

5.6 Estratégia de coleta e análise de dados do processo atual

Os dados considerados para análise foram dados reais do dia-a-dia de uma operação, de tal sorte que a credibilidade é de 100%. Por outro lado, encontram-se discrepâncias que necessitam ser analisadas e corrigidas.

Levantaram-se 75 dados de recebimento de suprimentos pelo centro de distribuição, conforme ilustrado no Quadro 16, obedecendo os critérios definidos pela metodologia.

a) O que se espera realizar coletando dados?

Espera-se encontrar os dados que possam responder a hipótese original e verificar quais os possíveis impactos com a aplicação da tecnologia RFID nas atividades dos processo envolvidos. A Principal razão desta coleta de dados é quantificar as melhorias com relação a ganhos de tempo no processo, ou seja, o aumento da velocidade.

b) Quais dados serão necessários?

Os dados necessários serão os dados relacionados às atividades de recebimento de produtos no centro de distribuição.

c) Onde os dados devem ser coletados no processo?

Os dados serão coletados na estação de recebimento e armazenados no sistema ERP da HP.

d) Que esquema de amostragem será utilizada?

Para este caso já que os dados estão disponíveis eletronicamente utilizou-se o critério de 100% dos tempos de recebimentos de impressoras e suprimentos dos no período de 01 de agosto a 31 de outubro de 2005.

e) Quantos dados devem ser coletados?

Estatisticamente define-se como volume mínimo de dados a ocorrência de 30 eventos neste caso coleta-se 75 de suprimentos e 248 de impressoras em uma janela de 90 dias.

f) Quando e por quanto tempo os dados devem ser coletados?

Foram coletados por 90 dias todas as vezes de recebimentos de impressoras e suprimentos.

g) Como os dados serão registrados?

Inicialmente em planilhas excel e em seguida transferidos para o sistema mundial ERP da HP.

h) Quem é o responsável pela coleta de dados?

O responsável pela coleta de dados deve ser o responsável pela pesquisa, que define as condições, momentos e o processo da coleta de dados.

Quadro 16 - Tempo de recebimento – Suprimentos

Tempo em horas decimais								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	3,215	3,518	3,520	3,929	4,142	4,191	4,193	4,666
2	4,672	4,762	5,475	5,476	6,166	6,169	6,819	6,820
3	7,114	7,449	7,449	7,698	7,700	7,874	8,907	8,907
4	9,059	9,570	9,571	10,362	10,436	10,594	10,595	10,722
5	10,840	10,841	11,935	11,995	11,998	12,122	12,124	12,139
6	13,440	13,665	14,322	14,511	14,513	14,533	14,536	14,830
7	14,835	14,891	14,896	17,631	17,632	20,153	21,021	21,023
8	21,332	22,777	23,556	24,523	27,186	27,191	31,116	31,118
9	32,125	32,127	38,457	38,461	40,949	43,474	43,481	43,484
10	98,118	98,119						

Inicia-se o estudo do fenômeno da variabilidade dos dados amostrais de recebimento de suprimentos (75 dados) aplicando-se o teste de hipóteses com o objetivo de identificar as possíveis curvas que os dados amostrais mais se ajustam e assim garantir maior segurança na análise dos mesmos. A hipótese nula (Ho) é a hipótese que sempre é testada, (usando o programa Minitab - Retirar) para que seja validado o valor de P (Probabilidade) que tem de ser maior que 0,005. A hipótese alternativa (H1) é desenvolvida como o

oposto da hipótese nula, e representa a conclusão apoiada, se a hipótese nula for rejeitada. Testando este conjunto de dados nas seguintes curvas: Loglogistic, Parameter Logistic, Normal, Lognormal, Parameter Lognormal, Exponencial, Largest Extreme Value, Gama, Parameter Gama, Logistic, Parameter Exponencial, Weibull, Parameter Weibull e Smolest Extreme Value a hipótese (Ho) foi satisfeita para: Loglogistic, Lognormal, Largest Extreme Value, Parameter Exponencial e Parameter Weibull. Como resultado desta análise ilustra-se na Figura 72 a conclusão tirada de curva a curva da análise de 14 diferentes possibilidades e com diferentes valores de P.

Testes de hipóteses	Suprimentos	Impressoras
Ho; H1	P- Value	P-Value
Lognormal	0,324	0,005
Loglogistic	0,240	0,01
Parameter Exponencial	0,250	0,01
Parameter Weibull	0,358	0,005
Parameter Lognormal	*	*
Exponencial	0,003	0,003
Largest Extreme Value	0,01	0,01
Gama	0,005	0,005
Parameter Gama	*	*
Logistic	0,005	0,005
Weibull	0,01	0,01
Smolest Extreme Value	0,01	0,01
Normal	0,005	0,005
Parameter Loglogistic	*	0,005

Figura 72 - Resultados dos testes de hipóteses

Escolheu-se para a utilização neste trabalho a Lognormal, uma vez que, estatisticamente, não existe um método obrigatório a ser seguido, mas, sim, a decisão do usuário. Pode-se examinar os gráficos com o comportamento do fenômeno da variabilidade.

Para executar estas análises foi utilizado um programa Minitab (Gráficos 6 a 9). O Gráfico 10 mostra a análise de seis sigma e o Gráfico 11 mostra a análise dos dados da amostra (75 dados em três meses de pesquisa)

