

DEVANI DE MORAIS JÚNIOR

ANÁLISE INTEGRADA DAS PERDAS SOB A ÓTICA DO DESIGN
SUSTENTÁVEL E DA PRODUÇÃO ENXUTA

CURITIBA
2006

DEVANI DE MORAIS JÚNIOR

ANÁLISE INTEGRADA DAS PERDAS SOB A ÓTICA DO DESIGN
SUSTENTÁVEL E DA PRODUÇÃO ENXUTA

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

Orientador: Prof. Dr. Aguinaldo dos Santos

CURITIBA
2006

Me calço nos ombros de gigantes que vieram antes de mim, para poder enxergar a luz da ciência. A todos aqueles que acreditaram, acreditam e acreditarão em um mundo melhor.

AGRADECIMENTOS

Ao Deus Pai, criador. Força da vida e da renovação, louvado por todas a suas criaturas.

Ao meu querido pai Devani, à minha amada mãe Sebastiana, por terem me proporcionado as oportunidades de chegar até este momento.

Minha esposa Carla, pela paciência, pelo carinho.

Meus irmãos, minha irmã, obrigado pela torcida. Meus familiares distantes, mas sempre presentes.

Aos meus colegas de muitas aulas, debates, leituras e muita escrita, Águeda Regina Bodnar Ferrari, Flávio Eduardo Martins e Roger Mário Muller pela ajuda e contribuições durante nossa convivência.

Aos professores, Maria Lúcia Leite Ribeiro Okimoto, Dalton Razera e Carlos Torres Formoso pela atenção e inestimável contribuição na minha caminhada para me tornar um ser humano melhor.

Ao meu orientador Prof. Dr. Aguinaldo dos Santos, que muito ensinou através do exemplo de generosidade e firmeza.

A todos meus colegas da fábrica que muito me ajudaram, Selma, Guelzer, Moro, Tânia, Neide, Marcela, Helô, Jackson, Jocélio Valente, Rodrigo, Christian e Marcelo.

RESUMO

O trato da questão ambiental e da utilização racional dos recursos finitos de nossa biosfera é um dos fatores externos que demandam novas abordagens na redução de desperdícios em sistemas produtivos, direcionando o conhecimento da teoria de produção enxuta para a realização de ligações com outras teorias que possam auxiliar no uso mais eficaz destes fatores externos ao ambiente de produção. A literatura sobre sistemas de produção enxutos tem trabalhado de forma isolada da literatura relacionada à sustentabilidade, particularmente sobre seu impactos na dimensão ambiental do processo produtivo. Esta dissertação analisa, através de um estudo de caso realizado em um sistema de produção enxuta no setor automotivo, a possibilidade de integração de princípios de redução de perdas da teoria do Design Sustentável e da teoria da Produção Enxuta. Melhorando o desempenho do sistema na dimensão da sustentabilidade ambiental, com a integração dos princípios de redução de perdas destas teorias.

Palavras-chave: Sustentabilidade Ambiental, Design Sustentável, Produção Enxuta, Setor Automotivo, Perdas.

ABSTRACT

The challenge to deal with the environment and the rational usage of all resources from our Biosphere is one of the external elements that request new approaches to reduce waste in production systems, leading the knowledge from Lean Manufacture to stablish integration with other Theories that can support the more efficient utilization from production systems external elements. The Production Systems Literature, now is not enough, to isolated solve the environmental quest that is present to researchers. Is needed the multiple approach to increase the efficiency concerning the environmental dimension in the production process. This Thesis analyses, through a Case Study in an Automotive Plant oriented to Lean Production System, the possibilities of integration of waste reduction principles from the Lean Manufacture and from the Sustainable Design in order to improve the environmental performance in production systems.

Key-words: Sustainability, Sustainable Design, Lean Production, Automotive Sector, Waste.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA.....	12
1.2 OBJETIVO	12
1.3 HIPÓTESE.....	12
1.4 JUSTIFICATIVAS.....	13
1.4.1 A Adoção da Produção Enxuta na Indústria.....	13
1.4.2 Por que o Design Sustentável?.....	14
1.4.3 Por que o Setor Automotivo?.....	16
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	18
1.6 MÉTODO DE PESQUISA	19
1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	20
2 PERDAS	21
2.1 INTRODUÇÃO.....	21
2.1.1 Contexto.....	21
2.1.2 Perdas e as novas abordagens para sua redução.....	23
2.2 PERDAS SOB A ÓTICA DA TEORIA DE PRODUÇÃO ENXUTA	26
2.2.1 Contexto.....	26
2.2.2 A Definição de Perdas sob a Ótica da Produção Enxuta.....	27
2.2.3 Princípios para Redução de Perdas sob a Ótica da Produção Enxuta.....	31
2.2.4 Discussão	36
2.3 PERDAS SOB A ÓTICA DO DESIGN SUSTENTÁVEL	38
2.3.1 Contexto.....	38
2.3.2 A Definição de Perdas sob a Ótica do Design Sustentável.....	43
2.3.3 Princípios para Redução de Perdas sob a Ótica do Design Sustentável.....	44
2.3.4 Discussão	50
2.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS	52
3 MÉTODO.	53
3.1 ESCOLHA DO MÉTODO DE PESQUISA	53
3.2 CRITÉRIO DE SELEÇÃO DA EMPRESA, DO PRODUTO E DO PROCESSO OBJETOS DO ESTUDO	54
3.3 VISÃO GERAL DA ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	55
3.4 PROTOCOLO DE COLETA DOS DADOS	58
3.4.1 Caracterização do Produto.....	59
3.4.2 Caracterização do Processo.....	60
3.5 ANÁLISE.....	63
3.5.1 Análise Preliminar Realizada.....	63

3.5.2	<i>Validação da Análise do Pesquisador através de Processo de Consulta à Especialistas.....</i>	67
3.5.3	<i>Método Empregado para Análise do Potencial de Integração de Princípios de Redução de Perdas da Teoria de Produção Enxuta e da Teoria de Design Sustentável.....</i>	70
4	ESTUDO DE CASO.....	73
4.1	INTRODUÇÃO.....	73
4.2	CARACTERIZAÇÃO DE PRODUTO.....	74
4.2.1	<i>Visão Geral do Produto.....</i>	74
4.2.2	<i>Descrição do Módulo Caixa de Roda Dianteira Direita.....</i>	75
4.2.3	<i>Descrição dos Componentes Integrantes do Módulo.....</i>	79
4.2.4	<i>Gráficos da Análise de Perdas Relacionadas ao Produto.....</i>	81
4.2.5	<i>Visão Geral das Estratégias de Sustentabilidade.....</i>	84
4.2.6	<i>Análise de Perdas Relacionadas ao Produto.....</i>	85
4.3	CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO.....	91
4.3.1	<i>Contexto Geral do Sistema de Produção da Fábrica Analisada.....</i>	91
4.3.2	<i>Localização do Processo Analisado em Relação ao Layout da Fábrica.....</i>	94
4.3.3	<i>Descrição Geral do Processo de Armação do Veículo.....</i>	95
4.3.4	<i>Descrição e Análise do Processo de Montagem da Caixa de Roda Dianteira.....</i>	98
4.3.5	<i>Ambiente e equipamentos.....</i>	109
4.3.6	<i>Recursos Humanos.....</i>	113
4.3.7	<i>Gráficos Resultantes da Análise de Perdas do Processo de Produção.....</i>	116
4.3.8	<i>Visão Geral das Perdas do Processo de Produção.....</i>	120
4.3.9	<i>Análise de Perdas do Processo de Produção.....</i>	122
4.3.10	<i>Potencial de Integração dos Princípios de Redução e Tratamento das Perdas.....</i>	126
5	CONCLUSÕES DO ESTUDO DE CASO.....	128
5.1	CONCLUSÕES.....	128
5.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE MÉTODO DE PESQUISA UTILIZADO.....	129
5.3	SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	130
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
7	ANEXOS.....	135

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2. 1 – Mudança do foco da gestão através do tempo</i> Fonte: SOJHOLT, 1998 Apud SANTOS, 1999.....	22
<i>Figura 2. 2 – Relação entre tipos mais comuns de perdas em sistemas de produção enxuta (Adaptado de: Rawabdeh, 2005).....</i>	30
<i>Tabela 1 Situações relevantes para diferentes estratégias de pesquisa</i> Fonte: COSMOS CORPORATION APUD YIN, 2001.....	53
<i>Figura 3.1 – Estratégia de Desenvolvimento da Pesquisa.....</i>	55
<i>Figura 3.2 – Cadastro no SDO do Processo de Fabricação analisado. Fonte: http// www.mepss-sdo.polimit.it (2006)</i>	57
<i>Figura 3.3 – Check - list eletrônico do software SDO para a dimensão de Otimização do Ciclo de Vida do Sistema de Produção Existente.</i>	F
<i>onte: http// www.mepss-sdo.polimit.it (2006)</i>	64
<i>Figura 3.4 – Tabela de idéias eletrônica do software SDO para melhoria da dimensão de Otimização do Ciclo de Vida do Sistema de Produção Existente. Fonte: http// www.mepss-sdo.polimit.it (2006).....</i>	65
<i>Figura 3.5 – Exemplo de gráfico tipo radar gerado pelo software SDO comparando o Sistema de Produção Existente e o impacto do Proposta nas dimensões da sustentabilidade ambiental. Fonte: http// www.mepss-sdo.polimit.it (2006).....</i>	66
<i>Figura 4.1 – Localização do módulo na estrutura do veículo.....</i>	74
<i>Figura 4.2 – Produto Caixa de Roda Dianteira Direita.....</i>	75
<i>Figura 4.3 – Seqüência de Fabricação do Módulo Caixa de Roda.....</i>	76
<i>Figura 4.4 – Resultado da análise de sustentabilidade pelo Mepss-sdo.....</i>	78
<i>Quadro 4.1 – Características geométricas e físico-químicas do componente Peça de Fechamento</i>	79
<i>Quadro 4.2 – Propriedades físico-químicas de aço com médio teor de carbono.....</i>	80
<i>Tabela 4.1- Análise do processo existente para a estratégia de minimização de recursos.....</i>	82
<i>Gráfico 4.1 – Aplicação das abordagens da estratégia de minimização de recursos.....</i>	83
<i>Figura 4.5 – Gráficos de aplicação das abordagens propostas pelas estratégias de sustentabilidade.</i>	84
<i>Figura 4.6 – Layout da Fábrica de Veículos.....</i>	93
<i>Figura 4.7 – Visão geral da localização da célula de produção estudada.....</i>	95
<i>Figura 4.8 – Etapa de Fabricação da Plataforma II e localização da célula de produção estudada</i>	97
<i>Figura 4.9 – Sentido do processo na célula de produção e buffers.....</i>	99
<i>Figura 4.10 - Gráfico de fluxo dos processos para fabricação do módulo.....</i>	100
<i>Figura 4.11 – Sistema de Exaustão de Resíduos de Soldagem Ponto.....</i>	104
<i>Figura 4.12 – Ferramenta de análise de fluxos de Unidades de Processo (Fonte: Chehebe (1998)).....</i>	105
<i>Figura 4.13 – Layout da célula de produção com a localização dos Buffers.....</i>	108
<i>Figura 4.14 – Layout das estações de trabalho (AFO's) da célula estudada.....</i>	108
<i>Figura 4.15 – Mapa de Riscos da célula de produção</i>	112
<i>Figura 4.16 – Figura do Gráfico de Ocupação dos Operadores da Célula de Produção.....</i>	114
<i>Tabela 4.2 – Práticas de produção Enxuta</i> Fonte: adaptado de Bonavia e Marin (2006).....	116

<i>Gráfico 4.2 – Gráfico de Aplicação das Práticas de Produção Enxuta.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabela 4.3 – Check-list de verificação de relação entre perdas de sistema de produção enxutos.....</i>	<i>118</i>
<i>Fonte: adaptado do porposto por Rawabdeh (2005).....</i>	<i>118</i>
<i>Gráfico 4.3 – Gráfico de Relações da Perda por Superprodução e as seis categorias de perdas restantes, conceituadas pela teoria de Produção Enxuta.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 4.17 – Figura com os gráficos de análise das Perdas de Produção Enxuta.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 4.18 – Potencial de Integração de Princípios de Redução de Perdas do Design Sustentável com as perdas da teoria de Produção Enxuta.....</i>	<i>127</i>

INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA

A crescente necessidade de maior produtividade e melhor performance ambiental em sistemas de produção leva todos os envolvidos na gestão da produção a buscar novas referências teóricas que possam aumentar a eficiência na eliminação de desperdícios em sistemas de produção. Desta necessidade, surge o problema: “Como se integrar os princípios relacionados às perdas, oriundos da Produção Enxuta e do Design Sustentável, em sistemas de produção no setor automotivo?”

1.2 OBJETIVO

Avaliar o potencial de integração das abordagens da produção enxuta e do design sustentável para a redução das perdas em sistemas de produção no setor automotivo.

1.3 HIPÓTESE

Os princípios de Produção Enxuta e de Design Sustentável se apóiam mutuamente e ampliam a eficiência dos resultados no que tange a busca por redução das perdas em sistemas produtivos no setor automotivo.

1.4 JUSTIFICATIVAS

1.4.1 A Adoção da Produção Enxuta na Indústria

A indústria automotiva tem sido transformada nas últimas duas décadas no que tange as práticas de gestão da produção, particularmente pela adoção das técnicas japonesas de manufatura. O aspecto mais abrangente indicador destas mudanças pode ser encontrado no conceito de Produção Enxuta (COONEY, 2002, p. 1130). A idéia central da teoria de Produção Enxuta recai sobre o conceito de perdas, também conhecido pela palavra japonesa “*Muda*”. Perda pode ser entendida como a parcela das atividades e recursos absorvidos pelo sistema de produção e que não contribuem para a geração de valor. Este conceito central à Produção Enxuta demanda a busca constante na redução da utilização de recursos no sistema produtivo e busca pelo aumento do valor agregado resultante, de forma a obter maior eficiência e eficácia deste sistema (WOOMACK, J., 1996 e IMAI, M., 2001).

O Pensamento Enxuto provê uma série de princípios heurísticos voltados à redução de “*Muda*” nos sistemas produtivos, proporcionando uma forma indireta de se especificar valor, contribuindo para alinhar as atividades criadoras de valor na melhor seqüência e condução das mesmas sem interrupções sempre que alguém solicite (WOOMACK, J., 1996 e IMAI, M., 2001).

Pode-se afirmar que um destes fatores é o trato da questão ambiental e da utilização racional de recursos finitos de nossa biosfera, hoje já existe conhecimento suficientemente consolidado sobre os princípios para a redução de “*muda*”, porém estes fatores externos demandam que este conhecimento estabeleça ligações com outras teorias, atendendo às demandas recentes dos fatores externos ao ambiente da produção. Esta literatura tem trabalhado de forma isolada

da literatura relacionada a sustentabilidade, particularmente sobre seus impactos nas dimensões social e ambiental do processo produtivo.

Neste contexto, a próxima seção irá apresentar as justificativas de utilidade da teoria do design sustentável para uma abordagem eficaz na redução de perdas em sistemas produtivos concebidos sob a ótica da teoria de produção enxuta.

1.4.2 Por que o Design Sustentável?

Propor o desenvolvimento do design para a sustentabilidade significa, no caso de sistema de produção, possibilitar o atendimento da demanda social de bem-estar utilizando uma quantidade de recursos inferior aos níveis atualmente aplicados (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p.23). Esta nova filosofia de pensamento para o design auxilia o sistema produtivo a atingir o desenvolvimento sustentado que é amplamente definido como o “desenvolvimento que atende as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das futuras gerações em também atender suas necessidades” (UNEP, 2002). Estes conceitos são reforçados nos sistemas produtivos principalmente através dos aspectos ambientais da atividade produtiva, denominados “ecologia industrial”.

A preocupação final da ecologia industrial é gerar o mínimo dano nos sistemas industriais e ecológicos através da circulação ótima de materiais e energias (COHEN-ROSENTHAL, E.; HUISINGH, D. *et al*, 2004, p.1111). Portanto, para ser sustentável, o desenvolvimento industrial deve integrar preocupações com a disponibilidade ambiental, desenvolvimento econômico e o bem-estar das pessoas.

Manzini e Vezzoli, (2002, p.23) apresentam uma série de princípios heurísticos que instrumentalizam a aplicação do design sustentável, que deve responder aos seguintes requisitos gerais.

- Basear-se fundamentalmente em recursos renováveis (garantindo a renovação);
- Otimizar o emprego de recursos não-renováveis;
- Não acumular lixo, que o ecossistema não seja capaz de “reneutralizar” (fazer retornar às substâncias minerais originais e às suas concentrações originais);
- Agir de modo com que cada indivíduo e cada comunidade das sociedades “ricas” permaneça nos limites de seu “espaço ambiental” (quantidade de água, energia e matérias-primas não renováveis que podem ser usados de maneira sustentável) e cada indivíduo e comunidade das sociedades “pobres”, gozem efetivamente ao espaço ambiental ao qual têm direito.

Neste contexto, a abordagem para tratamento de perdas da Teoria do Design Sustentável precisa estabelecer ligações com a abordagem da engenharia de produção enxuta de modo a buscar não somente a dimensão econômica de melhoria do processo, mas sua efetiva sustentabilidade. Já existe suficiente conhecimento em design sustentável a ponto de permitir o adequado tratamento das perdas em sistemas produtivos. Muitas das abordagens utilizadas com este fim, têm relações diretas com as abordagens observadas na literatura da Produção Enxuta.

Na próxima seção veremos que para a demonstração desta relação direta entre as ferramentas para redução de perdas em sistemas produtivos da teoria de Produção Enxuta e da teoria do Design Sustentável, o sistema automotivo é o ambiente ideal para realização do estudo.

1.4.3 Por que o Setor Automotivo?

A relevância do setor automotivo na economia brasileira pode ser demonstrada na classificação da produção e vendas dos 100 maiores produtos e/ou serviços industriais publicadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Esta classificação é um importante indicador nacional de volume de produção e volume de vendas. O segundo produto com maior volume financeiro de vendas no país é formado por automóveis e utilitários, de cilindrada maior que 1500 cm³ e menor que 3000 cm³. A quinta colocação desta classificação é para vendas de automóveis e utilitários, de cilindrada menor ou igual a 1000 cm³ (IBGE, 2003, p. 136).

A indústria automobilística realizou exportações no ano de 2005 com o valor total de US\$ 12,99 Bilhões, representando 11% do total exportado pelos setores industriais brasileiros (MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA DESENVOLVIMENTO E COMÉRCIO EXTERIOR DO BRASIL, 2006).

A seleção do setor automotivo é particularmente relevante para esta dissertação pois este é o setor que tem mais evidenciado os benefícios da produção enxuta na redução de perdas. A teoria de produção enxuta modificou o setor automotivo brasileiro, modernizado pelos investimentos diretos na década de 90, aplicados na construção de fábricas concebidas sob a ótica da produção enxuta, conforme verificado por Wallace (2004, p. 804).

A abertura do mercado expôs a indústria automotiva brasileira aos competidores e preços internacionais. Esta situação obrigou estas companhias a realizar grandes esforços para obter níveis internacionais de qualidade e produtividade. Para alguns fabricantes de veículos ter um sistema de certificação de qualidade não é mais suficiente. O objetivo é zero defeito, ações preventivas e corretivas têm sido monitoradas de perto pela indústria automotiva, Amato

Neto e D'Angelo (2004). Neste contexto, a redução de perdas no sistema produtivo torna-se primordial para o aumento da competitividade da indústria automotiva brasileira.

Na próxima seção serão apresentadas as limitações do trabalho de pesquisa realizado nesta dissertação.

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Para viabilizar o trabalho de coleta de dados e análise do problema o estudo realizado foi limitado a um componente estrutural do veículo – o módulo da caixa de roda dianteira direita. O objeto do estudo foi limitado à célula de produção na etapa de produção responsável pela fabricação do módulo selecionado.

O escopo deste estudo e suas análises não permitem a generalização das conclusões realizadas para todos os sistemas de produção, limitando-se a mostrar elementos que potencializam a integração das abordagens de redução de perdas no sistema estudado.

O escopo desta pesquisa inclui tão somente o diagnóstico do sistema, não havendo intervenções no processo/produto dadas as limitações de tempo e recursos para o desenvolvimento desta dissertação de mestrado.

1.6 MÉTODO DE PESQUISA

O problema da dissertação é do tipo “como” (*como integrar os princípios relacionados às perdas, oriundos da Produção Enxuta e do Design Sustentável, em sistemas de produção no setor automotivo*), não há controle sobre os eventos dado que ocorrem no mundo real e o enfoque é justamente em situações contemporâneas. Neste sentido, foi selecionado o método estudo de caso para esta pesquisa, associado à revisão bibliográfica.

O estudo de caso foi realizado em uma indústria automotiva localizada em São José dos Pinhais / PR. A pesquisa de campo, neste estudo de caso, estará restrita a um processo produtivo de um componente, havendo a realização da caracterização do produto e do correspondente processo produtivo. Subseqüentemente é realizada a análise deste sob a ótica do Design Sustentável e da Produção Enxuta, com o auxílio de check-lists e aplicação de software MPESS - para comparação da realidade ao cenário proposto, realizando a análise de sustentabilidade do produto/sistema objeto do estudo. O aumento da validação externa da análise foi obtido através de entrevistas aos especialistas das áreas do conhecimento abordadas de estudo

1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O **Capítulo 1** apresenta o problema da pesquisa e a hipótese associada, as principais justificativas para a realização da dissertação, o método de pesquisa e a análise adotada e as limitações para o desenvolvimento desta investigação.

O **Capítulo 2** é a revisão bibliográfica dos conceitos de perdas em sistemas produtivos de com as teorias de produção enxuta e do design sustentável e as abordagens utilizadas por estas teorias para sua minimização nos sistemas produtivos.

O **Capítulo 3** descreve a estratégia de pesquisa adotada para a análise do problema proposto, as fases a serem realizadas para a realização desta investigação.

O **Capítulo 4** caracteriza o processo e o produto que serão objeto de análise, este capítulo caracteriza todo o processo de fabricação / produto e apresenta os resultados da análise. A caracterização do processo e do produto é a forma de subsidiar com informações coletadas no campo a análise a ser realizada pelos especialistas sobre os princípios de redução de perdas da teoria de produção enxuta e do design sustentável aplicáveis no caso estudado.

O **Capítulo 5** trata das conclusões da pesquisa no que tange o problema, objetivo e hipótese. São também apresentadas considerações sobre o método de pesquisa adotado e, também, sugestões para trabalhos futuros.

2 PERDAS

2.1 INTRODUÇÃO

2.1.1 Contexto

A organização que a indústria automotiva está promovendo atualmente focaliza a minimização de inventário de peças e o fluxo do processo. Ao mesmo tempo, ela objetiva reter a flexibilidade necessária para atender as demandas de um mercado consumidor em constante mudança. A abordagem referida como teoria de Produção Enxuta está tendo considerável impacto para alcance deste objetivo no setor (KOCHAN, 1998, p. 132).

O sistema de Produção Enxuta, foi desenvolvido e promovido pela Toyota Motor Corporation e começou a ser adotado por muitas indústrias japonesas como consequência da crise do petróleo em 1973. O principal propósito do sistema é eliminar, através da melhoria das atividades, os vários tipos de “perdas” que estão ocultos em uma empresa (MONDEN, 1998, p.01).

Ao mesmo tempo, observa-se uma busca por práticas de produção mais eficientes percebe-se também uma clara busca por melhor desempenho em outras dimensões do negócio. Crescentes pressões legislativas e consciência do consumidor para opção por produtos ambientalmente eficientes, por exemplo, estão motivando o mundo dos negócios a procurar pelo Design Sustentável de produtos como uma oportunidade de melhorar seus produtos e processos (JONES *et al*, 2001, p. 27).

De acordo com Santos (1999), a busca por sistemas mais sustentáveis insere-se em um contexto onde empresas operando em ambientes competitivos estão constantemente experimentando novas idéias para fazer frente a um ambiente de negócios cada vez mais complexo. Estas empresas se conscientizaram que o desenvolvimento de novas habilidades é um fator essencial para garantia de sua sobrevivência. A constante mudança do foco da gestão

nestas últimas décadas demonstra a busca por novos conhecimentos para lidar com este ambiente cada vez mais complexo. A Figura 2.1 ilustra esta mudança de ênfase que é parte de um processo contínuo e cumulativo de aprendizado, afetando o que é conhecido e praticado no campo da gestão da produção.

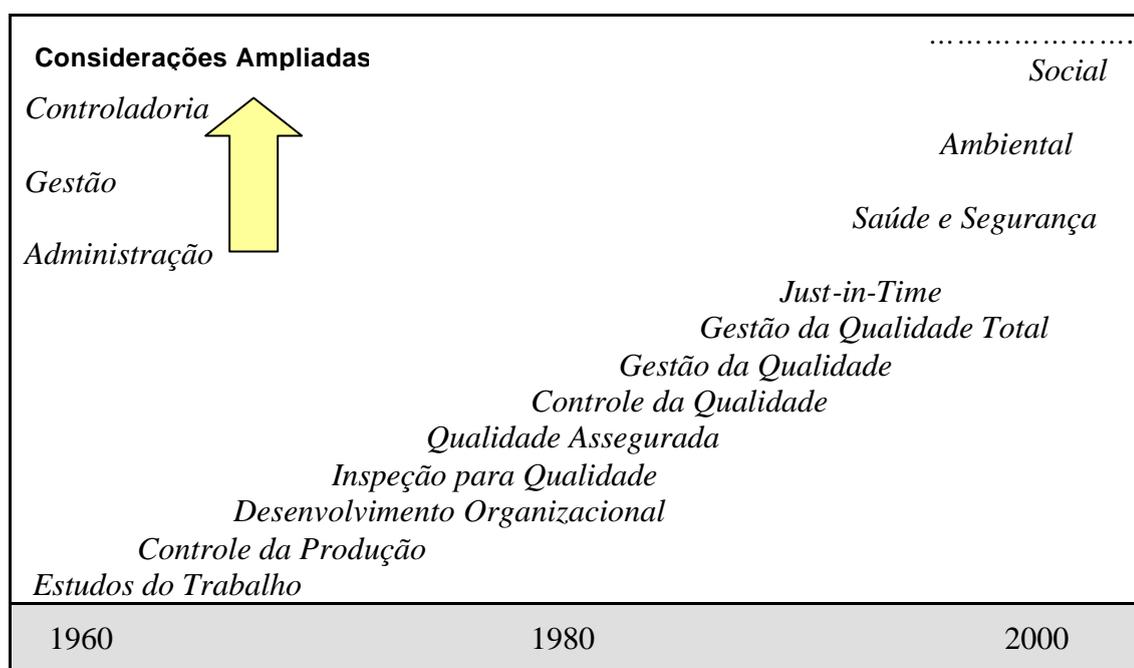


Figura 2. 1 – Mudança do foco da gestão através do tempo Fonte: SOJHOLT, 1998 Apud SANTOS, 1999

De fato, de uma visão estreita de “estudo de trabalho” houve uma evolução gradual do foco dos assuntos envolvendo toda a organização, por exemplo, a Gestão da Qualidade Total, e agora para assuntos ainda mais amplos ainda como as relações da empresa com o ambiente externo, por exemplo, a Gestão Ambiental (SANTOS, 1999). Portanto, entre estas novas e ampliadas considerações a serem analisadas pela gestão das empresas, torna-se importante compreender a natureza e os diferentes conceitos direcionados ao termo denominado “perda” dado sua direta implicação com a questão ambiental.

Monden (1998) estabelece que apesar da redução de custos ser o objetivo mais importante do sistema, este precisa primeiro alcançar, entre outras metas, o respeito pela humanidade. Este respeito precisa ser cultivado enquanto o sistema utiliza de recursos humanos para atingir

seus objetivos. Esta meta relacionada à dimensão social do design sustentável reforça a necessidade de aproximação da teoria de produção enxuta com a teoria do Design Sustentável.

2.1.2 Perdas e as novas abordagens para sua redução

O termo “perda” é descrito no dicionário Novo Aurélio (1999) de língua portuguesa como: “a privação de alguma coisa que se possuía; destruição, ruína, aniquilamento; ato ou fato de deixar de ganhar; decréscimo, diminuição”. Este termo tem outras definições alternativas dependendo da visão de cada uma das funções da organização. Na função de marketing, por exemplo, o termo “perda” relaciona-se diretamente com o decréscimo da participação de mercado dos produtos da empresa; para a função de finanças “perdas” estão diretamente relacionadas ao fato de deixar de se ganhar o devido retorno do capital empregado no negócio.

Estas definições, têm sua variação de acordo com a abordagem de cada função da organização, nos limitaremos ao escopo desta pesquisa cujo objeto está na função produção da organização. O termo “perda” tem outro sentido na teoria de Produção Enxuta e ainda um sentido distinto para a teoria do Design Sustentável, conforme poderemos ver a seguir.

Nesta diversidade de sentidos para o termo perda, torna-se especialmente importante adotar novas visões para tentar reduzir a ocorrência de perdas em sistemas de produção. Há uma necessidade de aproximar design e produção sendo que o tema “manufaturabilidade” tem sido o mecanismo mais comumente utilizado para esta aproximação, nesta dissertação o foco é a redução de perdas de maneira mais ampla, tanto sob a ótica de eficiência da produção como sob a ótica da sustentabilidade. Esta necessidade de aproximação entre desenvolvimento de produto e as demais fases do seu ciclo de vida também é evidenciada pela teoria da Engenharia Simultânea.

De acordo com Taft e Barclay (1991) e Otsson (2004), a pesquisa e o desenvolvimento têm sido mantidos isolados das operações de produção, a engenharia simultânea, aplicação prática simultânea de todas as habilidades, processos, procedimentos e atividades relacionadas ao desenvolvimento de um novo processo de produto, por exemplo, a EAC – Engenharia Auxiliada por Computação, a Gestão de Qualidade Total, a Análise de Modos e Efeitos de Falha, o design para fabricação e montagem. De maneira mais abrangente atualmente filosofias de produção como o “*Just In Time*” vem induzindo o aumento da interação entre as competências de gestão da produção e projeto de produtos.

Esta interação entre as competências de gestão de produção e projeto de produtos pode auxiliar no desenvolvimento de novas direções e modelos conceituais para lidar com as novas tendências dos ambientes de negócios. Observa-se o aumento da pressão sobre as empresas para redução do tempo de desenvolvimento de novos produtos com ciclos de vidas mais curtos para o mercado e queda significativa do investimento em desenvolvimento de novos produtos e manutenção da eficiência obtida com este processo. Portanto, com a participação de habilidades e funções de todo o ciclo de vida do produto pode funcionar comprimindo o tempo e os recursos agora necessários no desenvolvimento de novos produtos (TAFT e BARCLAY, 1991 e OTTSON, 2004).

Esta convergência de princípios teóricos das teorias do Design Sustentável, Produção Enxuta, Engenharia Simultânea, entre outras, objetivam contribuir para a redução de recursos empregados no ciclo de vida dos produtos.

Os referenciais das teorias apresentadas reforçam a validade de se integrar princípios para o tratamento adequado e redução eficaz de perdas nos sistemas produtivos. Portanto a investigação científica do trabalho aqui apresentado contribui para um campo relevante do

conhecimento na moderna ciência. Na próxima seção, serão apresentados o conceito de perdas e os princípios empregados pela Produção Enxuta para este problema.

2.2 PERDAS SOB A ÓTICA DA TEORIA DE PRODUÇÃO ENXUTA

2.2.1 Contexto

Produção Enxuta ou Pensamento Enxuto têm sua origem na filosofia de se obter melhorias, principalmente sob o aspecto econômico, com foco especial na redução de “*Muda*”. A Produção Enxuta usa menos de tudo, quando comparada com a filosofia de Produção em Massa – menos esforço humano na fábrica, menos espaço de manufatura, menos investimentos em ferramentas, menos horas de engenharia para desenvolver um produto. Esta filosofia de produção também requer manter menor quantidade de inventários na planta, resultando em menor quantidade de defeitos, produzindo uma maior e sempre crescente variedade de produtos (DAHLGAARD; DAHLGAARD, 2001).

Philips (2000) define que a Produção Enxuta direciona esforços para a eliminação das “perdas” em todas as áreas da produção incluindo relações com clientes, design de produto, redes de suprimentos e gestão de produção. Seu objetivo é incorporar menos esforço humano, menos inventário, menos tempo no desenvolvimento de produtos e menos espaço para se tornar altamente sensível às demandas dos clientes enquanto fabrica produtos de alta qualidade da forma mais eficiente e econômica possível.

