficas ao longo do projeto.

Na planta de Piracicaba - SP são feitas as operações de montagem, testes e regulagem final da máquina. O produto possui cerca de 1.100 componentes, os quais são fornecidos por parceiros nacionais e internacionais.

O projeto consistiu no balanceamento das atividades dos operadores, *re-layout* da linha de montagem do produto e na proposição de melhorias sob a ótica da produção enxuta.

Foi feita a análise da situação inicial da linha de montagem baseada no Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), para a qual foram identificadas as atividades da linha de montagem e suas relações de precedência, distribuição de trabalho e o levantamento do layout inicial da linha.

O desenvolvimento da situação futura foi feito para três cenários de demanda diferentes envolvendo: nova distribuição de conteúdo de trabalho e programação das atividades baseada no takt-time (para cada box e operador) e layout da linha de montagem com suas operações e postos de abastecimento.

Foi feita a implantação da situação futura utilizando a metodologia de Evento Kaizen incluindo, além das melhorias mencionadas, novos padrões de gestão visual, acompanhamento da produção e ocorrências, geração de novos kits de abastecimento etc.

O desenvolvimento do projeto seguiu a metodologia DMAIC para projetos de *Lean Plant Design* apresentada neste trabalho, e consistiu principalmente das seguintes etapas:

- Definir Escopo: foi feito a formação das equipes, o planejamento da operacionalização do projeto e a análise dos produtos e seus volumes de produção.
- Medir e Identificar: foram identificados os processos, feito o mapeamento da situação atual, o layout, os diagramas de fluxo, e a verificação dos requisitos e restrições.
- Analisar e Desenvolver: foi feita a análise da situação atual, identificados os principais problemas e suas causas-raízes, foram gerados os cenários futuros de demanda, definidas, avaliadas e aprovadas as alternativas de balanceamento e layout.

- Implantar: foi feito a implantação das melhorias definidas a partir da situação futura projetada, foi gerado o plano de instalação, o detalhamento da instalação e foi feito o acompanhamento do *Kaizen* de implantação.

- Controlar: foi definido um padrão de auditoria quanto à conformidade dos processos implantados. Esta atividade de controle foi desenvolvida pela própria empresa.

O projeto teve duração de 4 meses conforme cronograma apresentado na Figura 61.

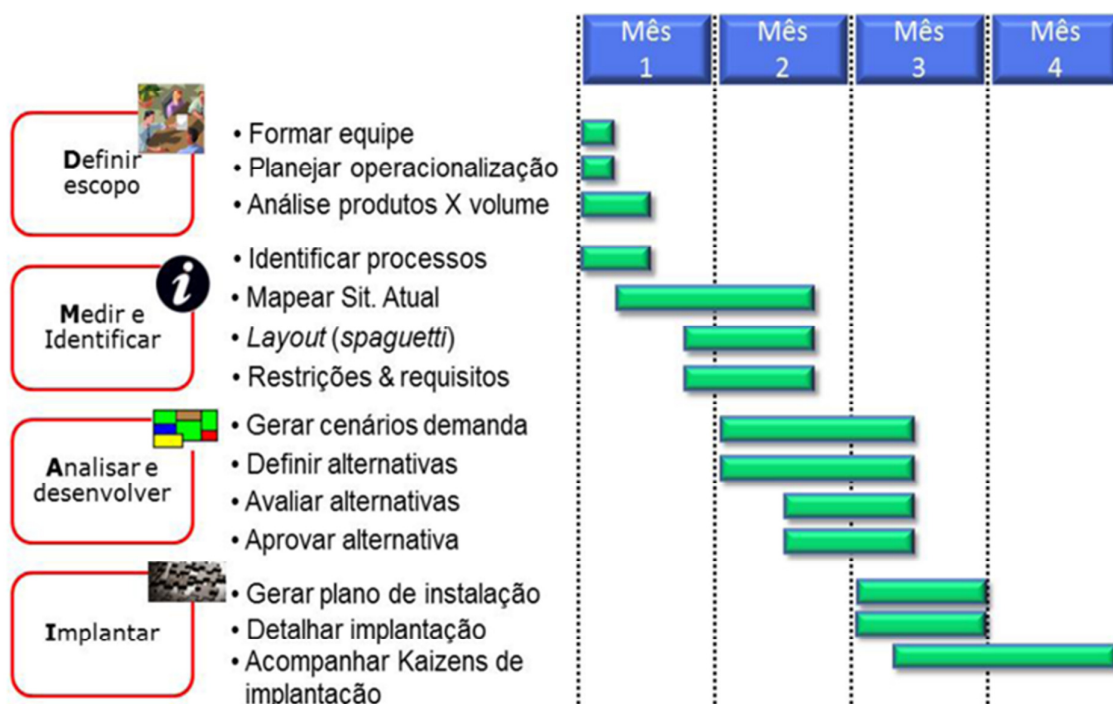


Figura 61 – Cronograma macro do projeto na empresa de equipamentos agrícolas.

Essas principais etapas apresentadas no cronograma serão discutidas com mais detalhes nos próximos tópicos.

5.1 DEFINIR ESCOPO

Nesta fase foi feito a operacionalização do projeto e definido o cronograma macro já apresentado. Foram definidas as principais famílias de produtos da planta de Piracicaba – SP e escolhida uma família para ser abordada no projeto.

Durante esta fase, foram levantados os cenários de demanda esperada para a família escolhida para serem atendidos pelos projetos da situação futura.

Este projeto foi conduzido por uma equipe multifuncional formada por membros externos (consultoria) e colaboradores internos da empresa.

A partir deste levantamento, foi feito o Mapa do Fluxo de Valor completo da situação inicial utilizando o software Visio, como pode ser visto na Figura 63.

