

JOSÉ EURÍPEDES GOMES

Cadeia de Suprimentos na velocidade do pensamento

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Engenharia

Área de concentração: Engenharia Mecânica -
Projetos de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha
de Souza

SÃO PAULO
2006



Prof. Stephen Hawking é doutor em cosmologia e ocupa a cadeira de Isaac Newton como professor Lucasiano de Matemática na Universidade de Cambridge



Dedicatória

Amor da minha vida!

*No horizonte, em uma paralela qualquer
Escrevo meu nome dentro da sua alma
No horizonte, em uma paralela qualquer
Você vem chegando como o perfume das flores
Ensinando devagarzinho o sol a brilhar
Trazendo um sorriso de amores
Correndo vindo me amar*

*Amor da minha vida
Oxalá, tivesse o infinito pra chamá-la de querida*

*No infinito em um mundo qualquer
Teu amor vem atropelar minha alma
Que acorda, e foge da calma
Perde os sentidos, sussurros nos ouvidos
Momentos vividos pra nunca esquecer*

*Amor da minha vida
Quiçá, tivesse o infinito pra chamá-la de querida*

*Na imensidão do universo
Existe apenas um lugar
Onde estarei sempre chegando
Trazendo amores como o sol do verão
Canções sempre amando
Este lugar é seu coração*

*Amor da minha vida
Quisera ter o infinito pra chamá-la de querida*

*Em um lugar qualquer brilha nosso amor
Você ensina a lua a enamorar-se da terra
Ensina as estrelas a brilhar
Mostra o caminho para as águas
Que sempre navegam para o mar
Ensina minha alma a viver
Meus versos a sonhar
Meu amor somente pra te amar*

*Amor da minha vida
Quem dera, tivesse o infinito pra chamá-la de querida*

*Seu beijo me ensina a viver
Suas palavras me trazem a calma
Seu carinho é meu bem querer
Seu coração minha alma
Meu modo de viver*

*Amor da minha vida
Oxalá, tivesse o infinito pra chamá-la de querida.*

Eurípedes Gomes

São Paulo, 11 de março de 2006

Dedico este poema para Lia K uzmenko, companheira, amiga, cúmplice, e amor da minha vida. Sem seu apoio, carinho e admiração, nada teria sentido.

Soneto para Geraldo e Maria

*De longe o carro vem cantando
Bate sol, poeira, bate chuva, lamaceira
Bela terra, bela flor da capoeira
Geraldo e Maria no coração, amores de todas as maneiras*

*Que amor da madrugada, que amor tão forte
Que venceu o tempo, décadas no sertão
Que destino tão divino, bela sorte
Geraldo e Maria trazem no coração*

*O sol brilha, as estrelas morrem, o mundo gira
Sem ninguém pôr a mão
Geraldo e Maria caminham como uma canção*

*Carregados de vida, de alegria e de coragem
De lutas pelo caminho afora
Geraldo e Maria seguem firme sua viagem*

Eurípedes Gomes
Uberlândia, novembro de 2001

Fiz este soneto para meus pais de 94 anos que, apesar da vida simples do sertão, tiveram a sabedoria de mostrar-me o caminho da ciência e dos estudos. Agradeço profundamente a minha mãe Maria que, em uma casa de pau-a-pique no sertão de Goiás, com luz de lamparina e, às vezes, com um pouquinho mais de sofisticação com candeias, ensinou-me a ler aos 6 anos de idade.

Meu pai Geraldo, homem velho com um coração de menino, uma alma bonita que me deixa feliz e orgulhoso de tê-lo como pai, sobretudo reconheço que os valores passados a mim têm sido fundamentais para minha vida.

Soneto para a Elisa

*Se você quiser, vou dar um pedaço
bem dentro do meu peito, para você morar
No meu coração ainda tem muito espaço
Para um carinho, para te amar*

*Se você quiser vou pedir aos deuses
vou pedir ao sol para iluminar sua vida
Vou pedir às estrelas que façam com que você
jamais se esqueça que te chamo de querida*

*Se você quiser vou buscar qualquer flor
distante que seja mesmo no universo
Pode ser noite não tem tempo só verso*

*Verso que carrego com amor e apaixonado
Como amigo, pai e com todo carinho das flores
Vou cantar pela vida afora por você! Sempre enamorado*

(Para minha filha de 21 anos)

Soneto para o Alexandre

*Seu abraço é a melhor forma de amor
Seu beijo muda minha vida
Quero apertar sua mão e caminhar
pelo mundo afora, sem despedida*

*Ninguém sabe nosso segredo
Mas nos dá alegria e vontade de viver
Viver uma vida eterna sem medo
de deixarmos de ser amigos e sofrer*

*Pegue este soneto eternamente
como uma recordação de carinho e amor
Pelo mundo afora viva alegremente*

*Conte comigo quando você quiser
Estarei com você como cúmplice e amigo
Em qualquer lugar, para qualquer coisa que vier*

(Para meu filho Alexandre de 20 anos)

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. *Gilberto Francisco Martha de Souza*, meu professor orientador e, sobretudo, uma pessoa que tem sido decisiva na minha vida científica. Sua dedicação, paciência e orientações em momentos críticos foram fundamentais para a conclusão deste trabalho. Ensinar desafia as leis da termodinâmica “Ensinar é uma arte porque conhecimentos são transmitidos, sem se perderem”. Penso que, assim como Mozart compunha, o Prof. Dr. Gilberto ensina. Por isso, mais uma vez meu muito obrigado pelo apoio e confiança demonstrados no meu trabalho.