Gráfico 6 - Teste de hipóteses Ho, H1 - Recebimentos de suprimentos

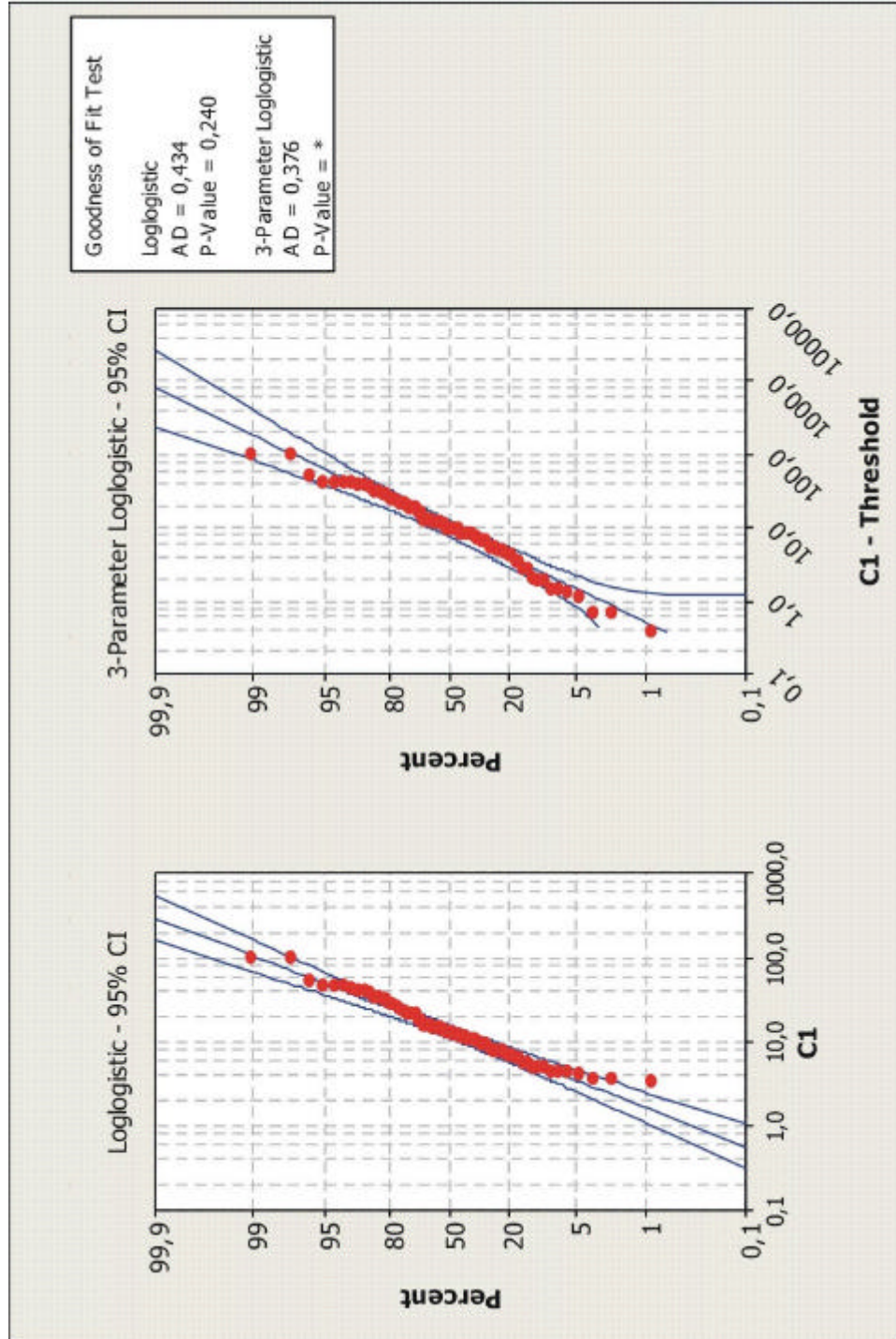


Gráfico 7 - Teste de hipóteses Ho, H1 - Recebimentos de suprimentos

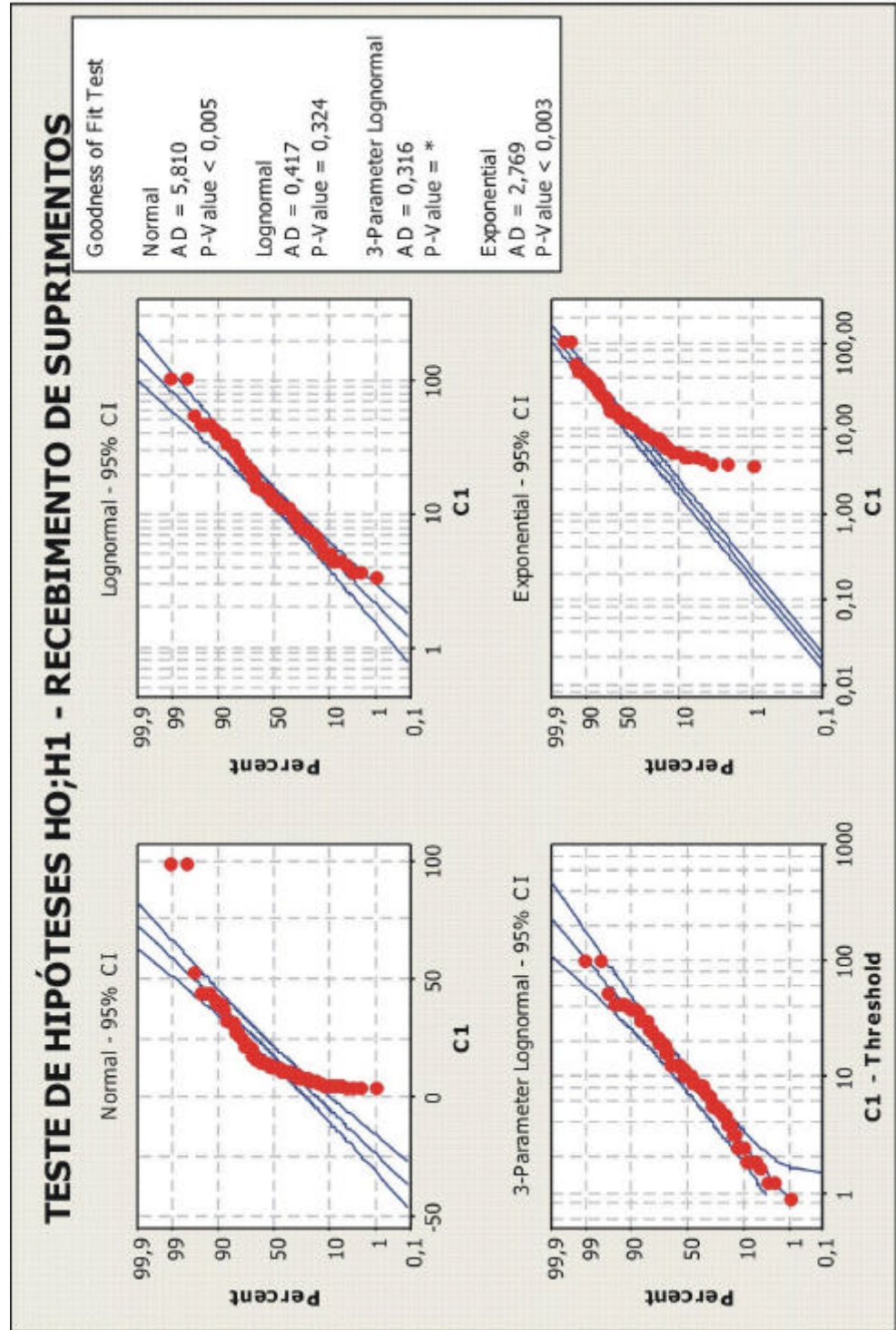


Gráfico 8 - Teste de hipóteses Ho, H1 - Recebimentos de suprimentos

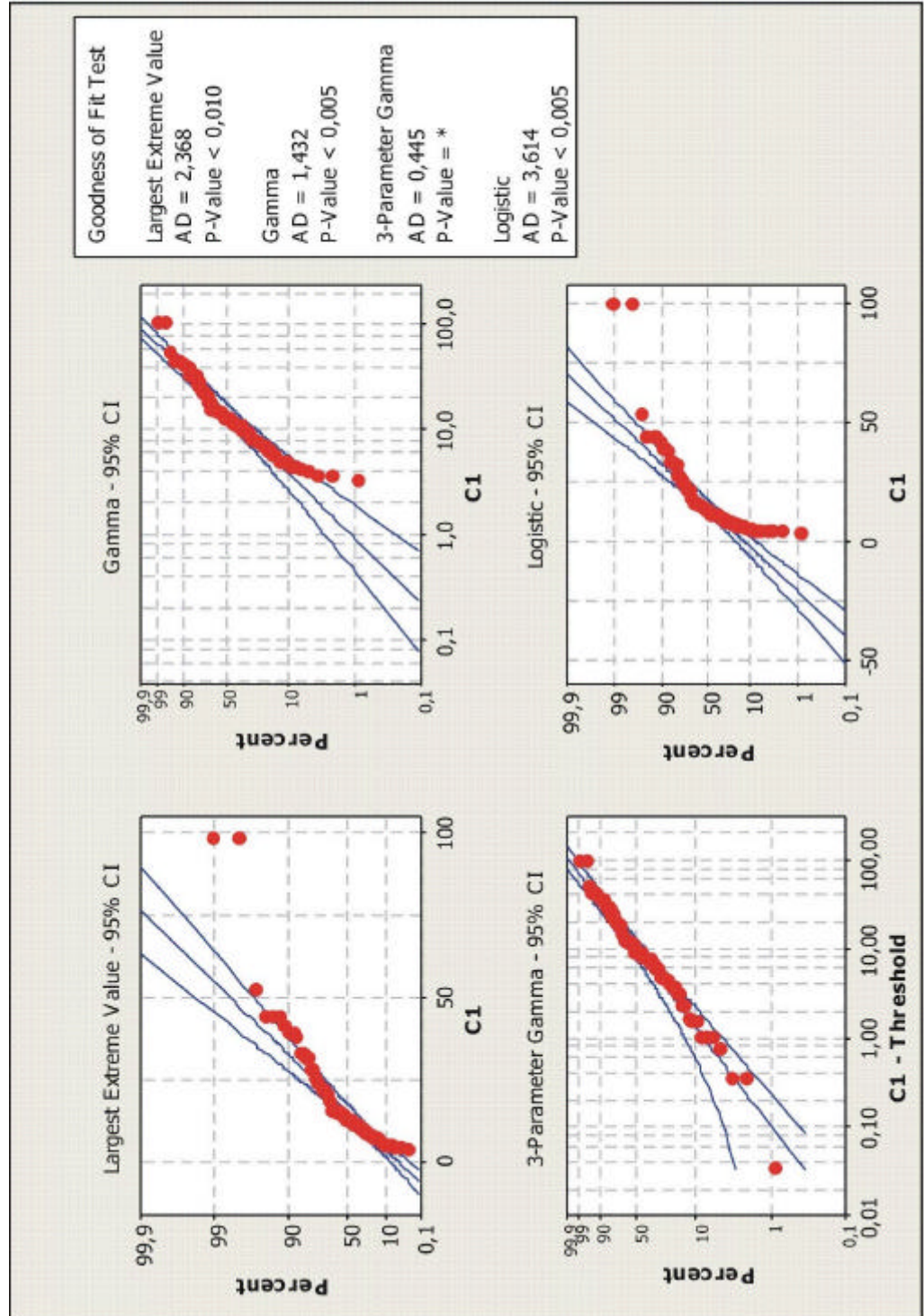


Gráfico 9 - Teste de hipóteses Ho, H1 - Recebimentos de suprimentos

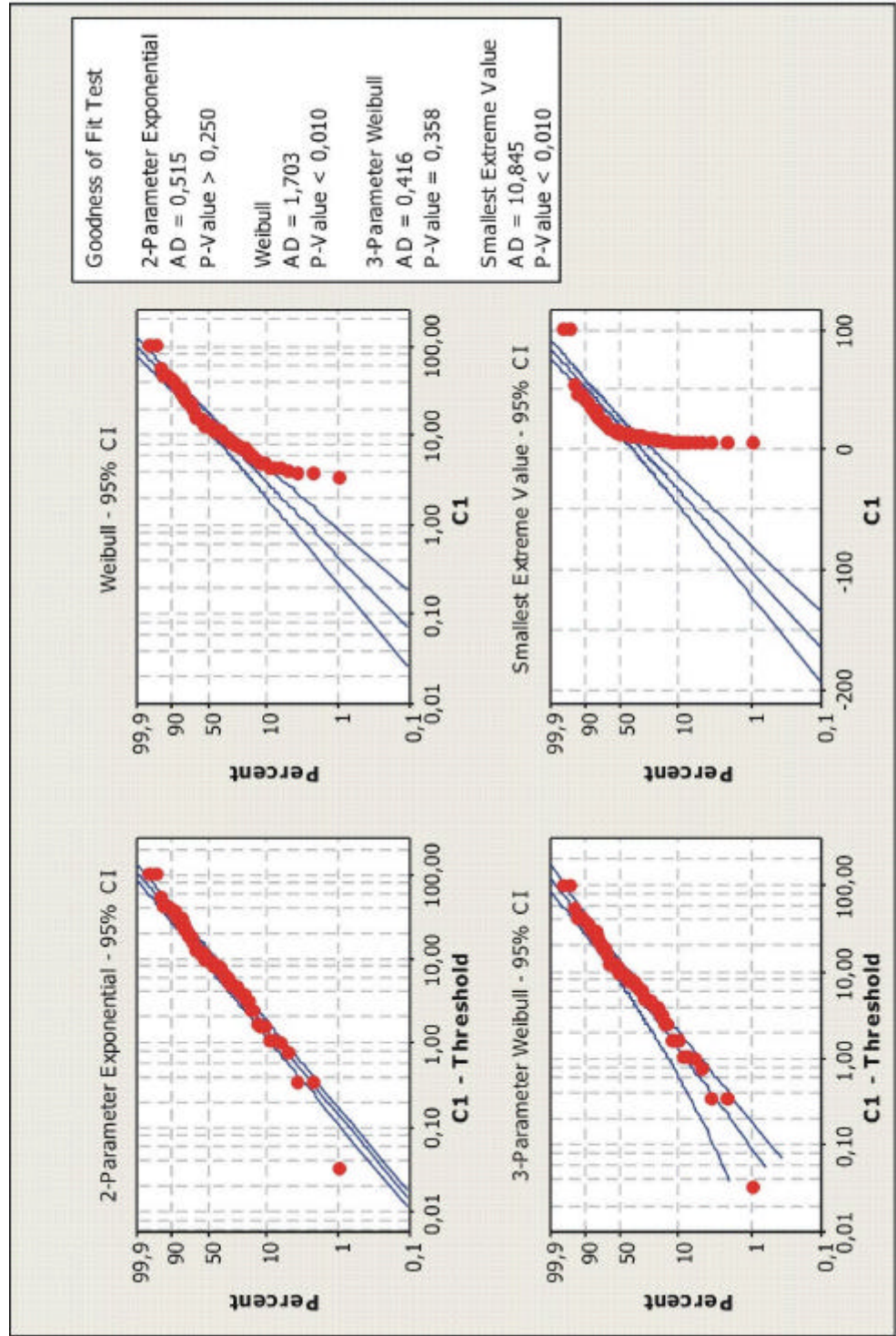


Gráfico 10 -Análise de capacidade do processo - Conceito Seis Sigma

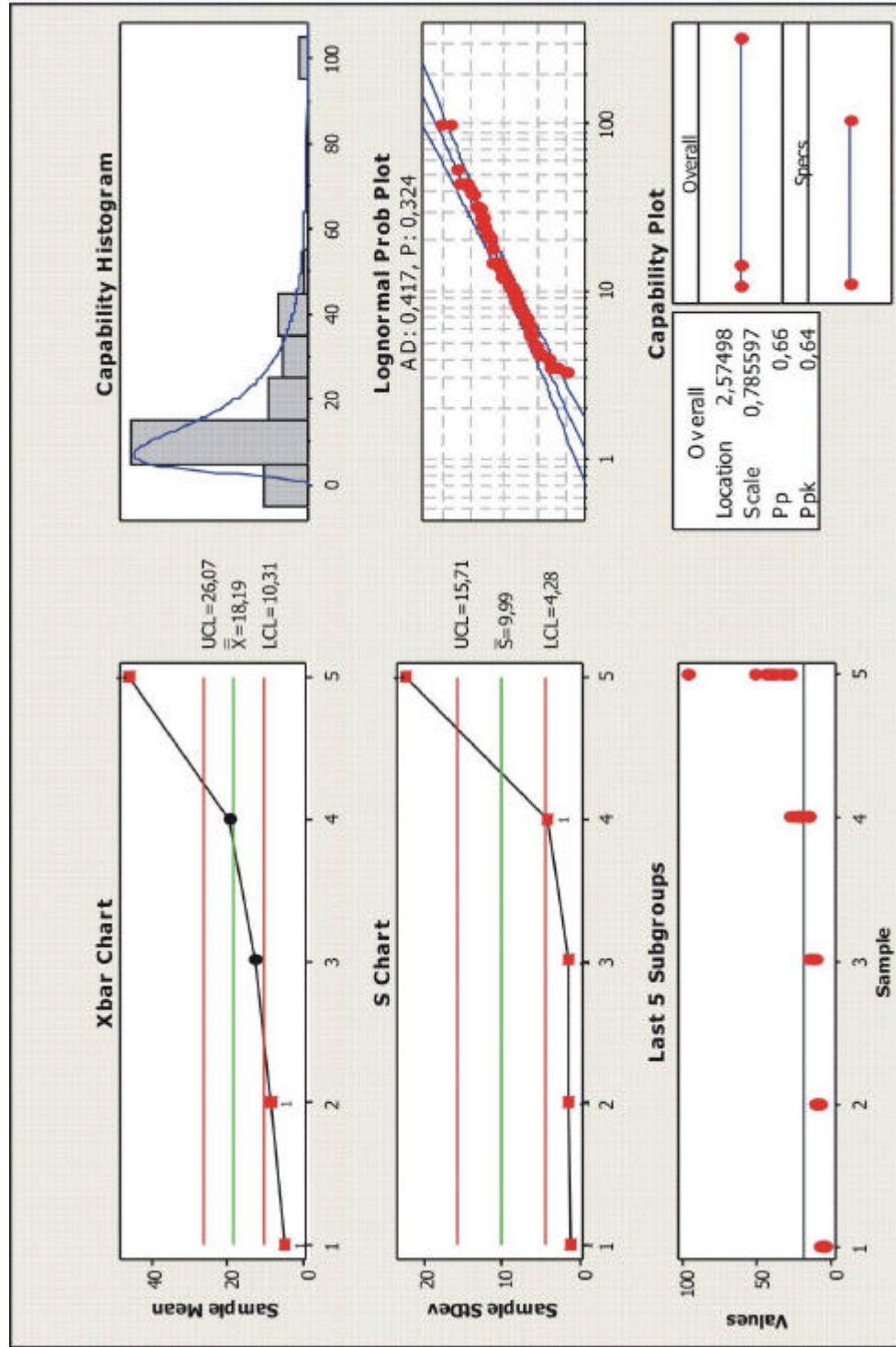
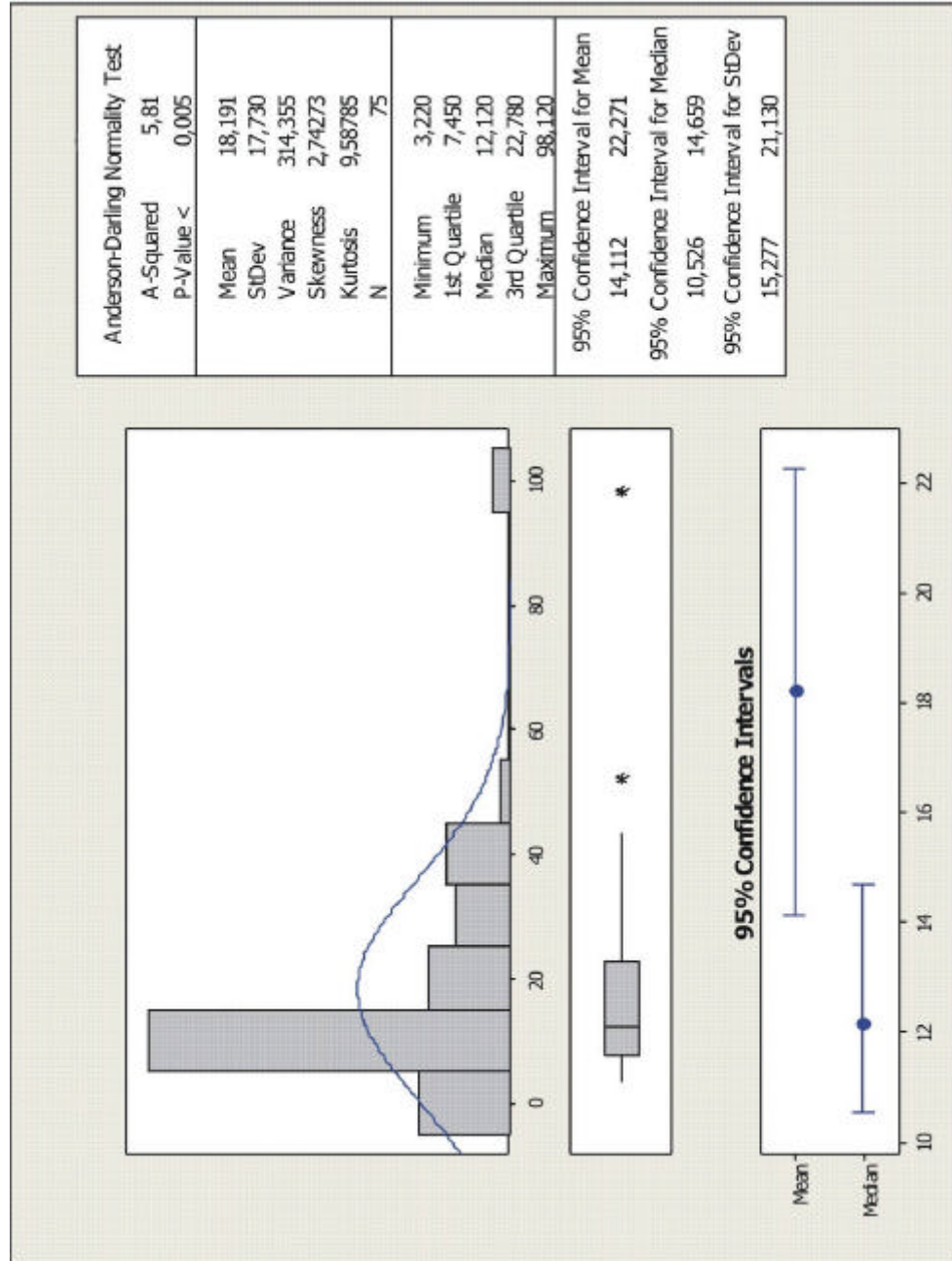


Gráfico 11 -Recebimento de suprimentos - Intervalo de confiança



Pode-se observar uma variabilidade muito grande nos dados de recebimento de suprimentos. A variância é de 314,355 e o desvio padrão, que é a raiz quadrada da variância, é de 17,770 para uma média aritmética de 18.191 e o desvio padrão é muito próximo da média aritmética. Um outro dado muito importante é a mediana 12.12, ou seja, 50% dos dados.

Dando continuidade à pesquisa submete-se o conjunto de 648 dados (Quadro 17) referente a recebimentos de impressoras (três meses de pesquisa) aos mesmos 14 testes de hipóteses feitos para o recebimento de suprimentos ilustrados nos Gráficos de 12 a 15. Gráfico 16 mostra a análise de seis sigma e no Gráfico 17 a análise estatística dos dados de amostra.