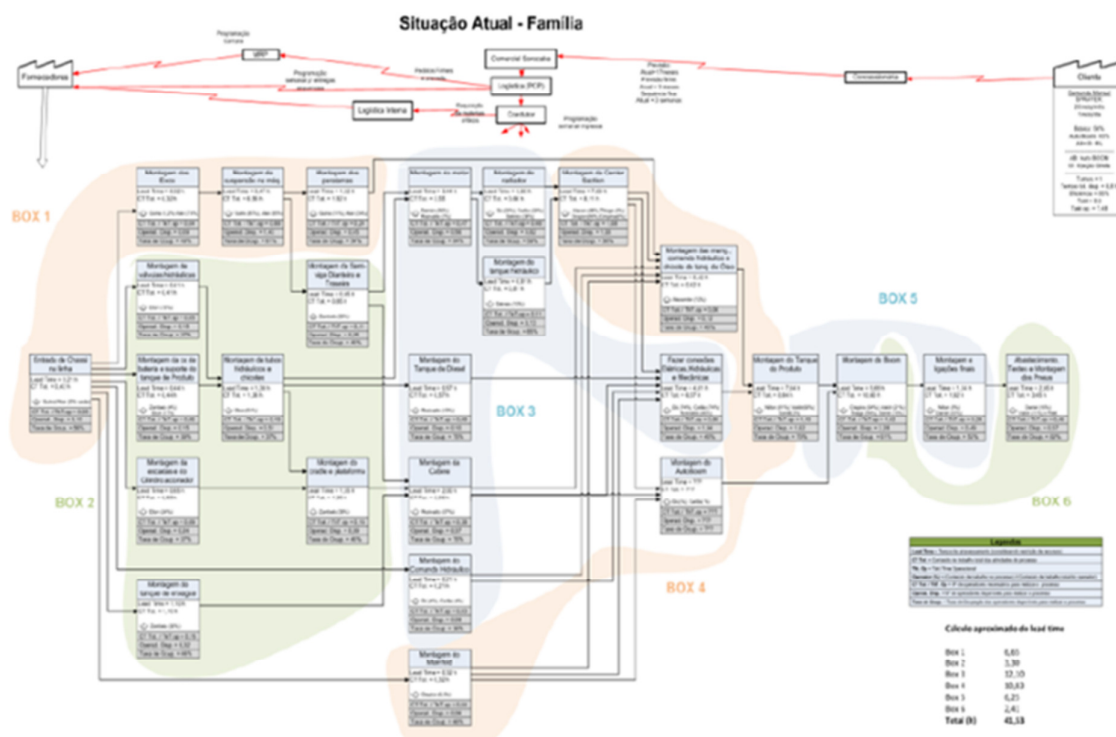


Figura 63 – Mapa de Fluxo de Valor macro da situação inicial feito no *software* Visio.

5.2.2 Conteúdo do Trabalho e Distribuição Inicial do Trabalho

A fim de levantar a situação inicial da distribuição de trabalho na linha de montagem, e realizar o dimensionamento dos recursos necessários para cada box e para cada atividade, foi necessário que seja feito um levantamento do lead time e do conteúdo de trabalho de cada atividade.

Nesta etapa, foram realizadas três cronometragens pela equipe da empresa, individualmente para cada uma das micro atividades mapeadas. Observou-se que algumas atividades não puderam ser cronometradas nos três levantamentos realizados. Depois de compilados, os tempos foram validados pelo engenheiro de manufatura responsável, operadores e condutores da linha.

Em paralelo, houve a filmagem de todas as atividades da linha (por uma empresa externa ao projeto), cuja cronoanálise só seria realizada após o término do projeto. No entanto, esta filmagem foi utilizada para validar (de maneira macro) alguns tempos críticos.

Com todos os tempos levantados foi desenvolvida uma planilha eletrônica no *software* Microsoft Office Excel, utilizada para avaliar a distribuição atual de carga de trabalho por operador e por box e, posteriormente, redimensionar e redistribuir atividades entre os operadores, visando reduzir os desperdícios de superprodução, espera e desbalanceamento.

Na planilha mencionada foram inseridos, além dos tempos das atividades, o operador responsável por cada atividade (levantado anteriormente) e o número de operadores simultâneos para cada atividade.

Sendo assim, foi gerado um gráfico com a carga de trabalho total de cada operador comparada com o takt time operacional da linha mostrado na Figura 64. O takt time operacional (7,48 horas) foi calculado multiplicando a eficiência esperada da linha (85%) pelo *takt time* real para 1 máquina por dia (8,8 horas).

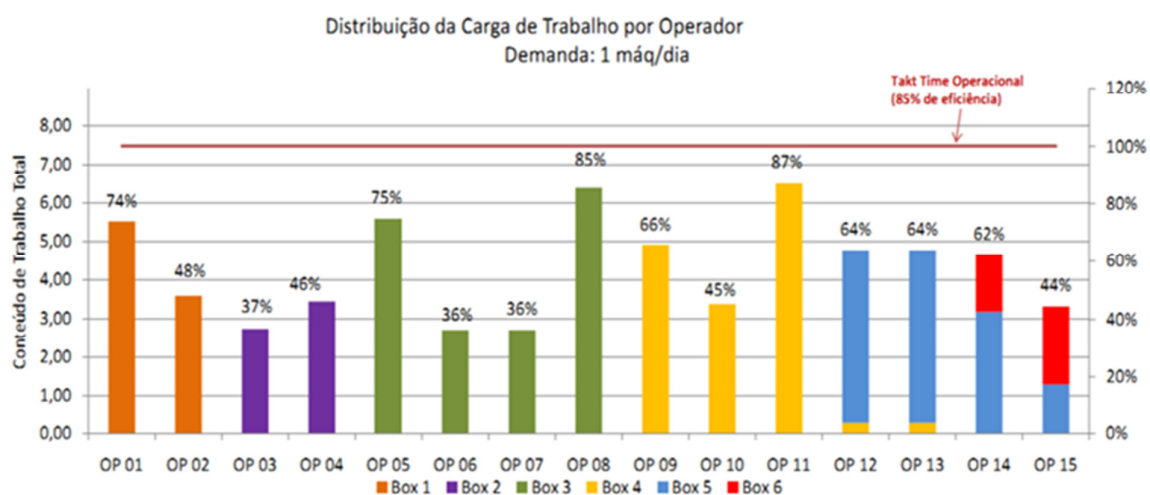


Figura 64 – Distribuição inicial da carga de trabalho por operador.

Pelo gráfico apresentado anteriormente, pode-se notar que o trabalho não era bem distribuído entre os operadores, gerando desperdícios de espera e superprodução de subconjuntos. O conteúdo total de trabalho levantado foi de 72 horas. A ocupação média dos operadores com foi de 60%. Depois de finalizada a análise de carga dos operadores, as informações obtidas foram passadas para o Mapa de Fluxo de Valor, a fim de ser feita uma análise mais holística da situação encontrada.

5.2.3 Layout Inicial

O layout inicial foi elaborado a partir de um arquivo base em AutoCAD pertencente a empresa, que foi modificado e atualizado para os padrões de *layers* do projeto.

Com o layout inicial validado, foram elaborados os diagramas de fluxo para o abastecimento de peças na linha, representando as opções de rotas logísticas. O diagrama de fluxo é uma ferramenta que foi utilizada para visualizar o caminho percorrido por uma peça até a linha de montagem. Na Figura 65 são apresentados os diagramas para opções de rotas logísticas.

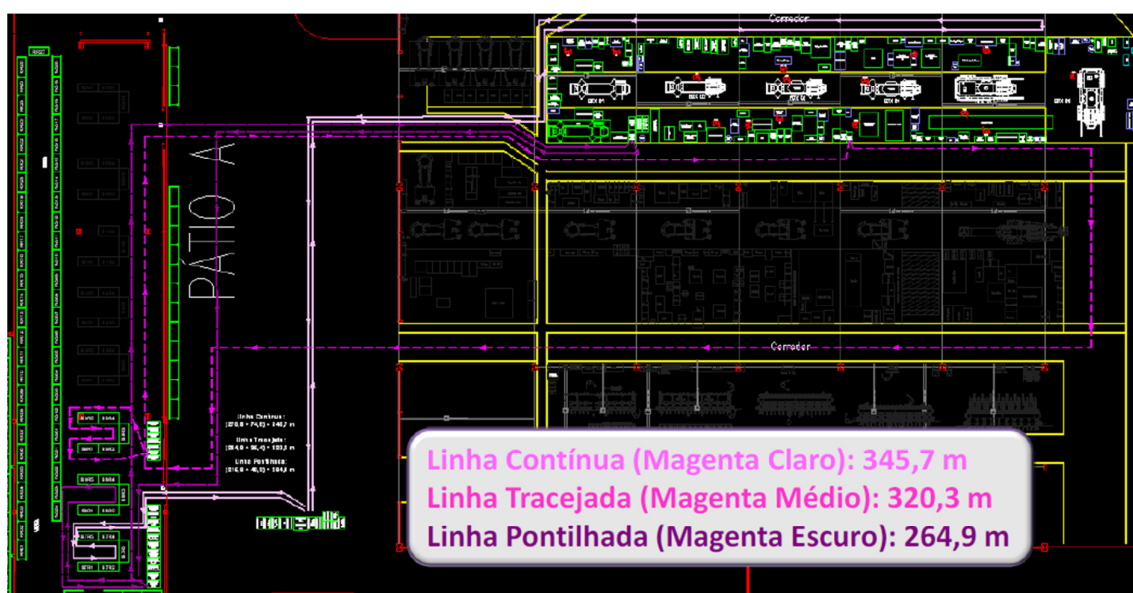


Figura 65 – Diagramas de fluxo das rotas da logística de abastecimento.