À *Cisa Trading*, pelo apoio à pesquisa com RFID e pelo trabalho incansável do Paulo Mercado e da Marina Termignoni a quem sou muito grato.

À *Seal*, pelo extraordinário trabalho que vem fazendo com RFID no Brasil, e batalha diária do Fernando Claro e do Cristiano Teixeira a quem estou agradecido por toda ajuda prestada pelo desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus companheiros da Hewlett-Packard, *Guilherme Huet*, *Andrea Petrucci*, *Regina Oliveira*, *Caio Wihelmsen* e *Rafael Nunes*. Gostaria de fazer um agradecimento especial ao *Alceu Tamashiro* pelo apoio e coleguismo demonstrado ao longo deste trabalho. Muito obrigado!

À *Maria Helena Vargas* pelas correções gramaticais, criatividade, sugestões, atenção e dedicação na diagramação e artes gráficas deste trabalho.

Ao Dr. *Paulo Henrique Egydio* pela dedicação, atenção e principalmente pela sensibilidade de entender minha ansiedade e dificuldades propondo soluções e alternativas louváveis.

Ao Prof. Dr. *Adherbal Caminada Netto*, Prof. Dr. *Renato Vairo Belhot*, Prof. Dr. *Paulo Carlos Kaminski* e Prof. Dr. *Fernando Antonio Forcellini*, pelo tempo dispensado na leitura minuciosa e pelas sugestões extremamente valorosas que enriqueceram o meu trabalho, tanto na fase de qualificação quanto na defesa final.

A minhas irmãs *Maria de Fátima Gomes* e *Vilma Gomes*, pela fé, confiança e ajuda ao longo de toda minha vida. Não tenho como retribuir o muito que vocês sempre fizeram por mim. Muito obrigado uma vez mais.

A *Elisa Gomes*, *Alexandre Gomes*, *Alexandre Kuzmenko* e *Patrícia Kuzmenko* meus filhos, pelo carinho e atenção ao longo deste trabalho. Minha admiração e carinho por vocês.

Ao Sr. *Aleksy Kuzmenko* e Senhora *Otília Kuzmenko* por terem me recebido de coração e aberto as portas de sua casa como se eu fosse um filho.

Ao Alex *Kuzmenko*, *Silmara Zaniquelli Kuzmenko* e *Mirella Zaniquelli Kuzmenko* pela amizade e carinho demonstrados.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

À Hewlett-Packard do Brasil, pelo seu compromisso com o desenvolvimento das pessoas, mantendo um gerenciamento de recursos humanos em alto nível, proporcionando ao seus funcionários a participação de programas de desenvolvimento nas melhores Universidades do mundo e também pelo seu compromisso com o meio ambiente e responsabilidade social que a torna uma companhia diferenciada e deixa seus empregados extremamente orgulhosos.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, pelo grande serviço cultural, científico, pela pesquisa básica e aplicada, que vem desenvolvendo e disponibilizando há muitos anos à comunidade mundial. Não por acaso que, em pesquisa realizada pela ONU, recentemente, a Universidade de São Paulo figurou entre as 200 mais conceituadas Universidades do mundo com relação à pesquisa básica, aplicada e ensino. O dia-a-dia na Politécnica tem sido sempre muito agradável para mim e, certamente, já é parte da história de minha vida.

SUMÁRIO

| | |
|--------------------------------|--|
| Lista de abreviaturas e siglas | |
| Lista de figuras | |
| Lista de gráficos | |
| Lista de quadro | |
| Resumo | |
| Summary | |