Gráfico 12 - Teste de hipótese Ho, H1 - Recebimento de impressoras

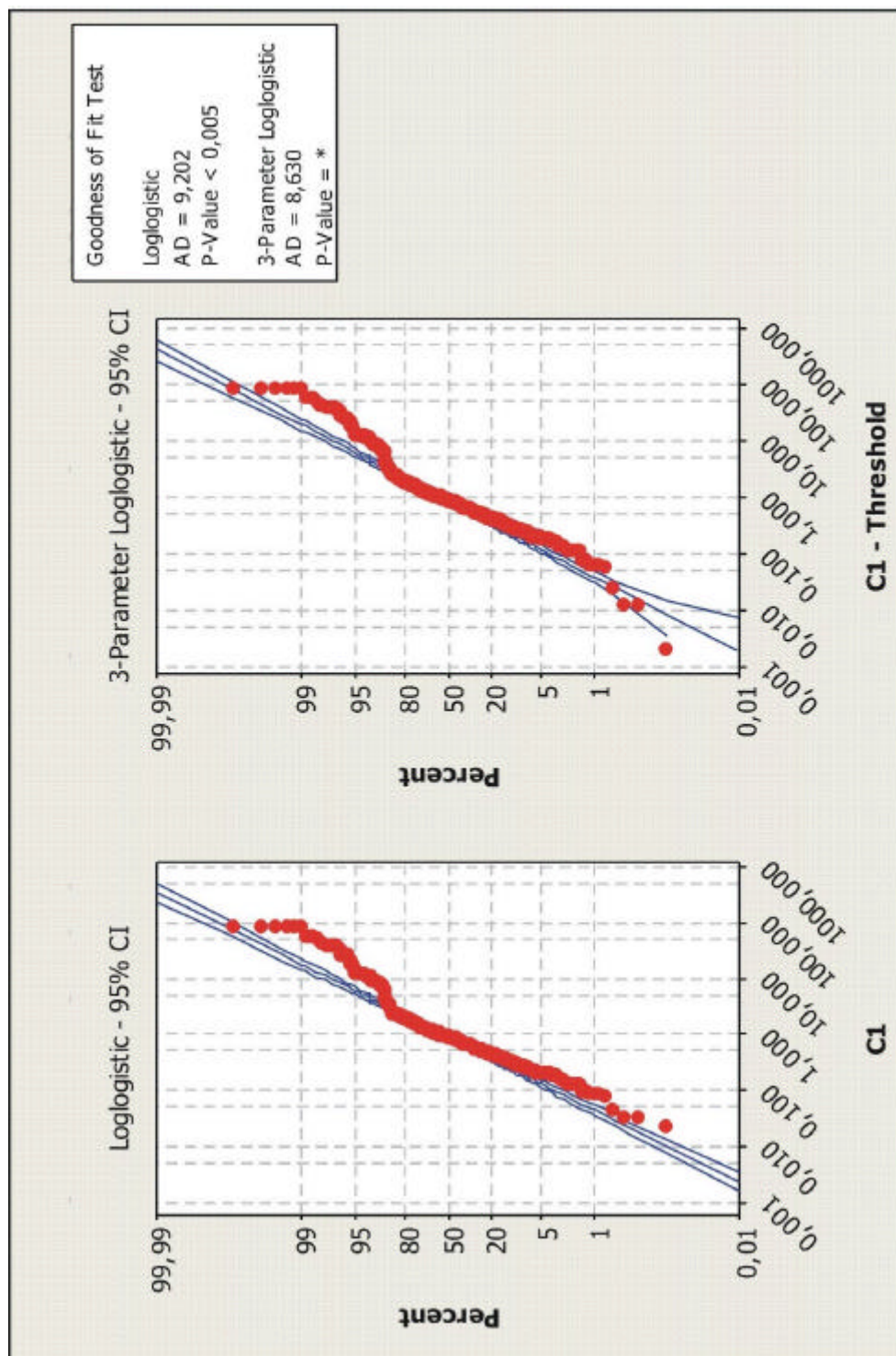


Gráfico 13 - Teste de hipótese Ho, H1 - Recebimento de impressoras

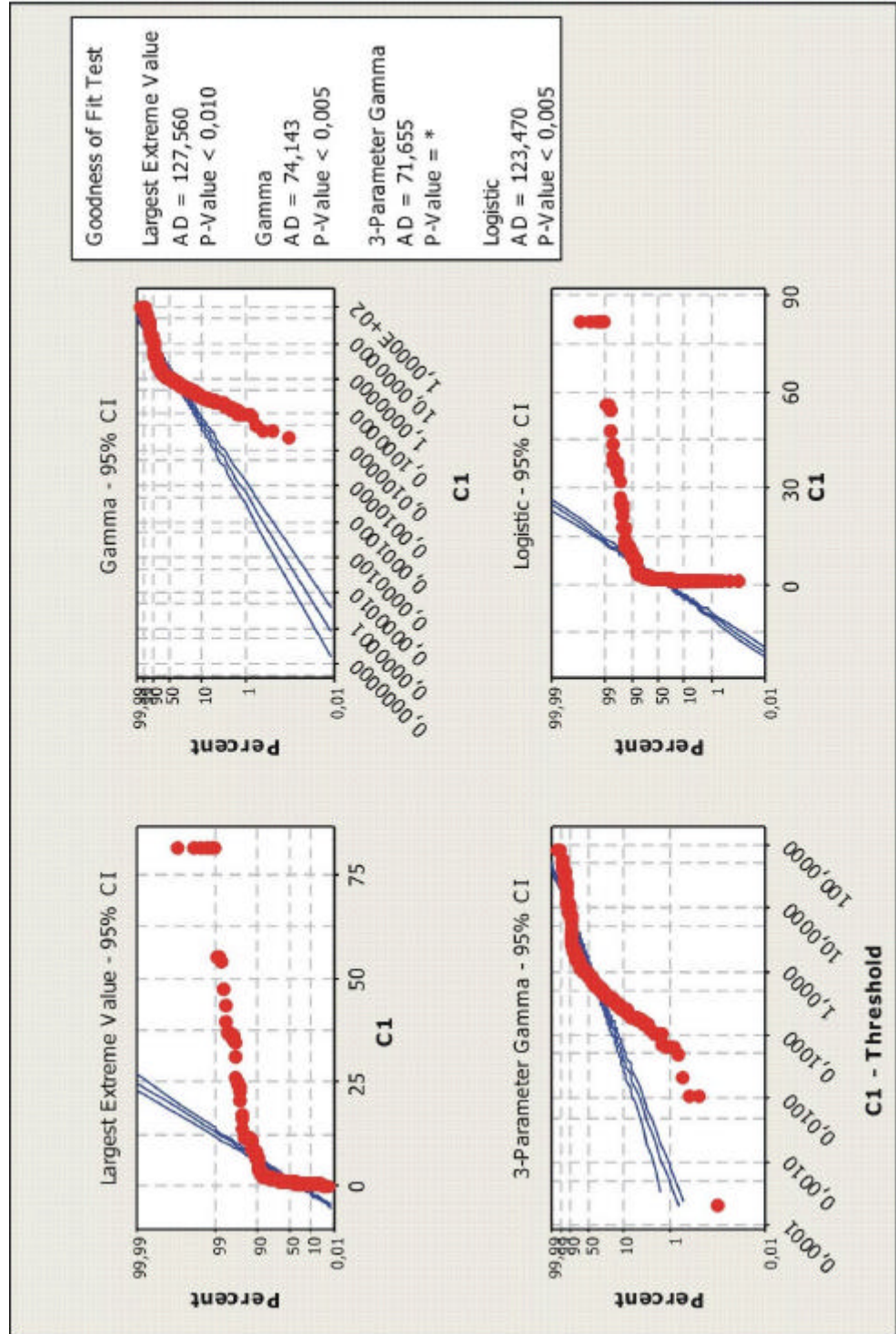


Gráfico 14 - Teste de hipótese Ho, H1 - Recebimento de impressoras

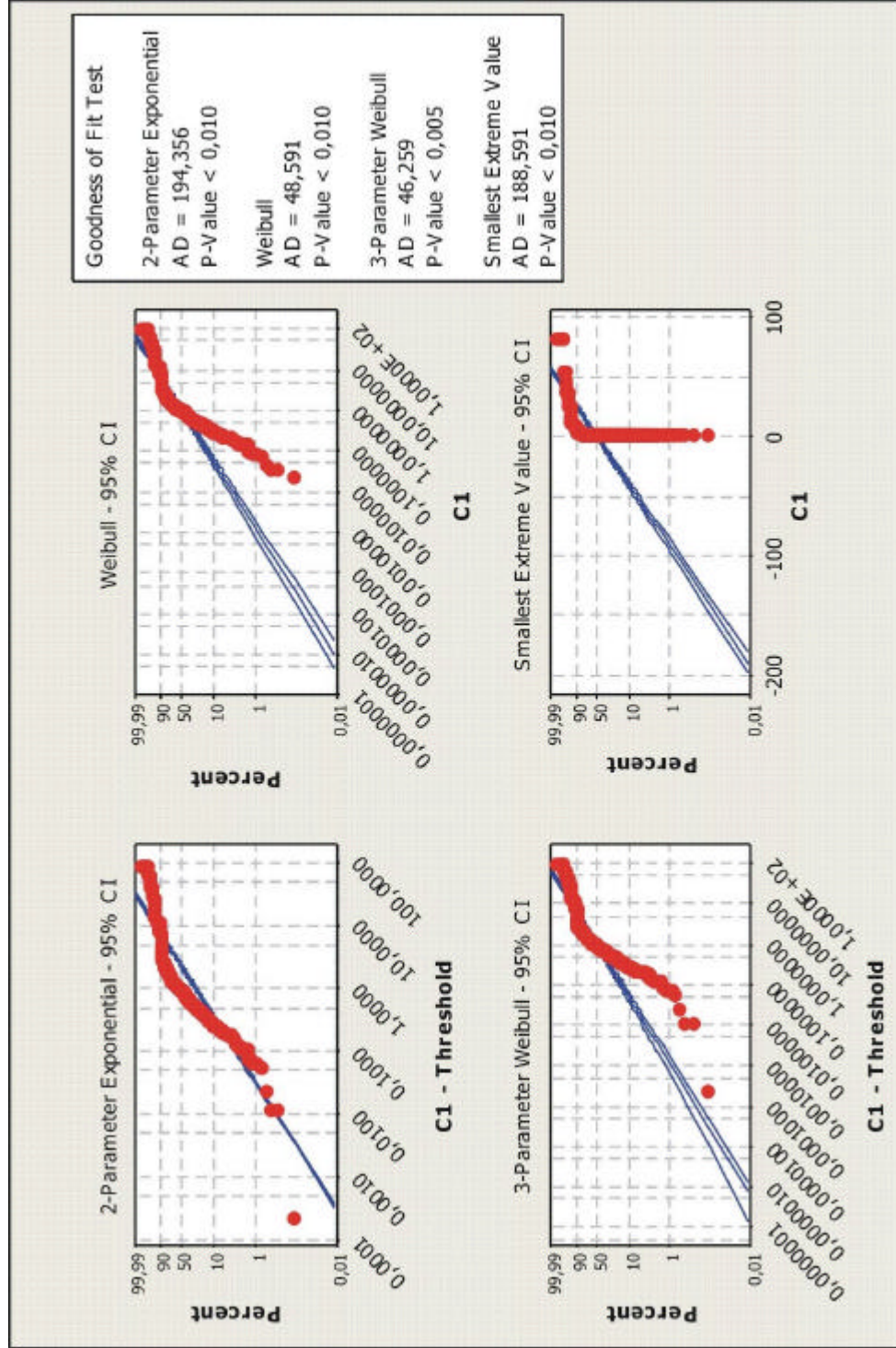


Gráfico 15 - Teste de hipótese Ho, H1 - Recebimento de impressoras

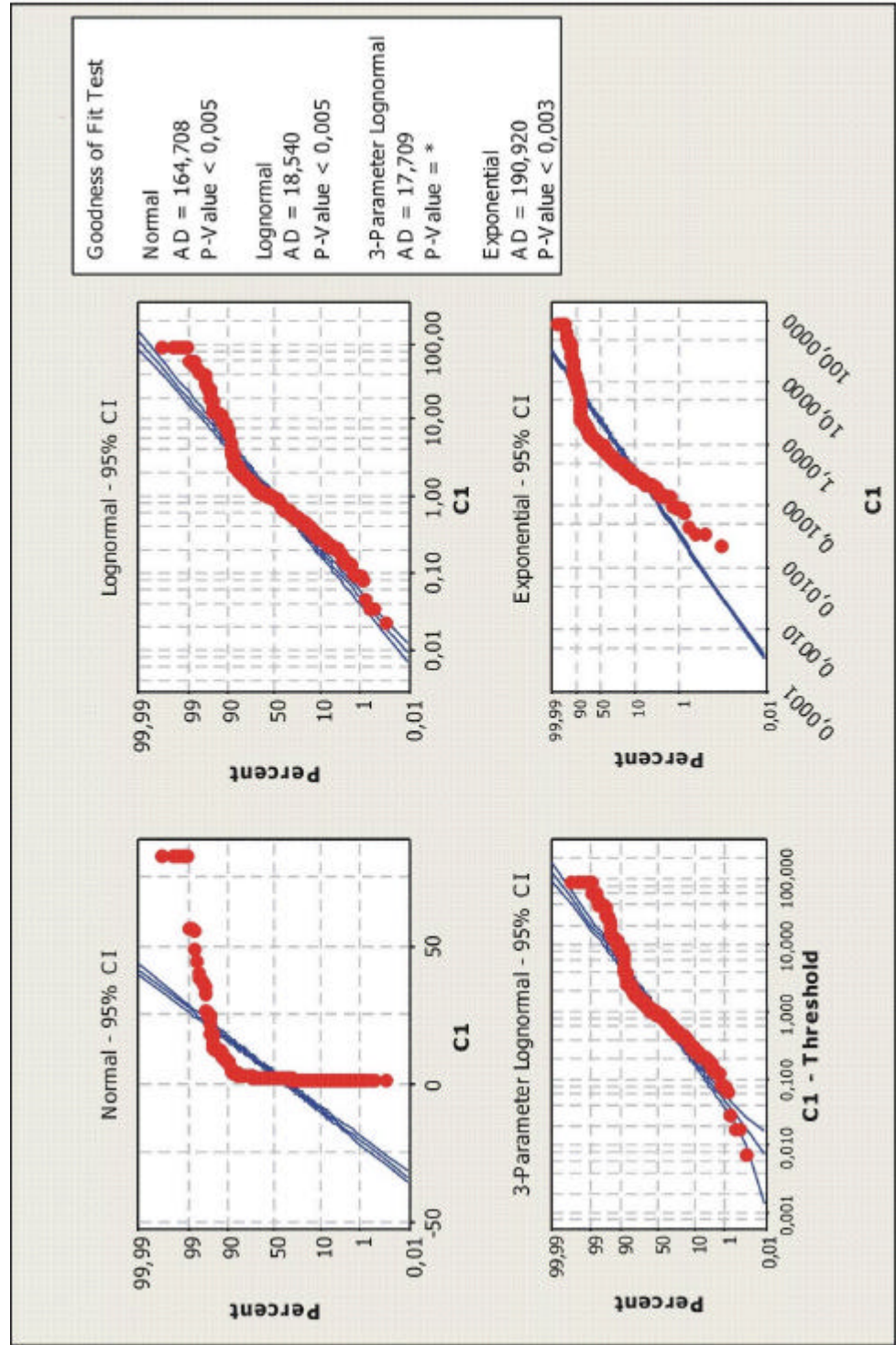


Gráfico 16 - Análise de capacidade do processo - Conceito Seis Sigma

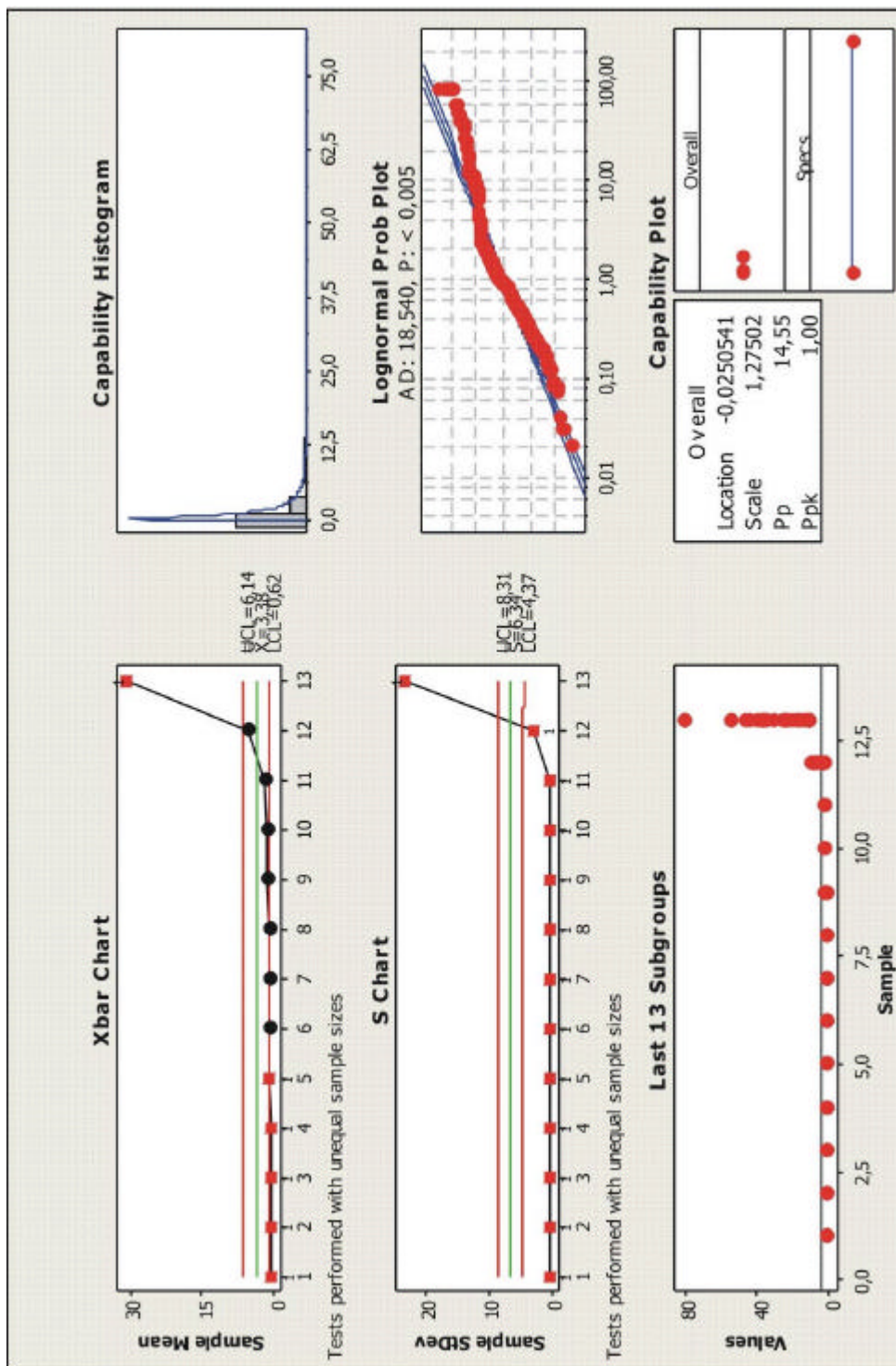
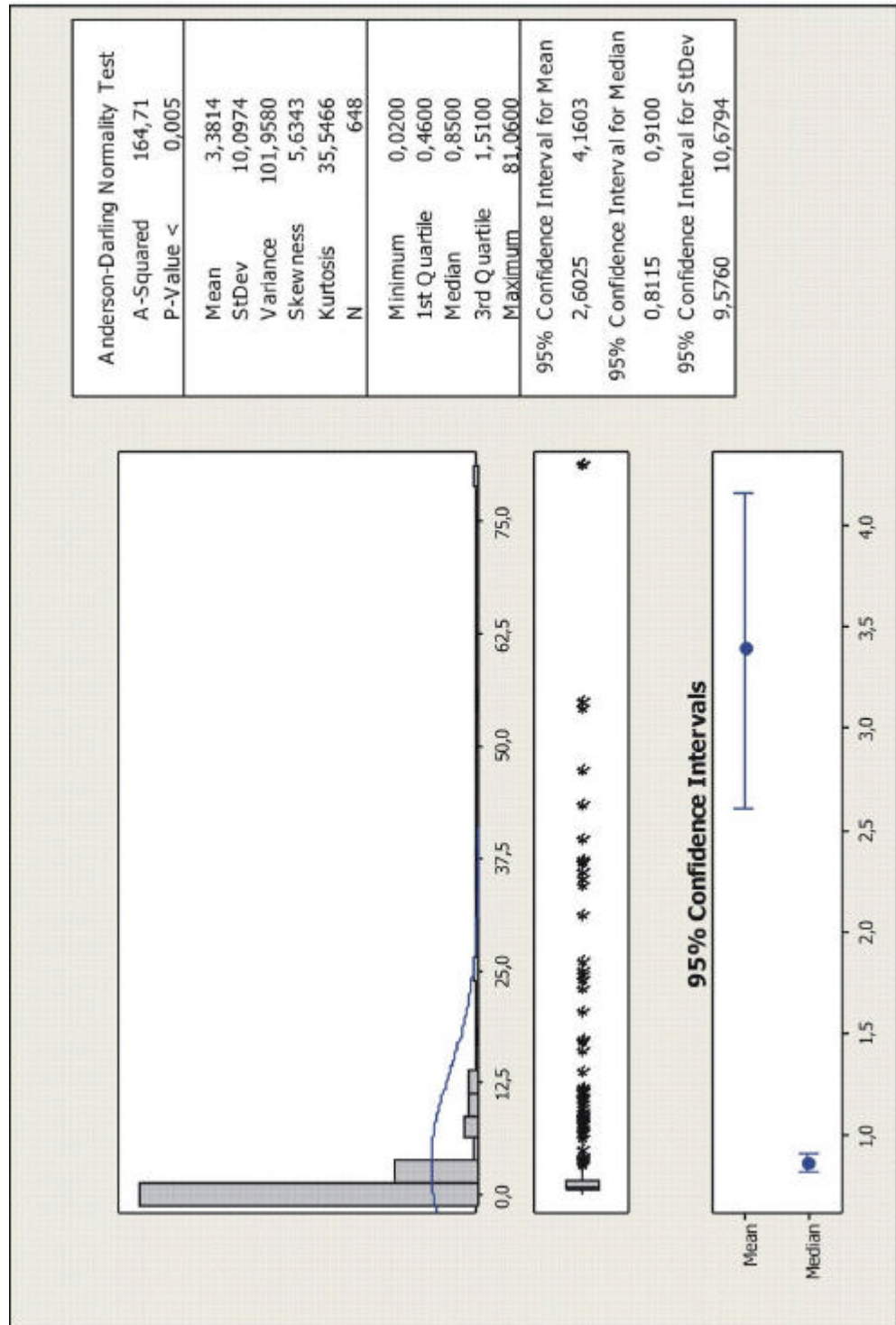


Gráfico 17 - Intervalo de confiança - Recebimento de impressoras



No caso de recebimento de impressora, aparece uma importante descoberta com a análise destes dados. Pode-se ver que o tempo mínimo gasto para recebimento de impressoras é de 0,02 horas decimais, a mediana 0,85 horas decimais, ou seja, do conjunto universo de 648 dados coletados, 324 estão abaixo de 0,85 horas decimais, enquanto o tempo máximo é de 81,06 horas decimais. Nota-se uma amplitude amostral de 81,04 horas (81,06 – 0,02) proveniente de erros de registro, documentação errada, falta de controle de documentação e com isto amplia-se consideravelmente este tempo. Sugere-se, no ponto mínimo 0,02 horas, um erro de registro dos dados dentro da planilha, uma vez que se sabe pela prática, que é muito difícil receber um palete de impressora em 0,02 horas decimais. Nota-se também uma assimetria à esquerda muito grande na curva, o que se justifica pela mediana menor que 0,85 e também no gráfico “box-plot”. Este gráfico exhibe simultaneamente vários aspectos importantes dos dados, tais como tendência central