A linha de montagem funcionava com 15 operadores distribuídos em seis boxes. A Figura 66 mostra uma representação do layout atual da linha de montagem feito com o software AutoCAD.

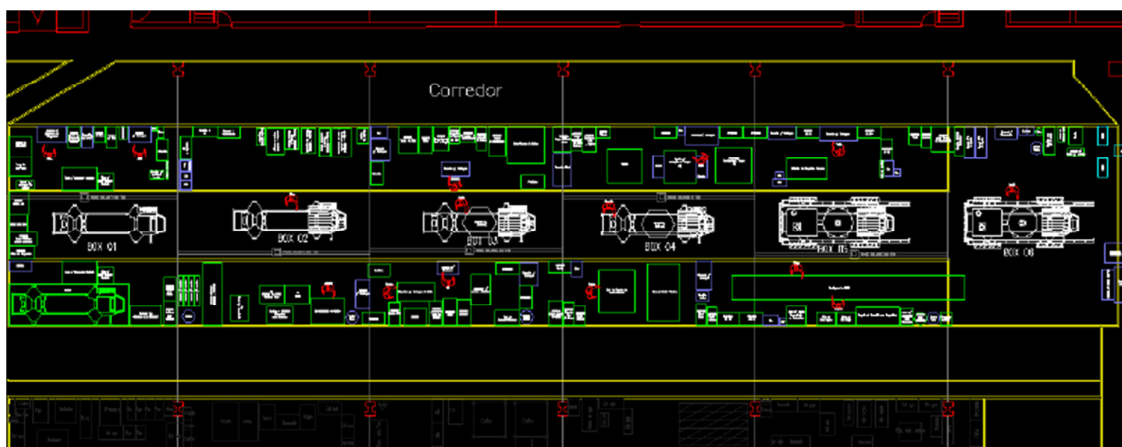


Figura 66 – Layout atual da linha de montagem feito no AutoCAD.

5.3 ANALISAR E DESENVOLVER A SITUAÇÃO FUTURA

Esta etapa de análise e desenvolvimento da situação futura foi feita separadamente para cada cenário de demanda definido anteriormente. Para cada um dos cenários foi feito o cálculo dos takt times real e operacional, assim como a redistribuição da carga de trabalho dos operadores (balanceamento de atividades), obedecendo às relações de precedência identificadas no Mapa de Fluxo de Valor.

Depois de finalizada esta etapa, o balanceamento foi validado a partir da construção de um gráfico de Gantt para as atividades de cada operador. Neste gráfico, a sequência de operações foi definida e validada, assim como as inter-relações entre as atividades dos operadores diferentes dentro do mesmo box de montagem.

Em seguida, foi utilizado um formulário padrão, denominado Tabela de Combinação de Trabalho (TCT). Para cada operador, é elaborada uma TCT, o qual representa o padrão de trabalho do operador, ou seja, todas as atividades a serem desenvolvidas durante o *takt time*, a sua sequência e tempo padrão esperado para a atividade. A Figura 67 apresenta um exemplo de uma TCT usada nesse projeto.

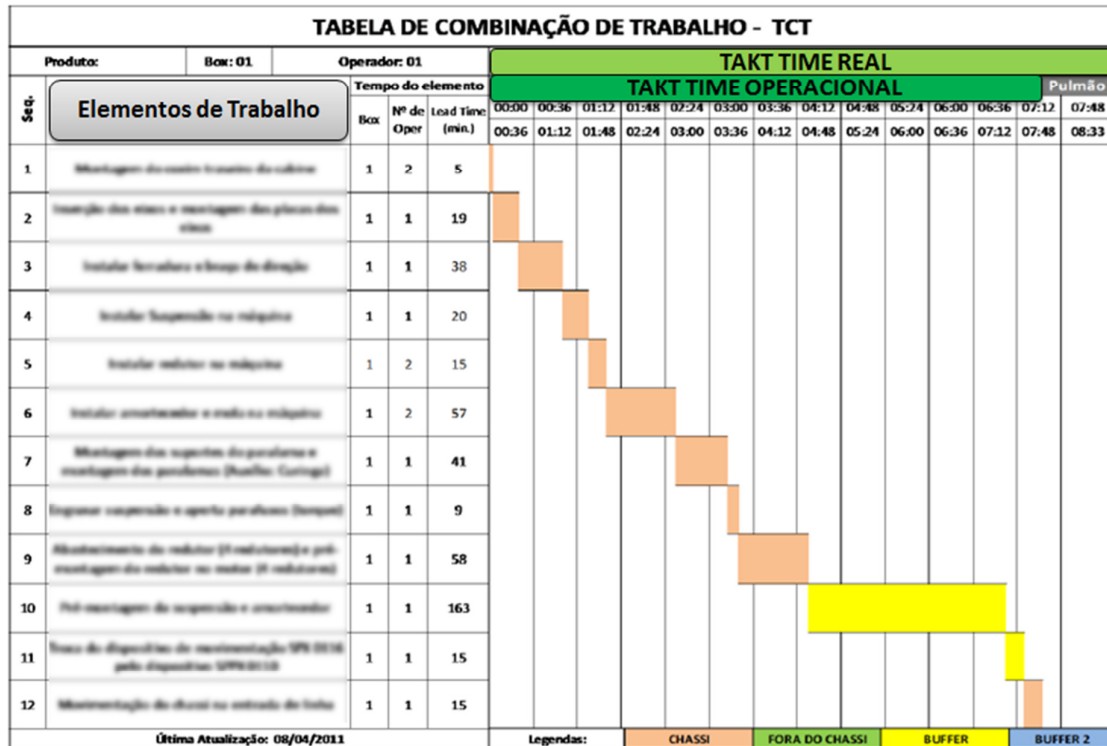


Figura 67 – Representação de uma Tabela de Combinação de Trabalho (TCT)

Por fim, assim como na análise da situação atual, todas as informações de balanceamento geradas foram passadas para um Mapa de Fluxo de Valor futuro também feito no *software* Visio.

5.3.1 Cenários de Demanda

Foi observado que para os cenários de demanda futuros tornarem-se viáveis, foram necessárias algumas alterações de box para determinadas atividades. Além disto, conseguiu-se analisar a viabilidade de alteração de algumas relações de precedência demonstradas no MFV inicial e, assim, um melhor balanceamento pode ser alcançado. Tais alterações foram cuidadosamente validadas pelo engenheiro de manufatura responsável e pelos condutores da linha.