O sistema de Produção Enxuta ou sistema Toyota de produção, promovem o melhoramento contínuo deste fluxo de matérias, através da redução contínua das perdas de materiais (inventário) e perdas por atividades que não agregam valor ao sistema (MONDEN, 1998, p.01).

Vários termos têm sido usados para denominar o conjunto de ferramentas desenvolvidas para aumentar a competitividade dos negócios através da eliminação sistemática de perdas de

todos os tipos, na teoria da Produção Enxuta identificamos três áreas de práticas associadas a este conjunto de ferramentas, sendo elas: entregas “*Just in Time*”, Gestão da Qualidade Total, Manutenção Preventiva Total – TPM e Gestão de Recursos Humanos, entre outras teorias e filosofias de gestão (BONAVIA e MARIN, 2006).

O sistema Toyota de Produção é viável para a manufatura de produtos porque usa ferramentas efetivas de produzir lucros. Para atingir este propósito, o objetivo primário deste sistema é a redução de custos, ou a melhoria da produtividade. A redução de custos e o aumento de produtividade são alcançados através da eliminação das várias perdas no sistema (MONDEN, 1998, p.01).

Na próxima seção, serão definidos os conceitos da teoria de Produção Enxuta que se referem à identificação e eliminação de perdas.

2.2.2 A Definição de Perdas sob a Ótica da Produção Enxuta.

No ambiente da produção, o termo “perda” tem um sentido mais restrito e é ligado diretamente à eficiência dos fluxos de processo (materiais e informação) e fluxos de operações (pessoas e máquinas) (KOSKELA, 1999, p. 244).

No contexto interno de uma manufatura existem três tipos de operações que podem ser categorizadas: as que não-adicionam valor, as necessárias ao processo que não-adicionam valor e as que adicionam valor. A primeira categoria é constituída de pura “perda” e envolvem operações desnecessárias que precisam ser eliminadas. O termo “perda” pode ser definido como qualquer coisa além da quantia mínima de recursos que são absolutamente necessários à adição de valor ao produto, (RAWABDEH, 2005, p. 801).

Koskela (1999, p. 244) cita o modelo de produção como fluxo constituído de quatro estágios: processamento, inspeção, espera e transporte/movimentação. Destes, somente a atividade de

processamento gera valor para o produto, os demais não. A teoria de Produção Enxuta indica que devemos tornar a atividade geradora de valor mais eficiente e tentar eliminar as demais atividades envolvidas no fluxo de produção. Desta forma, inspeção, espera e movimentação, representam “perdas” na produção.

O sistema de Produção Enxuta estabelece controles para integrar uma pluralidade complexa de segmentos produtivos em um fluxo de produção único e sincronizado (FORZA, 1996, p.43). Neste fluxo de produção único e sincronizado, existem atividades e materiais que não agregam valor ao produto final. Desta forma, pode-se concluir que “perda”, na abordagem da teoria de produção enxuta, são todas as atividades e materiais dentro do fluxo de produção que não geram valor para o consumidor (WOMACK; JONES, 1996, p. 05).

Shingo (1992) e Kwang *et al* (1999, p. 304) dividem as “perdas” no ambiente da produção, em sete categorias:

- **Superprodução:** este tipo de perda resulta na produção à frente (antecipação) de itens programados. O número de itens produzidos é aumentado em favor da utilização eficiente da capacidade de produção;
- **Inventário:** produtos finais, produtos semi-elaborados, materiais, peças e outros recursos mantidos em estoque sem gerar valor e consumindo recursos para manutenção;
- **Retrabalhos / refugos:** retrabalhos interrompem a produção e requerem gastos adicionais para correções. No caso de não ser possíveis ações de correção, o processo gera então refugos, ou pode danificar equipamentos, ou gerar reclamações de clientes finais;

- **Movimentação:** qualquer deslocamento não relacionado ao processo gerador de valor;
- **Transporte:** mover materiais ou produtos não gera valor, o transporte deve ser realizado com eficácia no sentido da cadeia de valor;
- **Processamento:** esta perda é gerada no uso de tecnologia inadequada ou design deficiente, resultando em atividades de processamento que resultam em produtos defeituosos ou baixa eficiência de produção;
- **Espera:** surge quando o sistema de produção e os recursos disponíveis não geram valor devido à: programas de produção desbalanceados, falta de materiais, indisponibilidade de máquinas e uso ineficaz da mão-de-obra.

Ao pensar sobre a eliminação total do desperdício, devemos ter em mente os seguintes pontos: o aumento da eficiência só faz sentido quando está associado à redução de custos; ao observar a eficiência de cada operador e de cada linha, a eficiência deve ser melhorada em cada estágio e, ao mesmo tempo, na fábrica como um “todo” (OHNO, 1997, p.38).

Outros tipos de perdas também podem ocorrer nos sistemas de produção enxutos tais como: perdas por vandalismo, por extravios ou por roubos. Estas perdas têm sido citadas por autores contemporâneos juntamente com as sete perdas definidas acima.

Todos os tipos de perda são interdependentes e cada uma delas tem uma influência sobre as outras; e simultaneamente é influenciada pelas demais. Por exemplo, superprodução é considerada a mais séria perda por dar origem a outros tipos de perdas. A superprodução leva a manufatura a mudar a quantidade de força de trabalho empregada, ao mesmo tempo torna a padronização mais difícil, o que leva a problemas de qualidade e perdas de competências.

Discutir as relações entre as perdas é complexo por causa de influência que cada tipo de perda sobre as demais, pois esta influência pode ser direta ou indireta (RAWABDEH, 2005). A figura 2.2 apresentada a seguir, demonstra as relações de influência que podem ser estabelecidas entre as perdas mais comuns em sistemas de produção enxuta.

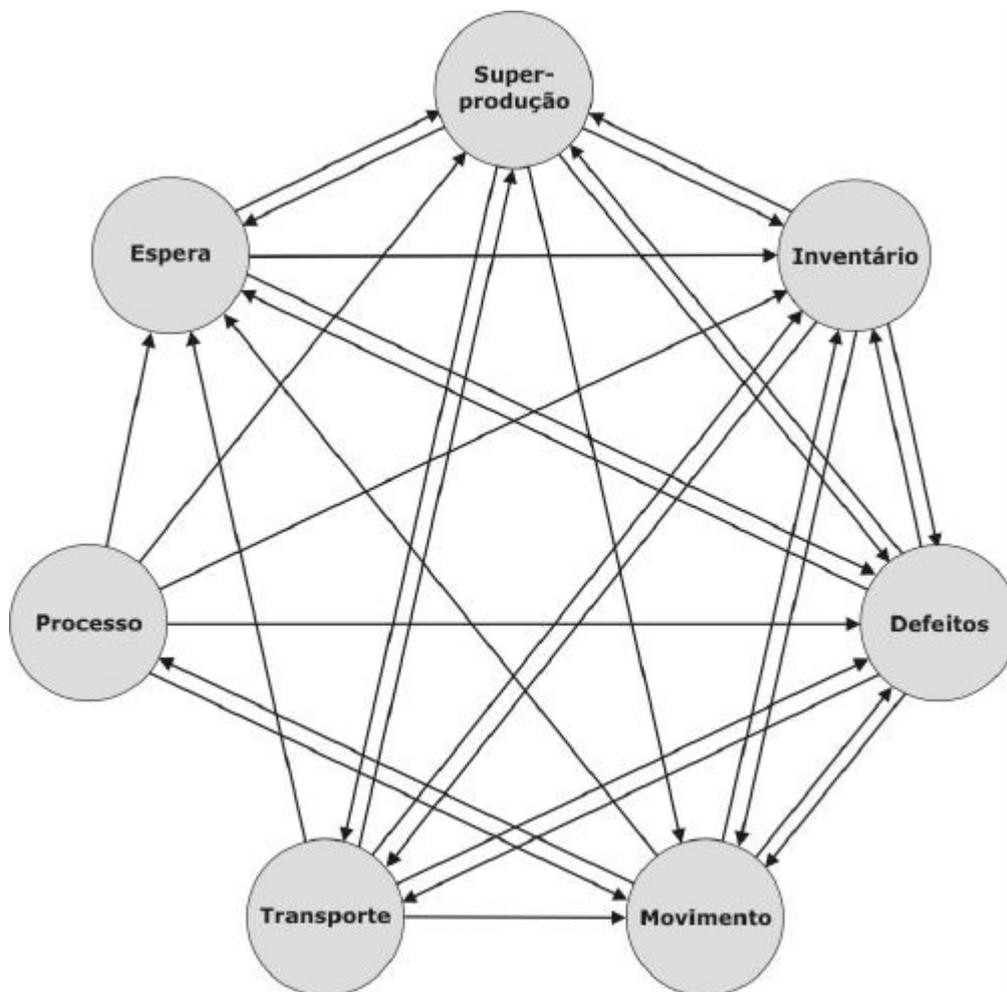


Figura 2.2 – Relação entre tipos mais comuns de perdas em sistemas de produção enxuta (Adaptado de: Rawabdeh, 2005).

Abaixo na próxima seção, serão apresentadas as principais abordagens da teoria da produção enxuta que se referem à identificação e eliminação de perdas.

2.2.3 Princípios para Redução de Perdas sob a Ótica da Produção Enxuta

O padrão de trabalho da produção enxuta para redução de perdas, contém três elementos interconectados que juntos levam ao processo de melhoria contínua (*Kaizen*). O primeiro elemento engloba o ciclo de investigação, são ferramentas práticas (*Ishikawa*, Diagrama de Pareto, etc) para examinar que ações necessitam serem tomadas e identificar quais são as restrições do fluxo de produção e como estas podem ser superadas para melhoria da performance (LIM *et al*, 1999, pp. 304-309).

O segundo elemento é o ciclo do método define as atividades-chaves que são necessárias de forma a levar a empresa para uma performance enxuta, o ciclo do método é baseado em componentes-chaves (JIT, operações e processos padronizados, fluxo de manufatura, 5S, etc) para eliminação de perdas e geração de melhorias (LIM *et al*, 1999, pp. 304-309).

O terceiro ciclo é o ciclo de implementação, para cada atividade e ações específicas é necessário que a empresa e os colaboradores tenham como implementá-las sistematicamente, por exemplo, através do uso do ciclo de PDCA (*Plan, Do, Check, Action*). Os três ciclos atuando conjuntamente agem como direcionadores para a melhoria contínua (*Kaizen*) do processo produtivo na teoria de produção enxuta (LIM *et al*, 1999, pp. 304-309).

A produção enxuta tem como objetivo a eliminação de perdas em todas as áreas do processo produtivo. A teoria de produção enxuta tem princípios específicos para eliminação dos sete tipos de perdas (PHILLIPS, 2000, p. 23).

- a) Superprodução – este é o resultado de se produzir para demanda especulativa, que pode ser evitado com a aplicação dos princípios abaixo:

a.1) Produção “puxada”, de acordo com Rawabdeh (2005), é um princípio de produção segundo o qual, um produto só pode ter sua fabricação iniciada se houver um correspondente pedido de um cliente por este produto;

a.2) Redução de capacidade de armazenagem, os inventários são uma das principais fontes de ineficiência nos sistemas produtivos, os estoques não agregam valor ao processo produtivo e devem ser eliminados sempre que possível, através da redução de paradas de máquinas, tempos de *set-up*, tamanhos de lotes de produção e o uso de componentes comuns para produzir diferentes produtos reduzindo estoques e tempos de ciclo entre etapas do sistema produtivo, Sánchez e Pérez (2001);

a.3) Balanceamento de atividades de produção, segundo o sistema produtivo deve se adaptar ajustando a quantidade de trabalho direto, de materiais e possuir equipamentos flexíveis para diminuir os custos de produção (KATAYAMA e BENETT, 1996);

b) Inventário - é o material entre operações devido à grandes lotes de produção ou processos com longos tempos de ciclo.

b.2) Redução do tamanho de lote, a produção enxuta é desenvolvida para produção de pequenos lotes, utilizando um conjunto de práticas que facilitam a produção de pequenas quantidades com reduzidos “buffers” e um processo de retroalimentação de informação correspondente ágil quando ocorrem problemas nesta produção (Rothenberg, Pil *et al*, 2001). Uma das metas da redução do tamanho lote é proporcionar o “fluxo de peça única”. De acordo com BHASIN e BURCHER (2005), fluxo de peça única, é onde o fluxo de produtos é realizado um produto por

vez através das várias operações no desenvolvimento, tomada de pedidos e produção, sem interrupções, retrabalhos ou sucatas;

b.3) Redução do trabalho em progresso, Rawabdeh (2005) define este princípio impede que itens sejam produzidos de acordo com a capacidade do sistema ignorando a real necessidade de produção que é o pedido de um cliente;

b.4) Sincronicidade da produção: este princípio busca sincronizar as diferentes operações de produção de acordo com o fluxo do material, do processo e a necessidade dos estágios subseqüentes da produção (Kwang, Pervaiz *et al*, 1999);

b.5) Redução de tempo de “Set-up”: técnicas e procedimentos com o objetivo de reduzir o intervalo de tempo de preparação entre a produção de dois lotes de produtos diferentes, SÁNCHEZ e PÉREZ (2001);

c) Movimentação e Transporte: deve-se minimizar ou eliminar esta atividade;

c.1) Minimização de distâncias: é vital agrupar o mais próximo possível, particularmente através de melhorias no layout e organização de processos de produção e postos de trabalho. Todos os equipamentos e instalações necessários para produção de um produto (ou grupo relacionado de produtos), de forma a se reduzir transportes e tempo de processamento (BHASIN e BURCHER, 2005);

c.2) Mudar a ordem do processo: (vide abordagens para redução de tempo de ciclo, etc). O objetivo com estas ações é a obtenção de um fluxo enxuto do processo (BHASIN e BURCHER (2005));

c.3) Melhoria da ergonomia na realização das atividades de produção, de acordo com Muffato (1999), é a ênfase na melhoria das condições físicas, avaliadas pela

qualidade de vida no trabalho, para auxiliar o trabalhador a realizar as tarefas no ambiente de produção enxuta;

c.4) Gerenciamento visual de processo, sistema de informações rápidas, podendo-se utilizar código de cores, de forma a reduzir a desorganização e a ineficiência de ambientes de produção (BHASIN e BURCHER, 2005);

d) Processamento: perdas de processamento devem ser minimizadas perguntando-se por que cada estágio específico do processo é necessário e por que o produto é produzido.

d.1) Melhoria do design do produto: problemas de manufaturabilidade ou mesmo defeitos de fabricação podem ter como origem o projeto do produto ou a tecnologia de processamento. Desta forma, as técnicas de análise e engenharia de valor assim como as técnicas de análise e solução de problemas são pertinentes à redução deste tipo de perda. Segundo Dahlgaard & Dahlgaard (2001) até mesmo a capacidade do processo pode ser melhorada através do re-design de materiais, processos e produtos.

e) Espera – o princípio é maximizar a utilização/eficiência do trabalhador. Além das práticas/princípio de redução de perdas, mencionados anteriormente, segue alguns dos empregados na redução desta perda em particular.

e.1) Operadores multifuncionais, para atingir as várias habilidades e a performance desejada pela teoria de produção enxuta os trabalhadores são treinados continuamente e realizam rotatividade de funções dentro do time. Isto é particularmente importante devido as responsabilidades assumidas por estes trabalhadores no processo de produção enxuta, segundo Rothenberg, Pil *et al* (2001).

e.2) Troca rápida de ferramentas, BHASIN e BUCHER (2005) definem como a redução do tempo de ciclo e melhoria do fluxo necessário para eliminar os atrasos no tempo de troca de ferramentas;

f) Perdas por defeitos – Prevenir a ocorrência de defeitos é melhor que buscar e reparar defeitos no processo.

f.1) Princípio de “zero defeito”: envolvimento do sistema de produção através das pessoas e máquinas de forma a identificar falhas e impedir que estes defeitos se movam para o próximo estágio do sistema de produção (Sánchez e Pérez, 2001);

f.2) TPM – Manutenção Total Preventiva, regimes de manutenção de máquinas periódicos que visam aumentar a confiabilidade, consistência e capacidade de máquinas no processo produtivo (BHASIN e BURCHER, 2005);

f.3) Relacionamento cliente-fornecedor internos: Dahlgaard e Dahlgaard (2001) conceituam este princípio como as relações de fornecimento de produtos em que as diversas etapas do processo trabalham integradas no interesse de reduzir perdas do sistema de produção;

f.4) Padronização, este princípio define que padrões devem ser estabelecidos de forma a se evitar a falta de entendimento das capacidades do sistema, o aumento de defeitos e o aumento do tempo para procura, manufatura e movimentação de produtos, Rawabdeh (2005);

f.5) Melhoría Contínua, Kaizen, este princípio focaliza a busca contínua de pequenas melhorias no sistema produtivo (IMAI, 1998 e RAWABDEH,2005).

Estes princípios de redução e tratamento de perdas, que se referem à teoria de produção enxuta, evidenciam a possibilidade de inclusão de ferramentas do design, especialmente da teoria do design sustentável para o mapeamento da cadeia de valor de um produto/serviço, reduzindo de forma mais eficiente as perdas geradas em sistemas de produção. A seguir serão discutidas algumas peculiaridades da teoria de Produção Enxuta.

2.2.4 Discussão

O primeiro fator de complexidade na análise de qualquer sistema de produção enxuto é o fato de que as práticas de produção enxuta não são adotadas de maneira uniforme por todas as empresas, variando a amplitude e intensidade de sua aplicação. Conforme já observado por Soriano-Meier e Forrester (2001), as implicações da teoria de produção enxuta no processo de desenvolvimento de produtos variam muito de empresa para empresa, pois as empresas podem adotar com diferentes amplitudes e intensidades os princípios deste sistema.

Outra característica observada por Hines; Holweg e Rich (2004), é que o ponto crítico no pensamento enxuto é o foco no valor, entretanto frequentemente a criação de valor é vista como igual à redução de custos. Para adquirir valor para o cliente, o produto deve ganhar novas características e serviços e/ou remover atividades supérfluas.

Não é somente o fato da existência de um fluxo “*Just in Time*” de produtos que influencia na geração de valor. A geração do valor está sujeita a numerosos fatores, como a estrutura do mercado onde a empresa atua, regulamentação, ambiente político e sociedade, entre outros, têm influência na forma e no momento de se realizar valor na cadeia de produção. A própria caracterização do sistema de produção enxuta é complexa, pois se nenhuma melhoria técnica é excluída, então a definição do que constitui o processo de produção enxuta se torna extremamente difícil.

As simplificações das descrições “reais” influenciadas pela própria Toyota, podem sugerir que o sistema de produção enxuta não é facilmente imitado. A evidência desta declaração pode ser encontrada no trabalho original do “*TMVP – International Motor Vehicle Program*”. Embora o estudo encoraje o observador a desconstruir o sistema como descrito, focando em atributos aparentes como os cartões “*kanban*” ou quadros “*Andon*” os autores também minimizam o impacto de 30 anos de “tentativa e erro”. Esta ênfase mostra que toda análise de sistemas deve levar em consideração o histórico específico e o contexto deste sistema, onde cruciais influências formativas do sistema permanecem escondidas da vista como a cultura da organização (LEWIS, M. A., 2000).

Conforme já apresentado, Soljhot (1998), Santos (1999) e Cooney (2002) o modelo de produção enxuta favorece a ênfase somente na adição de valor na tomada de decisões sobre os tipos de práticas de manufaturas que serão adotadas pela empresa. A adição de valor não é o único fator a ser considerado no processo de tomada de decisão necessário às empresas.

2.3 PERDAS SOB A ÓTICA DO DESIGN SUSTENTÁVEL

2.3.1 Contexto

O conceito de desenvolvimento sustentável foi introduzido no debate internacional pelo documento da *World Commission for Environment and Development* – “*Our Common Future*”. Documento base da Conferência Eco-92 organizado pela UNCED – *United Nations Conference on Environment and Development*, no Rio de Janeiro em 1992 (VEZZOLI e MANZINI, 2002, p. 27). O desenvolvimento sustentável é o conjunto de condições sistêmicas segundo as quais, as atividades humanas não interferem nos ciclos naturais em que se baseia a capacidade do planeta de voltar ao seu estado natural e de não empobrecer o conjunto de recursos não-renováveis e as capacidades sistêmicas de reproduzir os recursos renováveis.

Para se obter este desenvolvimento sustentável a análise do ciclo de vida do produto tem sido de grande utilidade, semelhante aos organismos vivos, produtos têm igualmente um ciclo de vida: eles são produzidos com dispêndio de matérias-primas, transportados para as lojas, comprados e usados pelos consumidores, e eventualmente jogados fora. A cada fase em seu ciclo de vida, produtos interagem com o meio-ambiente, com a economia e com os sistemas sociais. Em uma economia de ciclo de vida, decisões são tomadas com base em todos os estágios do ciclo de vida. Nesta economia, consumidores irão escolher produtos entre diferentes marcas, após considerar os impactos ambientais destes produtos, suas conseqüências sociais e seu preço UNEP (2002).

Na análise do “ciclo de vida” é considerado o produto desde a extração das matérias-primas para a produção dos materiais que irão formar o produto (nascimento) até a disposição final (morte) desses materiais, após o uso do produto. Estes processos vêm agrupados nas

seguintes fases, que esquematizam o ciclo de vida de um produto. (VEZZOLI; MANZINI, 2002, p.91).

- Pré-produção;
- Produção;
- Distribuição;
- Uso;
- Descarte.

O ciclo de vida do produto deve ser idealizado de forma a gerar o mínimo impacto possível, com o objetivo de se reaproveitar todo conteúdo material e de energia empregados durante este ciclo. Todos os sistemas complexos, onde existe um nível de energia aplicada, podem ser fracionados em níveis inferiores de complexidade de sistema, mesmo se o resultado inicial aparentar caótico. Vários níveis de materiais podem se então recombinaados em novos objetos que servem a novas funções. (COHEN-ROSENTHAL, E.; HUISINGH, D., et al, 2004, p.1114).

A análise do ciclo de vida de produtos tem permitido um melhor desenvolvimento de produtos. O processo de desenvolvimento de produtos deve identificar e até mesmo antecipar as necessidades do mercado e propor soluções, por meio de projetos de produtos e serviços relacionados, que atendam a tais necessidades (ROZENFELD; FORCELLINI; CAPALDO; et al, 2006). Uma das grandes demandas do mercado se relaciona aos aspectos ambientais do produto.

Rothenberg et al (2005) enfatiza que no passado, as pressões ambientais sobre a indústria automobilística surgiam majoritariamente de órgãos governamentais. Os cidadãos

interessados em se proteger dos tipos de poluição visível (mortandade de peixes nos rios, fumaça escura, etc) pressionavam os governos. Cumprimento da legislação aplicável era considerado como “boa” performance ambiental. Nos últimos anos os tipos e a complexidade das preocupações ambientais têm aumentado.

Para melhoria da performance ambiental, o design sustentável trata a questão das perdas sob a ótica de todo o ciclo de vida, incluindo a fase de produção. Sob sua ótica, o objetivo é reduzir ao mínimo possível o *input* de materiais e de energia, o impacto de todas as emissões e dos descartes finais, isto é, os “*outputs*” do sistema-produto inteiro. Se um produto dura mais que outro, de um lado reduz a geração de descartes e, de outro, evita indiretamente o consumo de novos recursos para a produção e distribuição de produtos destinados a substituir aqueles de vida mais breve, (VEZZOLI; MANZINI, 2002, p.100).

Portanto, pode-se concluir que perdas dentro da ótica do Design Sustentável são os excessos de entradas de matérias e/ou energia, que não se convertem em resultados desejáveis, ou ainda a obtenção de saídas indesejáveis (resíduos) dentro dos vários processos que ocorrem no ciclo de vida do produto. Podemos afirmar que o conceito de “perdas” na teoria do Design Sustentável está diretamente relacionado aos seis “pólos” ambientais, que intentam representar todos fatores ambientais significativos ao processo de tomada de decisão nos negócios (eco-compass): intensidade de matéria, redução de riscos à saúde e ao ambiente, intensidade da energia utilizada, re-uso e revalorização dos resíduos, conservação de recursos e extensão do serviço ou função de produtos (FUSSLER; JAMES, 1996; *Apud* JONES *et al*, 2001, p. 33).

Desenvolvimento de produtos sustentáveis, tem sido definido como o equilíbrio de fatores econômicos, ambientais, éticos e sociais no design e desenvolvimento de produtos. O desenvolvimento de produtos sustentáveis abrange várias abordagens (eco-design,

ferramentas de análise do ciclo de vida – LCA e eco-inovações). A dimensão ambiental do design sustentável tem por objetivo reduzir o impacto ambiental dos produtos durante seu ciclo de vida: da extração das matérias-primas, através do processo de produção, embalagem e transporte, fase de uso do produto, e finalmente a destinação ao fim da vida do produto (JONES *et al*, 2001, p. 27-28).

O ideal de um eco-sistema é funcionar somente com fontes de energia renováveis, energia solar, por exemplo, e ter seu fluxo de materiais totalmente fechado, sem gerar resíduos para a natureza (KORHONEN *et al*, 2003, p. 164). Os impactos ambientais ocorrem em todos os estágios do ciclo de vida de um produto. Tipos diferentes de produtos têm impactos nos diferentes estágios do ciclo de vida. Entretanto, não importa onde no ciclo de vida do produto o impacto está, o maior impacto está “embutido” no produto no estágio do design, do desenvolvimento dos produtos, estágio em que os materiais empregados são selecionados e a performance é largamente determinada (LEWIS *et al*, 2001, p.13).

Neste contexto, para Cohen-Rosenthal & Huisingh, *et al*. (2004), entre os objetivos do Design Sustentável está o de reintroduzir materiais e energia do uso produtivo para o reuso com o mínimo dispêndio de energia e a menor perda de material no processo. Isto acontece de forma natural nos sistemas da natureza; nos sistemas humanos necessitamos aplicar nossa inteligência para buscar a combinação de produtos e processos que permitam estes fluxos de matéria e energia com maior eco-eficiência possível.

Através dos princípios e ferramentas do Design Sustentável é possível atuar de forma positiva e produtiva nos ciclos de construção e desconstrução dos materiais, ao mesmo tempo ligando os fluxos de energia que são transferidos de uma área para outra. Nós podemos olhar várias abordagens que levantam questões primárias sobre o que estamos fazendo. Exemplo de tal ênfase é a busca por soluções de projeto que elegantemente conectem e contenham o uso de

recursos, e disponham de melhor gerenciamento dos processos envolvidos no desenvolvimento de novos produtos (COHEN-ROSENTHAL & HUISINGH, *et al* , 2004).

Todos os produtos sejam eles refrigeradores, embalagens de bebidas, cadeiras de escritório ou telefones, contribuem com uma variedade de problemas ambientais. Estes problemas surgem desde a criação do produto, uso e descarte do mesmo – eles estão relacionados ao ciclo completo de vida e seus impactos ambientais. Impactos ambientais são amplamente determinados pela maneira com que os produtos são projetados e produzidos – o material com que são feitos, a duração de sua vida útil, a natureza do seu uso, a forma como é desenvolvido para ser reciclado, etc (CENTRE FOR DESIGN at RMIT, 1999).

O *CENTRE FOR DESIGN at RMIT* (1999), estabelece que qualquer produto desenvolvido através de um processo de “*ecoredesign*” é uma resposta às novas condições de mercado; e o sucesso de todo o trabalho irá se submeter ao mercado. Não importa o quão inteligente é o novo produto, o quão atrativo ou funcional ele pode ser ou o quanto se reduzem em impactos ambientais, suas novas características terão que ser expostas ao mercado. Esta é a dimensão econômica do Design Sustentável, a qual tem que ser harmonizada com a dimensão social e ambiental.

Para considerar todas as dimensões do Design Sustentável de forma concômitante o designer deve considerar toda a abordagem do ciclo de vida, tomar conhecimento dos atores envolvidos e disposição para tratar aspectos não-quantificáveis. Isto conduz o designer a considerar questões relativas à seleção dos materiais para o processamento primário e fontes para os aspectos relacionados ao fim da vida dos produtos, como reuso, reciclagem e desmontagem (MATERIALS & DESIGN, 2004, p. 569).

Nesta nova abordagem, abre-se a possibilidade de inovação estratégica com a mudança no foco do negócio do desenvolvimento e da venda de produtos para a venda de um sistema “produtos+serviços” que articulados são capazes de suprir demandas específicas dos clientes (UNEP, 2002).

Na busca pela sustentabilidade do processo, fica evidente a importância da teoria do design sustentável para a correta abordagem no tratamento de “perdas” em sistemas produtivos, conforme veremos a seguir.

2.3.2 A Definição de Perdas sob a Ótica do Design Sustentável

O maior interesse da ecologia industrial é atualmente facilmente explicável, o objetivo é, no mínimo, gerar o menor dano nos sistemas industrial e ecológico através da otimização da circulação de matérias e energias. Busca-se obter o maior valor de uso, com menor dissipação de formas de recursos, (COHEN-ROSENTHAL; HUISINGH, 2004).

Korhonen (2004) conceitua um eco-sistema industrial sustentável como aquele capaz de seguir o modelo da natureza, ou seja, um sistema no qual a sustentabilidade é mantida no uso de matéria e energias renováveis e recursos não-renováveis não são empregados. O eco-sistema industrial não extrai nutrientes vitais do ecossistema, de uma forma que possa colocar em risco a capacidade reprodutiva ou a biodiversidade (variedade de espécies presentes no ecossistema) e libera de volta nutrientes vitais de volta para o ciclo do ecossistema em um estado não prejudicial, que assegura a capacidade do ecossistema em processar as emissões de CO₂ liberadas pela atividade industrial e a capacidade dos ativos naturais em proporcionar fluxos de combustíveis para a produção de energia.

Destes conceitos podemos compreender que, “perdas” dentro da visão da teoria enxuta, se relacionam com estratégias de utilização e conceituação de serviços e produtos que não

respeitam a necessidade básica de gerar o menor dano possível ao meio-ambiente, conforme vemos na próxima seção.

2.3.3 Princípios para Redução de Perdas sob a Ótica do Design Sustentável

Existem duas abordagens principais para o gerenciamento das perdas dentro da teoria do Design Sustentável. Ambas, a “hierarquia de gerenciamento das perdas” e o “gerenciamento integrado das perdas”, são abordagens que têm por objetivo minimizar a produção de perdas. No entanto, estas abordagens têm procedimentos muito diferentes (UNEP, 2002).

O “gerenciamento integrado de perdas” tem por objetivo o gerenciamento das perdas da melhor forma econômica e ambiental e envolve o uso de todos os recursos disponíveis e opções de tratamento nos níveis local e regional para alcançar determinados objetivos, é uma abordagem corretiva muito mais difícil e requer grande número de análises quantitativas (UNEP, 2002).

A “hierarquia de gerenciamento das perdas” representa uma cadeia de prioridades para as opções de gerenciamento de perdas, se estende da idéia de prevenção e redução do uso de materiais até a última disposição dos materiais. A hierarquia mais básica é 1º Redução, 2º Reuso, 3º Recuperação (reciclagem, compostagem, recuperação de conteúdo energético, etc) e 4º Disposição final. A hierarquia de gerenciamento das perdas é principalmente baseada em conceitos e pode ser considerada uma típica abordagem prática; que é desenvolvida para ser aplicada com facilidade (UNEP, 2002, p. 18).