ou posição, dispersão ou variabilidade, afastamento da simetria e identificação de observações muito afastadas da maior parte dos dados (essas observações são, muitas vezes, chamadas valores discrepantes ou “outliers”). Embora o tempo de recebimento para mais de 324 dados seja menor que 0,85 horas, existe uma distância bastante significativa entre a mediana e a média aritmética. Neste caso, a variância é de 101,95 o que ajudada a consolidar a interpretação de alta variabilidade dos dados.

Analisando o índice da capacidade do processo (CpK) de recebimento de impressoras, confirma-se a variabilidade dos dados e que o processo está fora de controle, uma vez que o índice CpK é 0,18, portanto, <1 (Figura 73).

CpK	Nível do processo	Conceito
Maior ou igual a 2,00	A	Excelente - Altamente confiável, os operadores do processo exercem completo controle sobre o mesmo
1.33 até 1.99	B	Capaz - Relativamente confiável, os operadores do processo exercem completo controle das operações
1.00 até 1.32	C	Relativamente incapaz – Pouco confiável, requer controle contínuo das operações.
Menor que 1.00	D	Totalmente Incapaz - O processo não tem condições de manter as especificações ou padrões estabelecidos

Figura 73 - Quadro ilustrativo para interpretação do CpK

5.7 Análise geral do sistema RFID - Definição de produtos e equipamentos

Tomou-se a decisão de fazer um projeto “piloto” para exploração das capacidades de RFID para entender como aplicar esta tecnologia à Cadeia de Suprimentos, quais seus limites, o que deve ser melhorado e como continuar a desenvolver o mercado. A tecnologia esta sendo aplicada na área de manufatura e suprimentos importados.

5.7.1 Definição das etiquetas