A fim de exemplificar o que foi feito no trabalho, será apresentado as atividades realizadas apenas para um único cenário de demanda.

Como já calculado anteriormente, os *takt times* real e operacional para um cenário são de 8,8 horas e 7,48 horas, respectivamente. O conteúdo total de trabalho da linha é de 72 horas. Sendo assim, o total de operadores mínimo esperado para este balanceamento seria de 9,8 operadores e, portanto, o balanceamento projetado foi de 10 pessoas. A Figura 68 mostra uma representação da distribuição futura da carga de trabalho por operador.

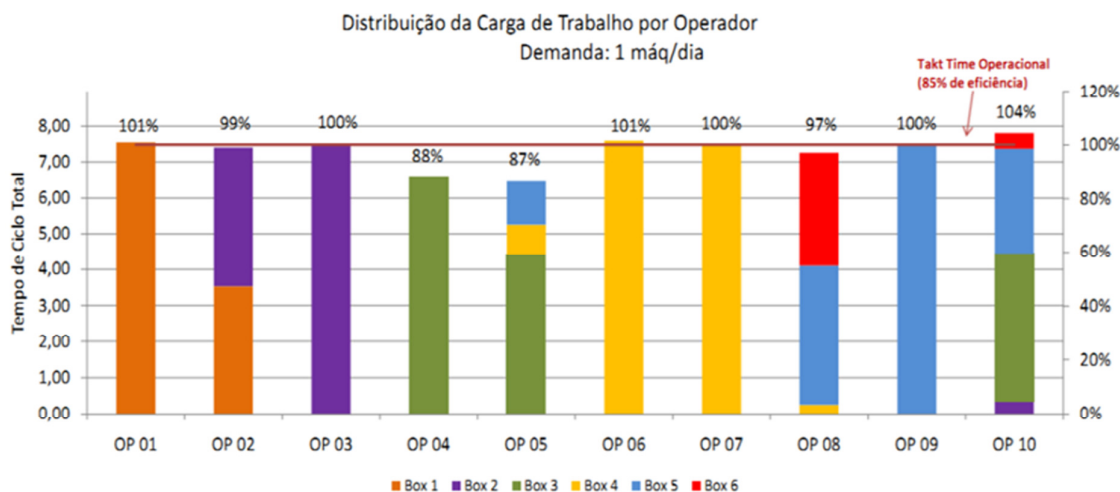


Figura 68 – Distribuição futura da carga de trabalho por operador.

O gráfico de *Gant* de trabalho de para toda a linha de montagem pode ser visto na Figura 69 considerando um único cenário de demanda.

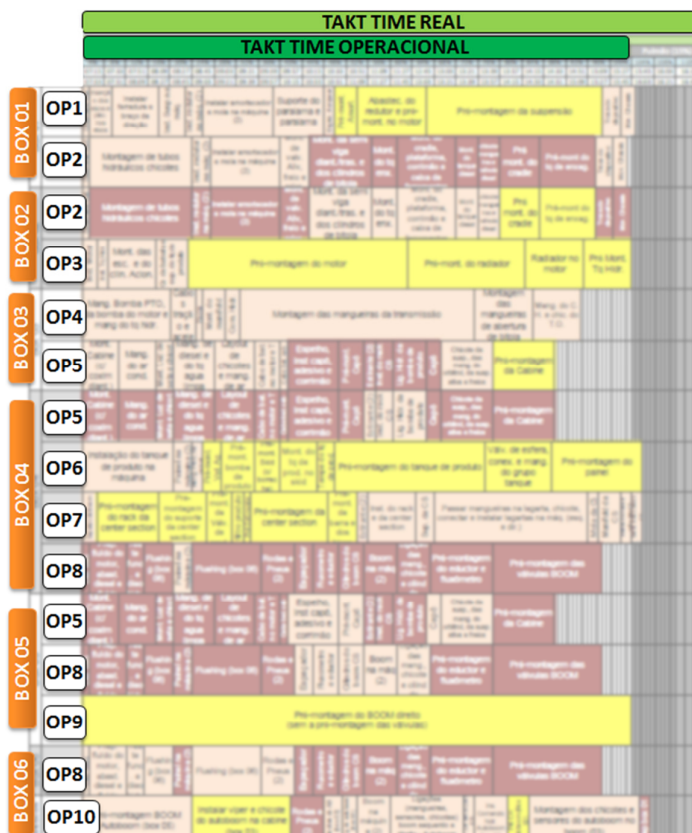


Figura 69 – Gráfico de Gantt do trabalho na linha de montagem.

5.3.2 Novo Layout para os Cenários Apresentados

O layout da situação futura foi projetado para atender simultaneamente dois cenários de demanda diferentes.

O layout desenvolvido visou à redução das movimentações desnecessárias de operadores para buscar peças e ferramentas. Também foi feito o reestabelecimento da quantidade de estoque na linha, para que haja somente o número de peças necessário para a montagem de uma máquina, exceto itens pequenos e de valor agregado baixo como porcas, parafusos e arruelas, que ficam armazenadas na forma de Kanban de Duas Gavetas e são suficientes para mais que uma máquina.

O projeto do layout foi desenvolvido para atender as necessidades das atividades projetadas no novo balanceamento de linha e nos novos padrões de trabalho. Durante o *re-layout* foi necessário alterar o posicionamento dos kits de abastecimento e dos dispositivos para atender a nova ordem das atividades.

Devido ao alto nível de detalhe do projeto que considerava todas as micro atividades envolvidas na montagem, o projeto de layout foi feito detalhadamente. As ferramentas

computacionais gráficas foram de grande ajuda para aumentar a velocidade e qualidade do projeto, auxiliando o manuseio das possíveis alternativas do layout, a tomada de decisão e principalmente por meio da rica qualidade na representação tridimensional do projeto, facilitou a comunicação da ideia e convencimento de todas as partes interessadas envolvidas no projeto do *layout*.

A Figura 70 apresenta o *layout* 2D da linha de montagem feito no AutoCAD. Figura 71 apresenta o mesmo *layout* feito em 3D, modelado no AutoCAD e renderizado no software 3ds Max. Após o desenvolvimento do layout em 3D foi gerado um vídeo para a divulgação do projeto, utilizando-se das animações renderizadas no 3ds Max e do software Nero Video 11 como editor de vídeo.