Abaixo são listadas as propostas de Lewis; Gertsakis; Morelli; *et al* (2001) e Cohen-Rosenthal e Huisingh (2004) das abordagens na “Hierarquia de Uso e Reuso de Materiais” para alcançar o objetivo de reduzir a entropia através de maior valor e menores entradas de materiais e energias nas atividades humanas e o meio-ambiente associado:

a) Necessidade/eficiência.

a.1) Uso Adequado, com a escolha de materiais com menor impacto e mais facilmente reutilizáveis;

a.2) Eco-eficiência, eficiência com que o produto ou serviço reduz seus impactos ambientais;

a.3) Organização / “*Housekeeping*”, organização dos sistemas envolvidos no ciclo de vida dos produtos de forma a facilitar a seleção e reutilização dos materiais empregados;

a.4) Chaveamento de energias, a liberação de energias causadas pelas mudanças no estado químico ou composição dos materiais têm impacto no meio-ambiente, a “cascata de energias” é a máquina dinâmica do mundo natural. Todos os sistemas de energia usados pela humanidade são possíveis de se captar, alterar e usar a energia liberada;

b) Extensão de Uso.

b.1) “*Autogenesis*”: desenvolver “estruturas inteligentes” adaptativas ao seu ambiente. “Estruturas inteligentes” são aquelas que monitoram a si mesmas e/ou seu ambiente para responder às mudanças em suas condições. Atualmente as “estruturas inteligentes” têm seguido duas abordagens distintas: diminuir a necessidade total de materiais através de padrões superiores de performance;

b.2) Reuso, produtos reutilizáveis têm menor impacto que produtos descartáveis;

b.3) Reparo / Manutenção, desenvolver produtos em que não seja necessário o descarte de todo o item. Apesar do risco de se prolongar o uso de objetos com baixa eficiência

energética, esta proposta associada a outras abordagens ainda auxilia na redução do impacto ambiental;

b.4) Remanufatura, o conceito desta abordagem é dar ao produto uma “segunda vida” com toda a funcionalidade e valor para o usuário final;

c) Desconstruir / separar.

c.1) Demanufatura: desmantelamento em escala industrial de produtos para reutilização de seus componentes;

c.2) Desmontagem; desenvolver produtos prevendo o reuso de seus componentes facilitando as operações de demanufatura;

c.3) Reciclagem: especialmente reciclagem industrial “*in-process*”, as operações de reciclagem são intensivas em uso de energia e imperfeitas, portanto não podem ser totalmente compensadas. A viabilidade de um processo de reciclagem é dependente de duas variáveis: agregação e transporte. Prioritariamente, requer habilidade para economicamente coletar quantidade suficiente de um material ou substância particular com dispêndio de energia em transporte e outros custos associados, menores que as outras alternativas de descarte;

d) Retorno aos componentes básicos.

d.1) Componentes são qualquer substância compostas de moléculas idênticas consistindo em átomos de um ou mais elementos, os materiais mais comuns são misturas de diferentes componentes químicos. Componentes puros podem ser obtidos deles usualmente por métodos físicos. Materiais podem ser “quebrados” em seus componentes originais ou transformados em novos componentes através de mudanças químicas;

d.2) Reações químicas/ Nanoquímica: formas de rearranjo a nível molecular e atômico, a nascente habilidade de microgerenciar e entender átomos individualmente e mesmo estruturas maiores que se tornam os materiais que normalmente usamos;

e) Utilização de Resíduos

e.1) Mineração de aterros, mesmo com o melhor dos esforços, alguns materiais terão que ser segregados em aterros e lixões, esta abordagem diminui o dano ambiental do fluxo de resíduos principal, a taxa de exaustão dos recursos minerados e o dano de exploração de recursos virgens;

e.2) Conversão de energia: recuperação do conteúdo energético dos descartes através de processos de combustão entre outros. Um dos problemas potenciais com esta abordagem é a incineração de materiais que teriam maior valor em estágios anteriores da hierarquia;

e.3) Controle de Poluição e Resíduos: o meio-ambiente pode absorver certa quantidade de resíduos e exibir adaptabilidade para encontrar novos padrões para acomodar e limpar materiais liberados no sistema. Entretanto o problema é que, na maioria dos casos, estamos perigosamente sobrecarregando esta capacidade.

No Design Sustentável podem ser adotadas estratégias específicas para redução de perdas, segundo Lewis, Gertsakis *et al* (2001, p.86) é importante se tomar medidas pró-ativas para prevenir que produtos entrem no fluxo de geração de perdas e/ou resíduos, preferencialmente promovendo a extensão da vida do produto antes de se considerar outros arranjos para prevenção de perdas.

De maneira mais específica Vezzoli e Manzini (2001) definem as seguintes estratégias para redução de perdas na fase de produção:

a) Indicações para minimizar o conteúdo material de um produto.

a.1) Desmaterializar o produto ou algumas de suas partes;

a.2) Digitalizar o produto ou algumas de suas partes;

a.3) Miniaturizar;

a.4) Evitar dimensionamentos excessivos;

a.5) Minimizar os valores das espessuras dos componentes;

a.6) Usar nervuras para enrijecer as estruturas;

a.7) Evitar componentes ou partes que não sejam estritamente funcionais.

b) Indicações para minimizar perdas e refugos.

b.1) Escolher processos produtivos que minimizem o consumo de materiais;

b.2) Adotar sistemas de simulação para otimização dos parâmetros dos processos de transformação.

c) Indicações para minimizar a energia necessária para a produção do produto.

c.1) Escolher processos produtivos com menor consumo energético;

c.2) Utilizar instrumentos e aparelhagens produtivas eficientes;

c.3) Utilizar calor disperso por algum processo produtivo, para o pré-aquecimento de alguns fluxos de determinados processos;

c.4) Utilizar sistemas de regulação flexível da velocidade dos elementos de funcionamento de bombas e outros motores;

c.5) Utilizar sistemas de interruptores inteligentes das aparelhagens;

c.6) Dimensionar motores de maneira otimizada;

c.7) Facilitar a manutenção dos motores;

c.8) Definir cuidadosamente limites e tolerâncias;

c.9) Otimizar os volumes de compra dos lotes (estoques);

c.10) Otimizar os sistemas de controle de estoque (inventário);

c.11) Otimizar sistemas e minimizar pesos de todas as formas de transferências de materiais e componentes semi-elaborados;

c.12) Utilizar sistemas eficientes de aquecimento (rescaldo), aeração e iluminação das edificações.

d) Indicações para reduzir o consumo no desenvolvimento de produtos.

d.1) Minimizar o consumo de materiais como papéis e embalagens;

d.2) Usar instrumentos informáticos para o projeto, modelagem e prototipia;

d.3) Usar instrumentos informáticos para o arquivamento, comunicação escrita e apresentações;

d.4) Usar sistemas eficientes de aquecimento, ventilação e iluminação no local de trabalho;

d.5) Usar instrumentos de telecomunicações para atividades à distância.

Com os princípios apresentados acima temos uma visão do potencial de emprego de estratégias de melhoria da sustentabilidade ambiental em processos produtivos. A seguir serão discutidos alguns aspectos da teoria do Design Sustentável.

2.3.4 Discussão

Os princípios de sustentabilidade se contrapõem à visão hoje estabelecida na indústria do enfoque exclusivo na dimensão econômica, relegando a um segundo plano as dimensões social e ambiental no processo de tomada de decisões. Quando entendido sob o ponto de vista econômico, o conceito de sustentabilidade se confunde com a margem de contribuição financeira proporcionada pela operação possibilitando a sua continuidade ao longo do tempo. Porém a sustentabilidade, como é entendida atualmente, está relacionada também com aspectos sociais e ambientais desta operação. Estes aspectos parecem incompatíveis com as prioridades e as normas convencionais de negócios.

O potencial demonstrado em algumas experiências com estes novos princípios de sustentabilidade, que em seus diversos aspectos, pode trazer resultados financeiros tornando maior o potencial de aplicação destes princípios na medida que consideramos não só formas de integração com sistemas de manufatura existentes, mas também considerar como objetos funcionais podem ser desenvolvidos e produzidos de forma a ter um maior grau de sustentabilidade.

O Design Sustentável surge neste contexto para responder ao dilema observado por Gutowski (2004), o dilema central de longo-prazo para sistemas de manufatura é: “Como obter crescimento econômico enquanto se protege o meio-ambiente?”. Este conflito é fundamental e está enraizado em parte nos processos de conversão de materiais, que tiram da natureza e entregam aos clientes, aos acionistas e demais parceiros que se sustentam do negócio; e em parte no “consumismo” que focaliza somente as necessidades imediatas sem considerar o futuro.

Finalmente, de maneira similar às conclusões de MDJ (2004), desenvolvimento sustentável pode ser descrito como um facilitador das necessidades e aspirações da sociedade global em um padrão econômico que tenha real responsabilidade sobre os impactos associados das suas atividades no meio-ambiente.

2.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Apesar do foco nas necessidades do cliente, o sistema de produção enxuta não sintoniza influências de fatores políticos, ambientais e sociais na adoção das práticas de manufatura. A necessidade de pesquisas para verificar como sistemas enxutos podem ser utilizados em “ambientes verdes”, onde a performance ambiental é relevante.

O objetivo do modelo Enxuto de produção é obter sistemas de produção enxutos com pequena ou nenhuma perda, portanto identificar e eliminar fontes de desperdícios que são uma preocupação constante no uso deste paradigma nas atividades diárias (SANTOS, 1999).

O modelo de Produção Enxuta precisa experimentar novas formas de buscar maior equilíbrio nas compensações (*trade-offs*) entre a eliminação de perdas e a melhoria da sustentabilidade.

Este objetivo de redução de perdas pode também ser percebido na caracterização de sistemas eco-industriais proposta por Korhonen; Okkonen et al (2004), em um sistema eco-industrial idealizado. Neste ambiente, empresas e organizações utilizam fluxos de materiais e energias umas das outras (incluindo resíduos) para diminuir a necessidade de materiais e energias virgens e a emissão de resíduos do sistema como um todo.

Os princípios de redução e tratamento de perdas da teoria de Produção Enxuta já não são mais suficientes para apresentar respostas adequadas à demanda por melhoria da performance de sustentabilidade de sistemas produtivos. É necessário o experimento de novos princípios de redução e tratamento de perdas em sistemas produtivos, os princípios empregados pela teoria do Design Sustentável podem responder a esta demanda de forma complementar, contribuindo para a obtenção de resultados ainda mais eficazes do que tão somente a aplicação da Produção Enxuta.

3 MÉTODO.

3.1 ESCOLHA DO MÉTODO DE PESQUISA

Para a seleção do método de pesquisa utilizou os critérios de Yin, (2001). A seleção de um determinado método de pesquisa, segundo este autor, deve considerar três aspectos: tipo de questão de pesquisa proposta, extensão do controle que o pesquisador exerce sobre os eventos comportamentais e grau de enfoque em acontecimentos históricos ou contemporâneos, conforme ilustra a Tabela 1, a seguir.

Estratégia	Forma da Questão de Pesquisa	Exige controle sobre eventos comportamentais?	Focaliza acontecimentos contemporâneos?
experimento	como, por que	sim	sim
levantamento	quem, o que, onde, quantos, quanto	não	sim
análise de arquivos	quem, o que, onde, quantos, quanto	não	sim / não
pesquisa histórica	como, porque	não	não
estudo de caso	como, porque	não	sim

Tabela 1 Situações relevantes para diferentes estratégias de pesquisa Fonte: COSMOS CORPORATION APUD YIN, 2001.

O problema da dissertação é do tipo “como” (como integrar os princípios relacionados às perdas, oriundos da Produção Enxuta e do Design Sustentável, em sistemas de produção no setor automotivo?), não há controle sobre os eventos dado que ocorrem no mundo real e o enfoque é justamente em situações contemporâneas. Neste sentido, foi selecionado o método estudo de caso para esta pesquisa, associado à revisão bibliográfica.

3.2 CRITÉRIO DE SELEÇÃO DA EMPRESA, DO PRODUTO E DO PROCESSO OBJETOS DO ESTUDO

O critério estipulado para seleção da empresa, conforme proposto no capítulo 1, é que a empresa deve atuar no ramo automotivo e adotar a filosofia de produção enxuta.

Para realização do estudo, estabeleceu-se que o objeto da análise deveria ser uma célula de produção que produzisse um produto claramente identificável como tal, e que todas as etapas envolvidas na fabricação deste produto se localizassem no espaço físico da célula de produção a ser estudada.

3.3 VISÃO GERAL DA ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Segundo Yin (2001) e Robson (1993), um estudo de caso é uma estratégia para se executar pesquisas que envolvam uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo particular do contexto da vida real utilizando-se múltiplas fontes de evidência. A estratégia de desenvolvimento da pesquisa é ilustrada na Figura 3.1.

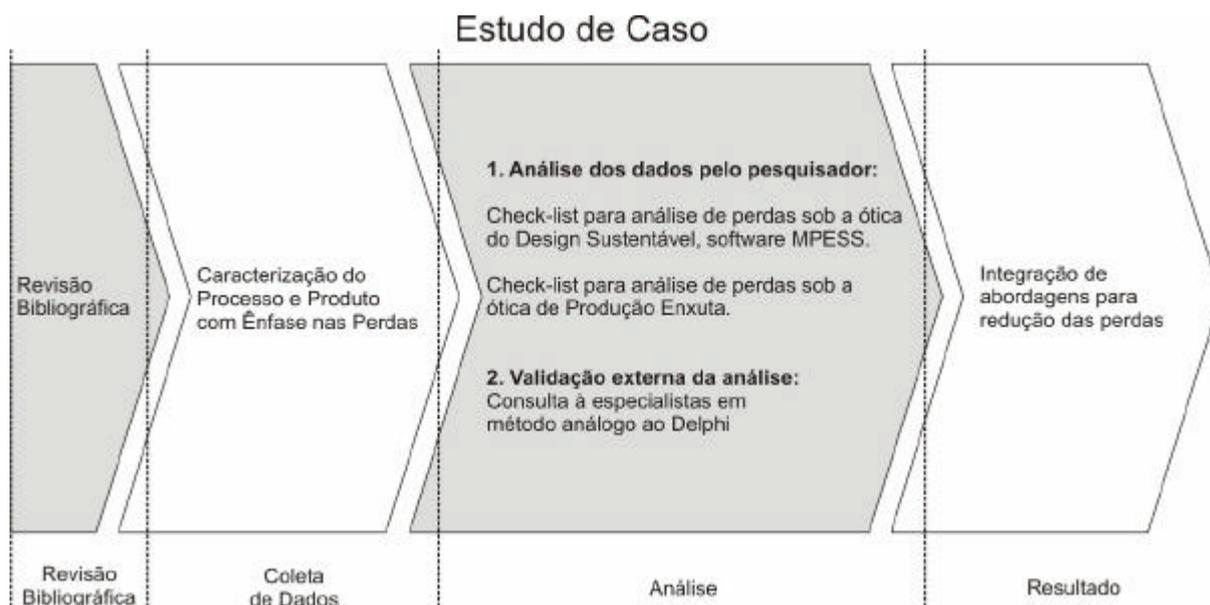


Figura 3.1 – Estratégia de Desenvolvimento da Pesquisa

Inicialmente foi realizada revisão bibliográfica abrangendo as várias disciplinas necessárias para o entendimento da teoria de produção enxuta e a teoria do design sustentável com abordagem de conceitos e soluções aplicadas para redução de perdas no processo produtivo.

Após esta revisão, foram elaborados relatórios de caracterização do produto e do processo produtivo, objetos deste estudo. Os relatórios de caracterização reuniram todas as informações que puderam ser geradas dos dados coletados em campo, conforme protocolo de coleta de dados apresentado na seção subsequente, de forma a relatar aos especialistas na fase final do processo de análise as características do produto e do processo no que tange a redução das perdas.

A análise foi realizada em duas etapas sendo que a primeira consistiu da comparação das observações em campo com as proposições teóricas apresentadas no capítulo 2 e, também, a utilização do check-list proposto por Santos e Tanure (2005). No referido check-list constam as abordagens para aplicação das estratégias da teoria do design sustentável, incluindo a abordagens relacionadas à extensão de vida de materiais, maior facilidade desmontagem, minimização de recursos, escolha de recursos de baixo impacto e otimização da vida do produto. Da mesma forma, nesta etapa de análise foram utilizados check-lists montados de acordo com as práticas de produção enxuta apresentados em Bonavia e Marin (2006) e a relação entre os tipos de perdas da produção enxuta apresentados por Rawabdeh (2005).

Na segunda etapa do processo de análise, foi utilizada como ferramenta o software de análise de sustentabilidade ‘SDO Toolkit -’, criado pelo Núcleo de Sustentabilidade do Instituto Politécnico de Milão. O software MPES – SDO é utilizado de forma a se comparar as prioridades estabelecidas para cada uma das abordagens da sustentabilidade (a social-econômica e a ambiental) na proposta de novos sistemas Produtos + Serviços. A Figura 3.2 ilustra o registro do Projeto no sistema do SDO.

Figura 3.2 – Cadastro no SDO do Processo de Fabricação analisado. Fonte: <http://www.mepss-sdo.polimit.it> (2006)

O objetivo desta ferramenta é orientar o processo de desenvolvimento através de soluções Produtos + Serviços, estabelecendo prioridades de sustentabilidade (check-list eletrônico), usando os fundamentos de orientação para o Design Sustentável (tabela de idéias) e verificando e visualizando (através dos diagramas radar específicos) as melhorias em relação a um sistema referência existente e suas prioridades de sustentabilidade (VEZZOLI e PROSERPIO, 2006). Através de um check-list eletrônico o software pode apontar dentro da abordagem que está sendo analisada, no caso deste estudo: a abordagem ambiental, qual a prioridade que está sendo dada para cada uma das dimensões que abrangem a abordagem. Na abordagem ambiental, temos as seguintes dimensões propostas: dimensão de otimização do ciclo de vida do sistema, dimensão de redução de toxicidade, dimensão da conservação/bio-compatibilidade, dimensão de valoração/minimização de perdas, dimensão de redução no transporte/distribuição e a dimensão de redução dos recursos empregados. Para cada uma destas dimensões o software abre uma série de questionamentos que são respondidos pelo

pesquisador no sentido de auxiliar a valoração da prioridade dada para cada uma das dimensões no sistema existente, a mesma dinâmica de questionamentos é realizada para o novo sistema produto + serviço proposto.

Finalmente, na última etapa será realizada a análise do pesquisador sobre a ocorrência de perdas propondo a integração dos princípios de redução de perdas da teoria do Design Sustentável e da Produção Enxuta.

A validação da análise será através das entrevistas realizadas junto aos especialistas que se guiaram pelos mesmos check-lists utilizados na análise feita pelo pesquisador.

3.4 Protocolo de Coleta dos Dados.

Todos os sistemas de mensuração de performance são constituídos de uma variedade de medidas individuais de performance. Existem várias formas nas quais esta performance pode ser categorizada, o destaque racional é que medidas de performance precisam ser posicionadas em um contexto estratégico, visto que estas medidas influenciam o que as pessoas fazem. Mensuração pode ser o “processo de quantificação”, mas isto objetiva estimular a ação, e através da consistências das ações é que a estratégia é realizada. As dimensões-chave da performance de manufatura podem ser definidas em termos de qualidade, velocidade de entrega, confiabilidade de entrega, custos, e flexibilidade (NEELY; GREGORY e PLATTS, 2005, pp. 1231).

De forma a se analisar as perdas no produto e processo estudados, é de fundamental importância coletar dados que sejam representativos da performance do sistema. Estes dados é que irão revelar as possibilidades de melhorias aplicáveis ao produto e processos analisados.

A primeira fase da pesquisa de campo consistiu na coleta de dados para elaboração da caracterização do processo produtivo e do produto sendo produzido.

3.4.1 Caracterização do Produto

Segue abaixo os dados coletados referentes ao produto analisado de forma a subsidiar a análise das perdas presentes no produto objeto do estudo.

- Desenhos das peças envolvidas: coletado através de documentação de engenharia e validado por comparação com dados de sala de medidas.
- Seqüência de Fabricação: coletado em documentos dos procedimentos de manufatura do módulo objeto do estudo e validado através de observação direta das operações realizadas para comprovar as ações descritas no documento, no período amostral de 01 semana, com frequência de observação de 01 hora por turno, distribuídas em 04 amostras aleatórias de coleta com duração de 25 minutos.
- Características dos materiais: dado coletado em documentação de engenharia e validado através de comparação com os relatórios de análise da peça em laboratório.
- Forma e Medidas; dado coletado em desenhos em 3 D Catia e validados através de comparação por amostragem de medidas realizadas em peças coletadas em campo.
- Peso: dados sobre peso de peças coletados de desenhos de engenharia e validados por pesagem amostral de peças realizada em balança eletrônica.

3.4.2 Caracterização do Processo

Segue abaixo os dados coletados referentes ao processo analisado de forma a subsidiar a análise das perdas presentes no processo objeto do estudo.

- Layouts das áreas envolvidas : desenhos de plantas baixas das áreas envolvidas no estudo. Os dados foram validados através de medida com trena de amostras das cotas principais.
- Indicadores de performance do processo: dados coletados em relatórios de produção e validados através de comparação com informações de volume e qualidade auferidos por sistema eletrônico.
- Fluxo do processo: dado coletado de documentos de layout e documentos de análises de engenharia e validados através de observação do pesquisador comparando os dados dos documentos com o processo observado, durante o período amostral de 02 dias, no primeiro e segundos turnos de trabalho com uma frequência de 04 coletas aleatórias de 15 minutos.
- Fluxo do Processo de Fabricação: dado coletado em documentos que descrevem os procedimentos de manufatura da engenharia e validados através de comparação dos documentos com as observações das operações executadas na linha, realizadas sob o mesmo período e a mesma frequência de coleta do item fluxo de processo.
- Refugos: dado coletado através das perdas de peças relatadas no sistema de controle de inventário e validado por contagem de refugos no período de amostra de uma semana.

- Resíduos: dado coletado através da pesagem do material no período de amostra de uma semana e validados por comparação com relatórios de controle de resíduos emitidos pela engenharia ambiental da fábrica.
- Entradas e saídas: a coleta destes dados foi realizada pelo pesquisador durante um período determinado (amostra) de 01 semana e validados através de comparação com a documentação técnica do processo. A análise de entradas e saídas será realizada através da abordagem de unidade de processamento, de acordo com o proposto por Chehebe (1998).
- Inventário de peças nos estoques intermediários (buffers): Contagem diária realizada no fim do turno de trabalho no período amostra de uma semana.
- Dados de consumo de água e energia: dados coletados através de fichas técnicas dos equipamentos e validação feita através de comparação de dados fornecidos pelos concessionários de energia e de água.
- Equipamentos do processo: dado constante nas plantas da área estudada e validado através de levantamento físico realizado no local.
- Levantamento fotográfico das operações e estações de trabalho envolvidas no processo: levantamento foi realizado pelo pesquisador com uma amostra de duas sessões de fotos, ocorridas nos dois primeiros turnos de produção.
- Mapa de Risco: dado coletado junto ao serviço de segurança e medicina no trabalho onde se têm as informações sobre os tipos de riscos aos quais os operadores da área estão expostos, validado através de entrevistas realizadas com uma amostra dos operadores da área.

- Medição de Tempos e Movimentos: dados fornecidos pelo software MTM e validados através de comparação com a cronometragem de 05 operações aleatórias no processo.

Estes dados coletados serviram de base para a análise realizada pelo pesquisador e para a caracterização do produto e processo estudados.

3.5 ANÁLISE

3.5.1 Análise Preliminar Realizada

Conforme descrito na seção de estratégia de desenvolvimento da pesquisa, a avaliação conduzida utilizou o check-list de abordagens para melhoria de sustentabilidade proposto por Santos e Tanure (2005) onde são descritas as principais abordagens para as estratégias de sustentabilidade de produtos e elaborado check-list de abordagens de redução de perdas em sistemas produtivos enxutos adaptado das práticas de produção enxuta propostas por Marin e Bonavia (2006) e a explicação das relações entre as sete perdas características de sistemas produtivos enxutos citadas por Rawabdeh (2005).

Também foi realizada, através da ferramenta de orientação da sustentabilidade do design (SDO) do Instituto Politécnico de Milão – POLIMIT - <http://www.mepss-sdo.polimi.it/mepss/website/mepss.html>, a validação da análise da sustentabilidade ambiental. Onde foram relacionadas as prioridades dadas às dimensões (redução de toxicidade, conservação / biocompatibilidade, valorização/redução de perdas, redução de recursos, redução de transporte / distribuição e otimização da vida do sistema) da sustentabilidade ambiental.

Para orientar quais prioridades estão sendo dadas ao processo analisado o “Sustainability Design Orienting Toolkit” (SDO) emite Check-lists eletrônicos que orientam o pesquisador na análise das prioridades verificadas no processo, através dos dados coletados em campo. A Figura 3.3 ilustra um deste check-lists.

The screenshot displays the 'mepss Sustainability Design-Orienting Tool' interface. On the left, there is a sidebar with navigation options: 'STARTING DATA', 'SUSTAINABILITY DIMENSIONS' (with 'Environmental Sustainability' selected), and 'VIEW:'. The 'VIEW:' section includes 'Descriptions' (Exist. system, Case study, Concept) and 'Radars' (Environ., Soc.Ethical, Economic). The main area is titled 'Caixa de Roda' and contains a checklist for 'Environmental sustainability Existing system analysis'. The checklist items include 'System life optimisation', 'Transportation/distribution reduction', 'Resources reduction', 'Waste minimisation/valorisation', 'Conservation/biocompatibility', and 'Toxic reduction'. Each item has a 'Priority' field with radio buttons for 'ON', 'OL', 'OM', and 'OH'. A 'Check-List' section is also present. On the right, a text box asks 'Are infrastructure with short life-span used in the system?' and provides a space for analysis, with a scrollable text area containing details about infrastructure flexibility, reusable packaging, labor cost, equipment sharing, preventive maintenance, and system updates.

Figura 3.3 – Check - list eletrônico do software SDO para a dimensão de Otimização do Ciclo de Vida do Sistema de Produção Existente. Fonte: <http://www.mepss-sdo.polimit.it> (2006)

Conforme podemos verificar na Figura 3.3, são estabelecidos graus de prioridades para cada uma das dimensões de sustentabilidade ambiental analisadas. Com o auxílio do check-list eletrônico, ao responder cada uma das questões apresentadas no check-list da estratégia tendo como base os dados coletados em campo, podemos estabelecer o grau de prioridade dado para esta dimensão da sustentabilidade ambiental no sistema de produção existente.

Em aspectos onde a prioridade do sistema não auxilia uma melhoria de sustentabilidade ambiental o sistema SDO propõe uma análise orientada para melhoria deste aspecto, conforme está ilustrado na Figura 3.4.

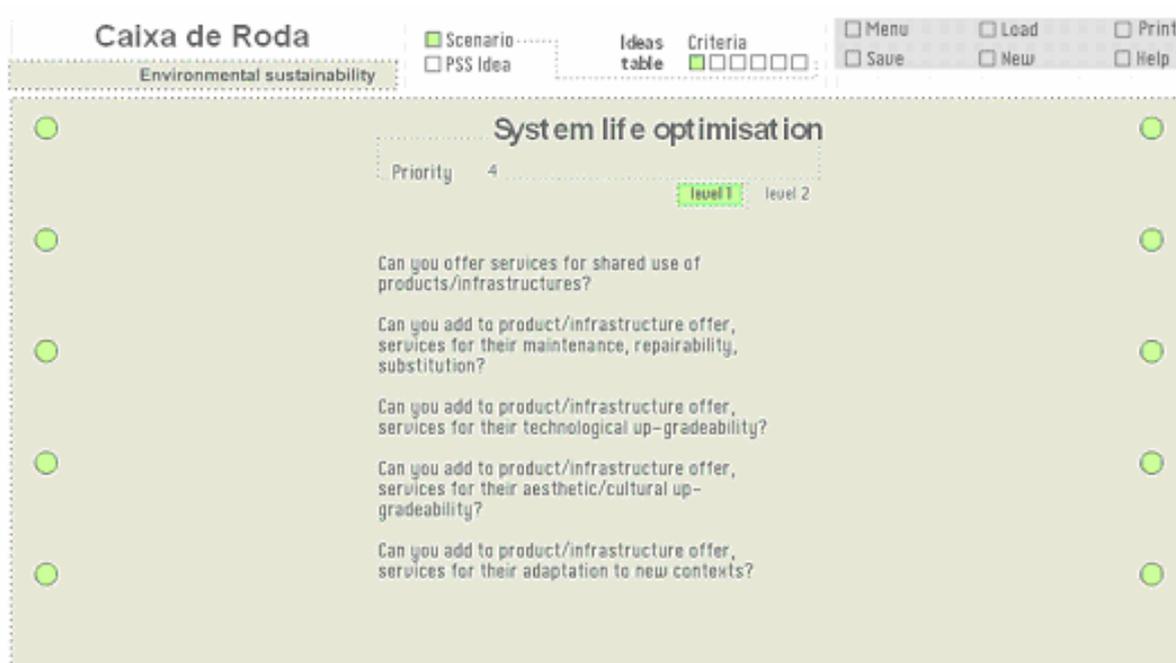


Figura 3.4 – Tabela de idéias eletrônica do software SDO para melhoria da dimensão de Otimização do Ciclo de Vida do Sistema de Produção Existente. Fonte: <http://www.mepss-sdo.polimit.it> (2006)

A tabela de idéias ilustrada pela Figura 3.4 é utilizada para orientar a proposição de soluções que possam dar maior prioridade àquelas dimensões da sustentabilidade ambiental com menor prioridade no processo existente.

Auxiliado pelos questionamentos gerados pelo software é possível se gerar um gráfico na forma de radar, ilustrado pela Figura 3.5. Através deste gráfico podemos analisar que dimensões da sustentabilidade ambiental estão sendo contempladas pelo processo existente (área cinza) e se o modelo que está sendo proposto (área verde) contribui de alguma forma para o realinhamento necessário das prioridades na busca de maior sustentabilidade. Com a análise completa de todas as dimensões ambientais propostas pelo software SDO, é gerado um gráfico do tipo radar onde se verifica a performance da sustentabilidade ambiental no sistema existente e quais as dimensões são reforçadas pelas propostas com a integração ao

modelo de Produção Enxuta existente dos princípios de redução de perdas propostos pelo Design Sustentável.

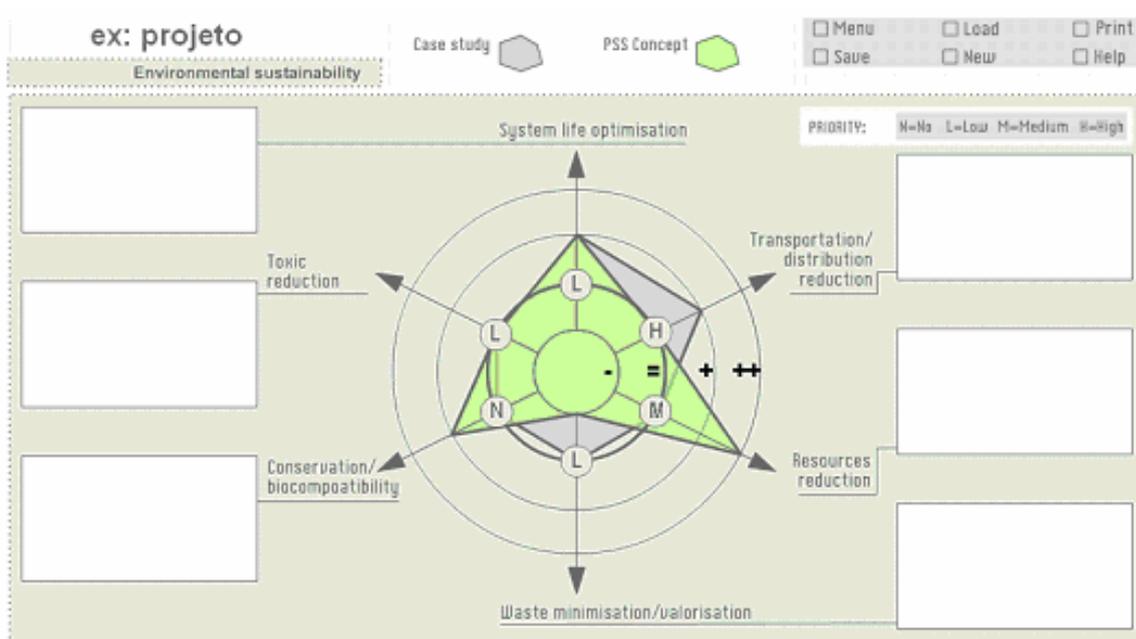


Figura 3.5 – Exemplo de gráfico tipo radar gerado pelo software SDO comparando o Sistema de Produção Existente e o impacto do Proposta nas dimensões da sustentabilidade ambiental. Fonte: <http://www.mepss-sdo.polimit.it> (2006)

No caso analisado, o gráfico resultante da análise será a soma do sistema existente (área cinza) com o sistema proposto (área verde), conforme ilustra o exemplo apresentado na Figura 3.5, uma vez que o que se busca é a integração dos princípios já existentes no sistema de produção de Redução de Perdas empregados na Teoria de Produção Enxuta e agregar-se a estes os princípios da Teoria do Design Sustentável.