Para este “piloto”, utilizaram-se leitores de etiquetas RFID MP9320 2.7 da Samsys e Etiquetas da Rafsec, modelos U Code 1.19 e PD 55 12 5 EPC Classe I.

As etiquetas U Code 1.19 serão aplicadas em todas as linhas de impressoras na manufatura local. As etiquetas serão aplicadas nos suprimentos em Richmond, nos Estados Unidos. Tanto na manufatura como em suprimentos, será gerado um palete virtual com as informações definidas para serem gravadas para cada tipo de produto, impressoras ou suprimentos.

No “Piloto” são utilizadas as etiquetas Rafsec U-CODE 1.19 e PD55_12_5 Cu EPC Classe I.

As etiquetas Rafsec U-CODE 1.19 possibilitam distâncias de leituras de até três metros.

Trabalham com o padrão ISO 18000-6B, possuindo a característica de simular as configurações de estrutura de dados das etiquetas EPC GEN 2 (Figura 74). Sendo assim, possuem uma área de identificação EPC e outra área de dados na qual podem ser gravadas as mais variadas informações em seus 256 bits de informação.

As etiquetas PD55_12_5 Cu possibilitam a leitura em até três metros.

Esta etiqueta é utilizada para identificar as caixas de suprimentos.

A etiqueta escolhida para o projeto é polarizada linearmente. Sendo assim, as antenas utilizadas devem obedecer a esta polarização.

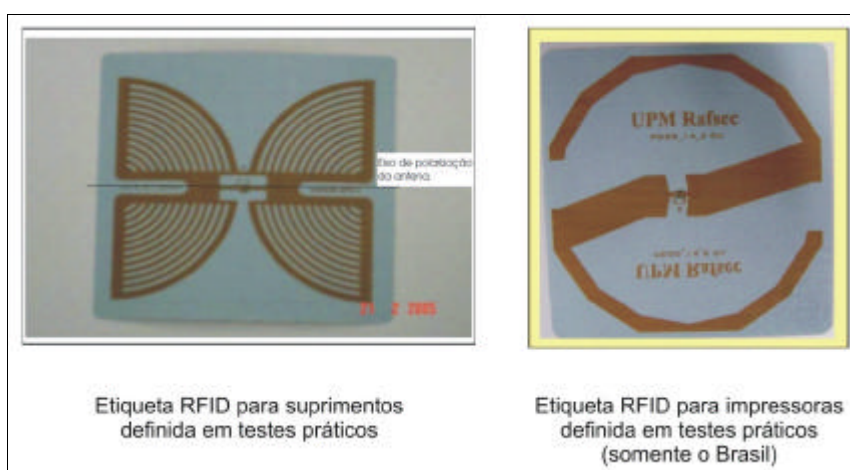


Figura 74 - Modelos de etiquetas para impressoras e suprimentos

5.7.2 Fixação das etiquetas nas impressoras

No Centro de Distribuição são movimentados dois tipos de paletes, os de impressoras e de suprimentos. Para os paletes de impressoras, as etiquetas são fixadas dentro das caixas, (Figuras 75 e 76) base das impressoras, conforme ilustrado na figura seguinte.