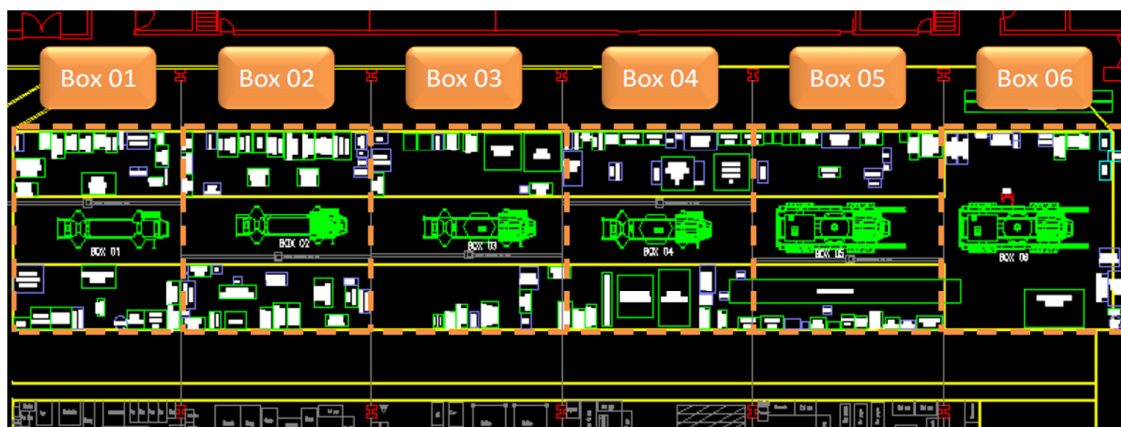


Figura 70 – Layout futuro 2D da empresa feito no AutoCAD.

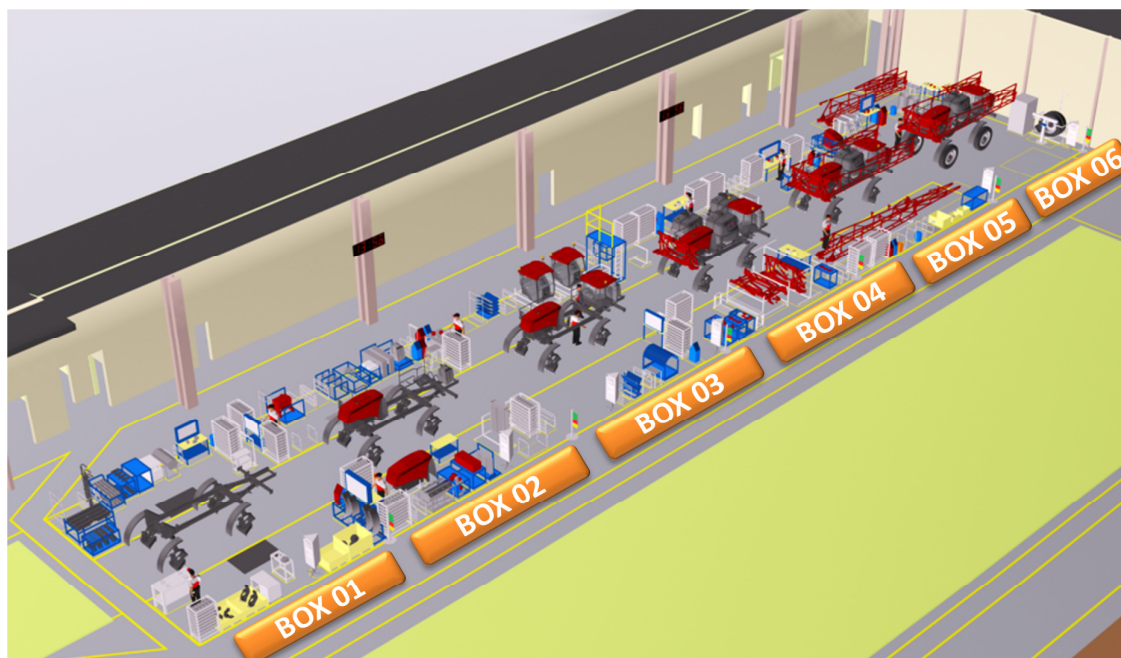


Figura 71 – Layout futuro 3D da empresa feito no AutoCAD e no 3ds Max.

Durante o projeto da readequação do layout, foi necessária a criação de novos kits de abastecimento com soluções criativas para economizar espaço na linha de montagem. A Figura 72 apresenta o alto nível de detalhe no projeto de layout 3D box a box destacando os novos kits de abastecimento e dispositivos criados.

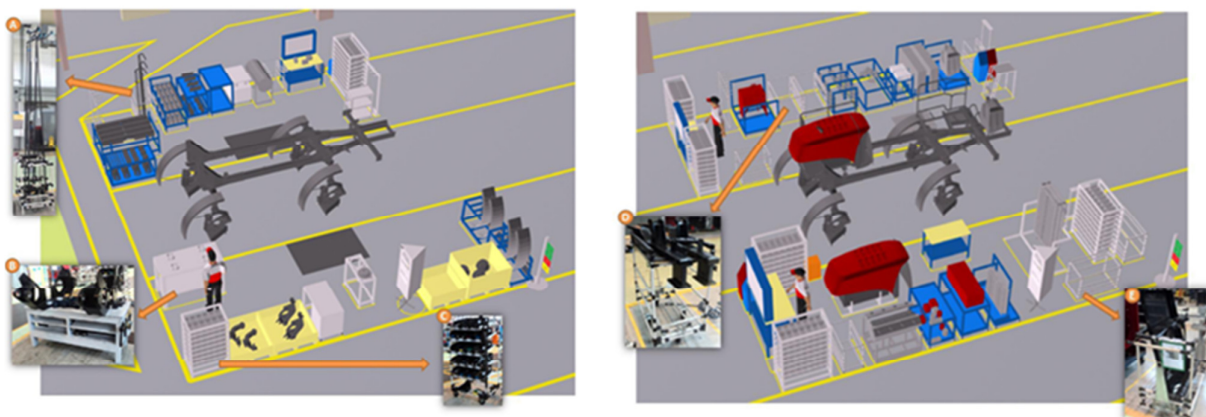


Figura 72 – Layout futuro 3D dos boxes com os novos kits feito no AutoCAD e 3ds Max.

A readequação do layout, o balanceamento de atividades e a construção de novos kits de abastecimento e novos dispositivos, permitiram reduzir o número de operadores e controlar o ritmo de produção de acordo com o Takt Time, colaborando para um aumento da produtividade da linha de montagem como um todo.

5.4 IMPLANTAR SITUAÇÃO FUTURA

Após a análise do balanceamento inicial, projeto da situação futura e do layout futuro para um cenário, foi proposta a implantação da situação projetada de forma rápida e consistente: utilizando-se a metodologia denominada Evento *Kaizen*.

Kaizen é uma palavra japonesa que significa “mudança boa”, por isso está relacionada com o conceito de melhoria contínua. O Evento *Kaizen* é baseado na formação de times envolvendo vários níveis hierárquicos da empresa. Eles possuem metas agressivas de ação e um prazo de 5 dias para a realização das tarefas programadas para o evento. Para isso, o time tem prioridade em relação ao uso de recursos da empresa e seus membros ficam dedicados exclusivamente ao Evento, desvinculando-se de suas atividades “normais” e rotineiras de trabalho. Ao final do Evento, há uma apresentação sobre as ações realizadas e os resultados obtidos para o patrocinador do projeto e outras pessoas-chave da empresa.

Na organização do Evento *Kaizen*, foi definido o objetivo principal, formada a equipe e feita a divulgação do Evento. Para viabilizar o cumprimento dos objetivos do Evento *kaizen* algumas atividades deveriam ocorrer anteriormente ao evento (denominadas atividades *pré-kaizen*). Em seguida foram detalhadas as atividades do Evento *Kaizen* em si. Por fim foram levantadas oportunidades adicionais de melhoria, advindas de problemas que ocorreram durante o evento (denominadas atividades *pós-kaizen*). A Figura 73 apresenta uma foto das atividades de readequação do layout durante a realização do Evento *Kaizen*.