| | | |
|--------|--|-----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 001 |
| 1.1 | Objetivos..... | 012 |
| 1.2 | Escopo da Pesquisa | 013 |
| 1.3 | Motivação para a Pesquisa..... | 014 |
| 2 | CADEIA DE SUPRIMENTOS, CONCEITOS, TENDÊNCIAS E SEUS FENÔMENOS | 017 |
| 2.1 | Introdução ao Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos..... | 018 |
| 2.1.1 | Configuração da rede logística..... | 023 |
| 2.1.2 | Gerenciamento de estoques | 026 |
| 2.1.3 | Gerenciamento compartilhado de riscos | 027 |
| 2.1.4 | Valor da informação | 028 |
| 2.1.5 | Estratégia de distribuição | 034 |
| 2.1.6 | Estratégia de manufatura | 035 |
| 2.2 | Revisão da Literatura e Evolução da Cadeia de Suprimentos..... | 039 |
| 2.2.1 | Evolução da Cadeia de Suprimentos | 040 |
| 2.2.2 | Sétimo período: gerenciamento da cadeia de fornecimento integrada (de 2000 em diante) | 044 |
| 2.2.3 | “Contract manufacturer” (CM) | 047 |
| 2.2.4 | “Contract design and manufacturer” (CDM) | 047 |
| 2.2.5 | “Original design manufacturer” (ODM) | 048 |
| 2.2.6 | “Original equipment manufacturer” (OEM) | 048 |
| 2.2.7 | Estratégias de manufatura | 049 |
| 2.2.8 | “Full postponement” | 051 |
| 2.2.9 | “Localization only” | 052 |
| 2.2.10 | “Factory Finish Good Inventory” | 053 |
| 2.2.11 | “FGI-Direct: cross-dock” | 053 |
| 2.2.12 | “FGI-Direct: pool-point” | 054 |
| 2.2.13 | “FGI-Direct: port pick-up” | 054 |
| 2.2.14 | “FGI-Direct: factory pick-up” | 055 |
| 2.2.15 | “FGI-Direct: Consumer Direct” | 055 |
| 2.2.16 | Desenvolvimento de produto..... | 058 |
| 2.2.17 | Desenvolvimento do processo | 059 |
| 2.3 | Importância da Cadeia de Suprimentos para Estratégia do Negócio | 061 |
| 2.3.1 | Estratégias de gerenciamento da Cadeia de Suprimentos | 069 |
| 2.3.2 | Medidas chave no gerenciamento da cadeia de suprimentos | 070 |
| 2.3.3 | Princípios | 070 |
| 2.4 | Revisão de artigos publicados mundialmente | 086 |
| 3 | DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS EMPREGADAS NA PESQUISA..... | 091 |
| 3.1 | RFID..... | 092 |
| 3.1.1 | História..... | 092 |
| 3.1.2 | O que é RFID..... | 093 |
| 3.1.3 | Utilização industrial do RFID | 094 |
| 3.1.4 | O espectro eletromagnético | 096 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 3.1.5 | Fatores que afetam o alcance das ondas de rádio | 098 |
| 3.1.6 | Ambientes difíceis | 099 |
| 3.1.7 | Posicionamento das etiquetas de RFID | 102 |
| 3.1.8 | Tipos de antenas | 103 |
| 3.1.9 | Propagação das ondas nas antenas | 104 |
| 3.1.10 | Antenas múltiplas..... | 105 |
| 3.1.11 | Etiquetas RFID..... | 106 |
| 3.1.11.1 | Componentes das etiquetas RFID..... | 108 |
| 3.1.11.2 | Etiquetas RFID como sensores..... | 109 |
| 3.1.12 | Impressoras de etiquetas RFID..... | 110 |
| 3.1.13 | Leitoras e antenas | 112 |
| 3.1.14 | Leitura em portal..... | 112 |
| 3.1.15 | Componentes do sistema de software | 113 |
| 3.1.16 | O que é o EPC..... | 114 |
| 3.1.16.1 | Estrutura do código do sistema EPC..... | 115 |
| 3.1.16.2 | Estrutura de dados EAN x EPC..... | 115 |
| 3.1.16.3 | Arquitetura de rede EPC | 117 |
| 3.1.16.4 | Funções do Servidor EPC-IS | 118 |
| 3.1.16.5 | Funções do Servidor ONS..... | 118 |
| 3.1.16.6 | Benefício por fase do produto..... | 118 |
| 3.2 | Análise de Modos e Efeitos das Falhas - FMEA | 122 |
| 3.2.1 | Os princípios básicos da análise do tipo FMEA um resumo do processo e da cultura..... | 122 |
| 3.2.1.1 | O que é uma análise do tipo FMEA..... | 122 |
| 3.2.1.2 | A História dos FMEAs | 123 |
| 3.2.1.3 | Qual é a proposta de um FMEA | 123 |
| 3.2.1.4 | Parte de um sistema de qualidade completo..... | 123 |
| 3.2.1.5 | ISO 9000, ISO/TS 16949 e FMEAs | 126 |
| 3.2.1.6 | O processo FMEA..... | 127 |
| 3.2.1.7 | Avaliando o risco de falha | 128 |
| 3.2.1.8 | Acessando a priorização | 128 |
| 3.2.1.9 | O grupo FMEA | 129 |
| 3.2.1.10 | O tamanho do grupo FMEA..... | 129 |
| 3.2.1.11 | Quadro de membros do grupo FMEA..... | 130 |
| 3.2.1.12 | O líder do grupo FMEA | 130 |
| 3.2.1.13 | O papel do especialista do processo..... | 131 |
| 3.2.1.14 | Treinando o grupo FMEA | 131 |
| 3.2.1.15 | Fronteiras de liberdade do FMEA..... | 132 |
| 3.2.1.16 | O principal objetivo do FMEA | 135 |
| 3.2.1.17 | Produto/projeto FMEA versus processo FMEA | 136 |
| 3.2.1.18 | Os 10 passos para um FMEA | 137 |
| 3.2.1.19 | A planilha do FMEA..... | 138 |
| 3.2.1.20 | Quando e onde utilizar FMEAs..... | 138 |
| 3.3 | Seis Sigmas: o Poder da Cultura | 142 |
| 3.3.1 | Introdução..... | 142 |
| 3.3.2 | Seis Sigma..... | 142 |
| 3.3.3 | Interpretação estatística..... | 143 |