3.5.2 Validação da Análise do Pesquisador através de Processo de Consulta à Especialistas

Como parte da pesquisa optou-se por utilizar entrevistas na validação análise dos dados coletados, comprovando-se a hipótese através da análise dos dados por especialistas dos dois campos do conhecimento. Para possibilitar esta análise foram elaborados relatórios referentes ao produto caixa de roda e ao processo de fabricação deste produto. O propósito principal desta análise é responder as seguintes questões:

- **Que perdas podem ser identificadas no processo analisado?**

- **Como poderiam ser reduzidas estas perdas identificadas?**

Foram realizadas entrevistas com pesquisadores. O princípio do método de análise é intuitivo e interativo, como ilustra a figura 3.6 a seguir. Implica na análise da caracterização do processo e do produto realizada por especialistas nas áreas do conhecimento pertinentes ao projeto, que respondem via correspondência eletrônica, a uma série de questões sobre o problema de pesquisa específico que é objeto da análise. (GIUBLIN, 2002).

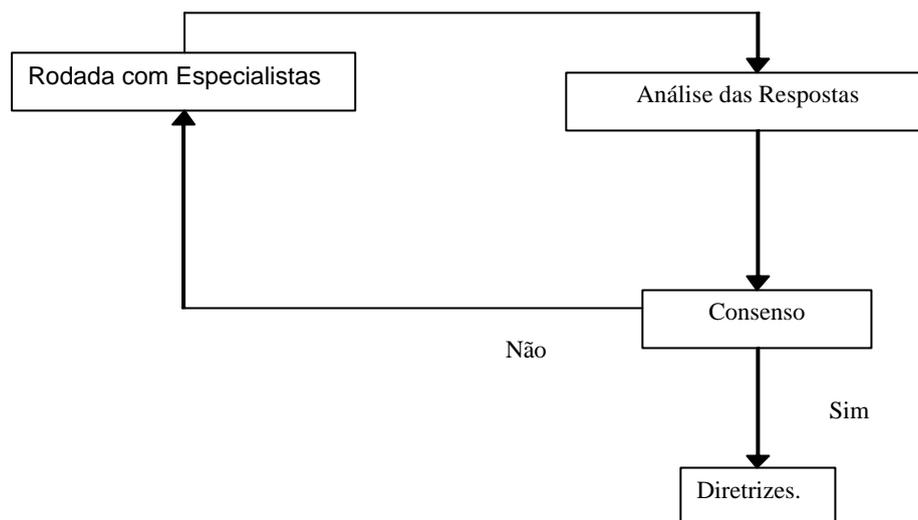


Figura 3.6 – Dinâmica das consultas aos especialistas via correio eletrônico Fonte: GIUBLIN, 2002

A síntese dos resultados das rodadas de questionamentos anteriores é comunicada via correio eletrônico aos especialistas que, após nova análise retornam com suas análises críticas do conteúdo. Em cada etapa podem ser introduzidas novas perguntas como forma de estimular a reflexão dos especialistas. As interações se sucedem desta maneira até que um consenso ou quase consenso, o mais confiável possível, seja atingido. As etapas de perguntas via correio eletrônico foram denominadas de “rodadas”.

A existência de “feedback controlado” é um dos aspectos fundamentais para o sucesso das entrevistas. Neste caso, “feedback controlado” será a regular comunicação aos participantes de resumos das discussões das rodadas precedentes. A interação através de “feedback controlado” reduz o *ruído*, melhor dizendo, o pesquisador fornece ao grupo somente o que se refere aos objetivos e metas de seu estudo, evitando que o painel se desvie dos pontos centrais do problema (GIUBLIN, 2002).

Outro fator importante para a adequada condução de entrevistas é o anonimato entre os participantes. Este é um modo de reduzir a influência de um participante em particular sobre outros participantes, outra vantagem é a possibilidade do especialista rever opiniões ou

defender seu ponto de vista com maior tranquilidade, mesmo que errôneas, sabendo que o seu equívoco não vai ser relacionado a ele pessoalmente.

Devido a impossibilidade de se reunir dois grupos de especialistas das teorias estudadas nesta pesquisa foram realizadas entrevistas com um especialista em Produção Enxuta e um especialista em Design Sustentável. Os critérios de seleção dos especialistas para este estudo são: a) ter título de doutorado e b) atuação na área de design sustentável ou produção enxuta. Na etapa do processo de análise, de forma a avaliar o potencial de integração dos princípios de redução de perdas das teorias do Design Sustentável e da Produção Enxuta, foram realizadas as entrevistas aos especialistas: 01 Doutor na área de pesquisa da Produção Enxuta e 01 Doutor na área de pesquisa de Design Sustentável.

3.5.3 Método Empregado para Análise do Potencial de Integração de Princípios de Redução de Perdas da Teoria de Produção Enxuta e da Teoria de Design Sustentável

Após as análises realizadas, existe a necessidade de apresentar de forma mais objetiva o potencial de cada princípio de redução de perdas, propostos pela teoria de Produção Enxuta e pela teoria do Design Sustentável.

Para melhor demonstrar os resultados obtidos pelas análises realizadas e validadas pelos pesquisadores consultados foi elaborada uma escala de potencial de integração de princípios de redução de perdas com base nas escalas Likert.

Rensis Likert, em 1932, elaborou uma escala para medir esses níveis. As escalas de Likert, ou escalas Somadas, requerem que os entrevistados indiquem seu grau de concordância ou discordância com declarações relativas à atitude que está sendo medida. Atribui-se valores numéricos e/ou sinais às respostas para refletir a força e a direção da reação do entrevistado à declaração. As declarações de concordância devem receber valores positivos ou altos enquanto as declarações das quais discordam devem receber valores negativos ou baixos. A escala Likert é uma escala onde os respondentes são solicitados não só a concordarem ou discordarem das afirmações, mas também a informarem qual o seu grau de concordância/discordância. A cada resposta é atribuído um número que reflete a intensidade da opinião do respondente em relação a cada afirmação. (MATTAR, 1993).

De acordo com este conceito de escala foi proposta a escala onde foi apresentado o grau de potencial de integração entre os princípios de redução de perdas apresentados pelo Design Sustentável e os tipos de perdas relacionados pela Produção enxuta, conforme mostra a Figura 3.7



Figura 3.7 – Escala Likert proposta para análise do potencial de integração dos princípios de redução de perdas.

Conforme ilustra a Figura 3.7, os princípios de redução de perdas do Design Sustentável podem ter um ALTO potencial de integração com algum dos tipos de perdas relacionados pela Produção Enxuta. Entendendo-se que, quando dois princípios têm um ALTO potencial de integração estes princípios não divergem com relação as ações para redução das perdas e o emprego das duas abordagens para redução das perdas no sistema de produção terá uma eficácia maior que o emprego de uma das abordagens individualmente. Na seqüência da escala os graus MÉDIO e BAIXO refletem o grau com que não foram verificadas as condições para integração de princípios apresentados pelas duas teorias estudadas.

Através dos resultados das análises, dos check-lists propostos e das entrevistas foram atribuídos, para cada princípio de redução de perdas, o potencial verificado para o emprego simultâneo de cada um dos princípios de Design Sustentável e de Produção Enxuta, conforme apresenta a Figura 3.8 a seguir.

Estratégias de Minimização de Perdas		Potencial de Integração para Redução de Perdas							
Minimização de Recursos									
Tipos de Perdas na Produção Enxuta	Perdas de Superprodução								
	Perdas de Inventário								
	Perdas por Refugos								
	Perdas de Movimentação								
	Perdas de Transporte								
	Perdas de Processamento								
	Perdas por Defeitos								
	Perdas por Esperas								

Escala:

Alto
 Médio
 Baixo

Figura 3.8 – Exemplo da matriz de análise do potencial de integração dos princípios de redução de perdas das teorias do Design Sustentável e da Produção Enxuta.

A Figura 3.8, apresenta um exemplo de como foram analisados os potenciais de integração de cada princípio de redução de perdas proposto pelo Design Sustentável (Minimização de Recursos) e os tipos de perdas propostos pela Produção Enxuta.

Estas foram as ferramentas utilizadas para a análise e validação do problema proposto por este estudo, na próxima seção iremos iniciar o estudo de caso.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 INTRODUÇÃO

O estudo de caso foi realizado em uma indústria automotiva, em uma célula de produção que atua no estágio de montagem dos módulos estruturais do veículo. A célula de produção selecionada é responsável pelo abastecimento de um módulo de estrutura que alimenta uma linha automática responsável por ligar este módulo ao restante da estrutura do carro. A seleção da empresa, do processo de produção e do produto atendem aos requisitos propostos no critério de seleção, apresentado no capítulo 3.

A pesquisa de campo, neste estudo de caso, estará restrita a um processo produtivo de um componente da estrutura do veículo, foi selecionada a etapa de montagem da estrutura do veículo por possuir operações mais facilmente identificáveis, produzir um produto que pode ser especificado como tal. A seleção também considerou a disponibilidade e acesso aos dados a serem coletados para descrever este processo do modo como o mesmo é realizado atualmente, a partir de dados qualitativos e quantitativos do processo e do produto.

É importante lembrar que a presente investigação proposta para a pesquisa se refere ao tratamento de perdas em sistemas de produção do setor automotivo, buscando uma melhoria através da integração de princípios de tratamento e redução de perdas de duas teorias distintas: a teoria de Produção Enxuta (*Lean Production*) e a teoria do Design Sustentável (*Sustainable Design*).

Neste contexto, o estudo de caso deverá revelar que os princípios de produção enxuta e de design sustentável se apóiam mutuamente e ampliam a eficiência dos resultados no que tange à busca por redução das perdas em sistemas produtivos no setor automotivo.

A seguir, apresentamos o relatório com todos os dados coletados e a análise dos princípios de redução de perdas aplicáveis sobre o produto caixa de roda.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DE PRODUTO

4.2.1 Visão Geral do Produto

O produto caixa de roda dianteira direita é um módulo integrante da estrutura do carro, chamada carroceria, este módulo tem por funções principais:

- Alojjar o conjunto roda e suspensão dianteira direita;
- Componente da estrutura onde é fixado, parcialmente, o motor;
- Como parte da estrutura do veículo, garantir a segurança de seus usuários.

A Figura 4.1, apresentada abaixo ilustra a localização da Caixa de Roda Dianteira Direita na estrutura do veículo.

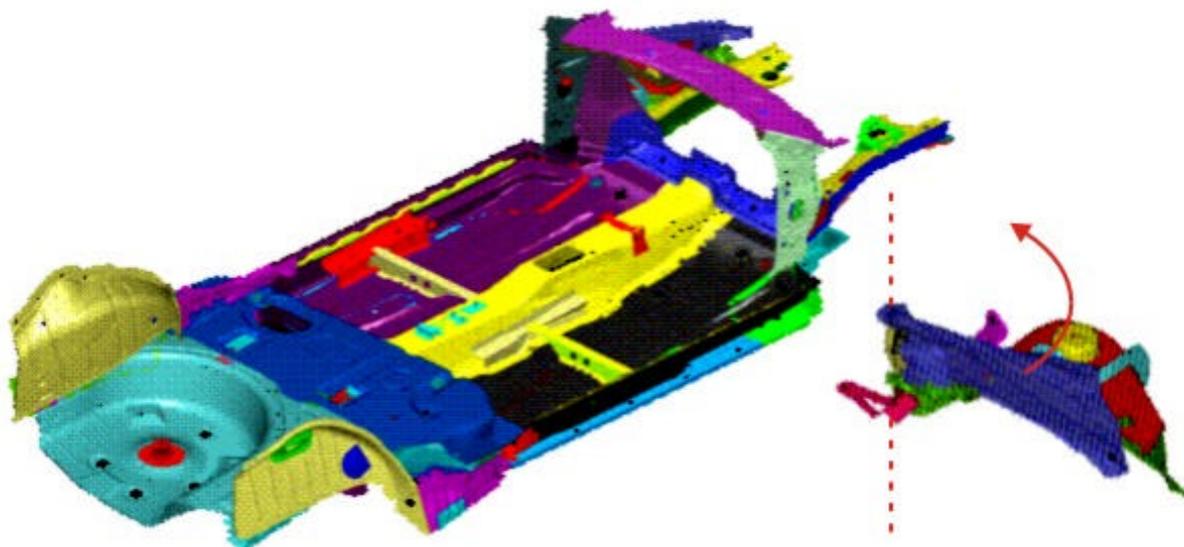


Figura 4.1 – Localização do módulo na estrutura do veículo.

Conforme ilustra a Figura 4.1, o módulo caixa de roda dianteira direita é acoplado à estrutura do carro, desempenhando as funções citadas anteriormente. A seguir iniciamos a caracterização do módulo estudado apresentando os dados referentes ao produto.

4.2.2 Descrição do Módulo Caixa de Roda Dianteira Direita

Inicialmente, conforme ilustra a Figura 4.2, o produto módulo caixa de roda dianteira direita é composto por diferentes peças, representadas pelas diferentes cores na figura, que são agregadas através dos processos de junção de peças metálicas, usando adesivo fenólico e soldagem por pinos Tucker e por resistência (solda ponto), conformadas a frio em processos de estampagem e fornecidas por empresas de autopeças.

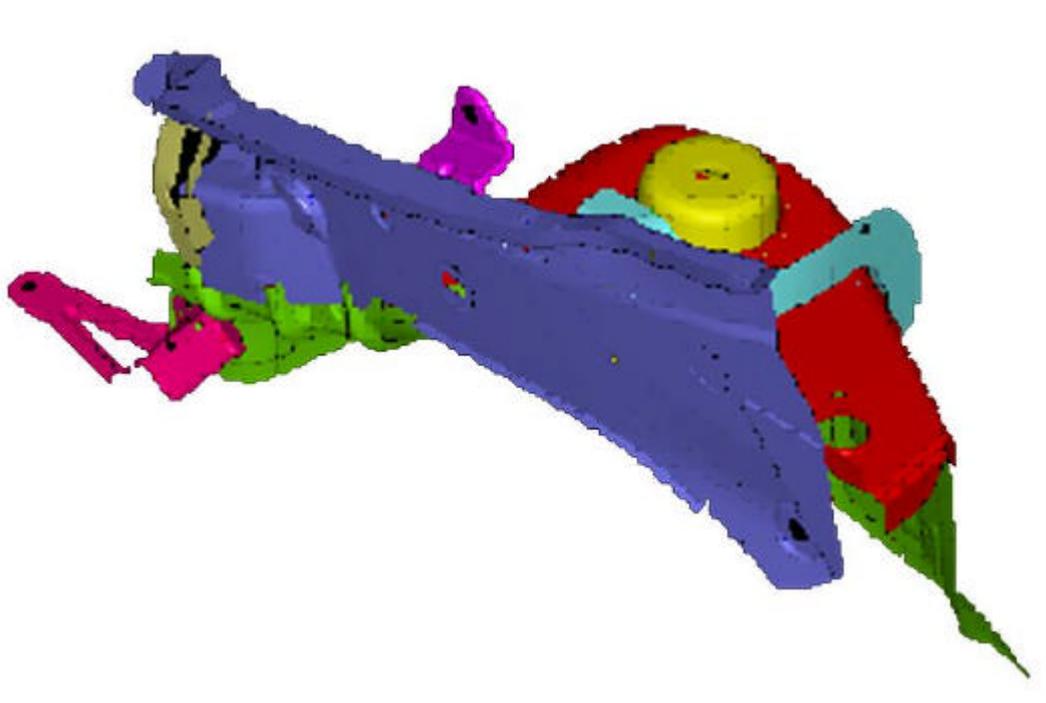


Figura 4.2 – Produto Caixa de Roda Dianteira Direita.

Durante o processo são agregadas as peças de forma seqüencial, formando subconjuntos que se agregam até a formação do módulo produto final desta célula de produção. A Figura 4.3 a seguir ilustra passo-a-passo esta seqüência de fabricação da estrutura do módulo (Procedimento de Manufatura – PDM) desde o processo de formação de subconjuntos até a finalização do módulo.

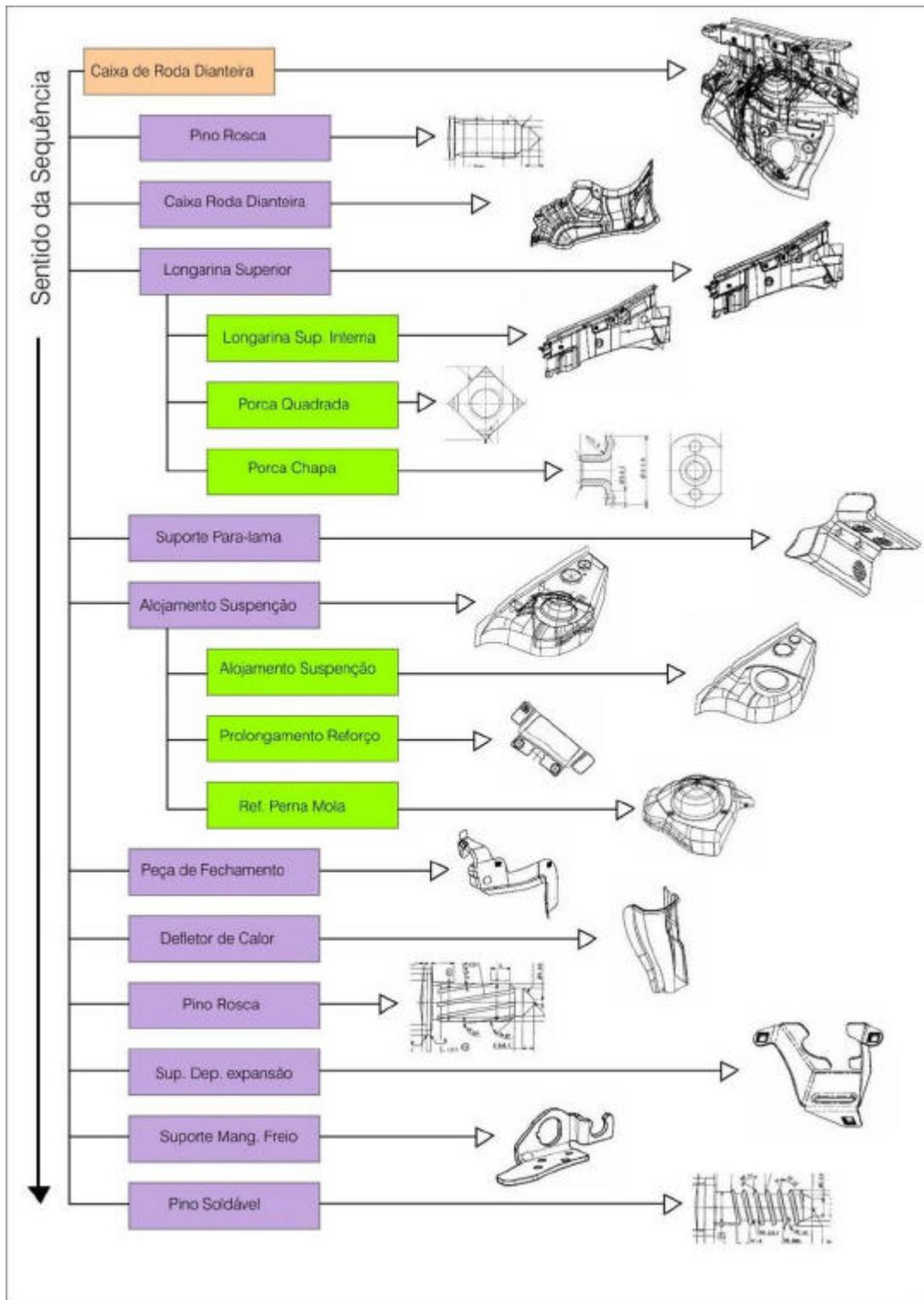


Figura 4.3 – Sequência de Fabricação do Módulo Caixa de Roda.

A seqüência de produção do módulo é materializada pelas operações nas estações de trabalho, conforme apresentado na Figura 4.3 acima, notar que as cores diferentes distinguem os

subconjuntos que vão sendo construídos para se agregarem ao corpo principal do módulo. Características particulares deste módulo são descritas na próxima seção.

4.2.2.1 Características Particulares do Módulo

Por se tratar de peças de estrutura do veículo a função é determinante para a forma e materiais dos componentes. Os mesmos foram desenvolvidos em partes devido à complexidade do módulo e por questões de econômicas para a fabricação do produto. Devido às suas características o módulo não foi desenvolvido para que houvesse eventuais substituições de componentes, em caso de dano o mesmo é substituído completamente.

Após a etapa de Armação do veículo, o módulo sofre tratamento de superfície através de banho de fosfatização para se evitar corrosão e é realizada a pintura (base + primer + verniz) a base d'água. Estes processos tornam mais complexos os procedimentos de reciclagem do módulo após a vida útil do produto.

Também foi realizada, através da ferramenta de orientação da sustentabilidade do design (SDO) do Instituto Politécnico de Milão – POLIMIT - <http://www.mepss-sdo.polimi.it/mepss/website/mepss.html>, a análise na dimensão da sustentabilidade ambiental para o processo atual. Resultando em um diagrama radar de acordo com as prioridades para cada critério acima relacionado, conforme segue:

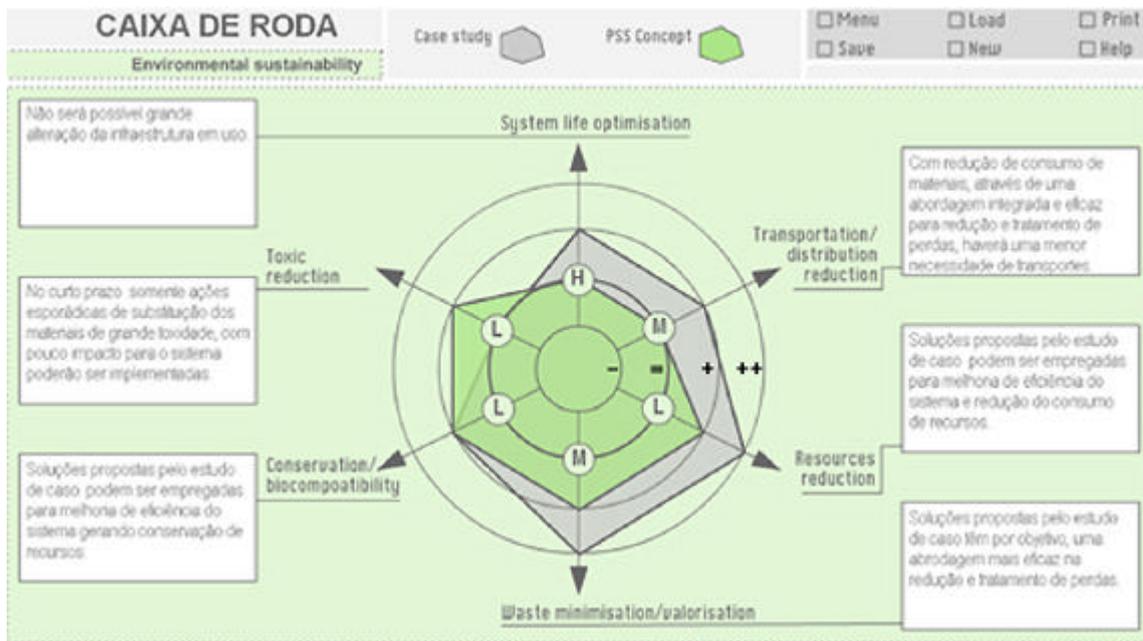


Figura 4.4 – Resultado da análise de sustentabilidade pelo Mepss-sdo

No sistema existente, ilustrado pelos círculos (Low, Medium e High) do gráfico apresentado na Figura 4.4, podemos notar as prioridades existentes para cada um dos critérios das dimensões: de otimização de vida do sistema (alto – H), redução de transportes/distribuição (médio – M), redução de recursos (baixo – L), minimização/valorização de perdas (médio – M), conservação/bio-compatibilidade (baixo- L) e redução de substâncias tóxicas (baixo – L).

Conforme pode ser observado no gráfico da Figura 4.4, o diagrama mostra que o conceito de integração de perdas proposto pode melhorar as prioridades do produto/ processo nos critérios de redução/valorização de perdas, de conservação e bio-compatibilidade e de redução de substâncias tóxicas.

A seguir apresentamos e caracterizamos todos os componentes do módulo caixa de roda dianteira direita.

4.2.3 Descrição dos Componentes Integrantes do Módulo

4.2.3.1 Aspectos Gerais dos Componentes

Os dados referentes as características das peças componentes do módulo foram sumarizados nos quadros apresentados a seguir, nestes quadros são apresentadas as formas das peças através da imagem em 3D e fotografia com as principais cotas, o peso de cada peça e as características mecânicas disponibilizadas nos documentos pesquisados. O Quadro 4.1, mostra um exemplo da descrição das características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado “Peça de Fechamento”. Os demais quadros dos componentes do módulo podem ser consultados no Anexo I.

	
Nome	Peça de Fechamento
Descrição	Aço Carbono H220PD e camada de Zinco através de imersão em banho fundido com teor mínimo de 99%.
Propriedades Mecânicas	
Resistência ao Cisalhamento	280 N/mm ²
Resistência à Tração	400 N/mm ²
Alongamento Percentual (mínimo)	32%
Função	Peça da estrutura da caixa de roda

Quadro 4.1 – Características geométricas e físico-químicas do componente Peça de Fechamento

Todas as peças componentes do conjunto caixa de roda dianteira direita foram caracterizadas de acordo com o exemplo apresentado. A maior parte das peças, se constituem de peças de

aço carbono com auxílio de dados pesquisados conforme segue, são apresentadas as principais características deste tipo de material. Os dados sobre as características comuns das peças de aço carbono foram complementados através de pesquisa bibliográfica realizada no site do Núcleo de Design e Seleção de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS <http://www.ufrgs.br/ndsm/ndsm.htm>.

Para as características comuns das peças de aço carbono, material que é utilizado na maioria dos componentes do módulo foi elaborado um quadro, semelhante aos das peças, onde estão listadas as principais propriedades de deste material, conforme Quadro 4.2, abaixo:

Características comuns para Aço Médio Teor de Carbono * Fe com 0,3 - 0,7%C	
Propriedades Térmicas	
Calor Específico	418 - 455 (J/Kg.K)
Calor Latente de Fusão	270 - 275 (KJ/Kg)
Dilatação Térmica	12 - 13 (10 ⁻⁶ /K)
Condutividade Térmica	38-41 (W/m.K)
Ponto de Fusão	1,60E+3 - 1,76E+3 (K)
Temperatura Máxima de Serviço	550 - 700 (K)
Temperatura Mínima de Serviço	220 (K)
Propriedades Elétricas	
Constante Dielétrica	Não é aplicável.
Resistividade	17,78 - 19,95 (10 ⁻⁸ ohm.m)
Propriedades Físicas	
Densidade	7,80 - 7,82 (Mg/m ³)
Resistência à chama	Excelente.
* Dados pesquisados no Núcleo de Design e Seleção de Materiais	

Quadro 4.2 – Propriedades físico-químicas de aço com médio teor de carbono.

As informações apresentadas acima caracterizam todos os componentes para a fabricação do módulo caixa de roda dianteira direita. A seguir, é apresentada a análise das perdas deste sub-

sistema, sob a ótica do Design Sustentável e dentro da esfera de impacto e atuação da manufatura.

4.2.4 Gráficos da Análise de Perdas Relacionadas ao Produto

Na análise do produto se utilizou o check-list proposto por Santos e Tanure (2005) das estratégias para melhoria da sustentabilidade ocasionando a redução de perdas para o Design Sustentável, conforme exemplo apresentado na Tabela 4.1 abaixo, para constatar a aplicação de algumas abordagens para o princípio de se minimizar os recursos empregados. As demais Tabelas são apresentadas no Anexo II.

Os dados apresentados são a compilação do que foi verificado durante a análise e após a validação dos especialistas entrevistados.

	Abordagem	Sim	Não	Não se Aplica
MINIMIZAÇÃO DOS RECURSOS	reduz o uso de materiais e de energia?		X	
	há a miniaturização de processos ou componentes?		X	
	desmaterializa o produto ou algumas de suas partes?			X
	há uma otimização estrutural (ex: uso de nervuras/espessura reduzida)?		X	
	reutiliza o calor disperso no processo produtivo?		X	
	utiliza sistemas de interruptores inteligentes?		X	
	facilita a manutenção dos motores?			X
	otimiza os volumes de compra (estoque)?	X		
	otimiza os sistemas de controle (inventário)?	X		
	utiliza sistemas eficientes de aquecimento, aeração, iluminação das edificações?		X	
	usa instrumentos informáticos para projeto, modelagem e prototipia?	X		
	usa instrumentos informáticos para gestão de documentos/informação?	X		
	evita excesso de embalagens?	X		
	os produtos são compactos com alta densidade de transporte e de armazenagem?		X	
	os produtos são projetados para serem mais leves?	X		
	a logística é otimizada?	X		
	o uso dos recursos e manutenção, são empregados de modo eficiente?		X	
	os sistemas utilizam o consumo variável de recursos para diferentes exigência de funcionamento?		X	
	há adoção de sistemas de transmissão de energia de alta eficiência?			X
	há sistemas de recuperação de energia e materiais?		X	
total		7	10	3

Tabela 4.1- Análise do processo existente para a estratégia de minimização de recursos
Fonte: Santos e Tanure (2005).

Da Tabela do check-list, são apontadas, com base nas informações pesquisadas na revisão bibliográfica apresentada no capítulo 2 e os dados coletados apresentados neste capítulo, aquelas que já são aplicadas no processo, as abordagens que poderiam inicialmente ter viabilidade de aplicação, mas que ainda não estão presentes no processo e no produto

estudados e as abordagens que não se aplicam ao caso analisado, conforme ilustra o Gráfico 4.1, a seguir:

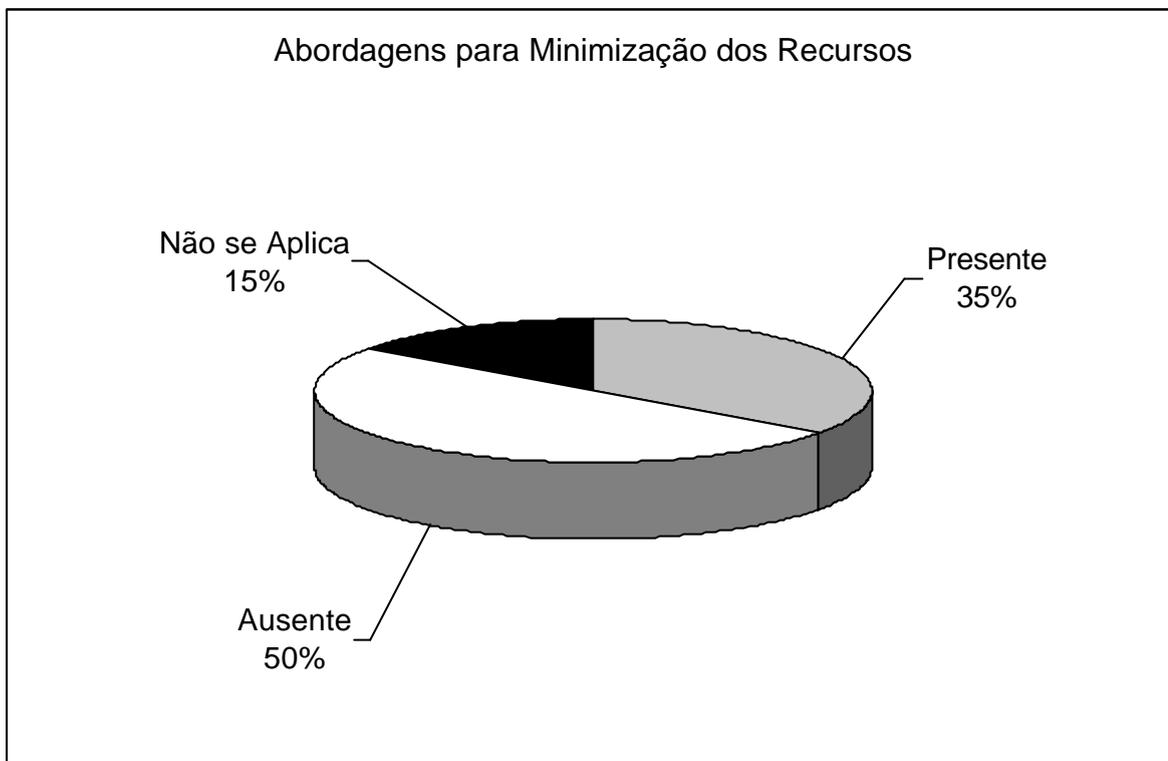


Gráfico 4.1 – Aplicação das abordagens da estratégia de minimização de recursos.