Figura 73 – Fotos das atividades de alteração do layout durante o evento *Kaizen*.

5.5 CONTROLAR

Na fase de controlar foi desenvolvida toda a documentação do projeto e publicada na forma de um livro do projeto. Foi feito um padrão de auditoria quanto à conformidade dos processos implantados e foi realizado o acompanhamento dos parâmetros de desempenho da linha de montagem. Esta atividade de acompanhamento foi realizada pela equipe da própria empresa.

5.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO

Este projeto realizou as principais atividades previstas, dentre elas, o balanceamento das operações de montagem; o projeto de padrões de trabalho para operações de montagem

(individuais e de todos os boxes) projetadas de acordo com o *takt-time* operacional para diferentes cenários de demanda.

Quanto ao aspecto de arranjo físico (*layout*), este foi readequado de forma a tornar possível a estratégia de produção advinda do novo balanceamento e dos novos padrões de trabalho para os cenários de demanda estabelecidos. Foram delineadas alternativas criativas de aproveitamento de espaço para operações de montagem e de abastecimento de linha.

Este projeto exigiu um nível de detalhamento do layout mais alto. As ferramentas computacionais gráficas auxiliaram bastante no aumento da velocidade e qualidade do projeto. As principais contribuições foram no manuseio do layout, na tomada de decisão e principalmente na comunicação da ideia e no convencimento das partes interessadas no projeto do *layout*.

Adicionalmente, poderiam ter sido consideradas o uso de ferramentas computacionais de simulação humana que auxiliassem a análise ergonômica dos postos de trabalho dos operadores.

6 INTEGRAÇÃO DAS METODOLOGIAS APRESENTADAS COM AS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS GRÁFICAS

Este tópico tem o objetivo de apresentar uma possibilidade da integração da metodologia DMAIC para *Lean Plant Design* utilizadas nos projetos apresentados, com a metodologia para projetos de layout utilizada pelo grupo SimuCAD que contempla o uso de ferramentas computacionais, incluindo as ferramentas gráficas. Além disso, nesse tópico pretende-se relacionar as recentes ferramentas computacionais gráficas disponíveis no mercado com essas metodologias complementadas.

Com a junção dessas metodologias podemos notar que algumas etapas são similares e que outras se complementam. A Figura 74 ilustra uma possibilidade de integração das metodologias apresentadas.

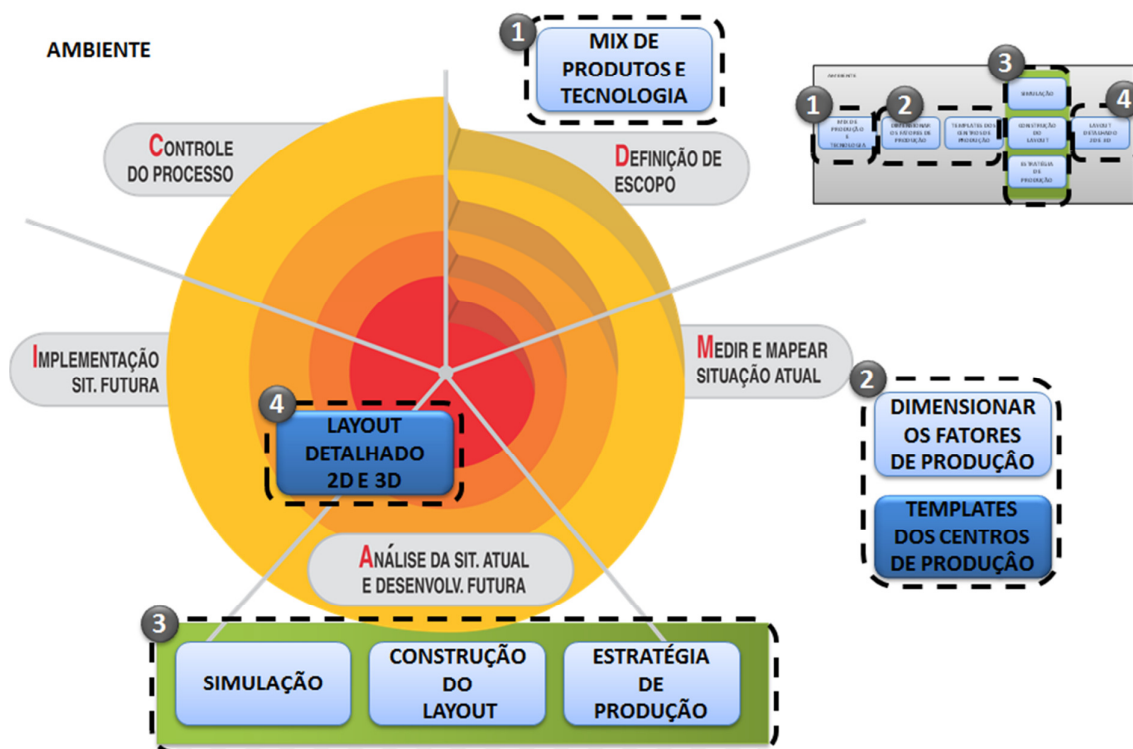


Figura 74 – Possibilidade de integração das metodologias apresentadas.

Toda a metodologia está inserida no **ambiente** que representa o contexto de onde será desenvolvido o projeto do layout. A etapa de **definição do mix de produtos e a tecnologia de produção** poderia ser inserida na fase de Definição do Escopo. Na fase de Medição e Mapeamento da Situação Atual, poderiam ser acrescentadas as etapas de **pré-dimensionamento dos fatores de produção** e de **construção dos templates dos centros de**

produção. Na fase de Análise da Situação Atual e Desenvolvimento da Futura, pode ocorrer concomitantemente a **construção do layout**, a **simulação** e a **definição estratégia de produção**. A etapa de **detalhamento do layout 2D e 3D** deve ser feita também na fase de Análise da Situação Atual e Desenvolvimento da Futura, entretanto as informações e representações geradas nesta etapa também podem ser de grande auxílio na fase de Implementação da Situação Futura.

O Quadro 4 apresenta um resumo de como as principais etapas advindas das duas metodologias apresentadas poderiam se complementar, e as relaciona com as ferramentas computacionais gráficas, indicando em qual etapa dessas metodologias integradas podem ser aplicadas essas ferramentas e quais são essas ferramentas.

Pode-se observar que as ferramentas computacionais gráficas podem ser mais utilizadas e trazer maiores contribuição para as fases de Medir e Identificar a Situação Atual e de Analisar a Situação Atual e Desenvolver Situação Futura.

Quadro 4 – Integração das principais etapas das metodologias apresentadas e das ferramentas computacionais.