| 3.3.4 | Metodologia de implementação | 145 |
| 3.3.4.1 | Participantes no processo | 145 |
| 3.3.4.2 | Principais fases | 146 |
| 3.3.4.3 | Benefícios | 150 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4 | MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS CDA ² PEM..... | 151 |
| 4.1 | Introdução..... | 152 |
| 4.2 | Cliente | 159 |
| 4.3 | Diagnóstico..... | 159 |
| 4.4 | Análise/Ação..... | 165 |
| 4.5 | Planejar | 166 |
| 4.6 | Estudo | 168 |
| 4.6.1 | Objetivos de melhoria alcançados?..... | 168 |
| 4.7 | Monitoramento..... | 169 |
| 5 | APLICAÇÃO DA METODOLOGIA CDA ² PEM | 170 |
| 5.1 | Introdução..... | 171 |
| 5.2 | Relacionamento com os clientes..... | 171 |
| 5.3 | Declaração do trabalho..... | 173 |
| 5.4 | Fluxograma do processo | 175 |
| 5.4.1 | Introdução..... | 175 |
| 5.4.2 | Processo Atual..... | 177 |
| 5.4.2.1 | Descrição do processo atual | 177 |
| 5.4.2.2 | Desenho de integração | 185 |
| 5.4.3 | Pontos críticos atuais | 187 |
| 5.4.4 | Estudo de melhorias | 187 |
| 5.4.4.1 | Análise de ambiente..... | 188 |
| 5.4.4.2 | Análise de processos | 192 |
| 5.4.4.3 | Revisão de requisitos para aplicação de RFID | 194 |
| 5.4.5 | Conclusões preliminares..... | 197 |
| 5.4.5.1 | Impactos funcionais previstos | 197 |
| 5.4.5.2 | Impactos técnicos previstos | 198 |
| 5.4.5.3 | Impactos estruturais previstos | 198 |
| 5.4.6 | Sugestão dos novos processos com aplicação RFID..... | 198 |
| 5.4.6.1 | Novo processo de recebimento..... | 200 |
| 5.4.6.2 | Novo processo de separação..... | 203 |
| 5.4.6.3 | Novo processo de expedição | 205 |
| 5.4.6.4 | Nova arquitetura de integração | 207 |
| 5.4.6.5 | Nova configuração de ambiente operacional..... | 208 |
| 5.5 | Identificação das Medidas de desempenho | 209 |
| 5.6 | Estratégia de coleta e análise de dados do processo atual..... | 220 |
| 5.7 | Análise geral do sistema RFID - Definição de produtos e equipamentos | 238 |
| 5.7.1 | Definição das etiquetas..... | 238 |
| 5.7.2 | Fixação das etiquetas nas impressoras | 239 |
| 5.7.3 | Arquitetura sistêmica..... | 246 |
| 5.8 | Análise e definição da aplicação da tecnologia RFID do ponto de vista do processo e do negócio..... | 248 |
| 5.8.1 | Requisitos básicos | 248 |
| 5.8.2 | Escopo proposto | 248 |
| 5.8.3 | Papéis e responsabilidades | 251 |
| 5.9 | Planejamento do piloto RFID | 253 |
| 5.10 | Estudar | 255 |
| 5.10.1 | Primeira fase dos testes..... | 257 |
| 5.10.2 | Segunda fase de testes | 264 |
| 5.10.3 | Terceira fase dos testes..... | 274 |
| 5.11 | Monitorar | 275 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 6 | RESULTADOS | 281 |
| 6.1 | Primeiro Resultado | 283 |
| 6.2 | Segundo Resultado | 284 |
| 6.3 | Terceiro Resultado..... | 285 |
| 6.4 | Quarto Resultado..... | 286 |
| 6.5 | Quinto Resultado - Oportunidade de Melhoria na Tecnologia RFID..... | 287 |
| 6.6 | Discussão dos Resultados..... | 288 |
| 7 | CONCLUSÕES..... | 292 |
| 8 | ANEXO..... | 301 |
| 9 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 332 |
| 10 | APÊNDICE | 349 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------------------|---|
| ANOVA | - Análise de variância (“Analysis of variance between groups”) |
| BCP | - “Business Continuity Plan” |
| BL | - Boletim de liberação |
| CD | - Centro de distribuição |
| CDA ² PEM | - Metodologia par otimização da Cadeia de suprimentos |
| CDM | - “Contract design and manufacturer” |
| CM | - “Contract Manufacturing”) |
| CPFR | - Planejamento Colaborativo (“Colaborative Planning Forecast Replanishment”) |
| CpK | - Índice de capacidade do processo |
| DCF | - “Discounted Cash Flow” |
| DoD | - Departamento de Defesa Americano |
| DOE | - Planejamento dos experimentos |
| EDI | - Troca de dados entre sistemas por meio eletrônico (“Electronic Data Interchange”) |
| EMS | - “Eletronic Manufactor Suplly” |
| EPC | - “Eletronic Product Code” |
| EPC-IS | - “EPC Information Services” |
| ERP | - Gerenciamento dos Recursos Corporativos (“Enterprise Resources Planning”) |
| ETC | - Experiência total do cliente |
| EUA | - Estados Unidos da América |
| FCC | - Federal Communications Commision |
| FGI | - Estoque de Produto acabado (“Finish Good Inventory”) |
| FMEA | - Análise de modos e efeitos das falhas (“Failure Mode and Effect Analysis”) |
| Gb | - Gigabites |
| GE | - General Electric |
| GEC | - Gestão total do cliente |
| GHz | - Gigahertz |
| GPS | - Sistema de rastreamento global (“Global Positioning System”) |
| GRC | - Gestão do relacionamento com o cliente |
| GTIN | - Número de item no comércio global (“Global Trade Item Number”) |