A análise realizada através dos check-list considerou todos os dados coletados referentes ao processo e ao produto para o preenchimento das abordagens. Somente para melhorar a leitura deste capítulo os dados foram divididos em duas seções: produto e processo.

Na próxima seção, apresentamos a análise realizada para as diferentes estratégias de sustentabilidade propostas pela teoria do design sustentável, de acordo com Santos e Tanure (2005).

4.2.5 Visão Geral das Estratégias de Sustentabilidade.

Conforme descrito, foram gerados os gráficos do total de abordagens das estratégias de sustentabilidade propostas pelos check-lists, os gráficos serão novamente apresentados no Anexo III. Nos gráficos apresentados pela Figura 4.5, a seguir, podemos verificar o potencial de aplicação para cada estratégia de sustentabilidade, o que possibilita a redução de perdas para o design sustentável.

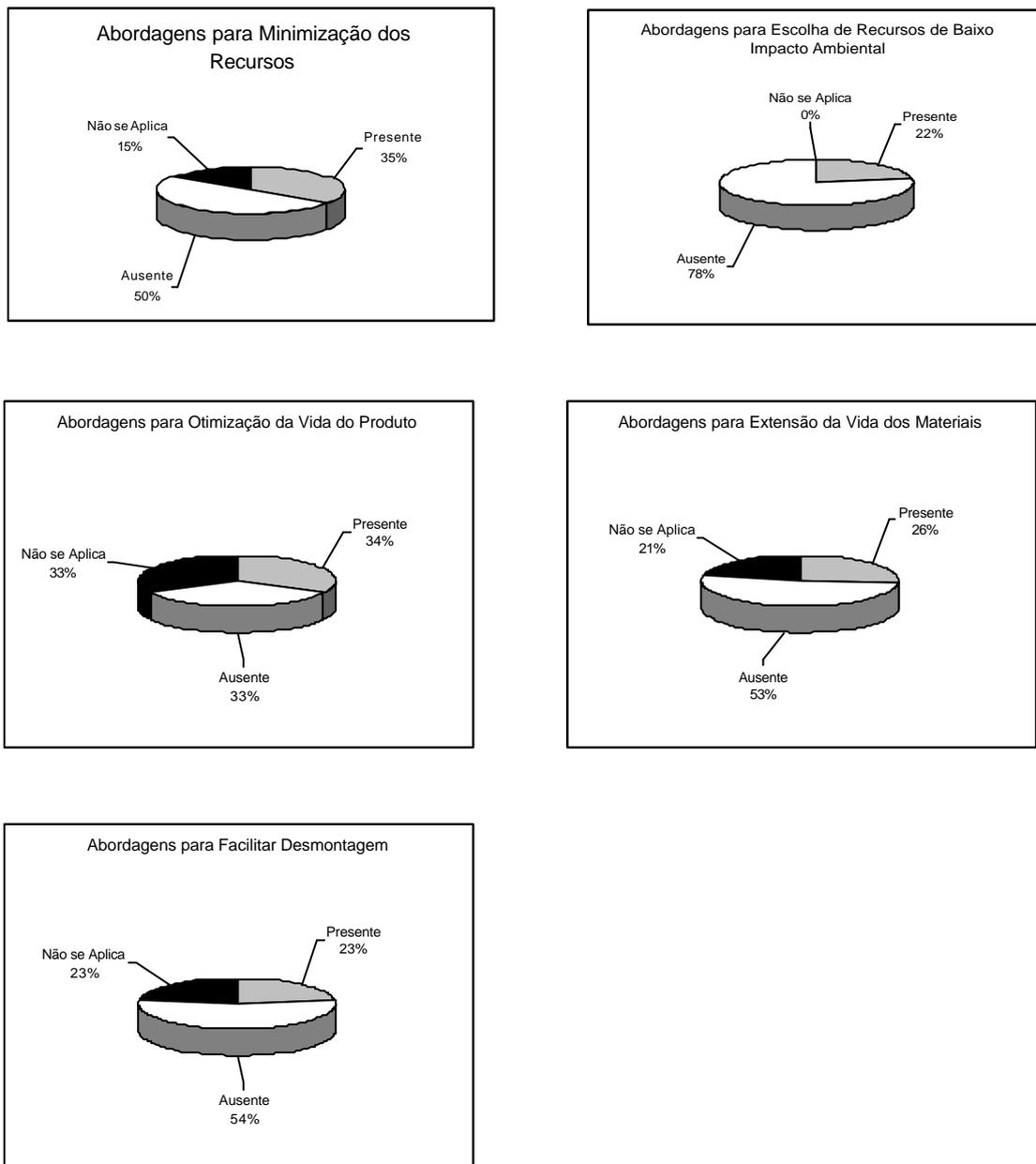


Figura 4.5 – Gráficos de aplicação das abordagens propostas pelas estratégias de sustentabilidade.

De acordo com o que pode ser observado nos gráficos de análise da aplicação das abordagens propostas pelas estratégias de sustentabilidade. As estratégias de escolha de recursos de baixo impacto ambiental e de facilitar a desmontagem são as estratégias que apresentam maiores percentagens de abordagens que têm potencial de aplicação e não são atualmente aplicadas ao processo. A estratégia de escolha de recursos de baixo impacto ambiental apresenta 78% do total de abordagens como potencialmente aplicáveis e a estratégia de facilitar a desmontagem apresenta 54% das abordagens como potencialmente aplicáveis.

Outros aspectos relevantes são: a quantidade de abordagens da estratégia de minimização de recursos aplicadas atualmente no processo alcançando 35% do total e da estratégia de otimização de vida do produto com 34% do total aplicado, esta estratégia de otimização da vida do produto também apresenta o maior número de abordagens não aplicáveis ao caso estudado, chegando a 33% do total de abordagens propostas.

Na próxima seção é realizada a análise das abordagens de sustentabilidade propostas para este trabalho.

4.2.6 Análise de Perdas Relacionadas ao Produto

O processo da célula de produção do módulo caixa de roda dianteira direita também foi avaliado se utilizando o Check-list para análise de sustentabilidade, conforme proposto por Santos e Tanure. (2005). Onde é possível de uma forma objetiva se analisar a aplicação das estratégias de sustentabilidade atualmente presentes no processo existente e as abordagens que poderiam ser aplicadas melhorando assim a redução das perdas, conforme segue.

Minimização de recursos

A análise do processo existente apresentou que as abordagens de otimizar volumes de compra, otimizar sistemas de controle, otimizar a logística envolvida no processo, evitar

excesso de embalagens, projetar produtos mais leves, utilizar instrumentos informáticos para projeto, modelagem, prototipia e gestão de documentos e informação já são empregados no sistema estudado, resultando em 35% do total de abordagens propostas que hoje já são aplicadas ao processo e produto, conforme pode ser observado no respectivo quadro da Figura 4.5, apresentada na seção anterior. Melhorando a performance relativa às perdas por superprodução, de manuseio e transporte, principalmente.

Existe um potencial de aplicação das abordagens de redução de uso de materiais e energias, miniaturização de componentes ou de processos, otimização estrutural do produto, reutilização de calor disperso no processo, utilização de sistemas de interruptores inteligentes, utilização de sistemas mais eficientes de aquecimento, ventilação e iluminação das instalações, desenvolvimento de produtos compactos com alta densidade de transporte e armazenagem, emprego mais racional e eficiente dos recursos de manutenção e utilização de sistemas de recuperação de energia e materiais de acordo com a estratégia de minimização de recursos. Que representam 50% das abordagens propostas e que ainda não foram aplicadas no processo e produto atuais. Contribuindo com estas abordagens para a redução de perdas de processamento, perdas de inventário e perdas por defeitos e refugos.

As abordagens de desmaterialização do produto ou de suas partes, facilidade de manutenção de motores e adoção de sistemas de transmissão de energia de alta eficiência não são aplicáveis ao caso. Estas abordagens totalizam 15% do total proposto para a estratégia de minimização de recursos.

A seguir, apresentamos a análise das abordagens da estratégia de escolha de recursos de baixo impacto ambiental.

Escolha de Recursos de Baixo Impacto Ambiental

Na análise das abordagens empregadas para a escolha de recursos de baixo impacto ambiental, conforme apresentado na Figura 4.5 e na seção de caracterização dos componentes do módulo, se observou que são aplicadas abordagens que selecionam materiais de maior eco-compatibilidade, que se utilizam de componentes metálicos, o que possibilita reciclagem e também privilegia o uso de fontes de energia que não utilizam combustíveis fósseis para sua produção, especialmente energia hidroelétrica. Do total de abordagens propostas para esta estratégia, são aplicadas 22% do total. A possibilidade de reciclagem contribui na redução de perdas de transporte.

Existem potenciais de aplicação para abordagens de utilização de materiais e/ou componentes, que provenham de materiais renováveis, biodegradáveis ou de refugos de processos produtivos e/ou produtos já eliminados ou materiais reciclados, junto ou em separado com materiais virgens. Notou-se também a possibilidade de se empregar abordagens para escolha de tecnologias de transformação de materiais com baixo impacto e se utilizar fontes energéticas que minimizem as emissões nocivas. Representando 78% das abordagens propostas para esta estratégia. A aplicação destas abordagens possibilita melhorar ainda mais a redução de perdas por refugos e processamento. Não houve nenhuma abordagem que fosse considerada não aplicável ao caso estudado.

A seguir apresentamos a análise das abordagens para a estratégia de otimização da vida do produto.

Otimização da Vida do Produto

Para a estratégia de otimização da vida do produto, conforme apresentado na seção de caracterização do módulo, já são utilizadas neste sistema as abordagens de projetar

componentes para durar o mesmo tempo de vida útil projetada para o produto, em condições normais de utilização; emprego de sistemas de junções que evitem junções frágeis no produto que possam comprometer a vida útil; obtenção de qualidade satisfatória do produto através da padronização de seus componentes e projeto embalagens reutilizáveis. Estas abordagens podem contribuir para melhoria ou redução de perdas de inventário, pois adia a necessidade de reposição, e perdas por refugos. As abordagens desta estratégia que são aplicadas atingem 34% do total proposto, conforme gráfico da estratégia apresentado na Figura 4.5.

O número de partes e componentes, que hoje são na quantidade de 17 peças conforme ilustra a Figura 4.3, poderiam ser minimizados, foi notado também que o desenvolvimento poderia considerar a reaplicação dos materiais descartados e facilitar a remoção de partes/componentes que podem ser reutilizados. Estas abordagens da estratégia com potencial de aplicação atingem 33% do total proposto.

Não são aplicadas as abordagens de reconfigurações para adaptações à evolução, de proporcionar acesso às partes que necessitam de manutenções/limpezas periódicas ou de realizar estas atividades no local de uso, não são previstas para este módulo. Ainda foi constatado que o produto não é um produto-serviço voltado para o uso coletivo/compartilhado. As abordagens identificadas como não aplicáveis ao caso totalizam 33% das abordagens propostas para a estratégia de otimização da vida do produto. As abordagens desta estratégia consideradas como não aplicáveis ao caso perfazem 33% do total proposto.

A seguir são analisadas as abordagens propostas para a estratégia de extensão de vida dos materiais.

Extensão da Vida dos Materiais

As abordagens da estratégia de extensão de vida dos materiais empregadas no sistema atual podem ser notadas, conforme ilustrado nos quadros descritos na seção de caracterização dos componentes e no Anexo I, nas características do produto que é projetado de forma a se minimizar o uso de materiais incompatíveis entre si, privilegiando o uso de metais e suas ligas. O projeto também considera a relação entre o produto e o material utilizado, os materiais utilizados podem facilmente recuperar sua serventia inicial, o fator que aumenta a complexidade do processo de reciclagem são as substâncias utilizadas no processo de união por adesivo (resina fenólica e elemento vulcanizador), mas mesmo com estes elementos são empregadas tecnologias de reciclagem eficientes para esta situação específica. Existe ainda um sistema standardizado pela VDA - *Verband der Automobil Industrie*, reconhecido internacionalmente para identificação dos materiais utilizados. Estas abordagens possibilitam a redução das perdas por defeitos, perdas de processamento e perdas com refugos. O total de abordagens propostas por esta estratégia já aplicadas alcança 26%. Conforme pode ser observado no respectivo gráfico presente na Figura 4.5.

O produto e o processo poderiam aumentar a extensão de vida dos materiais aplicando as abordagens de facilitar a reciclagem identificando bem visivelmente os materiais; tornar mais fácil a separação de materiais incompatíveis entre si, o que facilitaria a recolha / transporte a pós o uso, possibilitando reciclagem em efeito-cascata. Poderia ainda informar sobre como descartar-se o produto, disponibilizando/facilitando a reciclagem de materiais com componentes de qualidades ou mecânicas inferiores. O processo não evita o uso de adesivos, e no caso de serem indispensáveis. Das abordagens propostas para esta estratégia, 53% têm potencial para serem aplicadas no caso.

Não são aplicadas as abordagens para prestar informações relativas a idade do material, número de reciclagens já efetuadas no material, aditivos utilizados e componentes tóxicos ou danosos. Abordagens para evitar operações posteriores e acréscimos de materiais para codificar ou realizar a incineração de componentes. As abordagens identificadas como não aplicáveis ao processo somam 21% do total proposto.

Facilitando a desmontagem

Das abordagens propostas para esta estratégia podemos observar, conforme Figura 4.5 apresentada anteriormente e na caracterização do produto, que são utilizados elementos de junção que podem ser destruídos por processos químicos ou físicos; que na produção o processo de união mais empregado é o de solda por resistência (solda ponto) utilizando os próprios materiais dos componentes para realizar sua junção; o processo usa parafusos compatíveis com os materiais afixados, para não ser necessária a sua extração, quando em caso de reciclagem, são as abordagens da estratégia de facilitar a desmontagem, já empregadas no sistema atual. Estas abordagens aplicadas auxiliam na redução de perdas por refugos, perdas de processamento e perdas por defeitos. Do total proposto foram aplicadas 23% das abordagens desta estratégia.

As operações de desmontagem/separação poderiam ser minimizadas e facilitadas, dado que implicam na geração de perdas por refugos e defeitos que devem ser retrabalhados, poderia se utilizar sistemas de junção reversíveis ou garras que se abram com instrumentos comuns, parafusos auto-atarrachantes evitando insertos metálicos, ao utilizar sistemas de junção permanente estes poderiam ser de fácil remoção, poderia se minimizar o número de fixações e a necessidade de instrumentos especiais para sua remoção e poderia evitar a utilização de rebites, parafusos de pressão, etc, não sejam compatíveis entre si. As abordagens com potencial de aplicação atingem 54% das abordagens propostas para esta estratégia.

Não são aplicadas para este sistema e processo as abordagens de disponibilizar áreas de quebra/corte, facilmente acessíveis e identificáveis, para separação de materiais incompatíveis, devido às funções do módulo já descritas na caracterização do produto. Do total de abordagens propostas, 23% foram consideradas não aplicáveis ao caso.

Na análise é possível verificar que os princípios de redução/tratamento de perdas aplicados no ambiente de produção enxuta têm baixa prioridade para critérios de redução de toxicidade, conservação e bio-compatibilidade, têm média prioridade para os critérios de redução de transportes/distribuição, redução de recursos e alta prioridade para minimização/valorização de perdas. O estudo do gráfico mostra grande potencial de melhorias significativas para os critérios de redução de recursos, minimização/valorização de perdas, conservação e bio-compatibilidade, bom potencial de melhorias no critério de otimização de vida do sistema e situação estável para o critério de redução da toxicidade.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

4.3.1 Contexto Geral do Sistema de Produção da Fábrica Analisada

A fábrica desenvolveu e adota um Sistema de Produção que descreve e determina métodos, normas e ferramentas de trabalho sistematizando os padrões organizacionais. O Sistema de Produção é composto por nove elementos que interagem e, em conjunto, traduzem os objetivos da empresa, que são: “Trabalho em Grupo”, “Trabalho Padronizado”, “Organização dos Postos de Trabalho”, “Gerenciamento Visual”, “Sistema de Descrição e Procedimentos de Trabalho e de Material”, “Sistema de Melhoria Contínua, TPM – Manutenção Preventiva Total”, “Solução de Problemas” e “Processos de Qualidade Padronizados”.

Além dos elementos já descritos, cabe citar que o processo conta com o suporte de um sistema informatizado de controle de produção capaz de controlar todo o processo e coordenar as

ordens de remessa. Enviando estas ordens de remessa para os fornecedores JIT – “Just in Time”, fornecedores responsáveis pela produção sincronizada de módulos do veículo que são entregues diretamente no ponto de montagem destes componentes no veículo, por exemplo os bancos. A maioria dos fornecedores JIT está instalada em um Parque Industrial anexo à área da fábrica.

As características básicas da fábrica incluem:

- layout orientado à comunicação: o layout da fábrica foi projetado de forma a realizar a conversão para o centro geográfico das instalações, na área triangular central chamada de Centro de Comunicações. Nesta área estão localizados todos os serviços de suporte e gestão da produção, facilitando a verificação do processo ao término de cada grande etapa de produção.
- disposição modular das principais etapas de produção: as etapas de produção são agregadas em quatro grandes etapas: estamparia, armação, pintura e montagem final;
- organização da produção é orientada de acordo com a logística e o fluxo de material necessários à fabricação do veículo;
- tecnologia de produção certificada, o sistema de produção passa por certificações regulares nas normas “*ISO - International Standard Organization*” e “*VDA Verband der Automobil Industrie*” da Associação alemã de fabricantes de veículos automotores;
- mão-de-obra organizada em grupos de trabalho auto-gerenciáveis;
- padrão de qualidade para atender aos requisitos da norma VDA;

- montagem de módulos realizada pelos fornecedores dentro de um Parque Industrial, em área anexa à área fabril;
- estrutura organizacional elaborada de forma a se atender às necessidades do processo produtivo, áreas com foco nos resultados do sistema produtivo.

Conforme pode ser observado na Figura 4.6, apresentada abaixo, a infra-estrutura e o layout de fábrica foram concebidos de forma a se focar o processo produtivo. Na figura 4.6 também podem ser vistos: a localização do Centro de Comunicações (área triangular central) e as grandes etapas de produção: estamparia, armação, pintura e montagem final, citadas no parágrafo anterior.

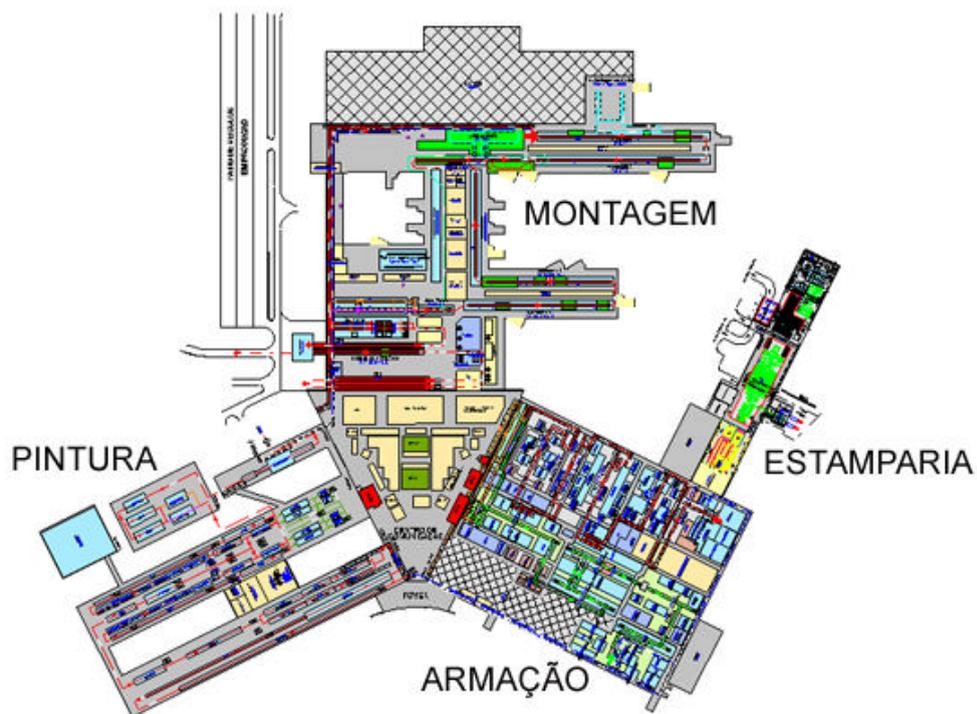


Figura 4.6 – Layout da Fábrica de Veículos

O macro processo da fábrica é gerenciado totalmente de forma eletrônica através de sistema de controle de produção, as grandes etapas sofrem auditorias de processo diárias para verificação do nível de qualidade realizado. Estas etapas se relacionam dentro do conceito

cliente-fornecedor, sendo necessária a “venda” de seus produtos finais ao processo subsequente. No próximo item será contextualizada a localização da área analisada neste estudo.

4.3.2 Localização do Processo Analisado em Relação ao Layout da Fábrica

O processo de fabricação nesta planta, conforme já ilustrado pela Figura 4.5, é constituído de quatro grandes etapas:

- Estamparia: Etapa de produção onde são conformadas as grandes peças componentes do veículo;
- Armação: Etapa de produção onde é fabricada a estrutura do veículo-carroceria;
- Pintura: Etapa de produção onde se realiza o tratamento da superfície do veículo processos de KTL / Fosfatização, vedação do assoalho e caixas de rodas e a pintura do veículo
- Montagem: Etapa de produção onde são agregados as peças e módulos funcionais por exemplo o módulo de painel de instrumentos, módulo de bancos, para conclusão do veículo.

Conforme pode ser observado na Figura 4.7 abaixo, foi selecionada para este estudo uma célula de produção localizada na etapa de fabricação da Armação, onde é fabricada a carroceria do veículo. Dentro desta etapa, na parte de fabricação da plataforma do carro foi escolhida a célula de fabricação da caixa de roda dianteira direita como objeto deste estudo.

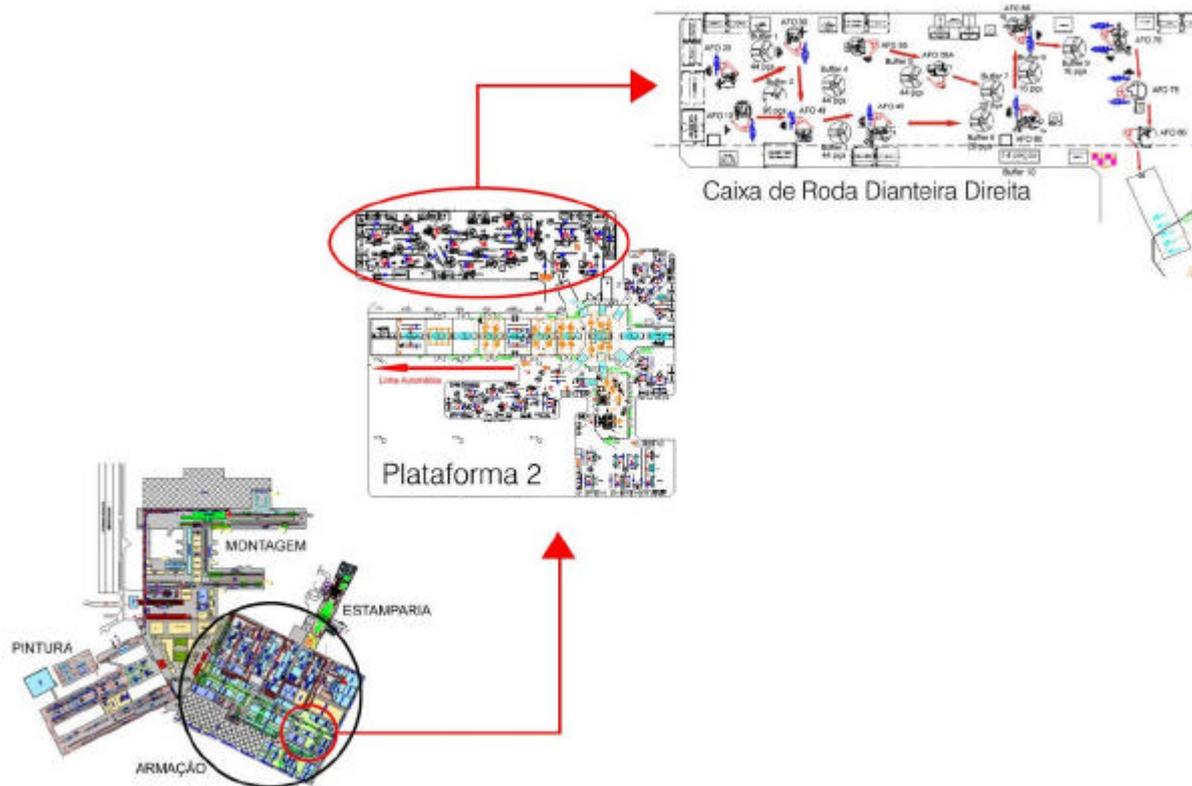


Figura 4.7 – Visão geral da localização da célula de produção estudada.

Em toda a fábrica está presente a filosofia de modularização de linha de produtos que está sendo adotada na produção de novos produtos, sendo expandida para possibilitar flexibilidade de produção, não só de veículos mas de plataformas, sendo utilizadas as mesmas linhas de pintura e montagem para duas plataformas diferentes, obtendo-se assim vantagens competitivas do processo de fabricação.

Na próxima seção detalhamos os processos presentes na etapa de produção da Armação, onde está localizada a célula de produção selecionada para este estudo.

4.3.3 Descrição Geral do Processo de Armação do Veículo

O processo analisado nesta pesquisa trata da montagem da “Caixa de Roda” de um dos veículos fabricados nesta empresa. Para compreender o contexto da célula que realiza a montagem deste subsistema do veículo, esta seção apresenta o processo geral de armação do

veículo. Esta etapa da produção se caracteriza pela montagem da estrutura do carro (carroceria) através dos diversos processos de junção de metais. Basicamente, a filosofia de produção do processo é uma linha robotizada principal para onde convergem os subconjuntos montados manualmente nas células de produção localizadas paralelamente ao longo da linha principal.

Peças estampadas na etapa de Estamparia são agregadas às peças enviadas por fornecedores externos de forma a se obter a primeira grande estrutura do veículo, o seu assoalho (etapa de produção da Plataforma 1). Após a formação do primeiro módulo de armação (assoalho), começa a montagem dos demais componentes para completar aquilo que será conhecido como plataforma do veículo. Nesta seção do processo começam a ser agregadas: duas caixas de rodas traseiras e duas caixas de rodas dianteiras.

Dentro da seção do “módulo de armação” foi selecionado para este estudo o processo da célula responsável pela produção da caixa de roda dianteira direita como objeto do estudo (etapa de produção Plataforma 2). A Figura 4.8, apresentada abaixo, mostra o layout da seção de produção Plataforma 2, destacando a célula de produção da caixa de roda dianteira direita.

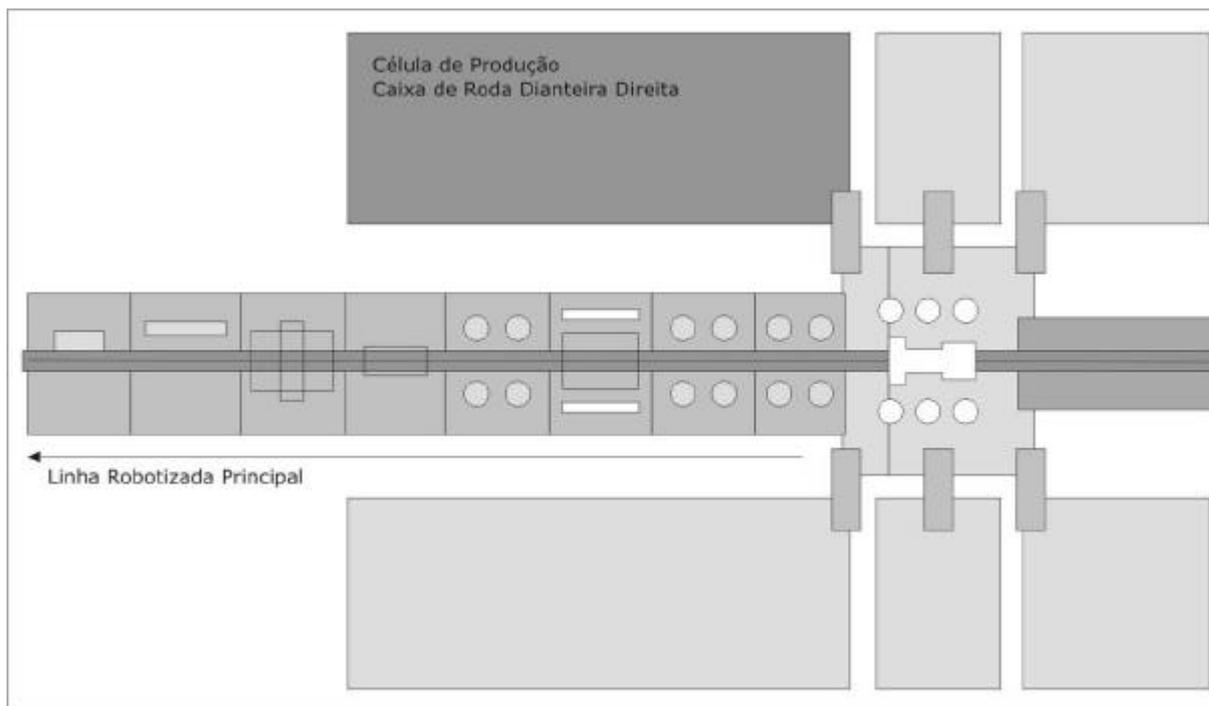


Figura 4.8 – Etapa de Fabricação da Plataforma II e localização da célula de produção estudada

Após serem agregados os elementos da plataforma do carro, a linha automática conduz à próxima etapa do processo de fabricação da estrutura do veículo (carroceria), nesta etapa são agregadas as laterais do veículo e colocado o teto que, logo após, passa por um processo de soldagem através de laser (etapa de produção Fechamento I).

Os trabalhos de junção das partes da estrutura continuam através de estações automáticas “robotizadas” que realizam soldagem dos grandes módulos da carroceria (etapa de produção Fechamento II). A carroceria já quase completa, é levada pelos transportadores da linha principal para a próxima etapa de produção. Onde serão agregadas as portas, tampa dianteira e tampa traseira (etapa de produção Partes Móveis).

Após esta etapa, todos os componentes de carroceria do veículo já foram agregados e os transportadores da linha principal conduzem o veículo para a linha de acabamento do processo, onde ocorrem as correções de eventuais ondulações e marcas, ajuste de

alinhamentos das partes do veículo e a limpeza final antes da entrada da carroceria na próxima etapa de produção, a pintura.

Após a descrição geral da etapa de Armação da carroceria do veículo realizada nesta seção, será caracterizado o processo da célula de produção da caixa de roda dianteira direita que foi objeto deste estudo.

4.3.4 Descrição e Análise do Processo de Montagem da Caixa de Roda Dianteira

4.3.4.1 Etapas do Processo

A atividade realizada nesta Célula de Produção é a fabricação do componente da estrutura da Plataforma do carro através da junção ordenada das peças para formar o módulo caixa de roda por processos de soldagem e junção por adesivos dos componentes fornecidos pelos fabricantes de autopeças. Diariamente são produzidos 718 veículos, cada um deles demanda a produção de 01 módulo de caixa de rodas. Desta forma, podemos determinar a produtividade por operador da área em 39,89 módulos/funcionário.

Para evitar-se paradas de produção por intervalos dos operadores, absenteísmo e outras paradas de produção não-programadas a linha conta com 10 estoques intermediários (Buffers), localizados estrategicamente entre estações críticas para a produtividade da célula, conforme é apresentada na Figura 4.9 abaixo, nesta mesma figura também foi destacado através de setas o sentido do fluxo do processo.