	DMAIC para projetos de <i>Lean Plant Design</i>	Metodologia do SimuCAD	Ferramentas Computacionais Gráficas: principais contribuições
D	Definir Escopo: - Formalização da equipe; - Planejar a operacionalização do projeto; - Análise de produtos e volumes - Capacitação	- Considerar o mix de produtos e a tecnologia de produção que será adotada na unidade.	
M	Medir e Identificar: - Identificar e validar famílias / processos; - Levantamento da situação atual: - Demandas (atuais e cenários projetados) - Fluxo de valor macro - Layout atual - Identificar os Requisitos e Restrições	- Pré-dimensionamento dos fatores de produção; - Construção dos <i>templates</i> dos centros de produção.	- Microsoft Office Visio: mapeamento da situação atual (MFV); - AutoCAD: construção dos <i>templates</i> dos centros de produção e desenho da planta 2D da situação atual; - Factory Design Utilities: auxilia na análise dos fluxos da situação atual; - FactoryFLOW: auxilia na análise dos fluxos da situação atual.
A	Analisar e Desenvolver: - Definição conceitual de alternativas - Detalhamento das alternativas - Processos - Movimentação - Armazenagem - Avaliação e Seleção	- Construção do layout; - Simulação; - Definição da estratégia de produção; - Layout Detalhado 2D e 3D.	- Microsoft Office Visio: projeto da situação futura (MFV); - Microsoft Office PowerPoint: desenvolver alternativas conceituais, apresentação; - AutoCAD: desenho do layout futuro detalhado 2D e 3D; - 3ds Max: renderização e animação do layout 3D; - Factory Design Utilities: análise dos fluxos futuros, desenvolvimento de alternativas conceituais, construção rápida do layout 3D, interação com o layout 3D, animação do layout 3D, criação de imagens realistas; - FactoryCAD: construção rápida do layout 3D; - FactoryFLOW: análise dos fluxos futuros; - Plant Simulation: simulação de eventos discretos; - DELMIA QUEST: simulação de eventos discretos; - CryENGINE: interação com o layout 3D, criação de imagens realistas; - Nero Vídeo 11: edição do vídeo animado do layout 3D.
I	Implantar: - Gerar plano de implantação; - Priorizar iniciativas; - Gerenciar implantação.	- Informações geradas a partir do layout detalhado 2D e 3D.	A utilização das informações e das representações geradas pelas ferramentas computacionais gráficas na fase de “Analisar e Desenvolver” auxilia o processo de implantação do novo layout.
C	Controlar: - Documentação do projeto; - Parâmetros de desempenho; - Rotina de auditoria das melhorias.		

Fonte: proposto pelo autor.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do trabalho responderam-se as questões originadas do problema de pesquisa principal: **como as ferramentas computacionais gráficas auxiliam no projeto de layout para um Sistema de Produção Enxuta?**

No tópico “*Layout* versus Características *Lean*” pode-se discutir quais são as características do *layout* para um Sistema de Produção Enxuta.

Em seguida, na análise do tópico “Ferramentas Computacionais Gráficas Aplicadas ao projeto de Layout” pode-se ver como essas ferramentas auxiliam a visualização, o manuseio e a tomada de decisão.

Nos casos estudados verificou-se na prática como algumas dessas ferramentas contribuíram no projeto real de um layout para um Sistema de Produção Enxuta.

Posteriormente na proposta feita no tópico “Integração das Metodologias Apresentadas com as Ferramentas Computacionais Gráficas” pode-se identificar em quais fases do projeto do *layout* podem-se aplicar essas ferramentas, especificar quais são essas ferramentas e suas principais contribuições específicas para cada fase.

Desse modo conseguiu-se analisar como a utilização das ferramentas computacionais gráficas auxilia no projeto de layout para um Sistema de Produção Enxuta.

Voltando as definições de *layout* no qual: ***layout industrial é a representação espacial dos fatores que concorrem para a produção envolvendo equipamentos, materiais, homens, métodos e suas interações***; observa-se que a própria definição do *layout* em si já o classifica como uma forma de representação, além disso, as ferramentas computacionais gráficas são em sua essência auxiliaadoras na forma de representação. Essas considerações indicam que essas ferramentas contribuem ao cerne do desenvolvimento do projeto de layout, a representação.

Ao analisar as diversas ferramentas computacionais apresentadas, vemos que elas abrangem uma série de funcionalidades que auxiliam no projeto de *layout* como um todo. Podendo ser utilizadas desde o *layout* conceitual até o detalhamento e apresentação do *layout* final, tanto para o macro *layout* como para o micro *layout*.

Os projetos desenvolvidos nos casos apresentados exemplificaram de forma clara como essas ferramentas auxiliaram o desenvolvimento real dos projetos de layout em questão. Entretanto, devido a alguns *softwares* apresentados neste trabalho serem muito recentes, eles não foram aplicados nos casos estudados. Portanto, o desenvolvimento dos projetos de layout

ainda pode ser bastante enriquecido com o uso dos *softwares* mais atuais disponíveis no mercado.

Alguns *softwares* substituem outros por terem funções similares, entretanto, muitos deles são diferentes e podem se complementar e auxiliar de forma integrada o projeto do layout das instalações industriais. Quanto às ferramentas com funções similares, vemos que mais importante do que saber qual ferramenta é melhor que outra, é enfim escolher uma, conhecer seus benefícios e realmente aplicá-la junto com as ferramentas que se complementam.

Vemos também que as ferramentas gráficas podem ser aplicadas no desenvolvimento de qualquer tipo de *layout*, seja ele feito para o Sistema de Produção Enxuta ou híbrido de outros sistemas de produção. Contudo, com foco em atender as atuais exigências do mercado, o Sistema de Produção Enxuta se destaca como sendo um dos mais eficientes. Desse modo, verificamos que as ferramentas computacionais podem, em muito, contribuir para o projeto de layout para um Sistema de Produção Enxuta ou um híbrido desse com outros sistemas de produção.

É muito importante enfatizar que as ferramentas computacionais gráficas não substituem as ferramentas tradicionais, nem a metodologia para o desenvolvimento do projeto de *layout*, contudo atuam como ferramentas chaves que contribuem para a construção do *layout* da unidade produtiva.

Como propostas de trabalho futuro poderiam ser exploradas outras ferramentas computacionais aplicadas ao projeto de layout, sendo elas: ferramentas computacionais de simulação humana e ferramentas computacionais para simulação de sistemas de eventos discretos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J.A.R. DE. **Uma visão geral da mentalidade enxuta, conceitos e ferramentas.** São Carlos: 2006.

AUTODESK, **Autodesk Inc.**, 2011 Disponível em: <http://www.autodesk.com>. Acesso em: 10 de junho de 2011.

BDXPERT. **Siemens: Software adota cloud computing em seu PLM.** Disponível em: <http://www.bdxpert.com/2010/10/07/siemens-software-adota-computacao-na-nuvem-para-seu-plm/>. Acesso em: 05 de outubro de 2011.

BRAATZ, *et al.* **Conceptual and Methodological Issues for the Application os Game Engines in Designs of Productive Situations.** Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

BRITO, E. S. **Aplicativo para Modelamento 3D de Layout Celular com Base em Tecnologia de Grupo.** 2010. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CAMAROTTO, J. A.; MENEGON N. L. **Projeto de Unidades Produtivas: Apostila.** 2006. 126p. Departamento de Engenharia de Produção, Centro de Ciencias Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2006.

CANEM, A., WILIAMSON, G. **Facility layout overview: towards competitive advantages, Facilities.** v. 16, n.7/8, p.p. 198-223.1998.

CORREA, H. L.; CORREA, C. A. **Administração de produção e operações.** São Paulo, Atlas, 2007.