| | |
|----------|---|
| H1 | - Hipótese alternativa |
| HF | - Alta frequência (“high frequency”) |
| Ho | - Hipótese nula |
| HP | - Hewlett-Packard do Brasil |
| ID | - Identificação |
| IRR | - “Internal Rate of Return” |
| ISO | - “International Organization for Standardization” |
| KHz | - Kiloherz |
| LF | - Baixa frequência (“low frequency”) |
| Mb | - Megabites |
| MHz | - Megahertz |
| MIT | - Massachuset Institute of Technology |
| MRP | - Planejamento de Recursos de Materiais |
| NPV | - “Net Present Value” |
| ODM | - “Original Design Manufacturer” |
| OEM | - “Original equipment manufacturer” |
| ONS | - Operador Nacional do Sistema |
| P | - Probabilidade |
| PERTCPM- | Program (Project) Evaluation and Review Technique/ Critical Path Method |
| PIB | - Produto Interno Bruto |
| PIP | - “Process Industry Practices” |
| PML | - “Physical Markup Language” |
| PN | - Código que identifica os tipos de produtos (“Part number”) |
| Q1 | - Quartil 1 |
| Q2 | - Quartil 2 |
| Q3 | - Quartil 3 |
| RFID | - Identificação por Rádio Frequência (“Radio Frequency Identification”) |
| ROI | - Retorno do investimento |
| RPN | - “Risk Priority Number” |
| SCOR | - “Supply Chain Operational Model” |
| seg | - Segundo |
| SPC | - Controle estatístico do processo |