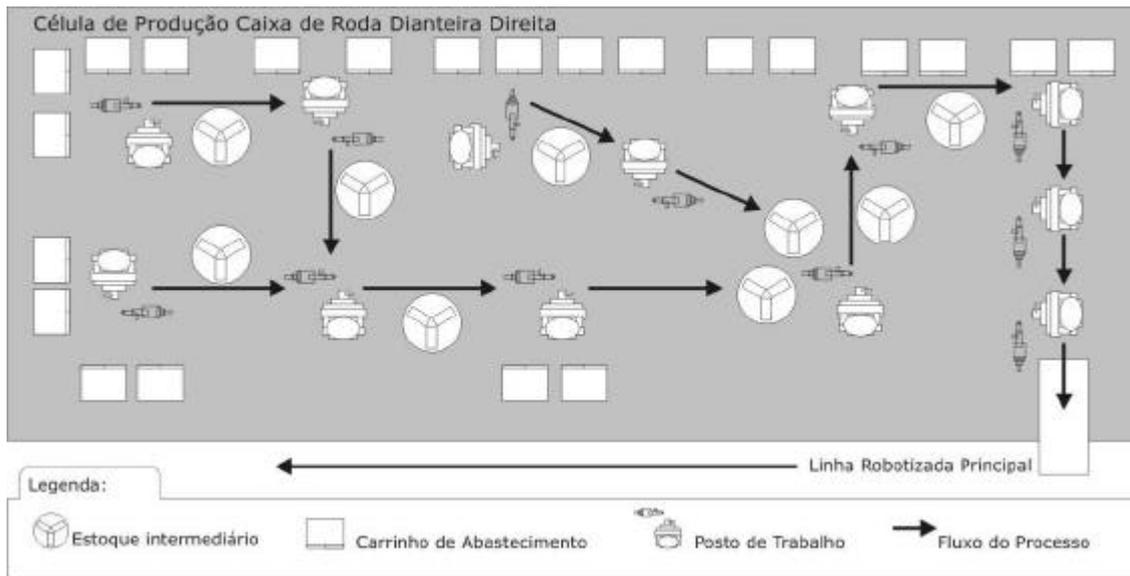


Figura 4.9 – Sentido do processo na célula de produção e buffers

Processo de fabricação do módulo é realizado de forma que as peças são agregadas a cada estação de trabalho, as distintas operações são realizadas nas estações de trabalho conforme segue no gráfico do fluxo de processo (simbologia ASME – American Society of Mechanical Engineers), conforme descrito por BARNES (1968) e SLACK, CHAMBERS *et al* (2002) é apresentado na Figura 4.10, a seguir:

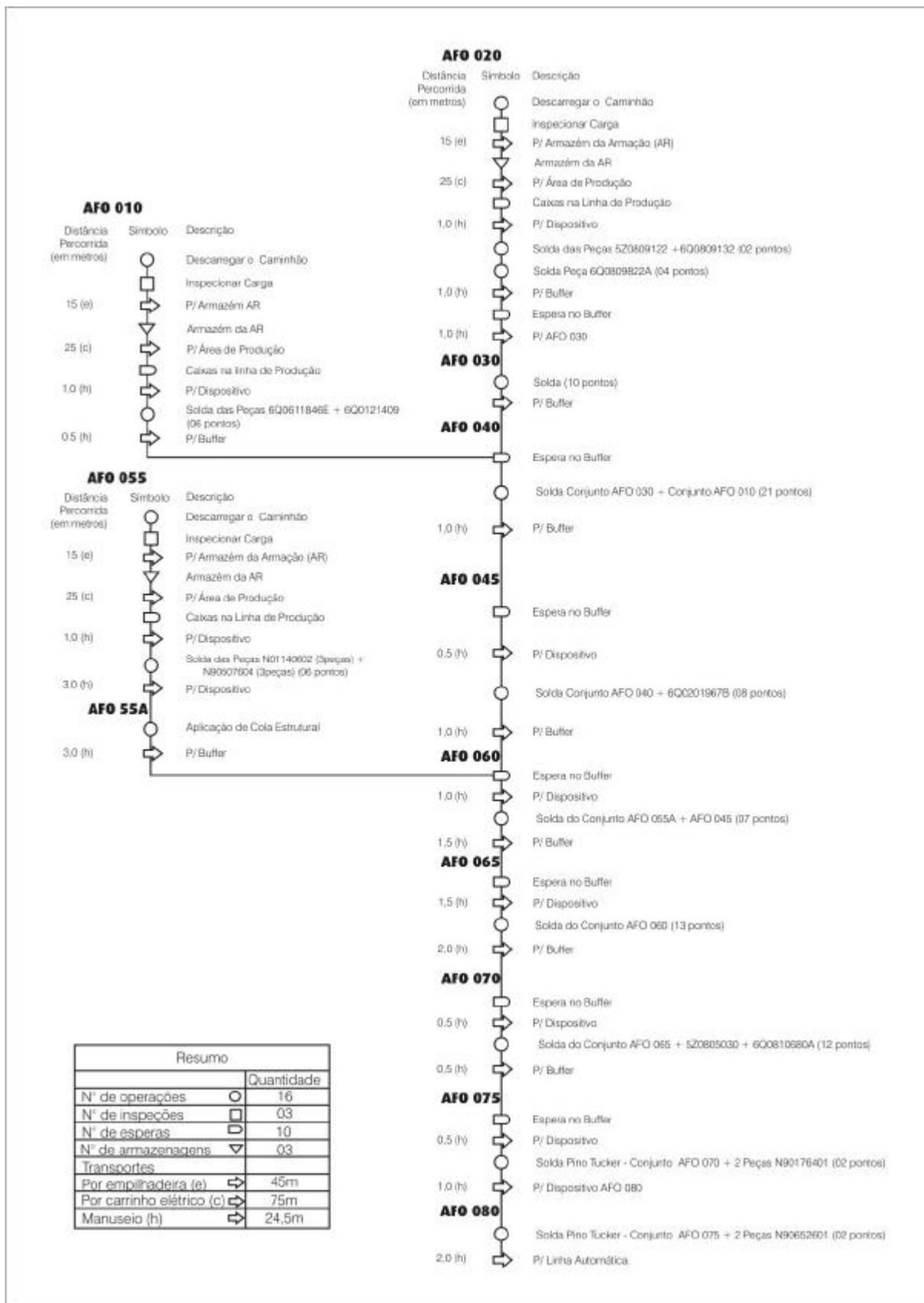


Figura 4.10 - Gráfico de fluxo dos processos para fabricação do módulo

O fluxo do processo de fabricação do módulo da caixa de roda dianteira direita é constituído por um total de 16 operações de fabricação, 03 operações de inspeções realizadas na armazenagem dos componentes, 03 operações de armazenagem, 10 esperas, os materiais são deslocados internamente por 45 metros por empilhadeiras, deslocados 75 metros por tração de carrinho elétrico e são manuseados por 24,5 metros na área de célula de produção do módulo caixa de roda. De acordo com a revisão da bibliografia no capítulo 2, estes dados comprovam a existência de perdas por movimentação.

Nesta seção foram apresentados os dados do fluxo do processo da célula de produção do módulo, no item a seguir serão apresentados dados sobre materiais utilizados no processo.

4.3.4.2 Inventário no Processo

As caixas de peças são trazidas do armazém da área de Armação e colocadas próximas aos locais onde efetivamente serão utilizadas no processo. O princípio utilizado para o abastecimento destes materiais é “kanban” de caixa vazia, onde existem na célula de produção 02 caixas de cada material utilizado e a presença de caixa vazia aciona o processo de reabastecimento do material. Então temos a seguinte autonomia do inventário de materiais para uso na área da célula de produção, conforme os volumes de produção atualmente praticados:

- 6Q0 809 106 F – Caixa de Roda – 15 horas (500 pçs).
- 5Z0 809 122 – Alojamento da Suspensão – 36 horas (1200 pçs).
- 6Q0 809 132 B – Capacete – 49 horas (1600 pçs).
- 6Q0 809 822 A – Extensor – 8 horas (260 pçs).

- 6Q0 611 846 E – Suporte Mangueira do Freio – 28 horas (900 pçs).
- 6Q0 121 409 – Suporte de Expansão – 11 horas (360 pçs).
- 6Q0 201 967 B – Defletor de Calor – 61 horas (2000 pçs).
- 6Q0 810 680 – Suporte do Pára-lama – 12 horas (400 pçs).
- 5Z0 810 158 – Longarina Superior Interna Dianteira – 55 horas (1800 pçs).
- 5Z0 805 030 – Peça de Fechamento – 6 horas (200 pçs).
- N 011 406 2 – Porca Chapa – 51 horas (5000 pçs).
- N 905 076 04 – Porca Solda – 46 horas (4500 pçs).
- N 905 842 02 – Pino Roscado – 92 horas (3000 pçs).
- N 906 526 01 – Pino Soldável – 92 horas (6000 pçs).
- N 901 764 01 – Parafuso Tucker – 77 horas (5000 pçs).

Estas são as quantidades de materiais existentes no processo de produção para a fabricação do módulo, abaixo apresentamos os dados sobre refugos no processo de fabricação. O que podemos notar, conforme referencial teórico apresentado no capítulo 2, propícia a perda por superprodução e perdas de inventário.

4.3.4.3 Refugos Gerados no Processo

Apesar do esforço contínuo para redução de perdas existem refugos gerados pelo processo, esta perda foi propriamente definida durante a revisão bibliográfica apresentada no capítulo 2, conforme informa o relatório de refugos por mil veículos produzidos:

- 5Z6 805 116 – Módulo da Caixa de Roda – 0,063 módulos/mil veículos
- 6Q0 809 106 F – Caixa de Roda – 1,27 peças/mil veículos
- 5Z0 809 122 – Alojamento da Suspensão – 1,27 peças/mil veículos
- 6Q0 809 132 B – Capacete – 1,27 peças/mil veículos
- 6Q0 809 822 A – Extensor – 1,27 peças/mil veículos
- 6Q0 611 846 E – Suporte Mangueira do Freio – 1,27 peças/mil veículos
- 6Q0 121 409 – Suporte de Expansão – 1,27 peças/mil veículos
- 6Q0 201 967 B – Defletor de Calor – 1,29 peças/mil veículos
- 6Q0 810 680 – Suporte do Pára-lama – 1,27 peças/ mil veículos
- 5Z0 810 158 – Longarina Superior Interna Dianteira – 1,26 peças/mil veículos
- 5Z0 805 030 – Peça de Fechamento – 1,27 peças/mil veículos
- N 011 406 2 – Porca Chapa – 7,44 peças/mil veículos
- N 905 076 04 – Porca Solda – 5,57 peças/mil veículos
- N 905 842 02 – Pino Roscado – 26, 4 peças/mil veículos
- N 906 526 01 – Pino Soldável – 147,34 peças/mil veículos
- N 901 764 01 – Parafuso Tucker – 136,82 peças/mil veículos

Conforme podemos notar pelo relatório de refugos, existem perdas de peças em estágio avançado no processo de fabricação. A construção do módulo não permite retrabalho de módulos defeituosos, além de um elevado número de perdas de peças pequenas referentes a extravios no local de produção.

Foi realizado, também, um levantamento, por amostragem de uma semana de produção, dos resíduos gerados diretamente pelo processo de produção da célula onde se percebeu os seguintes resíduos: 07 Kg de papelão (contaminado por óleo), 04 Kg de plástico, água, gás resultante das queimas de soldas por resistência (ponto) e solda de pinos em chapa galvanizada e fuligem ferrosa granulada gerada no processo. Este tipo de resíduo poder ser classificado como perdas geradas no processamento do produto, perda já definida durante a revisão bibliográfica no capítulo 2.

A água utilizada no resfriamento dos alicates de solda é reutilizada e passa por tratamento de efluentes antes de sua devolução para o ambiente externo. O mesmo acontece com relação a emissão dos gases, esta é absorvida por exaustores e filtrada antes de voltar para o ambiente externo da fábrica, conforme ilustra a Figura 4.11 abaixo:



Figura 4.11 – Sistema de Exaustão de Resíduos de Soldagem Ponto

Utilizando-se a ferramenta de análise de fluxos de unidades de processo da teoria de Análise do Ciclo de Vida de produtos proposto por Chehebe (1998), foi realizado o levantamento dos fluxos de entrada e saídas da célula de produção objeto deste estudo. Esta ferramenta auxilia na análise dos fluxos de materiais e energias que entram na unidade de processo e os fluxos de materiais e energias resultantes deste processo conforme segue na figura 4.12, apresentada abaixo:

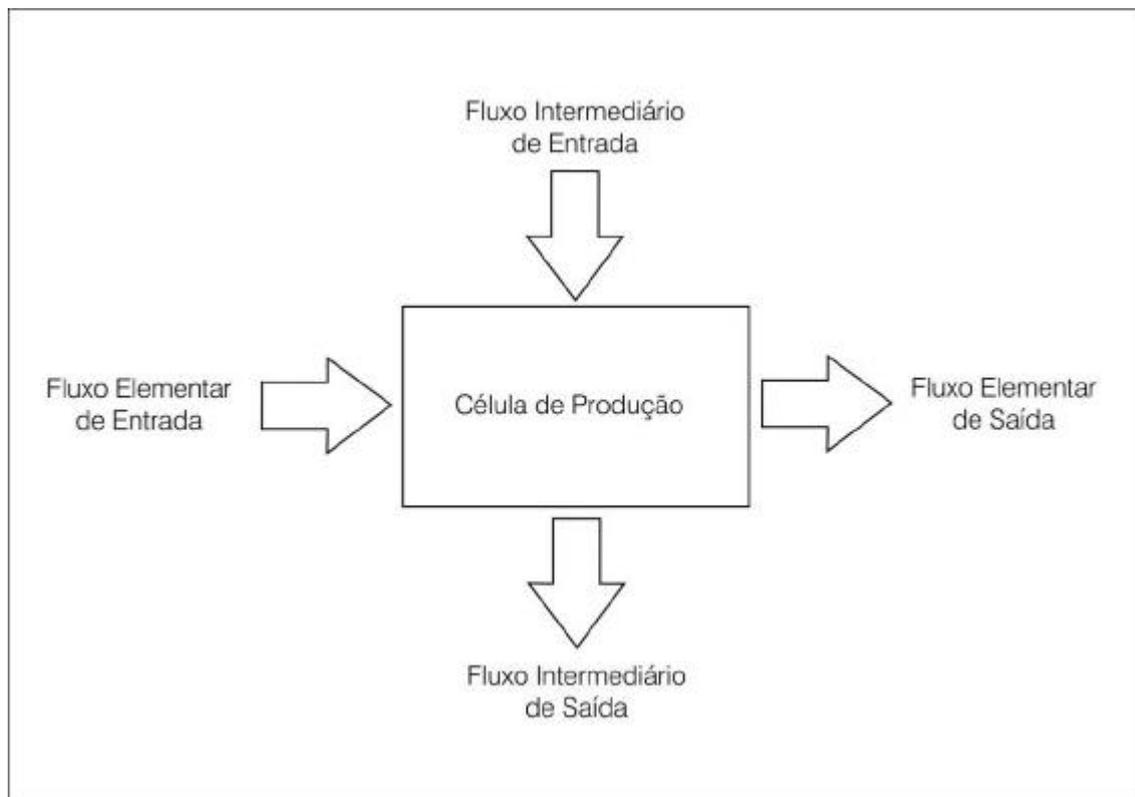


Figura 4.12 – Ferramenta de análise de fluxos de Unidades de Processo (Fonte: Chehebe (1998))

A razão para dividir um sistema relacionado ao produto em unidades de processo é para facilitar a identificação das entradas e saídas deste sistema. Os volumes desta análise representam o total empregado no período de uma semana de produção. Para a célula de produção estudada (unidade de processo) foram consideradas no fluxo elementar de entrada, toda a matéria-prima e energias empregadas no processo de fabricação, no fluxo intermediário

de entrada foram estimados os conteúdos de materiais e energia utilizados para auxiliar o processo de fabricação (não foram considerados materiais e energias para consumo do pessoal, por exemplo, água potável, Equipamentos de Proteção Individual - EPI's, etc), no fluxo intermediário de saída foram estimadas as emissões resultantes do processo de fabricação e no fluxo elementar de saída foram considerados os conteúdos materiais dos produtos resultantes do processo.

- Fluxo Elementar de Entrada :

Peças totalizando 211.289,65 kg de matérias, 21,25 m³ de água e 11,2 MW/h de energia elétrica.

- Fluxo Intermediário de Entrada:

Materiais auxiliares totalizando 9,8 kg de matérias, na forma de 218 capas de cobre para alicate de solda e 3,8 MHW/h de energia elétrica para iluminação, ventilação, etc.

- Fluxo Intermediário de Saída:

Resíduos totalizando 29,65 kg de sucata metálica, 21,25 m³ de água de resfriamento para reciclagem, emissões na forma de gases gerados na queima dos processos de solda (quantidade não mensurada), resíduos de fuligem ferrosa (quantidade não mensurada), 07 Kg de papelão contaminado com óleo, 04 kg de plástico e 9,8 kg em capas de cobre para alicate de solda.

- Fluxo Elementar de Saída:

A célula obteve como resultado do processo 211.260 kg de produtos conformes que seguiram adiante no processo de produção.

Foram apresentados nesta seção todos os dados levantados em campo referentes ao material empregado na produção do módulo caixa de roda dianteira direita.

Alguns fatores observados não foram mensurados devido a pequena quantidade encontrada, porém foi considerado relevante citar a existência dos mesmos tendo em vista se obter uma qualidade e riqueza de informação necessária à caracterização deste processo de fabricação. Todos os dados aqui apresentados foram coletados em campo no período de uma semana de produção e foram validados através de medidas executadas “in loco” pelo pesquisador ou através de cruzamento de informações de várias fontes (documentos, laudos de análises, dados de controle de qualidade aonde estão estes dados) de forma a se obter dados mais próximos da realidade, o quanto possível. Na próxima seção serão apresentados dados sobre quantidades de materiais em processo.

4.3.4.4 Buffers no Processo

Outro aspecto relevante observado foi a presença de Buffers, estoques de material em processo, na célula de produção. O objetivo destes estoques intermediários é permitir folgas na produção para intervalos de refeição, absenteísmo e eventuais quebras de equipamentos. Assinalada na Figura 4.13 apresentada a seguir, a localização destes estoques na célula de produção e suas respectivas capacidades de armazenamento.

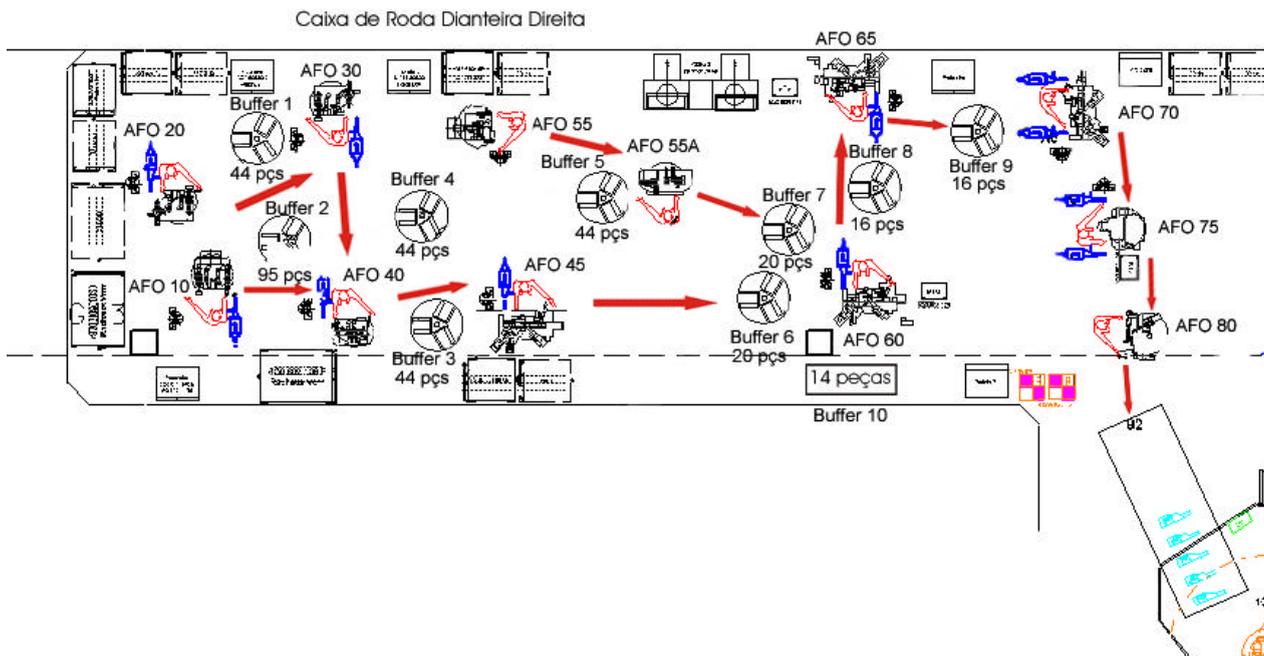


Figura 4.13 – Layout da célula de produção com a localização dos Buffers

Como forma indireta para se mensurar eventuais perdas por superprodução, antes do início de cada dia de produção, foram inventariados os materiais em processo existentes nos ‘buffers’ da célula de produção deixados pelo último turno do dia anterior. Segue abaixo a quantidade média de peças e a autonomia para os atuais níveis de produção (718 veículos/dia) da amostra do período de uma semana, inventariada :

- Buffer 01 – 0,06 horas (02 pçs).
- Buffer 02 – 0,15 horas (05 pçs).
- Buffer 03 – 0,46 horas (15 pçs).
- Buffer 04 – 0 horas (0 pçs).
- Buffer 05 – 0,03 horas (01 pç).

- Buffer 06 – 0,25 horas (08 pçs).
- Buffer 07 – 0,03 horas (01 pç).
- Buffer 08 – 0,12 horas (04 pçs).
- Buffer 09 – 0,06 horas (02 pçs).
- Buffer 10 – 0,21 horas (07 módulos).

A presença de *Buffers*, apesar de útil às necessidades do processo pode também ser uma fonte de perdas por superprodução e perdas por espera, conforme já descrito no capítulo 2.

4.3.5 Ambiente e equipamentos

A fabricação do módulo é desempenhada em operações de soldagem realizadas por 10 alicates de soldagem por resistência (ponto), 02 máquinas de solda por pinos para soldagem de porcas e 03 pistolas de solda por Pino Tucker. Existe também neste processo uma estação para aplicação de adesivo de junção de peças metálicas. As operações para fabricação do conjunto são transformadas em padrões chamados PDM (procedimentos de manufatura), estes procedimentos são desempenhados nas estações de trabalho, chamadas pela empresa de AFO's – *Arbeitsplatz Fahrzeug Operationstisch*. No layout, apresentado na Figura 4.14 a seguir, são destacadas as estações de trabalho (AFO's) do processo.

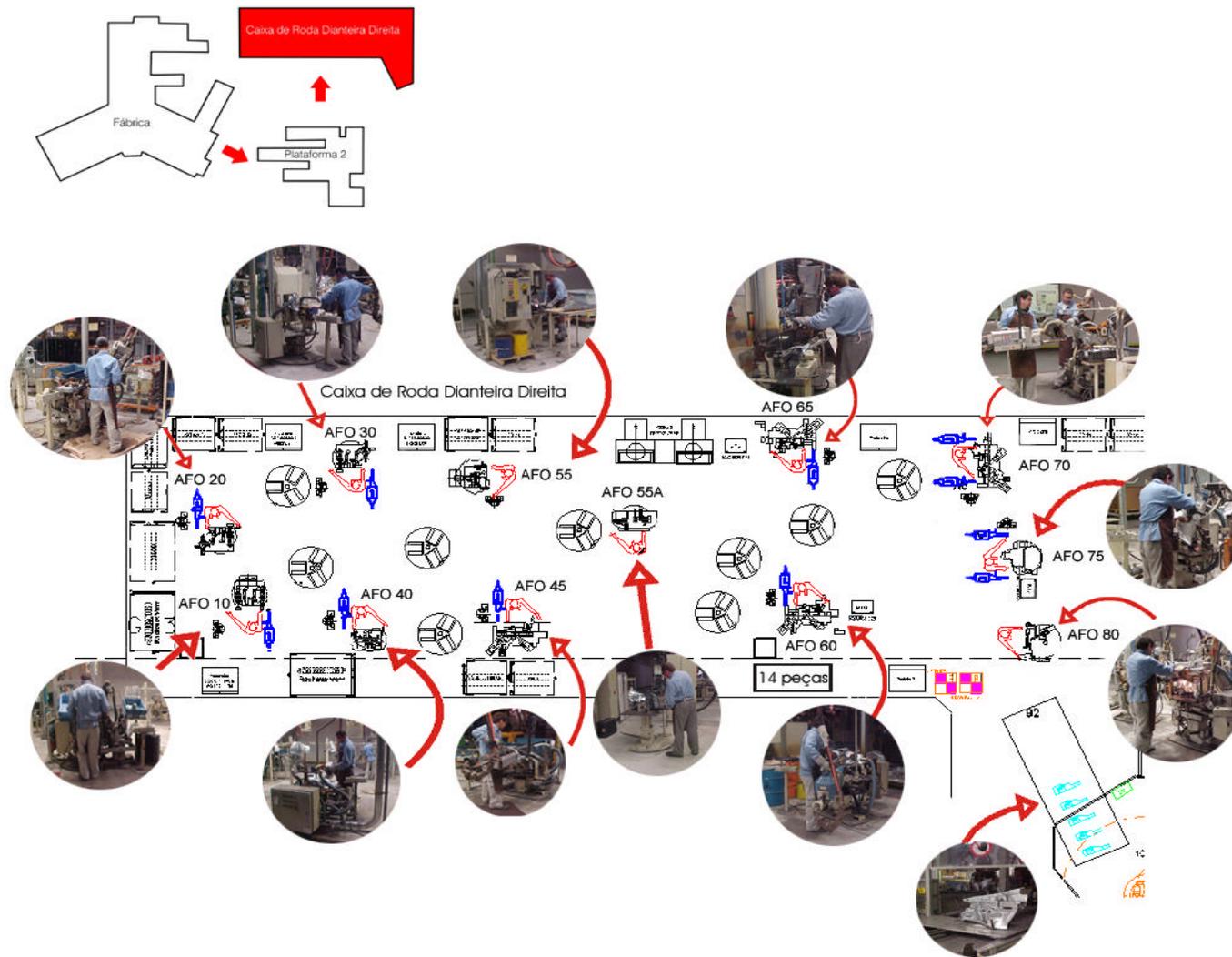


Figura 4.14 – Layout das estações de trabalho (AFO's) da célula estudada

Nesta célula de produção, foram devidamente mapeados pelo serviço de segurança e medicina do trabalho e identificados os riscos a que estão expostos os operadores, esta identificação é utilizada para classificar e indicar os Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) a serem utilizados nesta área, também através deste indicador se constatou a existência de:

- médio risco de acidentes: o risco de acidentes avalia dentro das condições de trabalho fatores que contribuam para ocorrência de quedas, cortes, batidas, etc;
- médio risco ergonômico: o risco ergonômico avalia nas tarefas executadas pelos operadores o potencial de problemas ergonômicos que possam gerar doenças ocupacionais;
- médio risco físico: o risco físico avalia a o grau de periculosidade das operações realizadas na área;
- elevado risco químico: o risco químico avalia a presença e toxicidade de substâncias empregadas no processo de fabricação.

Conforme a Figura 4.15, apresentada abaixo, mostra a avaliação da área onde se localiza a célula de produção da caixa de roda dianteira, indicada por código de cores (verde - riscos físicos, vermelho – riscos químicos, amarelo – riscos ergonômicos e azul – riscos de acidentes). O absentéismo é um fator que contribui para a geração de perdas por defeitos, perdas por refugos, devido ao excesso de carga nos trabalhadores remanescentes.

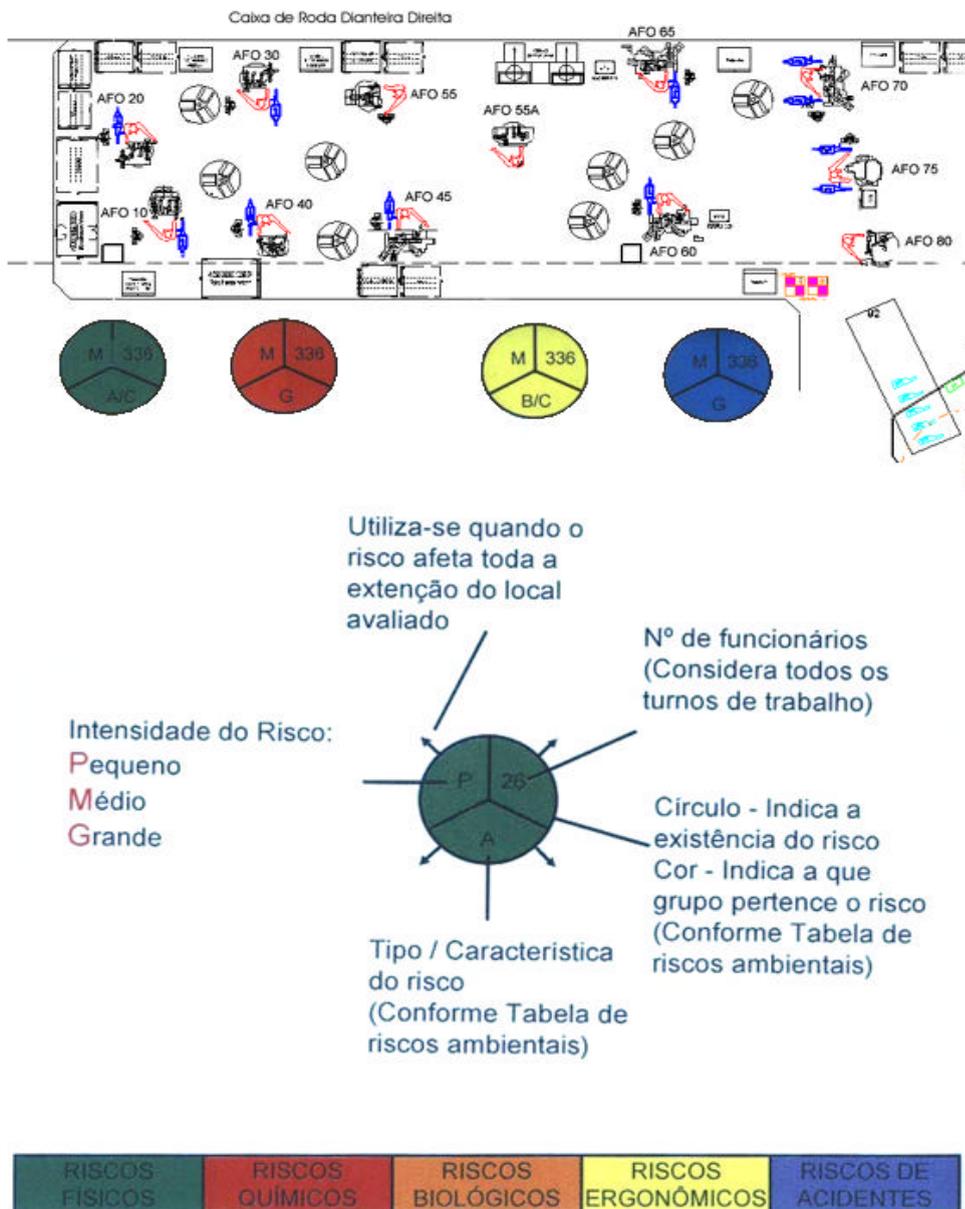


Figura 4.15 – Mapa de Riscos da célula de produção

Nesta seção foram apresentados dados de caracterização do ambiente e equipamentos existentes na célula de produção, na seção a seguir serão apresentados dados relativos aos recursos humanos empregados no processo.

4.3.6 Recursos Humanos

4.3.6.1 Características das Competências dos Operários e das Tarefas

Para manter o ritmo de tempo de tacto de 88 s na produção do módulo seis operadores por turno trabalham em 12 estações de trabalho. Os seis operadores são responsáveis por realizar todas as tarefas de fabricação do módulo, para tanto os requisitos de mão-de-obra são a escolaridade mínima de secundário completo, flexibilidade e trabalho em time. Esta multifuncionalidade dos operadores evita a geração de perdas pro superprodução e perdas pro espera, conforme já apresentado no capítulo 2.

Inicialmente, os operadores são treinados conforme procedimentos documentados pela empresa para operar um mínimo de duas estações de trabalho e as atividades em cada estação são roteirizadas durante o turno de forma a se atender os requisitos de rotatividade. A medida que o operador vai desenvolvendo maiores habilidades na execução das tarefas, ele recebe treinamentos de forma a desenvolver todas as tarefas compreendidas na célula de produção.