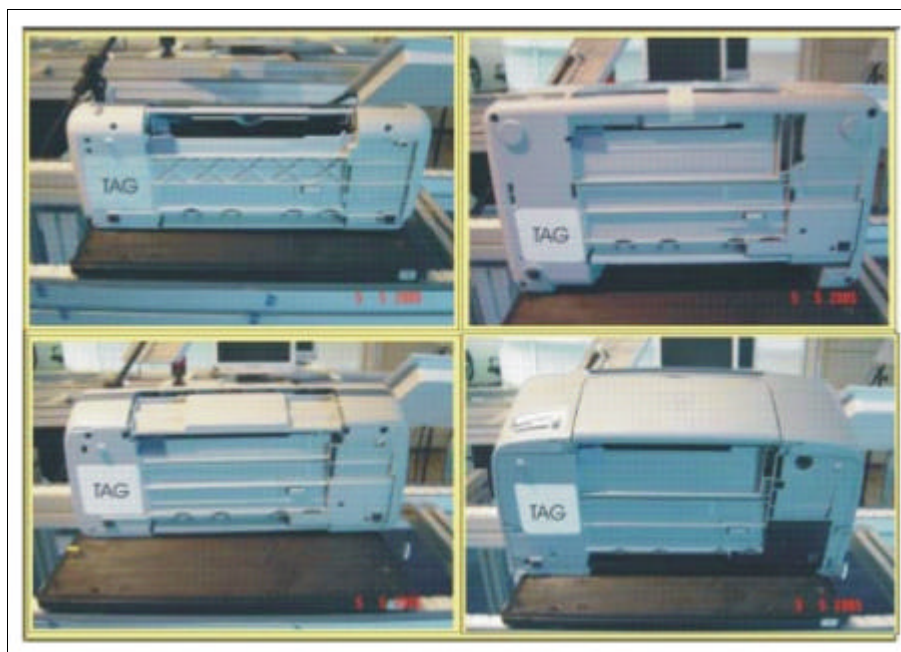


Figura 75 - Etiquetas em impressoras

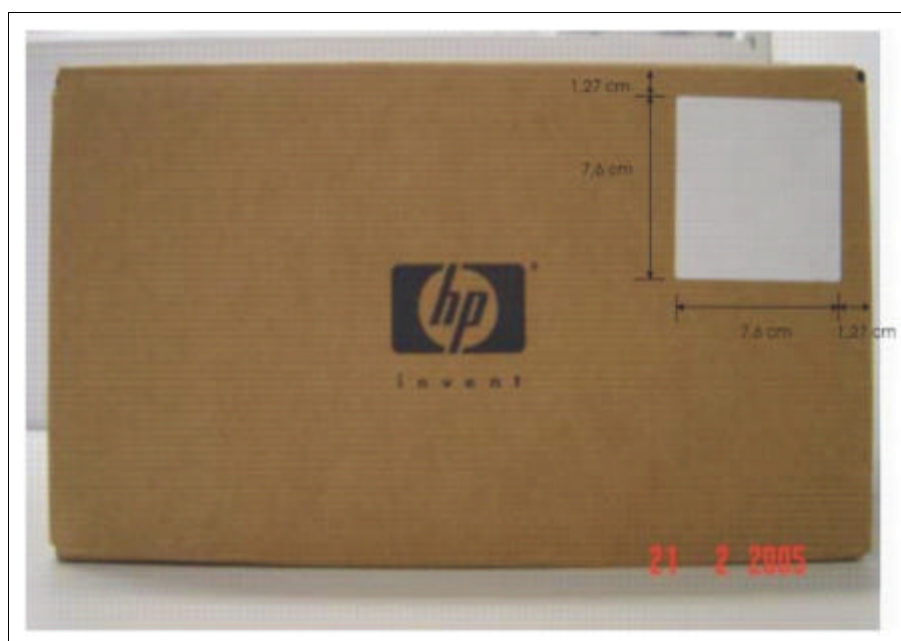


Figura 76 - Etiqueta em caixa de suprimentos

Para os paletes de suprimentos, as etiquetas são fixadas na lateral das caixas, conforme ilustrado na Figura 78. Nos paletes de suprimentos as etiquetas sofreram uma longa bateria de estudos conforme mostrado no passo “Estudar” da metodologia CDA²PEM.

Nos modelos de paletes utilizados para os testes preliminares, foram definidas dimensões, altura, largura, quantidade de etiquetas e quantidade de vezes que passará pelo sistema de leitura.

Portal: O portal como descrito anteriormente neste trabalho tem uma função muito importante do processo de leitura das etiquetas. Os portais podem ser instalados diretamente no piso do centro de distribuição ou podem ser instalados sobre uma mesa giratória (Figura 81) para facilitar a leitura das etiquetas devido a deficiência da tecnologia atual. Os portais são compostos de estrutura de ação, rede, energia elétrica, antenas e leitoras, tal como mostrado nas Figuras 79 e 80.

Estação de inspeção é utilizada quando o palete falha na leitura e é necessário descobrir qual a causa desta falha, se tem etiqueta morta, problema de umidade etc. O esquemático de uma estação de inspeção RFID pode ser vista nas Figuras 82 e 85.