- SSPI - "Security Support Provider Interface"
- TQC - Controle Total de Qualidade
- TQM - Gerenciamento Total da Qualidade
- UHF - "Ultra high frequency"
- URL - "Uniform Resource Locators"
- VMI - Gerenciamento do inventário do revendedor ("Vendor management in ventory")
- WIP - Estoques em Processo de Fabricação ("Work in Progress")
- WMS - Sistema de gerenciamento do almoxarifado do 3PL ("Warehouse Management System")

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|--|-----|
| Figura 1 - | Cadeia de Suprimentos ponta a ponta | 003 |
| Figura 2 - | RFID - Cadeia de Suprimentos..... | 006 |
| Figura 3 - | Evolução histórica do RFID | 007 |
| Figura 4 - | Construção de um fluxograma do processo FMEA..... | 008 |
| Figura 5 - | Curva de Gauss | 009 |
| Figura 6 - | Seis Sigma - limite de tolerância do processo | 009 |
| Figura 7 - | Elementos do Sistema RFID | 012 |
| Figura 8 - | Entregando valor ao cliente através da Cadeia de Suprimentos..... | 020 |
| Figura 9 - | Introdução de novos produtos, retornos, garantia, fim da garantia e reciclagem | 022 |
| Figura 10 - | Estratégia do canal de distribuição | 028 |
| Figura 11 - | Esquemático do efeito chicote ao longo da Cadeia de Suprimentos | 029 |
| Figura 12 - | “Triângulo do terror” | 030 |
| Figura 13 - | Complexidade na Cadeia de Suprimentos..... | 035 |
| Figura 14 - | CMs e localização das indústrias no Brasil..... | 036 |
| Figura 15 - | Cadeia de Suprimentos – Ciclo operacional | 039 |
| Figura 16 - | Evolução da cadeia de suprimentos na indústria de informática..... | 046 |
| Figura 17 - | Modelos estratégicos de manufatura..... | 049 |
| Figura 18 - | Esquema das cinco estratégias de manufatura | 051 |
| Figura 19 - | Dinâmica da estrutura de produtos e estrutura de valor na Cadeia de Suprimentos | 058 |
| Figura 20 - | Diferença entre Cadeia de Suprimentos | 060 |
| Figura 21 - | Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos | 062 |
| Figura 22 - | Cadeia de Suprimentos integrada (ponta a ponta) | 067 |
| Figura 23 - | Reciclagem – Processo de operação | 068 |
| Figura 24 - | Cruzando o abismo | 078 |
| Figura 25 - | Ciclo de vida do cliente transacional..... | 080 |
| Figura 26 - | Ciclo de vida do cliente consultivo | 080 |
| Figura 27 - | O que é RFID | 094 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura 28 - | Evolução histórica do RFID | 096 |
| Figura 29 - | O espectro eletromagnético..... | 097 |
| Figura 30 - | Fatores que afetam o alcance das ondas de rádio | 099 |
| Figura 31 - | Ambientes difíceis | 101 |
| Figura 32 - | Posicionamento das etiquetas..... | 103 |
| Figura 33 - | Tipos de antenas..... | 104 |
| Figura 34 - | Propagação das ondas na antena..... | 105 |
| Figura 35 - | Antenas múltiplas | 106 |
| Figura 36 - | Etiquetas RFID | 106 |
| Figura 37 - | Componentes das etiquetas RFID..... | 109 |
| Figura 38 - | Etiquetas RFID como sensores | 110 |
| Figura 39 - | Impressoras de etiquetas RFID | 111 |
| Figura 40 - | Leitoras e antenas..... | 113 |
| Figura 41 - | Produtos para utilização do EPC..... | 114 |
| Figura 42 - | Estrutura do código EPC | 116 |
| Figura 43 - | Arquitetura da rede EPC | 117 |
| Figura 44 - | Benefícios por fase no produto..... | 119 |
| Figura 45 - | Formulário de Iniciação do FMEA..... | 134 |
| Figura 46 - | Tabela ilustrativa - Seis Sigma | 144 |
| Figura 47 - | Quadro ilustrativo do modelo de implementação | 149 |
| Figura 48 - | Método “CDA ² PEM” para otimização do processo da Cadeia de Suprimentos | 158 |
| Figura 49 - | Indicadores de desempenho | 161 |
| Figura 50 - | Diagrama de Ishikawa | 162 |
| Figura 51 - | RFID - Cadeia de Suprimentos..... | 175 |
| Figura 52 - | Processo atual..... | 178 |
| Figura 53 - | Processo de Recebimento..... | 181 |
| Figura 54 - | Fluxo atual de separação | 183 |
| Figura 55 - | Fluxo atual de expedição..... | 185 |
| Figura 56 - | Diagrama de integração de sistemas | 186 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura 57 - | Diagrama da relação entre velocidade, acuracidade e o custo operacional | 189 |
| Figura 58 - | Processo proposto para utilização do RFID..... | 199 |
| Figura 59 - | Fluxograma de recebimento | 202 |
| Figura 60 - | Fluxograma do processo de separação..... | 204 |
| Figura 61 - | Fluxograma do processo de expedição | 206 |
| Figura 62 - | Nova arquitetura de integração de sistemas..... | 208 |
| Figura 63 - | Recebimento / Expedição - Importadora/ 3PL (I)..... | 211 |
| Figura 64 - | Recebimento / Expedição - Importadora/ 3PL (II)..... | 212 |
| Figura 65 - | Recebimento / Expedição - Importadora/ 3PL (III)..... | 213 |
| Figura 66 - | Recebimento / Expedição - Importadora/ 3PL (IV)..... | 214 |
| Figura 67 - | Failure Mode and Effect Analysis - Centro de Distribuição 3PL - Recebimento (I) | 215 |
| Figura 68 - | Failure Mode and Effect Analysis - Centro de Distribuição 3PL - Recebimento (II) | 216 |
| Figura 69 - | Failure Mode and Effect Analysis - Centro de Distribuição 3PL - Recebimento (III) | 217 |
| Figura 70 - | Failure Mode and Effect Analysis - Centro de Distribuição 3PL - Expedição (I)..... | 218 |
| Figura 71 - | Failure Mode and Effect Analysis - Centro de Distribuição 3PL - Expedição (II)..... | 219 |
| Figura 72 - | Resultados dos testes de hipóteses | 222 |
| Figura 73 - | Quadro ilustrativo para interpretação do CpK..... | 238 |
| Figura 74 - | Modelos de etiquetas para impressoras e suprimentos | 239 |
| Figura 75 - | Etiquetas em impressoras | 240 |
| Figura 76 - | Etiqueta em caixa de suprimentos..... | 240 |
| Figura 77 - | Palete de impressoras..... | 241 |
| Figura 78 - | Palete de suprimentos..... | 242 |
| Figura 79 - | Portal RFID em perspectiva..... | 242 |
| Figura 80 - | Portal RFID vista frontal | 243 |
| Figura 81 - | Mesa giratória RFID | 243 |
| Figura 82 - | Estação de inspeção RFID vista frontal..... | 244 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Figura 83 - | Estação de inspeção RFID vista lateral | 244 |
| Figura 84 - | Leitora RFID | 245 |
| Figura 85 - | Antena RFID | 245 |
| Figura 86 - | Arquitetura sistêmica | 247 |
| Figura 87 - | RFID - Planejamento | 253 |
| Figura 88 - | Fluxograma do processo de etiquetagem e leitura RFID | 255 |
| Figura 89 - | Portal RFID | 258 |
| Figura 90 - | Portal RFID com palete no momento da leitura | 259 |
| Figura 91 - | (A) Palete com todas as etiquetas voltadas para dentro do palete e (B) Palete com algumas etiquetas voltadas para fora do palete | 260 |
| Figura 92 - | Portal RFID | 265 |
| Figura 93 - | Vista superior do palete de suprimentos - Alternativa I | 266 |
| Figura 94 - | Vista superior do palete de suprimentos - Alternativa II | 267 |
| Figura 95 - | Vista superior do palete de suprimentos - Alternativa III | 268 |
| Figura 96 - | Vista superior do palete de suprimentos - Alternativa IV | 270 |
| Figura 97 - | Vista superior do palete de suprimentos - Alternativa V | 270 |
| Figura 98 - | Vista superior do palete de suprimentos - Alternativa VI | 272 |
| Figura 99 - | Vista superior do palete de suprimentos - Alternativa III otimizado para conseguir leitura 100% | 275 |
| Figura 100 - | Interpretação do Índice CpK | 280 |
| Figura 101 - | Método “CDA ² PEM” para otimização de processos da Cadeia de Suprimentos | 285 |
| Figura 102 - | Obstáculos para leitura com RFID | 287 |
| Figura 103 - | Evolução da aplicação de RFID | 298 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | | |
|--------------|---|-----|
| Gráfico 1 - | Inventário X modal aéreo | 024 |
| Gráfico 2 - | Evolução do valor agregado | 048 |
| Gráfico 3 - | Problemas na Cadeia de Suprimentos impacta diretamente o preço das ações no mercado | 063 |
| Gráfico 4 - | Idade dos produtos no mercado brasileiro..... | 074 |
| Gráfico 5 - | Comparação do desempenho da cadeia de suprimentos pelos competidores..... | 082 |
| Gráfico 6 - | Teste de hipóteses H_0 , H_1 - Recebimentos de suprimentos | 223 |
| Gráfico 7 - | Teste de hipóteses H_0 , H_1 - Recebimentos de suprimentos | 224 |
| Gráfico 8 - | Teste de hipóteses H_0 , H_1 - Recebimentos de suprimentos | 225 |
| Gráfico 9 - | Teste de hipóteses H_0 , H_1 - Recebimentos de suprimentos | 226 |
| Gráfico 10 - | Análise de capacidade do processo - Conceito Seis Sigma | 227 |
| Gráfico 11 - | Recebimento de suprimentos - Intervalo de confiança | 228 |
| Gráfico 12 - | Teste de hipótese H_0 , H_1 - Recebimento de impressoras..... | 231 |
| Gráfico 13 - | Teste de hipótese H_0 , H_1 - Recebimento de impressoras..... | 232 |
| Gráfico 14 - | Teste de hipótese H_0 , H_1 - Recebimento de impressoras..... | 233 |
| Gráfico 15 - | Teste de hipótese H_0 , H_1 - Recebimento de impressoras..... | 234 |
| Gráfico 16 - | Análise de capacidade do processo - Conceito Seis Sigma | 235 |
| Gráfico 17 - | Intervalo de confiança - Recebimento de impressoras | 236 |
| Gráfico 18 - | Monitoramento de desempenho de leituras com 100% | 277 |
| Gráfico 19 - | Monitoramento - Análise de capacidade do processo..... | 279 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|---|-----|
| Tabela 1 - | Resultados apresentados com aplicação da solução RFID | 283 |
| Tabela 2 - | Resultados apresentados com a otimização RFID | 284 |