Os operadores das células de produção praticam ginástica laboral antes do início do turno das atividades produtivas se iniciarem. Mesmo com estas ações preventivas 03 dos 18 operadores desta célula de trabalho estão afastados por motivos de saúde. Não foi possível levantar informações para se estabelecer alguma relação entre os afastamentos e as atividades desempenhadas no processo produtivo.

4.3.6.2 Distribuição dos Tempos

A distribuição da carga de tarefas entre os seis operadores é feita de forma a se atender o tempo de tacto de 88 s, conforme ilustra a seguir a Figura 4.16, os gráficos de ocupação dos seis operadores, com a ferramenta Medição de Tempos e Movimentos – MTM da célula de produção:

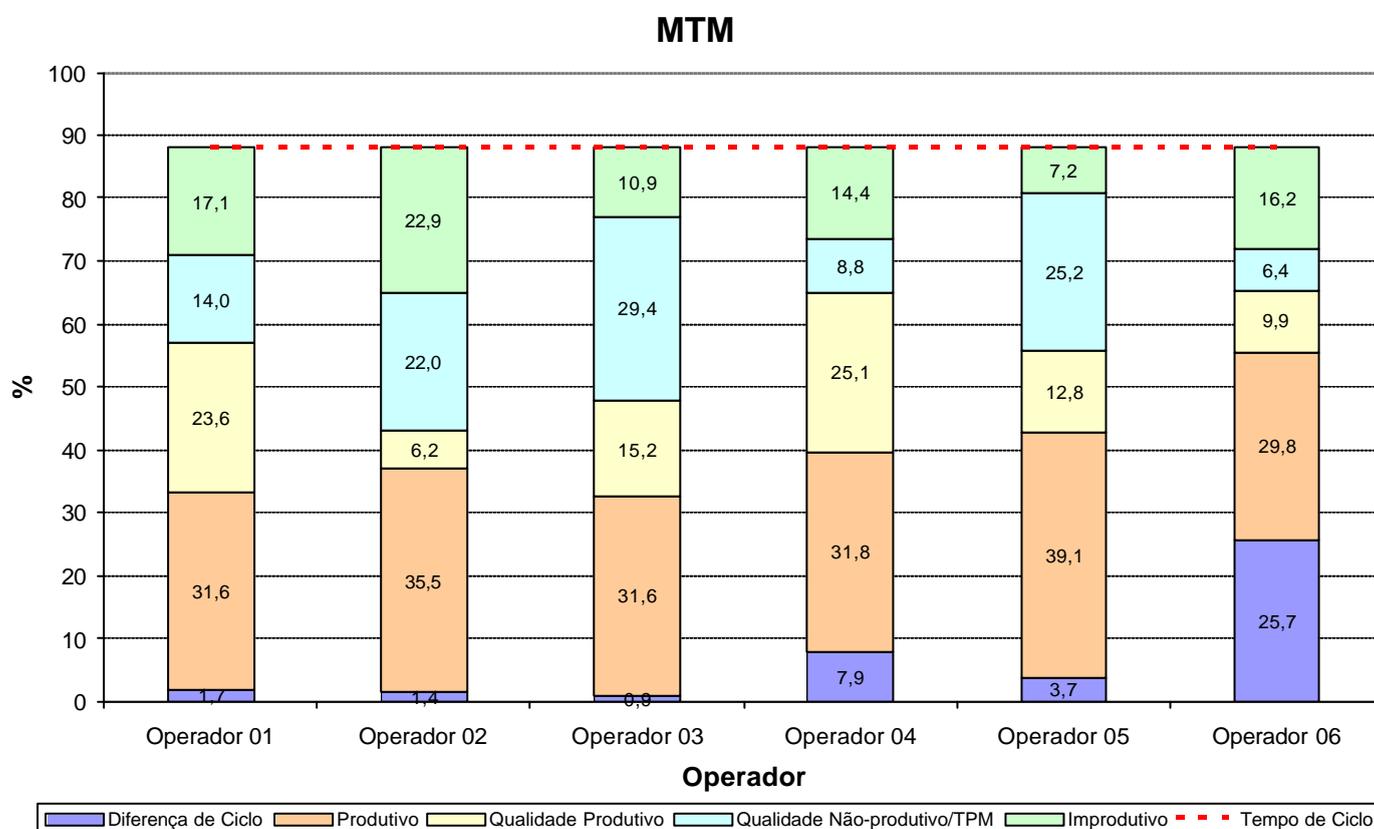


Figura 4.16 – Figura do Gráfico de Ocupação dos Operadores da Célula de Produção

Na tabela da Figura 4.16 estão quantificadas todas as atividades dos operadores na célula de produção. Os tempos foram agrupados pelas seguintes categorias:

Diferença de ciclo (coluna azul escuro) – tempo disponível para cobrir necessidades fisiológicas dos operadores.

Produtivo (coluna laranja) – tempo efetivo de produção.

Qualidade Produtivo (coluna amarela) – tempo dedicado às atividades de inspeção do trabalho para garantia de qualidade.

Qualidade Não-produtivo / TPM (coluna azul claro) – tempo utilizado para atividades auxiliares à produção e na manutenção do sistema (limpezas, diálogos em equipe, etc).

Improdutivo (coluna verde) – tempo de espera até início de novo tempo de tacto.

Pode-se notar pela distribuição dos tempos entre os operadores, que temos tempos excessivos de esperas, perda já definida no capítulo 2. Foram apresentadas nesta seção as características principais sobre a mão-de-obra empregada para fabricação do módulo, a próxima seção irá realizar a análise das perdas no processo estudado.

4.3.7 Gráficos Resultantes da Análise de Perdas do Processo de Produção

A análise realizada no processo de fabricação do módulo de caixa de rodas, tomou como base a identificação da presença das práticas de produção enxuta identificadas por Bonavia e Marin (2006) a tabela integral será apresentada no Anexo IV, abaixo segue exemplo da tabela 4.2:

Elementos de produção enxuta	Prática	Sim	Não	Não Aplicável
Gestão de Recursos Humanos.	Funcionários multi-funcionais	X		
	Treinamento cruzado	X		
	Rotatividade de tarefas	X		
Gestão de Recursos Humanos e Gestão da Qualidade Total.	Programa de sugestões	X		
	Circulo de qualidade	X		
Total		19	02	0

Tabela 4.2 – Práticas de produção Enxuta Fonte: adaptado de Bonavia e Marin (2006).

Com a informação do check-list foram gerados gráficos para mensurar o total de práticas observadas no sistema estuda em relação ao total de práticas proposto, conforme pode ser visto, no gráfico 4.2.

O gráfico 4.2 apresentado abaixo, representa os dados compilados e validados para as práticas de Produção Enxuta sugeridas pelo check-list adaptado de Bonavia e Marin (2006).

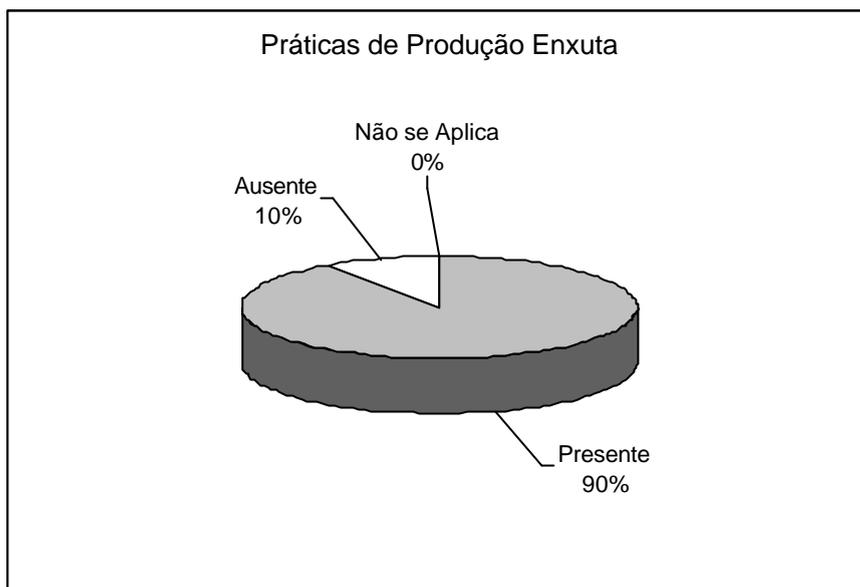


Gráfico 4.2 – Gráfico de Aplicação das Práticas de Produção Enxuta

Foi realizada também análise das relações entre as perdas existentes no sistema de produção enxuta analisado. Este check-list foi elaborado adaptando-se os conceitos apresentados pelo modelo para avaliação de perdas em ambientes de estações de trabalho proposto por Rawabdeh (2005). Os chek-lists completos são apresentados no Anexo IV. Onde cada tipo de perda foi abreviada usando a inicial (S: Superprodução, I: Inventário, D: Defeitos, M: Movimentação, P: Processamento, T: Transporte e E: Espera), foi definido elo de ligação para cada relação que pode ser estabelecida entre as perdas de produção enxuta, onde se verifica se existe tal relação entre as perdas no sistema estudo ou se não foi possível observar pelos dados esta relação, desta forma é possível se avaliar o comprometimento da performance total do sistema com relação às categorias de perdas, definidas pela teoria de Produção Enxuta. Não foram objeto desta análise perdas por roubo, extravio, etc, citadas no capítulo 2 de revisão bibliográfica. Conforme apresentado no exemplo da Tabela 4.3, abaixo.

Superprodução (S).	Relação	Sim	Não	Não aplicável
S_I	Superprodução consome e necessita grande quantidades de matérias-primas causando estocagem e produzindo mais peças em processo que consome espaço, e são consideradas como uma forma de inventário sem demanda.	X		
S_D	Quando os funcionários estão produzindo mais, a preocupação deles com a qualidade das peças produzidas irá diminuir, por causa do senso que existem materiais suficientes para substituir os defeitos.	X		
S_M	Superprodução leva à comportamentos não-ergonômicos, que leva à métodos de trabalho sem padrão com quantidades de perdas consideráveis.		X	
S_T	Superprodução leva ao excesso de transportes seguindo o excesso de fluxos de materiais		X	
S_E	Quando se produz demais, os recursos serão separados por tempos mais longos, atrasos maiores ocorrerão e clientes terão que esperar por mais tempo.		X	
Total		02	03	0

Tabela 4.3 – Check-list de verificação de relação entre perdas de sistema de produção enxutos
 Fonte: adaptado do porposto por Rawabdeh (2005)

Com base neste check-list, foram gerados gráficos para verificar a quantidade de relações entre a perda verificada e as demais perdas conceituadas na teoria de Produção enxuta (sete perdas) detectadas no sistema existente, conforme ilustra a Figura 4.17, abaixo:

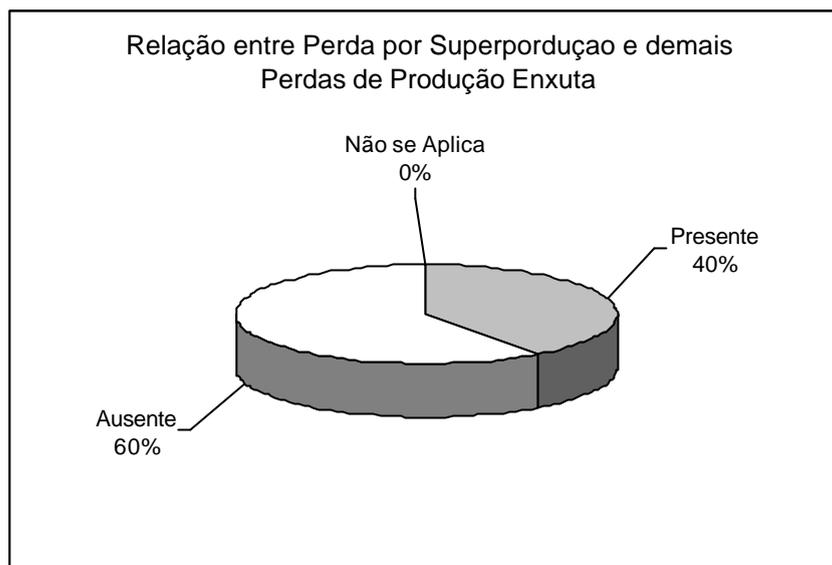
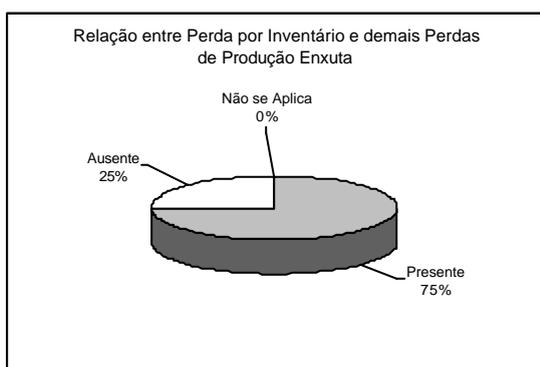
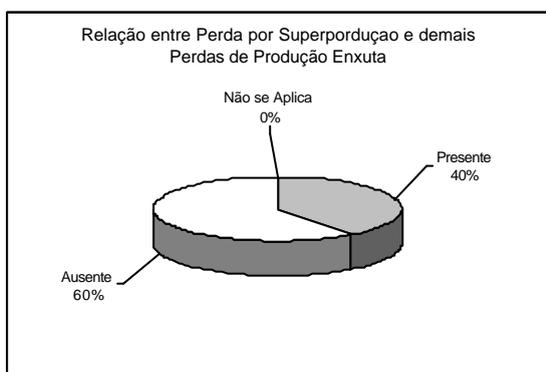


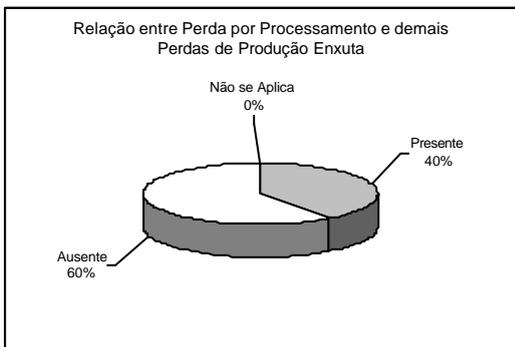
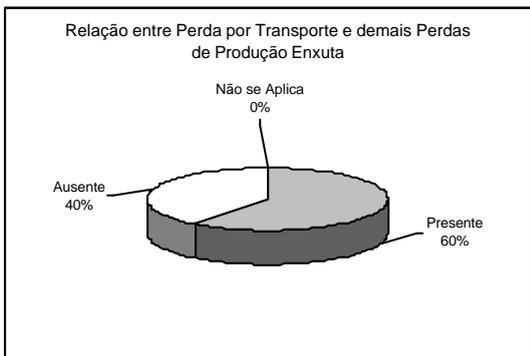
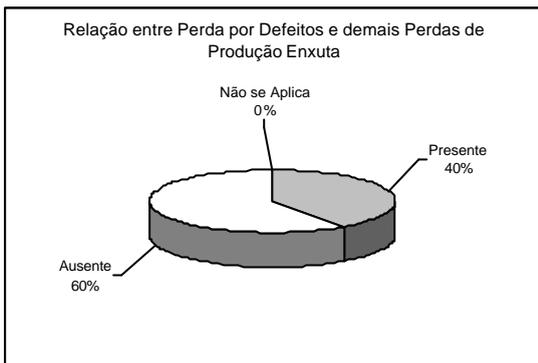
Gráfico 4.3 – Gráfico de Relações da Perda por Superprodução e as seis categorias de perdas restantes, conceituadas pela teoria de Produção Enxuta

Desta forma, é possível se avaliar para cada categoria de perdas em produção enxuta a performance do sistema e as implicações na existência e intensidade de outras perdas também presentes no sistema. A seguir apresentamos a análise detalhada das perdas da produção enxuta no processo estudado.

4.3.8 Visão Geral das Perdas do Processo de Produção

Conforme descrito, foram gerados os gráficos do total de relações entre as perdas analisadas conforme propostas nos check-lists adaptados de Rawabdeh (2005), os gráficos serão novamente apresentados no Anexo IV. Nos gráficos apresentados pela Figura 4.17, a seguir, podemos verificar que tipos de perdas estão presentes no processo estudado e a quantidade de relações entre as diferentes perdas, o que impacta diretamente a performance do sistema produtivo.





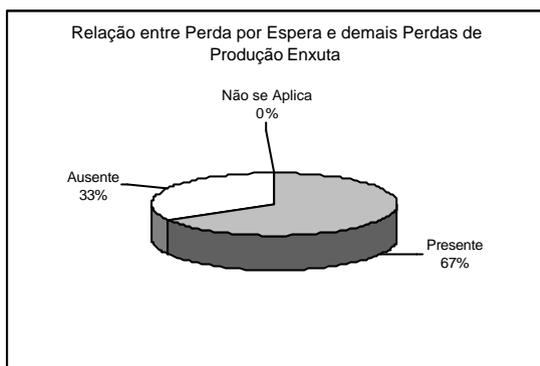


Figura 4.17 – Figura com os gráficos de análise das Perdas de Produção Enxuta

Conforme pode ser observado nos gráficos apresentados pela Figura 4.17, a o tipo de perda com maior impacto sobre a performance do sistema é a perda por Inventários (I), esta perda tem a presença de relação com 75% das demais perdas apontadas pelo checklist proposto. Os outros tipos de perdas que também têm grande influência sobre a performance do sistema são as perdas por Espera (E) com 67% de relações com as demais perdas e as perdas por Transportes (T) com 60% de relações com as demais perdas. Por outro lado as perdas por Superprodução (S), por Defeitos (D) e por Processamento (P) apresentam somente 40% de relações, para cada uma delas, com as demais perdas.

A seguir é apresentada a análise das perdas observadas no processo de produção estudado.

4.3.9 Análise de Perdas do Processo de Produção

A primeira análise realizada no processo de fabricação do módulo de caixa de rodas, tomou como base a identificação da presença das práticas de produção enxuta propostas por Bonavia e Marin (2006). É possível se verificar que das práticas de produção Enxuta propostas para os elementos de produção enxuta: gestão de recursos humanos, gestão de qualidade total, entregas “*Just in Time*” e manutenção preventiva total – TPM.

O atingimento destas práticas pelo sistema de produção estudado é de 90% das práticas propostas para a filosofia de produção enxuta. As práticas identificadas no processo de produção são as seguintes: presença de funcionários multi-funcionais, realização de treinamentos cruzados, aplicação de rotatividade das tarefas, existência de programas de sugestões, presença de círculos de qualidade, aplicação dos conceitos de gestão visual, geração de informações e de “*feedback*” para os funcionários, emprego de práticas de “*housekeeping*”, utilização de tecnologia de módulos, presença do sistema de manufatura celular, o layout existente é voltado para o processo, esforços contínuos para redução do tempo de “*set-up*”, constância de níveis de produção, realização de abastecimentos “*kanban*”, realização de manutenção preventiva total – TPM, existência de controles de qualidade, utilização de métodos de controle estatístico de qualidade, operações realizadas de forma padronizada, sistema de documentação de procedimentos de produção. As práticas que não foram observadas totalizam 10% das propostas, não foi identificada a presença de produção puxada no processo e não foram observadas cargas de máquinas uniformes.

Com relação à análise das perdas categorizadas pela teoria de Produção Enxuta, foram analisadas a presença de cada uma delas no sistema de produção e a existência de relações que reforcem a presença das demais perdas, o check-list têm como base a análise proposta por Rawabdeh (2005).

Ao se analisar os aspectos que envolvem as perdas por superprodução (S) geradas pelo sistema, conforme apresentado na Figura 4. 17, com os gráficos de análise dos diferentes tipos de perdas, pode-se verificar que esta perda têm relação com a incidência . Pela presença desta perda no sistema existe relação com a geração de perdas por Inventário (I) e perdas por Defeitos (D), representando 40% das relações

possíveis. Não foram observadas relações diretas entre a geração das demais perdas e esta perda em particular.

Para as perdas por Inventário (I) foram identificadas relações diretas de geração de perdas por Defeitos (D), geração de perdas por Movimentação (M) e geração de perdas por Transporte (T), totalizando 50% das relações possíveis.

As perdas por Defeitos (D) para o sistema estudado estabelecem relações com as perdas por Superprodução (S) e com as perdas por Inventários (I), gerando 40% de relações possíveis entre esta perda e as demais.

Na análise das perdas por Movimentação (M) foi possível observar relações diretas com a geração de perdas por Processamento (P) e a geração de perdas por Espera (E), totalizando 50% das possíveis relações entre esta perda particular e as demais perdas.

Perdas por Transporte (T) analisadas no sistema estudado, estabelecem relação direta com perdas por Superprodução (S), perdas por Inventário (I) e perdas por Espera (E), atingindo 60% do total de relações propostas desta perda com as demais perdas.

Perdas de Processamento (P) analisadas, têm relação com a presença de perdas por Defeitos (D) e com as perdas por Espera (E) totalizando 40% das relações possíveis com as demais perdas, propostas para este tipo de perda.

As perdas por Espera (E) analisadas no sistema estabelecem relações diretas com a presença no sistema de perdas por Inventários (I), perdas por Defeitos (D), totalizando 67% das relações propostas entre esta perda e as demais.

Conforme pode ser notado, as perdas analisadas não contemplam categorias de perdas por extravio, roubo, etc. Na próxima seção, será apresentado o potencial de integração dos princípios para redução e tratamento das perdas analisadas neste estudo de caso.

4.3.10 Potencial de Integração dos Princípios de Redução e Tratamento das Perdas

De acordo com o que já foi demonstrado nas análises das perdas do produto e do processo produtivo objeto deste estudo de caso, temos um grande potencial de aplicação dos princípios para redução e tratamento de perdas das teorias do Design Sustentável e da teoria de Produção enxuta. A análise realizada com o auxílio do software MPESS-SDO, realizada na análise de perdas do produto, mostrou os potenciais de ganhos de performance na sustentabilidade ambiental do produto/processo existentes.

Através do resultado das entrevistas aos especialistas e a comparação com os resultados das análises do pesquisador, foi possível montar uma matriz onde, de forma rápida, pode se visualizar o potencial de integração de cada um dos princípios, ou estratégias, de redução de perdas da teoria do Design Sustentável com a melhoria dos índices de cada tipo de perda categorizado pelo check-list da Teoria de Produção Enxuta. Pode-se observar o forte potencial de integração demonstrado por alguns princípios de redução de perdas propostos pelo Design Sustentável, onde se destacam os princípios de minimização de recursos e de facilitar a desmontagem com maiores potenciais de integração e o princípio de escolha de recursos de baixo impacto ambiental com o menor potencial, conforme ilustra a Figura 4.18, apresentada a seguir:

Estratégias de Minimização de Perdas do Design Sustentável		Potencial de Integração para Redução de Perdas							
Minimização de Recursos									
Escolha de Recursos de Baixo Impacto									
Otimização da Vida do Produto									
Extensão da Vida dos Materiais									
Facilitar desmontagem									
	Tipos de Perdas na Produção Enxuta	Perdas de Superprodução	Perdas de Inventário	Perdas por Refugos	Perdas de Movimentação	Perdas de Transporte	Perdas de Processamento	Perdas por Defeitos	Perdas por Esperas

Legenda:

- Alto
- Médio
- Baixo

Figura 4.18 – Potencial de Integração de Princípios de Redução de Perdas do Design Sustentável com as perdas da teoria de Produção Enxuta.

Embora algumas abordagens de redução de perdas da Teoria do Design Sustentável tenham baixos potenciais de integração com as perdas da produção Enxuta como, por exemplo, a escolha de recursos de baixo impacto ambiental, a matriz demonstra que mesmo neste caso ainda existe um alto potencial de integração deste princípio com a redução das perdas por Transporte.

Na próxima seção, são colocadas as principais conclusões do estudo de caso realizado.

5 CONCLUSÕES DO ESTUDO DE CASO

5.1 CONCLUSÕES

O problema de se integrar princípios de redução e tratamento de perdas, oriundos da teoria de Produção Enxuta e da teoria do Design Sustentável em sistemas de produção no setor automotivo pode ser solucionado através da aplicação simultânea dos princípios das duas teorias de forma a se buscar o melhor “trade-off”, a melhor compensação, para a performance total do sistema. Embora alguns princípios pareçam ser mutuamente excludentes, como por exemplo, otimização da vida do produto e a produção “puxada”, a revisão bibliográfica e a análise realizada apontam que ambos podem ser aplicados no sistema de forma a se obter a melhor performance global do sistema no aspecto de sustentabilidade ambiental.

Desta forma uma abordagem integrada deverá não só considerar princípios da teoria de Produção Enxuta para a redução das perdas por:

Superprodução, Inventário, Defeitos, Movimentação, Processamento, Transporte e Espera.

Mas também considerar as estratégias propostas pela teoria do Design Sustentável para a redução de perdas:

Extensão de vida de materiais, Maior facilidade desmontagem, Minimização de recursos, Escolha de recursos de baixo impacto e Otimização da vida do produto.

Esta nova forma de abordagem permitiria uma melhora sensível da performance da sustentabilidade ambiental do sistema e conseqüentemente uma redução das perdas geradas por este produto e processo de fabricação.

5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE MÉTODO DE PESQUISA UTILIZADO

O método de estudo de caso empregado nesta pesquisa possibilitou a análise do produto e do processo de fabricação da caixa de roda dianteira de um veículo para se verificar o potencial de integração entre os princípios de redução e tratamento de perdas das teorias de Produção Enxuta e do Design Sustentável. O método possibilitou que fosse realizado o estudo em um ambiente fora do controle do pesquisador.

A utilização de check-lists para a realização da análise do estudo de caso, se por um lado limitou a análise realizada, por outro facilitou em muito a análise dos potenciais de integração entre os princípios das duas teorias estudadas.

Os instrumentos utilizados para validação da análise realizada apresentaram algumas limitações. Para as entrevistas com os especialistas a disponibilidade e a questão do prazo foram fatores que limitaram a profundidade da análise. Porém, as entrevistas contribuíram com aspectos que não haviam sido considerados na análise preliminar realizada pelo pesquisador e foram fundamentais para validação da hipótese. O software MPESS-SDO foi um grande facilitador para compreensão dos potenciais de melhorias da performance na dimensão da sustentabilidade ambiental para o produto e processo estudados.

Desta forma a estratégia para o desenvolvimento da pesquisa mostrada no capítulo 3, se mostrou eficaz para o objetivo proposto para esta dissertação.

5.3 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Apesar da preocupação com os impactos ambientais das atividades de produção, ainda existem poucos estudos realizados com aplicações práticas de soluções de projeto propostas pelo Design Sustentável para melhoria da performance ambiental destes sistemas. Especialmente no setor automotivo, o grande foco dos estudos ainda se encontra na teoria de Produção Enxuta. Somente alguns pesquisadores começam a testar as aplicações de ecologia industrial e do Design Sustentável para redução dos impactos gerados pelos sistemas de produção do setor automotivo.

O escopo do estudo realizado não permitiu a intervenção na realidade estudada, não havendo possibilidade de se comprovar os resultados positivos da aplicação de uma abordagem integrada para redução das perdas no sistema produtivos. Torna-se interessante a realização de novos estudos no sentido de se obter uma comprovação prática da abordagem integrada proposta.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

BAAS, L.W. e BOONS, F.A.; An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems; **Journal of Cleaner Production** 12, pp. 1073-1085; Elsevier, 2004.

BHASIN, S., BURCHER, P.. Lean viewed as a philosophy. **Journal of Manufacturing technology Management**. Vol.17, No.1, 2005.

BONAVIA, T.; MARIN, J., A.. An empirical study of lean production in the ceramic tile industry in Spain. **International Journal of Operations & Production Management**. Vol. 26 No. 5, 2006 pp. 505-531

CAPRA, Frijot; Sociedade Sustentável. **Revista CREA/PR**, Curitiba, Ano 7 Número 31, pp. 22-29, Novembro 2004.

CENTRE FOR DESIGN at Royal Melbourne Institute of Technology University; Introduction to EcoRedesign: improving the environmental performance of manufactured products, pp. 2-14; Disponível em: <www.cfd.mit.edu.au/programs/sustainable_products/introduction_to_ecoredisgn>; Melbourne, Julho,1999. Acesso em: Jan. 2005.

COHEN-ROSENTHAL, E.; HUISINGH, Donald *et al*; Making Sense out of industrial ecology: a framework for analysis and action; **Journal of Cleaner Production** 12, pp. 1111-1123; Elsevier, 2004.

COONEY, R. Is “lean” a universal production system? Bach production in the automotive industry. **International Journal of operations & Production Management**. Vol. 22 No. 10,2002, pp.1130-1147.

DAHLGAARD, J., J. and DAHLGAARD, S., M., P.. Lean Production, six sigma quality, TQM and Company Culture – a critical Review. Published in: **Best on Quality**, vol 12 ASQ, 2001.

FERREIRA, A. B. de H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2 ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986. 1838 p.

FORZA, C. Work organization in lean production and traditional plants What are the differences?. **International Journal of operations & Production Management**. Vol. 16 No. 2, pp.42-6, 1996..

FORZA, Cipriano. **Work Organization in Lean Production and Traditional Plants : What are the differences ?** International Journal of Operations & Production Management. Vol.16, N.02, 1996.

FRAGNOLI, MARIO. The preliminary evaluation of environmental performances in sustainable product development; **Simposium Paper; University of Rome “ La Sapienza”**; Rome, 2004.

GERTSAKIS, JOHN. **Linking innovation, design and sustainability: learning from real world ecodesign projects; Innovation design sustainability project**. Ecorecycle Victoria e Centre for Design at RMIT; Melbourne, Julho, 2001.

GIUBLIN, Carlos R. **Diretrizes para o Planejamento de Canteiros de Obra de Pavimentação de Concreto**. Dissertação de Mestrado, CPGCC – UFPR, Setembro, 2002.

GUTOWSKI, T., G. Design and Manufacturing for the Environment. Disponível em: <<http://web.mit.edu/ebm/Gutowski%20Mech%20Eng%20Handbook%20Ch%20Dec%2006%2020041.pdf#search=%22Design%20and%20Manufacturing%20for%20the%20Environment%20%2B%20Timothy%20G.%20Gutowski%22>> Acesso em: dez. 2005.

HADFIELD, M. Sustainable design special issue of journal of materials and design. Elsevier, 2005 p.569-570

HINES P., HOLWEG, M., RICH, N. Learning to evolve A review of contemporary lean thinking. **International Journal of Operations & Production Management**, vol. 24 No. 10 pp 994-1011, 2004.

MDIC. Ministério da Indústria, Desenvolvimento e Comercio Exterior do Brasil <http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/inicial/index.php>

IMAI, MASSAKI.; **Gemba Kaizen: A commonsense, low-cost approach to management**, pp.1-341; McGraw-Hill, New York (USA), 1997.

Instituto brasileiro de geografia e estatística – IBGE. Pesquisa Industrial, Rio de Janeiro, v. 22, n.2, p.1-162, 2003

JONES, E.; HARRISON, D.; MC LAREN, J..Managing Creative Eco-innovation Structuring outputs from Eco-innovation projects. **The journal of sustainable product design**. Vol 1 pp. 27-39, 2001.

KATAYAMA, H.; BENNETT, D. Lean production in a changing competitive world: a Japanese perspective. **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 16

KAWNG, K.K.L.; PERVAIZ, K. Ahmed e ZAIRI, M. **Managing Waste and Looking Beyond: The IMI Approach**. The TQM Magazine. MCB University Press, UK, Vol. 11, N. 05, 1999.

KOCHAN, A. **Automotive Industry Looks for Lean Production**. Assembly Automation. MCB University Press, UK, Vol. 18, N.02, 1998.

KOCHAN, T. A. Automotive industry looks for lean production. **Assembly Automation**, v. 18, n. 2, p. 132-137, 1998.

KORHONEN, J. Industrial ecology in the strategic sustainable development model: strategic applications of industrial ecology. **Journal of Cleaner Production** 12, pp. 809-823; Elsevier, 2004.

KORHONEN, J.; OKKONEN, L.; NIUTANEN, N.; Industrial ecosystem indicators – direct and indirect effects of integrated waste – and by – product management and energy production. **Clean Technology Environmental Policy**. pp.162-173, 2004.

KOSKELA, L. Management of production in construction: A theoretical view. In: **IGLC- 7 Proceedings**. University of California, Berkeley, CA, USA, 1999.

KOTLER, P. **Administração de Marketing**, pp. 327-379; 5ª Edição; Editora Atlas; São Paulo, 1998.