DASSAUT SYSTEMES. **DELMIA® Digital Manufacturing & Production.** Disponível em: <http://www.3ds.com/products/delmia/welcome/>. Acesso em: 05 de outubro de 2011.

DERTONIO, R. M. **Proposta de sistemática para desenvolvimento de templates bidimensionais e tridimensionais de centros de produção em projetos de unidades produtivas.** Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

DJASSEMI, M. **Improving factory layout under a mixed floor and overhead material handling condition.** Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 18 No. 3, 2007, pp. 281-291.

GONÇALVES FILHO, E.V. **Sistemas de Manufatura: Projeto do arranjo físico.** Notas de aula, 2005.

HAHN, G.J. **The Evolution of Six Sigma.** Series Quality Engineering, Milwaukee, 317-326, mar. 2000.

HINES, P.; TAYLOR, D. *Going Lean: a guide to implementation*. Cardiff, UK, *Lean Enterprise Research Center*, 2000.

HOMINISS CONSULTING, Consultoria em *Lean*. **Hominiss Consulting: Consultoria e Treinamentos em Produção Enxuta**. Disponível em: <http://www.hominiss.com.br>. Acesso em: 10 de outubro de 2011b.

HOMINISS CONSULTING. **Apostilas do Programa de Capacitação em *Lean Production***. Campinas, 2011a.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Lean Enterprise Institute**, 2011. Disponível em: <http://www.lean.org.br>. Acesso em: 10 de junho de 2011.

LIKER, JEFFREY K. **O Modelo Toyota. 14 Princípios de Gestão do Maior Fabricante do Mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MEHRABI, M.G., ULSOY, A. G., KOREN, Y e HEYTLER, P. *Trends and perspectives in flexible and reconfigurable manufacturing systems*. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13, 135-146, 2002.

MENEGON, N.L.; COSTA, M.A.B. da; CAMAROTTO, J.A.; **A abordagem utilizada pelo grupo SimuCAD: Simulação e CAD no desenvolvimento de instalações industriais**, ENEGEP Proc., Porto Alegre, RS, 1997.

MICROSOFT. **As 10 principais razões para experimentar o Visio 2010**. Disponível em: <http://office.microsoft.com/pt-br/visio/as-10-principais-razoes-para-experimentar-o-visio-2010-HA101805356.aspx>. Acesso em: 05 de outubro de 2011a.

MICROSOFT. **Os 10 principais motivos para experimentar o PowerPoint 2010**. Disponível em: <http://office.microsoft.com/pt-br/powerpoint/os-10-principais-motivos-para-experimentar-o-powerpoint-2010-HA101631737.aspx>. Acesso em: 05 de outubro de 2011b.

MIGUEL, P.A.C. **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução**. Produção, São Paulo, v.17, n.1, p.216-229, Jan./Abr. 2007.

MOORE, J. M. *Plant Layout and Design*. Macmillan: New York, 1970.

MUTHER, R. **Planejamento do Layout: Sistema SLP**. Supervisão ITIRO IIDA. Tradução Elizabeth de Moura Vieira, Jorge Aiub Hijjar e Miguel de Simoni. Edgard Blücher: São Paulo, 1976.

MYCRYENGINE. Crytek. **CryENGINE 3**. Disponível em: <http://mycryengine.com/>. Acesso em: 05 de outubro de 2011.

NERO. **Edição de vídeo para filmes extraordinários**. Disponível em: <http://www.nero.com/ptb/nero-video11-features.html>. Acesso em: 05 de outubro de 2011.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção - Além da produção em larga escala**. Ed. Bookman: Porto Alegre, 1997.

OLIVEIRA, F. H. *et al.* **Projeto de Unidades Produtivas: Realizado em uma Indústria de Recondicionamento de Embalagens Industriais**. 2010. Trabalho (Graduação) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

OLIVÉRIO, J.L. **Projeto de Fábrica: Produtos, Processos e Instalações Industriais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Livro Científico Ltda, 1985.

PEMBERTON, A. W. **Arranjo Físico Industrial e Movimentação de Materiais**. Interciencia: Rio de Janeiro, 1977.

QUEIROZ, M. A. **Lean Seis Sigma. Como integrar o Lean Manufacturing com o Seis Sigma**. Revista Banas Qualidade, ano XVI, n.178, p.40-50. São Paulo: EPSE, 2007.

RENTES, A. F. **Apresentação sobre Mapa de Fluxo de Valor aplicado em Projetos de Layout Industrial**. Encontro de Especialistas Hominiss, São Carlos, 2011.

RENTES, A. F. **TransMeth – Proposta de uma Metodologia para Condução de Processos de Transformação de Empresas**. Tese (Livre Docência). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

RIBEIRO, H. **A bíblia do 5S**. 2º ed., Salvador. Casa da Qualidade, 2006.

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando fluxo contínuo: Um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar – Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Institute Brasil. 1999.

SHINGO, S. **Sistema de Troca Rápida de Ferramenta. Uma Revolução nos Sistemas Produtivos**. Porto Alegre: Bookman. 2000.

SIEMENS. **Tecnomatix Plant Design and Optimization**. Disponível em: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/plant_design/index.shtml. Acesso em: 05 de outubro de 2011.

SILVA, A. L. **Desenvolvimento de um modelo de análise e projeto de layout industrial, em ambientes de alta variedade de peças, orientado para a Produção Enxuta**. 2009. 244p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

SILVA, A. L.; RENTES, A. F. **Tornando o layout enxuto com base no conceito de mini-fábricas num ambiente de multi-produtos: um estudo de caso**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba, 2002.

SIMUCAD. **Manual de Levantamento e Confecção de Centros de Produção.** Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2006.

SIPPER, D.; BULFIN, JR.; R.L; ***Production: Planning, Control and Integration.*** Singapore: Mac-Graw Hill International Editions. 1997.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R.; **Administração da Produção.** São Paulo: Ed. Atlas S.A., 1997.

SOLIDSMACK. Solidsmack. **Autodesk Factory Design Suite.** Disponível em: <http://www.solidsmack.com/cad/autodesk-design-suite-turn-factory-into-zombie-killing-machine/>. Acesso em: 05 de outubro de 2011.

TECMES. **Conjunto detalhado de soluções digitais para a manufatura.** Disponível em: <http://www.tecmes.com.br/tecnologia1c.html>. Acesso em: 05 de outubro de 2011.

TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A.; BOZER, Y. A. ***Facilities Planning.*** 2nd ed. Wiley, New York, 1996.

TORRES, I. **Integração de Ferramentas Computacionais Aplicadas ao Projeto e Desenvolvimento de Arranjo Físico de Instalações Industriais.** 2001. 181p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

TORRES, I. **Um Formalismo Relacional para o Desenvolvimento de Arranjo Físico Industrial.** 2007. 205p. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

TORRES, I.; MENEGON, N. L. **Apostila de Templates.** Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 1997.

VENKATADRI, U.; RARDIN, R. L.; MONTREUIL, B. ***A design methodology for fractal layout organization.*** IIE Transactions, 29, pp. 911-924. 1997.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A Máquina Que Mudou o Mundo:** Baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel. 13ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D.T. **Lean thinking - banish waste and create wealth in your corporation.** Simon & Schuster: New York, 1996.