LISTA DE QUADRO

| | | |
|-------------|--|-----|
| Quadro 1 - | CM's Tecnologias – Principais capacidades..... | 038 |
| Quadro 2 - | Comparação entre venda transaccional e consultiva | 081 |
| Quadro 3 - | Características das etiquetas | 107 |
| Quadro 4 - | Composiçao do código EPC..... | 116 |
| Quadro 5 - | Doze elementos-chave do processo FMEA..... | 125 |
| Quadro 6 - | Outros usos para FMEAs | 141 |
| Quadro 7 - | Quesitos para análise dos sistemas | 190 |
| Quadro 8 - | Aspectos para implementaçao de RFID | 191 |
| Quadro 9 - | Análise de velocidade e acuracidade - Recebimento..... | 192 |
| Quadro 10 - | Análise de velocidade e acuracidade - Separaçao | 193 |
| Quadro 11 - | Análise de velocidade e acuracidade - Expediçao..... | 193 |
| Quadro 12 - | Análise de velocidade e acuracidade - Outros processos/ subprocessos | 194 |
| Quadro 13 - | Requisitos para implementaçao do RFID | 195 |
| Quadro 14 - | Requisitos técnicos para implementaçao do RFID | 195 |
| Quadro 15 - | Requisitos estruturais para implementaçao do RFID..... | 196 |
| Quadro 16 - | Tempo de recebimento – Suprimentos..... | 221 |
| Quadro 17 - | Tempo de recebimento - Impressoras | 230 |
| Quadro 18 - | Papéis e responsabilidades..... | 251 |
| Quadro 19 - | Primeiros paletes testados | 258 |
| Quadro 20 - | Definiçao de intervalo..... | 260 |
| Quadro 21 - | Testes de leitura com duas antenas circulares e lineares..... | 261 |
| Quadro 22 - | Comparativo de resultados de leituras usando duas antenas circulares, combinando com uma circular e uma linear | 262 |
| Quadro 23 - | Comparativo de antenas do palete C | 262 |
| Quadro 24 - | Comparativo de antenas do palete G | 262 |
| Quadro 25 - | Comparativo de antenas com 4% de proteçao | 263 |
| Quadro 26 - | Amostras seleccionada para testes de leitura | 265 |
| Quadro 27 - | Resultados de testes - Alternativa I..... | 266 |

| | |
|---|-----|
| Quadro 28 - Resultados de testes - Alternativa II | 268 |
| Quadro 29 - Resultados dos testes - Alternativa III | 269 |
| Quadro 30 - Resultados dos testes - Alternativa IV | 269 |
| Quadro 31 - Resultados dos testes - Alternativa V | 271 |
| Quadro 32 - Resultados dos testes - Alternativa VI | 271 |
| Quadro 33 - Resultados dos testes - Alternativa VII | 272 |
| Quadro 34 - Resultados com leitura 100% | 274 |
| Quadro 35 - Resultados com leitura 100% | 286 |

RESUMO

Nesta pesquisa desenvolveu-se um estudo para otimizar a Cadeia de Suprimentos com a utilização da tecnologia de Identificação por Rádio Freqüência (“Radio Frequency Identification” - RFID). Faz parte do escopo do estudo desenvolver um método de otimização envolvendo FMEA e Seis Sigma para suportar o entendimento do processo e identificar os pontos fracos e onde, no processo, deve ser melhorado.

O método desenvolvido e chamado de CDA²PEM foi aplicado à Cadeia de Suprimentos com resultados surpreendentes tanto do ponto de vista de metodologia como pelos resultados apresentados.

Os principais resultados desta pesquisa mostram que com a utilização da tecnologia RFID pode-se otimizar a Cadeia de Suprimentos centenas de vezes com relação à sua velocidade. Tomando-se como exemplo o processo de recebimento de suprimentos no Centro de Distribuição no atual processo, demora, no melhor caso, 3,22 horas, mediana 12,12 horas, média aritmética 18,28 horas e máximo 98,12 horas. Os resultados indicam uma otimização de 193 vezes para o ponto mínimo, 727 vezes para a mediana, 1091 vezes para a média aritmética e 5887 vezes para o ponto máximo, tomando-se como tempo de referência 60 segundos (tempo gasto pelo sistema RFID para ler um palete de 60 caixas).