LEWIS, H and GERTSAKIS, J. **Design + environment a global guide to designing greener goods**. Sheffield: published by Greenleaf publishing limited, 2001.

LEWIS, M.. A..Lean production and sustainable competitive advantage. **International Journal of Operations & Production Management**, vol. 20 No. 8 pp 959-978, 2000.

- LIM, Y.K.; SATO, K. Describing multiple aspects of use situation: applications of design information framework (DIF) to scenario development. **Design Studies**, nº27, 2005.
- LINSTONE, H. A.; TUROFF, M. **The Delphi Method Techniques and Applications**, University of Southern California, 2002.
- MANZINI, E., VEZZOLI, C.. **Product-service systems and sustainability: United Nations Environment Programme**. Disponível em< <http://www.MANZINI, E., VEZZOLI, Ctie.org/pc/sustain/reports/pss/pss-imp-7.pdf>> Acesso em: 20 mar 2006.
- Materials and Design 26 (2005) 569–570
- MATTAR, F.N. **Pesquisa de Marketing**. São Paulo: Atlas, 1993.
- MEIER, S., H.; FORRESTER, P., L. A model for evaluating the degree of leanness of manufacturing firms.In: **Integrated manufacturing systems**. Vol 13, No 2.pp104-109, 2002
- MONDEN, Y. Toyota Production system: an integrated approach to just-in-time.3rd. Norcross, GA: Engineering & Management Press, 1998.
- MUFFATTO, M. Evolution of production paradigms: the Toyota and Volvo cases.In: **Integrated Manufacturing Systems** vol.10 No.1 pp.15–25, 1999.
- NEELY, A., GREGORY, M., PLATTS, K.. Performance measurement system design A literature review and research agenda. **International Journal of Operations & Production Management**. Vol 25 No. 12, pp.1228-1263, 2005.
- NETO, J. A.; D`ANGELO, F.. The Influence of Automakers in Industrial Organization of theirs Suppliers: The Case of the Brazilian Automotive Complex. In: Second World Conference on POM and 15 th Annual POM Conference, Cancun, Mexico, April 30 – May, 2004.No. 2, pp. 8-23, 1996.
- OHNO, T. **Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre, editora Bookman, 1997. (apud RECH 2004)
- OTTOSSON, S.. Dynamic product development — DPD. **Elsevier**. Technovation vol. 24 pp.207–217, 2004
- PERVAIZ K. AHMED, P., K.; LIM, K., K.; AND ZAIRI, M. Measurement practice for knowledge management. **Journal of Workplace Learning: Employee Counselling Today**
- PHILIPS, Todd. **Building the Lean Machine**. Advanced Manufacturing Magazine, January, 2000.
- RAWABDEH, I., A. A model for the assessment of waste in job shop environments **International Journal of Operations & Production Management**. Vol 25 No. 8, pp.800-822, 2005.
- ROBSON, C. Real World Research: **A Source for Social Scientists and Pratictioner**. Blackwell, Oxford, UK, 1993.
- ROTHENBERG, S.; PIL, F. K.; MAXWELL, J.. Lean, green, and the quest for superior environmental performance **Production and Operations Management**; vol:10, No3; Fall 2001.

- ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F., A., AMARAL, D., C.. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos uma referência para a melhoria do processo**. Ed. Saraiva. São Paulo, 2006.
- SÁNCHEZ, A., M. and PÉREZ, P. M. Lean indicators and manufacturing strategies. **International Journal of Operations & Production Management**. Vol 21 No. 11, pp.1433-1451, 2001.
- SANTOS, A.; **Application of flow principles in the production management of construction sites**. 1999. Tese (Doutorado) – School of Construction and Property Management The University of Salford. Salford, UK, 1999.
- SANTOS, A.; TANURE, R., L. Z.. Proposta de Check-list de Design Sustentável para Análise Conceitual de Produtos. In: **3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON DESIGN RESEARCH**, 2005, Rio de Janeiro. Proceedings of the 3rd International Conference on Design Research. 2005.
- SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção – do ponto de vista da engenharia de produção**; 2ª ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996b.
- SHINGO, S. **Sistemas de produção com estoque zero: o sistema Shingo para melhorias contínuas**. Trad. Lia Weber Mendes. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996a.
- SORIANO, M., S.; FORRESTER, P., L..A model for evaluating the degree of leanness of manufacturing firms. **Integrated Manufacturing Systems journal**. pp 104-109, 2001
- Editorial “Sustainable design – special issue of Journal of Materials and Design, **Journal of Materials and Design**, www.elsevier.com/locate/matdes, acesso em : Dezembro 2005.
- TAFT , J.; BARCLAY, I. Simultaneous Engineering : A Management Evaluation Disponível em<<http://ieeexplore.ieee.org/iel2/682/5877/00225269.pdf?arnumber=225269>> Acesso em: 25 abr 2006.
- TISCHNER, U.; NICKEL, R. Eco-design in the printing industry Life cycle thinking: Implementation of Eco-design concepts and tools into the routine procedures of companies. **The journal of sustainable product design**. 3: 19-27, 2003
- UNEP. **Integrating Cleaner Production**, Paris: UNEP – United Nations Environmental Program, 2002.
- VEZZOLI, C e MANZINI, E.; **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**, pp. 91-280; Editora Edusp; São Paulo, 2002.
- WALLACE, T. Innovation and hybridization Managing the introduction of lean production into Volvo do Brazil. **International Journal of Operations & Production Management**. Vol. 24 No. 8, pp. 801-819, 2004
- WOOMACK, James P. e JONES, Daniel, T. **Beyond Toyota: How To Root Out Waste and Pursue Perfection** Harvard Business Review, September - October, 1996.
- WOOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; **Lean Thinking – Banish Waste And Create Wealth in your Corporation**; pp.15; Simon & Schuster, New York, 1996.
- YIN, R. K.; **Estudo de Caso Planejamento e Métodos**. 2ª. Edição. Ed. Bookman, Porto Alegre, 2001

7 ANEXOS

ANEXO I

O **Quadro 1** abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado “peça de fechamento”.



Nome da peça	Peça de Fechamento	
Descrição	Aço Carbono H220PD e camada de Zinco através de imersão em banho fundido com teor mínimo de 99%.	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	280 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	400 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	32%
	<i>Função</i>	Reforço da estrutura da caixa de roda junto ao módulo que fixa amortecedor (capacete) + suspensão dianteira.

Quadro 1 – Características geométricas e físico-químicas do componente peça de fechamento

O quadro 02, abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado “caixa de roda”.



Nome da peça	Caixa de Roda	
Descrição	Aço Carbono SEW 093 e camada de Zinco através de imersão em banho fundido com teor mínimo de 99%.	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	330 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	420 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	28%
	<i>Função</i>	Peça que dá forma à caixa de roda onde são agregados os demais componentes.

Quadro 2 – Características geométricas e físico-químicas do componente caixa de roda

O Quadro 03, abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado “alojamento da suspensão”.

<p>Alojamento da Suspensão</p>  <p>Peso: 1.210g</p>		
Nome da peça	Alojamento da Suspensão	
Descrição	Aço Carbono H220PD e camada de Zinco através de imersão em banho fundido com teor mínimo de 99%.	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	280 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	400 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	32%
	<i>Função</i>	Reforço da estrutura da peça capacete para fixação de parte da suspensão dianteira.

Quadro 3 – Características geométricas e físico-químicas do componente alojamento da suspensão

O quadro 04, abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado “reforço da perna de mola (Capacete)”.



Nome da peça	Capacete	
Descrição	Aço Carbono SEW 093 e camada de Zinco através de imersão em banho fundido com teor mínimo de 99%.	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	260 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	380 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	30%
	<i>Função</i>	Parte onde se fixa o amortecedor dianteiro na caixa.

Quadro 4 – Características geométricas e físico-químicas do componente capacete

O quadro 05, abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado “porca chapa”.



Nome da peça	Porca Chapa	
Descrição	CuZn37.	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	440 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	340 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	19%
	<i>Função</i>	Fixação de parafuso da capa plástica da caixa de roda.

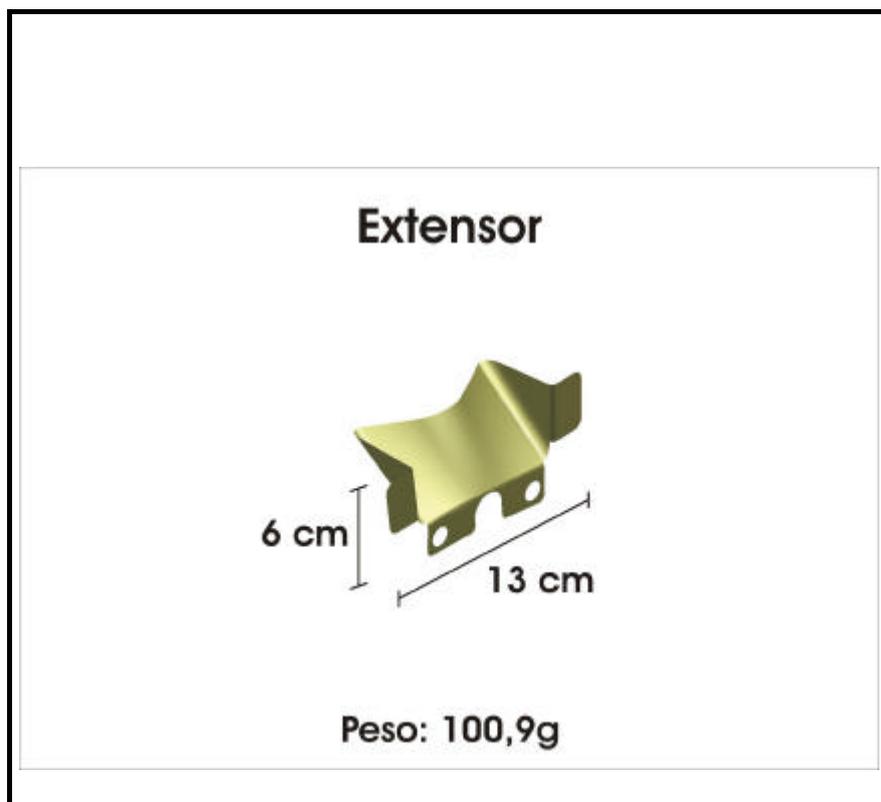
Quadro 5 – Características geométricas e físico-químicas do componente porca chapa

O quadro 06, abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado “suporte para a mangueira do freio”.

<p>Suporte Mangueira de Freio</p>  <p>Peso: 45,7g</p>		
Nome da peça	Suporte Mangueira de Freio	
Descrição	Aço Carbono SEW 093 e camada de Zinco através de imersão em banho fundido com teor mínimo de 99%.	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	330 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	410 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	25%
	<i>Função</i>	Suporte para a mangueira do freio roda dianteira.

Quadro 6 – Características geométricas e físico-químicas do componente suporte para a mangueira do freio

O quadro 07, abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado “extensor (prolongamento do reforço)”.



Nome da peça	Extensor (Prolongamento do Reforço)	
Descrição	Aço Carbono SEW 093 e camada de Zinco através de imersão em banho fundido com teor mínimo de 99%.	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	260 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	380 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	30%
	<i>Função</i>	Passagem de magueira do motor.

Quadro 7 – Características geométricas e físico-químicas do componente extensor

O quadro 08, abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado “porca solda”.



Nome da peça	Porca Solda	
Descrição	Aço Carbono UQSt 38.	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	225 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	460 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	25%
	<i>Função</i>	Auxilia na fixação do suporte da bateria.

Quadro 8 – Características geométricas e físico-químicas do componente porca solda

O quadro 09 abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado “suporte expansão”.



Nome da peça	Suporte de Expansão	
Descrição	Aço Carbono SEW 093 e camada de Zinco através de imersão em banho fundido com teor mínimo de 99%.	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	300 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	420 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	26%
	<i>Função</i>	Alojar componente do motor.

Quadro 9 – Características geométricas e físico-químicas do componente suporte expansão

O quadro 10 abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado “longarina superior interna dianteira”.



Nome da peça	Longarina Superior Interna Direita	
Descrição	Aço Carbono H220PD e camada de Zinco através de imersão em banho fundido com teor mínimo de 99%.	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	280 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	400 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	32%
	<i>Função</i>	Reforça a estrutura montada no componente caixa de roda e auxilia a fixação do módulo no Motor.

Quadro 10 – Características geométricas e físico-químicas do componente longarina superior interna dianteira direita

O quadro 11 abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado defletor de calor.



Nome da peça	Defletor de Calor	
Descrição	Aço Carbono SEW 093 e camada de Zinco através de imersão em banho fundido com teor mínimo de 99%.	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	260 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	380 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	30%
	<i>Função</i>	Alojamento de mangueiras do motor e dispersão de calor

Quadro 11 – Características geométricas e físico-químicas do componente defletor de calor

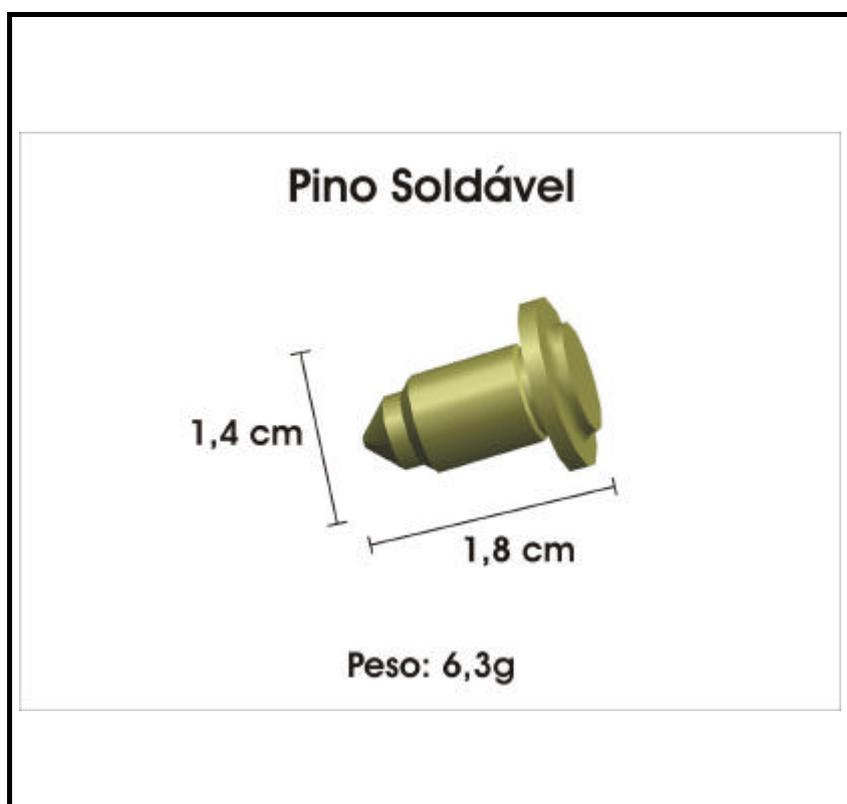
O quadro 12 abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado suporte do paralama.



Nome da peça	Suporte do Paralama	
Descrição	Aço Carbono SEW 093 e camada de Zinco através de imersão em banho fundido com teor mínimo de 99%.	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	300 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	420 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	26%
	<i>Função</i>	Fixação do paralama dianteiro

Quadro 12 – Características geométricas e físico-químicas do componente suporte do paralama

O quadro 13 abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado pino soldável.



Nome da peça	Pino Soldável	
Descrição	CuZn37	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	440 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	340 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	19%
	<i>Função</i>	Fixação do módulo do reservatório de partida à frio.

Quadro 13 – Características geométricas e físico-químicas do componente pino soldável

O quadro 14 abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado parafuso tucker.



Nome da peça	Parafuso Tucker	
Descrição	CuZn37	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	440 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	340 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	19%
	<i>Função</i>	Fixação cabo componente freio dianteiro.

Quadro 14 – Características geométricas e físico-químicas do componente parafuso tucker

O quadro 15 abaixo, mostra as características geométricas e físico-químicas do componente do módulo chamado pino roscado.



Nome da peça	Pino Roscado	
Descrição	Aço Carbono UQSt 38.	
Propriedades Mecânicas	<i>Resistência ao Cisalhamento</i>	225 N/mm ²
	<i>Resistência à Tração</i>	460 N/mm ²
	<i>Alongamento Percentual (mínimo)</i>	25%
	<i>Função</i>	Auxilia a fixação de mangueira de combustível.

Quadro 15 – Características geométricas e físico-químicas do componente pino roscado

O quadro 16 abaixo, mostra as características físico-químicas do componente do módulo chamado “Cola para União de Metais”.

	
Nome	Cola para União de Metais
Descrição do Material	Caucho sintético (borracha), resina fenólica, elemento vulcanizador e material de enchimento inorgânico.
Características Físicas e Químicas	
Forma	Pasta
Cor	Preta
Cheiro	Característico
Início de Vulcanização	140o C
Ponto de Inflamação	>200o C
Densidade	1,5g/cm ³
Solubilidade em água	Insolúvel
Viscosidade	27500,0 +/- 7500,0 m Pas a 20o C testado conforme Viscolab PP30.
Teor de Solvente	1%
Teor de Corpos Sólidos	99,0% testado após 2h 105o C
Endurecimento	30min 180oC
Função	Auxiliar junção entre a longarina e caixa de roda.

Quadro 16 – Características físico-químicas do componente cola para união de metais

Os dados sobre as características comuns das peças de aço carbono foram complementados através de pesquisa bibliográfica realizada no site do Núcleo de Design e Seleção de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS <http://www.ufrgs.br/ndsm/ndsm.htm>, conforme mostra o Quadro 17.

Características comuns para Aço Médio Teor de Carbono *	
Fe com 0,3 - 0,7%C	
Propriedades Térmicas	
Calor Específico	418 - 455 (J/Kg.K)
Calor Latente de Fusão	270 - 275 (KJ/Kg)
Dilatação Térmica	12 - 13 (10 ⁻⁶ /K)
Condutividade Térmica	38-41 (W/m.K)
Ponto de Fusão	1,60E+3 - 1,76E+3 (K)
Temperatura Máxima de Serviço	550 - 700 (K)
Temperatura Mínima de Serviço	220 (K)
Propriedades Elétricas	
Constante Dielétrica	Não é aplicável.
Resistividade	17,78 - 19,95 (10 ⁻⁸ ohm.m)
Propriedades Físicas	
Densidade	7,80 - 7,82 (Mg/m ³)
Resistência à chama	Excelente.
* Dados pesquisados no Núcleo de Design e Seleção de Materiais	

Quadro 5 – Características físico-químicas comuns aos componentes em aço carbono

ANEXO II

Minimização de recursos

	Abordagem	Sim	Não	Não se Aplica
MINIMIZAÇÃO DOS RECURSOS	reduz o uso de materiais e de energia?		X	
	há a miniaturização de processos ou componentes?		X	
	desmaterializa o produto ou algumas de suas partes?			X
	há uma otimização estrutural (ex: uso de nervuras/espessura reduzida)?		X	
	reutiliza o calor disperso no processo produtivo?		X	
	utiliza sistemas de interruptores inteligentes?		X	
	facilita a manutenção dos motores?			X
	otimiza os volumes de compra (estoque)?	X		
	otimiza os sistemas de controle (inventário)?	X		
	utiliza sistemas eficientes de aquecimento, aeração, iluminação das edificações?		X	
	usa instrumentos informáticos para projeto, modelagem e prototipia?	X		
	usa instrumentos informáticos para gestão de documentos/informação?	X		
	evita excesso de embalagens?	X		
	os produtos são compactos com alta densidade de transporte e de armazenagem?			X
	os produtos são projetados para serem mais leves?	X		
	a logística é otimizada?	X		
	o uso dos recursos e manutenção, são empregados de modo eficiente?			X
	os sistemas utilizam o consumo variável de recursos para diferentes exigência de funcionamento?			X
	há adoção de sistemas de transmissão de energia de alta eficiência?			X
	há sistemas de recuperação de energia e materiais?			X
total		7	10	3

Tabela 1 - Análise do processo existente para a estratégia de minimização de recursos.

Escolha de Recursos de Baixo Impacto Ambiental

	Abordagem	Sim	Não	Não se Aplica
ESCOLHA DE RECURSOS DE BAIXO IMPACTO	seleciona os materiais, processos e fontes de maior ecocompatibilidade?	X		
	evita inserir materiais/acabamentos tóxicos e/ou danosos?		X	
	usa materiais renováveis?		X	
	usa materias/componentes que provenham de refugos de processos produtivos ou de produtos já eliminados?		X	
	usa materiais biodegradáveis?		X	
	usa materiais reciclados, em separado ou junto com materiais virgens?		X	
	as tecnologias de transformação dos materiais são de baixo impacto?		X	
	escolhe fontes energéticas renováveis?	X		
	as fontes energéticas utilizadas minimizam as emissões nocivas?		X	
	total		2	7

Tabela 2- Análise do processo existente para a estratégia de escolha de recursos de baixo impacto ambiental.

Otimização da Vida do Produto

	Abordagem	Sim	Não	Não se Aplica
OTIMIZAÇÃO DA VIDA DO PRODUTO	a vida útil dos componentes é compatível com a vida útil do produto?	X		
	o nº de partes e componentes são minimizados?		X	
	evita junções frágeis?	X		
	os produtos são modulares/reconfiguráveis para adaptação à evolução?			X
	o acesso às partes que necessitam de manutenção/limpeza periódica é facilitado?			X
	permite/facilita a manutenção no próprio local de uso?			X
	as partes/componentes são estandardizados?	X		
	projeta em função da reaplicação dos materiais descartados?		X	
	facilita a remoção de partes/componentes que podem ser reutilizados?		X	
	há a possibilidade de recarga e/ou reutilização das embalagens?	X		
	são produtos-serviços voltados para uso coletivo/compartilhado?		X	
	os produtos possuem funções integradas ou são multifuncionais?			X
	total		4	4

Tabela 3 - Análise do processo existente para a estratégia de otimização da vida do produto.

Extensão da Vida dos Materiais

	Abordagem	Sim	Não	Não se Aplica
EXTENSÃO DA VIDA DOS MATERIAIS	minimiza o nº de materiais incompatíveis entre si?	X		
	facilita a separação de materiais incompatíveis entre si?		X	
	utiliza materiais que facilmente recuperam as características das suas serventias iniciais?	X		
	identifica, bem visivelmente, os materiais?		X	
	facilita a recolha/transporte após o uso?		X	
	os materiais possuem tecnologias de reciclagem eficientes?	X		
	há a reciclagem em efeito-cascata?		X	
	disponibiliza/facilita a reciclagem do materiais com componentes de qualidades estéticas ou mecânicas inferiores?		X	
	disponibiliza a recuperação por combustão do conteúdo energético dos materiais?			X
	considera a relação entre o produto e o material utilizado?	X		
	há informações sobre como descartar-se do produto?		X	
	há informações complementares sobre a idade do material, nº de reciclagens já efetuadas, aditivos utilizados, componentes tóxicos ou danosos?			X
	os sistemas de identificação dos materiais são estandarizados?	X		
	usa somente um tipo de material (estratégia do monomaterial)?		X	
	evita acabamentos de difícil remoção?		X	
	evita os adesivos; caso eles sejam indispensáveis, escolhe os que sejam compatíveis com o material a ser reciclado/de fácil remoção?		X	
	evita operações posteriores/acréscimo de materiais para codificar?			X
	facilita a separação do materiais biodegradáveis dos outros?		X	
	os produtos destinados à incineração usa materiais com alto poder de combustão/evita os que liberam substâncias nocivas/facilita a separação dos materiais que tornam ineficiente a combustão?			X
	total		5	10

Tabela 4- Análise do processo existente para a estratégia de extensão da vida dos materiais.

Facilitando a desmontagem

	Abordagem	Sim	Não	Não se Aplica
FACILITANDO A DESMONTAGEM	as operações de desmontagem/separação são minimizadas e facilitadas?		X	
	usa elementos de junção que possam ser destruídos física ou quimicamente?	X		
	usa sistemas de junção reversíveis?		X	
	usa juntas de garras que se abram com instrumentos comuns?		X	
	usa juntas de garras, que se abram somente instrumentos especiais, quando existir o risco de abertura?	X		
	usa parafusos compatíveis com os materiais afixados, para não ser necessária a sua extração, quando em caso de reciclagem?			X
	usa parafusos auto-atarraxantes, evitando assim os insertos metálicos?		X	
	ao usar sistemas de junção permanente, estes são de fácil remoção?		X	
	evita rebites/sistema de pressão em materiais incompatíveis entre si?			X
	minimiza o nº de fixações?		X	
	minimiza ou evita fixações que necessitam instrumentos diferenciados para remoção?		X	
	disponibiliza áreas de quebra/corte, facilmente acessíveis e identificáveis, para separação de materiais incompatíveis?			X
	solda usando material compatível com as partes que devem ser unidas?	X		
total		3	7	3

Tabela 5 – Análise do processo existente para a estratégia de facilitar a desmontagem.

ANEXO IV

Elementos de produção enxuta	Prática	Sim	Não	Não Aplicável
Gestão de Recursos Humanos.	Funcionários multi-funcionais	X		
	Treinamento cruzado	X		
	Rotatividade de tarefas	X		
Gestão de Recursos Humanos e Gestão da Qualidade Total.	Programa de sugestões	X		
	Círculo de qualidade	X		
Gestão de Recursos Humanos, Gestão de Qualidade Total e Manutenção Total Preventiva – TPM.	Gestão visual	X		
	Informação e “feedback” para funcionários	X		
	“Housekeeping”	X		
Entregas “Just In Time”.	Tecnologia de módulos	X		
	Manufatura celular	X		
	Layout voltado para o processo	X		
	Redução de tempo de “set-up”	X		
	Nível de produção	X		
	Carga de máquina uniforme		X	
	Sistema de produção puxado		X	
	Abastecimento “kanban”	X		
Manutenção Preventiva Total – TPM, Gestão da Qualidade Total e Entregas Just In Time.	Manutenção Preventiva Total – TPM	X		
	Controles de qualidade	X		
	Métodos de controle estatístico da qualidade	X		
	Padronização das operações	X		
	Documentação de procedimentos de produção	X		
Total		19	02	0

Figura 1 – Práticas de produção Enxuta, adaptado de Bonavia e Marin, 2006

Cada tipo de perda foi abreviada usando a inicial (S: Superprodução, I: Inventário, D: Defeitos, M: Movimentação, P: Processamento, T: Transporte e E: Espera), conforme apresentado na tabela abaixo.

Superprodução (S).	Relação	Sim	Não	Não aplicável
S _ I	Superprodução consome e necessita grande quantidades de matérias-primas causando estocagem e produzindo mais peças em processo que consome espaço, e são consideradas como uma forma de inventário sem demanda.	X		
S _ D	Quando os funcionários estão produzindo mais, a preocupação deles com a qualidade das peças produzidas irá diminuir, por causa do senso que existem materiais suficientes para substituir os defeitos.	X		
S _ M	Superprodução leva à comportamentos não-ergonômicos, que leva à métodos de trabalho sem padrão com quantidades de perdas consideráveis.		X	
S _ T	Superprodução leva ao excesso de transportes seguindo o excesso de fluxos de materiais		X	
S _ E	Quando se produz demais, os recursos serão separados por tempos mais longos, atrasos maiores ocorrerão e clientes terão que esperar por mais tempo.		X	
Total		02	03	0

Figura 2 – Check-list de verificação de relação entre perdas de sistema de produção enxutos, adaptado do porposto por Rawabdeh (2005)

Inventário (I).		Sim	Não	Não Aplicável
I_S	O maior nível de matérias-primas nos depósitos pode pressionar os trabalhadores a trabalhar mais, para manter a produtividade.		X	
I_D	Aumentar inventários irá aumentar a probabilidade de aumento nos defeitos por falta de preocupação com a qualidade das peças ou por falta de locais adequados para armazenagem das peças em processo.	X		
I_M	Aumentando o inventário irá aumentar o tempo para localizar, selecionar, alcançar, pegar e manusear a peça.	X		
I_T	Aumentar o inventário algumas vezes bloqueia a disponibilidade de passagens, tornando a produção uma atividade que consome maior tempo e mais transportes.	X		
Total		03	01	0

Figura 3 – Check-list de verificação de relação entre perdas de sistema de produção enxutos, adaptado do porposto por Rawabdeh (2005)

Defeitos (D).		Sim	Não	Não Aplicável
D _ S	O comportamento de superprodução aparece para superar a falta de peças por defeitos.	X		
D _ I	Produzir peças com defeito que necessitam ser retrabalhadas, o que significa aumento dos níveis de inventário de peças em processo existentes.	X		
D _ M	Produzir defeitos aumenta o tempo de procura e seleção de peças, sem mencionar que retrabalhos são criados exigindo maiores habilidades de treinamento.		X	
D _ T	Movimentar peças defeituosas para estações de retrabalho irá aumentar a intensidade de transportes (fluxos de retorno, atividades de transporte gerando perdas, etc).		X	
D _ E	Retrabalho irão ocupar estações de trabalho e peças novas terão de esperar para serem processadas.		X	
Total		02	03	0

Figura 4 – Check-list de verificação de relação entre perdas de sistema de produção enxutos, adaptado do porposto por Rawabdeh (2005)

Movimentação (M).		Sim	Não	Não Aplicável
M_I	Métodos de trabalho sem padrões levam a maiores quantidades de trabalho em processo.		X	
M_D	Falta de treinamento e padronização significa que a percentagem de defeitos sobre o total irá aumentar.		X	
M_P	Quando o trabalho não é padronizado, perdas de processo irão aumentar por falta de entendimento da capacidade tecnológica disponível.	X		
M_E	Quando padrões não são definidos, tempo será consumido em procura, movimentação, e montagem o que resulta em um aumento na espera de peças.	X		
Total		02	02	0

Figura 5 – Check-list de verificação de relação entre perdas de sistema de produção enxutos, adaptado do porposto por Rawabdeh (2005)

Transporte (T).		Sim	Não	Não Aplicável
T _ S	Itens são produzidos mais que o necessário, baseados na capacidade de manuseio do sistema e na redução do custo de transporte por unidade.	X		
T _ I	Número insuficiente de equipamentos de manuseio leva a maior inventário que pode afetar outros processos.	X		
T _ D	Equipamentos de movimentação de materiais desempenham um papel considerável no aumento das perdas. Equipamentos de movimentação de materiais inadequados podem algumas vezes danificar itens que se tornarão itens defeituosos.		X	
T _ M	Quando itens são transportados isto significa uma maior probabilidade de perdas por movimentação apresentadas por dupla movimentação e procura.		X	
T _ E	Se equipamentos de movimentação de materiais são insuficientes, isto significa que itens irão ficar ociosos, aguardando para serem transportados.	X		
Total		03	02	0

Figura 6– Check-list de verificação de relação entre perdas de sistema de produção enxutos, adaptado do porposto por Rawabdeh (2005)

Processamento (P).		Sim	Não	Não Aplicável
P _ S	Com objetivo de se reduzir custo de uma operação pelo tempo de máquina, equipamentos são forçados a operar em turnos completos, o que finalmente resulta em superprodução.		X	
P _ I	Combinar operações em uma célula resulta em diretamente no decréscimo de inventários em processo por causa da eliminação dos estoques em processo.		X	
P _ D	Se os equipamentos não têm uma manutenção adequada, defeitos poderão ser produzidos.	X		
P _ M	Novas tecnologias de processamento que não são objeto de treinamento adequado criam perdas de movimentação de materiais.		X	
P _ E	Quando a tecnologia utilizada não é adequada, tempos de “set-up” e tempos ociosos repetitivos irão levar a maiores tempos de espera.	X		
Total		02	03	0

Figura 7– Check-list de verificação de relação entre perdas de sistema de produção enxutos, adaptado do porposto por Rawabdeh (2005)

Espera (E).		Sim	Não	Não Aplicável
E _ S	Quando o equipamento está esperando porque seu abastecedor está servindo outro cliente, esta máquina será forçada a produzir mais somente para evitar paradas.		X	
E _ I	Espera significa mais que o necessário em algum ponto, não importa se são matérias-primas, produtos em processo ou produtos finais.	X		
E _ D	Itens em espera podem gerar defeitos por condições inadequadas na operação.	X		
Total		02	01	0

Figura 8 – Check-list de verificação de relação entre perdas de sistema de produção enxutos, adaptado do porposto por Rawabdeh (2005).