Tomando-se o mesmo processo nas mesmas condições, ou seja, ponto mínimo 3,22 horas, mediana 12,12 horas, média aritmética 18,28 horas e ponto máximo 98,12 horas, os resultados indicam uma otimização de 386 vezes para o ponto mínimo, 1454 vezes para a mediana, 2182 vezes para a média aritmética e 11 774 vezes para o ponto máximo, tomando-se, neste caso, o tempo de 30 segundos (tempo gasto pelo sistema RFID para ler um palete de 60 caixas). Outro tempo de processo RFID de 10 segundos para ler a mesma quantidade de caixas também foi estudado, mas deverá demorar um pouco mais para entrar em operação. Os primeiros processos deverão operar com tempos entre 10 e 120 segundos, conforme mostrado no tópico “monitorar” inserido neste trabalho.

Pontos importantes de melhorias também foram encontrados na tecnologia atual dos equipamentos que compõem o sistema RFID. Um dos itens que produz grande impacto são as etiquetas inteligentes porque existem várias áreas de oportunidades de melhorias. Por exemplo, descobriu-se que as etiquetas dentro das caixas, ou seja, afixadas no produto, representa a melhor situação, uma vez que, com isto, permite-se fazer um rastreamento completo do produto ao longo da Cadeia de Suprimentos até o momento da reciclagem dos produtos já usados pelos clientes. Portanto, encontra-se uma dificuldade maior de leitura do que com etiquetas afixadas nas caixas dos produtos.

Entretanto, fez-se um estudo detalhado dos paletes e, finalmente, obteve-se um índice de leitura de 100%, o que evidencia claramente a viabilidade da utilização da tecnologia em larga escala nos próximos anos pelo mercado, como forma de otimização da Cadeia de Suprimentos.

Finalmente, com o advento desta tecnologia, o mercado deverá caminhar para uma integração completa da Cadeia de Suprimentos desde os fornecedores de matérias primas até o momento da reciclagem dos produtos pelos recicladores. Com isto, começa-se a gerir a Cadeia de Suprimentos dentro da nova tendência de mercado que é substituir o modelo ainda vigente chamado de empurrado, ou seja, o planejamento feito pelo fabricante, com os pedidos vindos do Centro de Distribuição, com uma variabilidade muito grande ao longo da Cadeia de Suprimentos, por um novo modelo no qual a Cadeia de Suprimentos, por si só, seja auto-renovável do ponto de vista de informações mais próximas da realidade. Neste momento, estará começando a substituição de inventário por informações, o que, na verdade, faz-se necessário ter informações e dispor do produto ao cliente no momento certo, em uma Cadeia de Suprimentos ideal o inventário dever ser do tamanho da demanda.

ABSTRACT

Herein, we developed a study to optimize the Supply Chain utilizing the Radio Frequency Identification" (RFID) technology. It is part of the scope of this study to develop a method of optimization related to FMEA and Six Sigma to support the understanding of the process, to identify the weak points, and to identify which aspects of the process should be improved.

The method developed and called CDA²PEM was applied to the Supply Chain and showed surprising and significant results.

The main results of this research show that with the use of RFID technology, the Supply Chain velocity can be optimized hundreds of times. For instance, today, receiving supplies in the Distribution Department the process takes in the best case scenario 3.22 hours, a median time of 12.12 hours, an arithmetic mean time of 18.28 hours and a maximum time of 98.12 hours. Results indicate an optimization of 193-fold for the lowest point, 727-fold for the median, 1,091-fold for the arithmetic mean and 5,887-fold for the highest point, considering 60 seconds as the reference time (time spent by the RFID system to read a pallet of 60 boxes).

Considering the same process in the same conditions, lowest point 3.22 hours, median 12.12 hours, arithmetic mean 18.28 hours and highest point 98.12 hours, results show a 386-fold optimization for the lowest point, 1,454-fold for the median, 2,182-fold for the arithmetic mean and a 11,774-fold improvement for the highest point, considering in this case 30 seconds as the reference time (i.e., time spent by the RFID system to read a pallet of 60 boxes). Ten seconds was also studied as the time spent for the RFID system to read the same amount of boxes, but it may take a little longer to start operating. The first processes should operate with times between 10 and 120 seconds, as shown in the topic "Monitor" in this thesis.

Important aspects of improvement were also found in the present technology of equipment that compose the RFID system. One of the items that generated great impact is the intelligent labels which offer several areas of opportunity for improvement. For example, one has discovered that the labels inside the boxes, affixed on the product represent the best scenario,

once this allows a complete tracking of the product through the Supply Chain until the moment of reconstructing the products used by the clients. Thus, it is more difficult to read the labels if they are not affixed on the product box.

However, a thorough study of pallets was performed and finally a reading of a 100% was achieved. This brings clear evidences of the viability of the technology utilization in a large scale over the next several years in the market as a way of optimizing the Supply Chain.

Finally, with technological advances, the market should reach a complete integration of the Supply Chain from the raw materials suppliers to the product re-assemblers. This way, the Supply Chain is managed by a new market tendency, which is to replace the former imposed model (planned by the manufacturer, with the invoices coming from the Distribution Department and with a large volume through the Supply Chain) for a new model where the Supply Chain itself is self-renewable regarding the real information. At this moment, inventory is being replaced by information. It is essential to have information and make the product available for the client at the right time. In an ideal Supply Chain, the inventory level has to match demand.