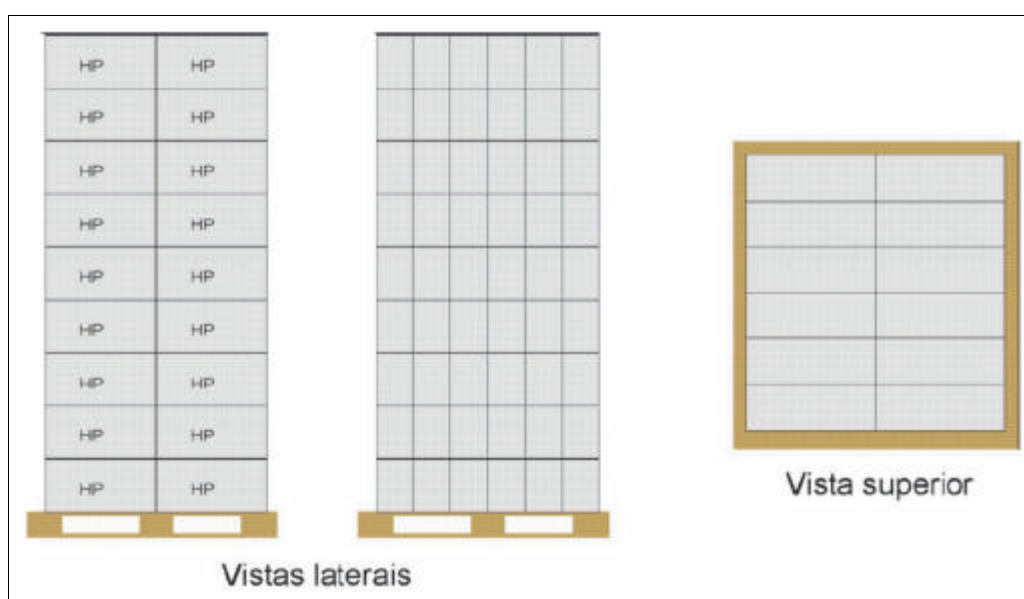


Figura 77 - Palete de impressoras

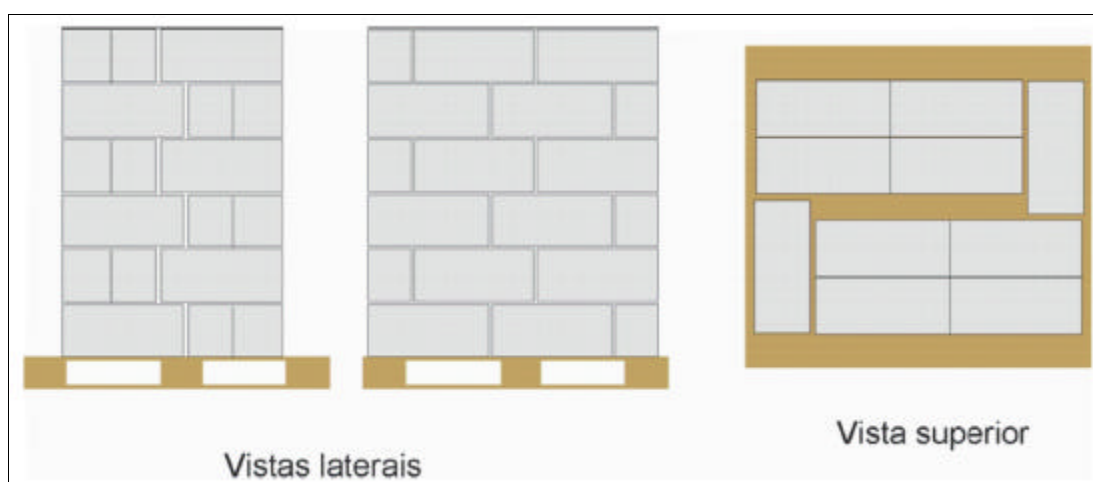


Figura 78 - Palete de suprimentos

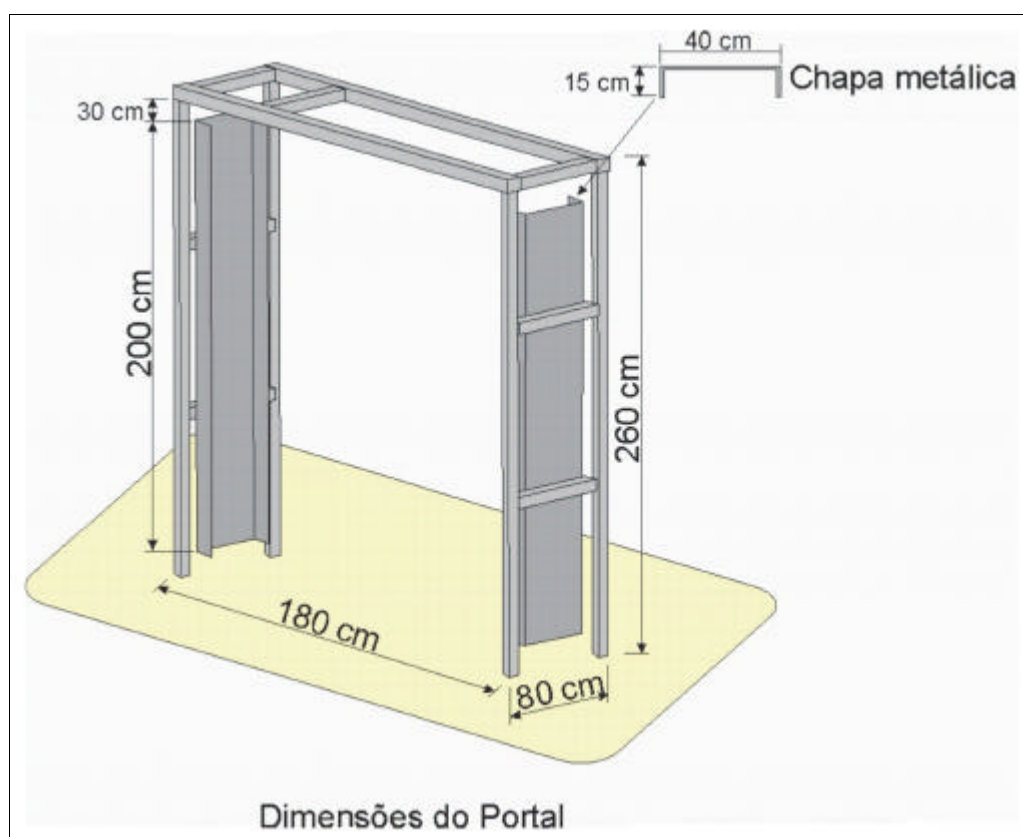


Figura 79 - Portal RFID em perspectiva

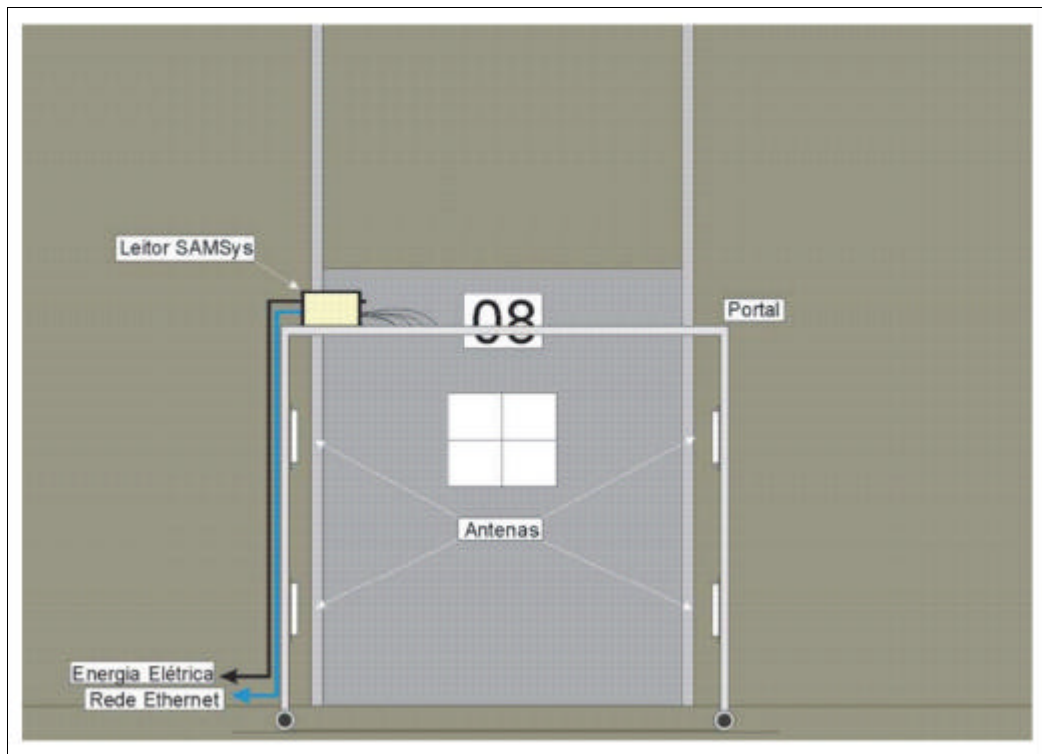


Figura 80 - Portal RFID vista frontal

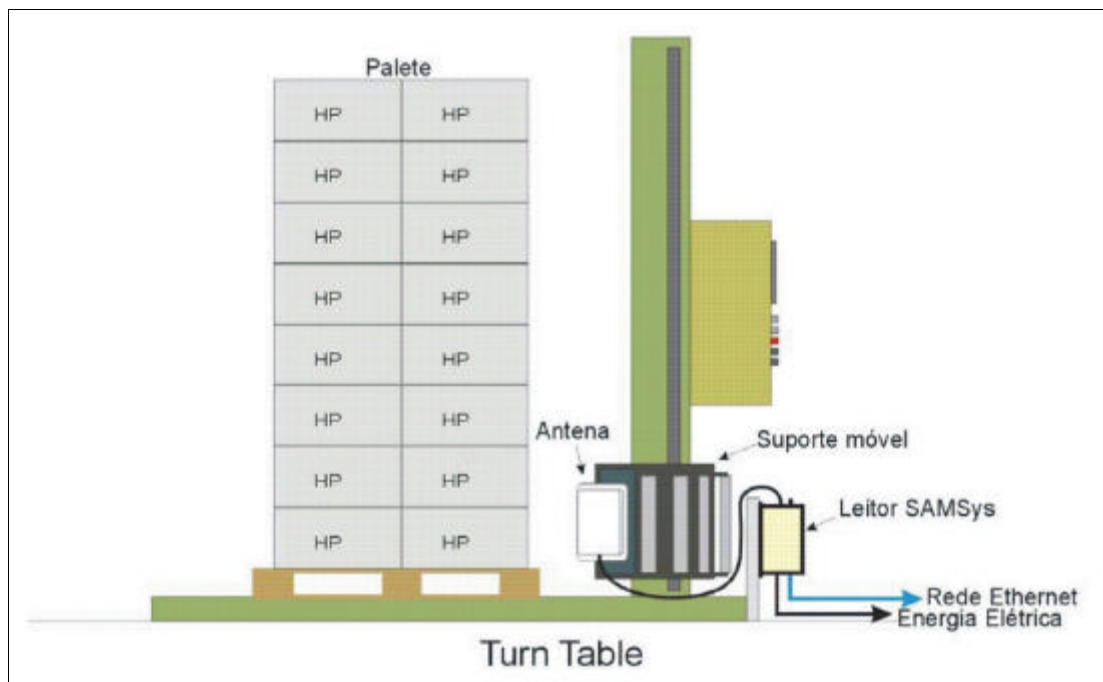


Figura 81 - Mesa giratória RFID

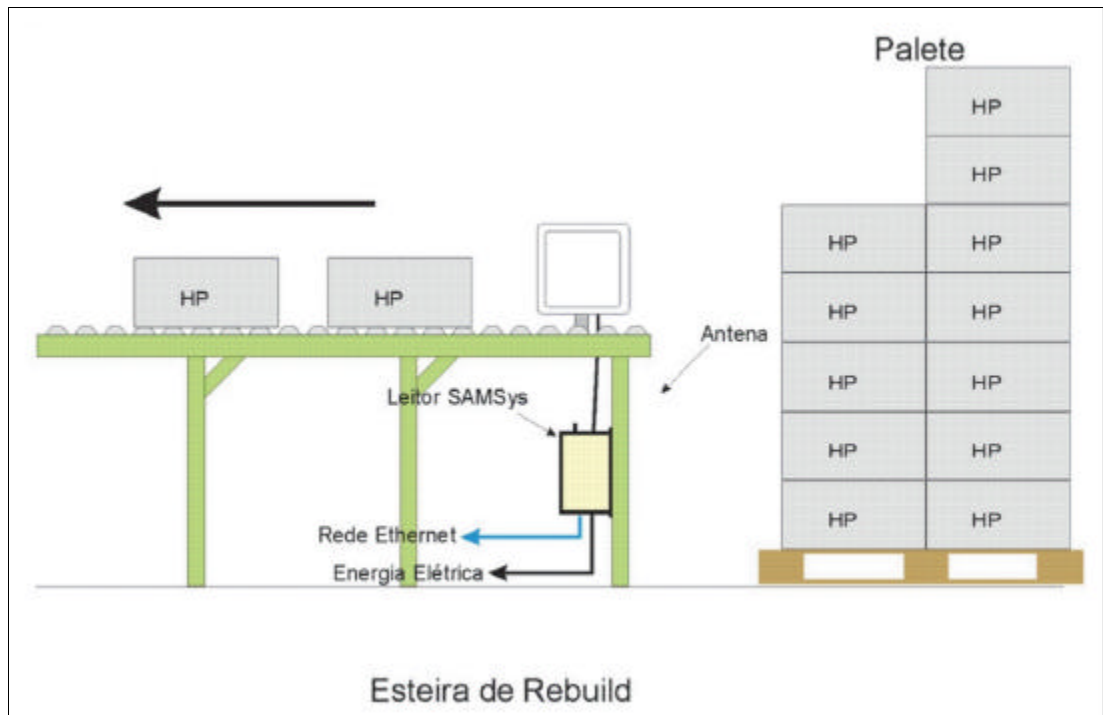


Figura 82 - Estação de inspeção RFID vista frontal

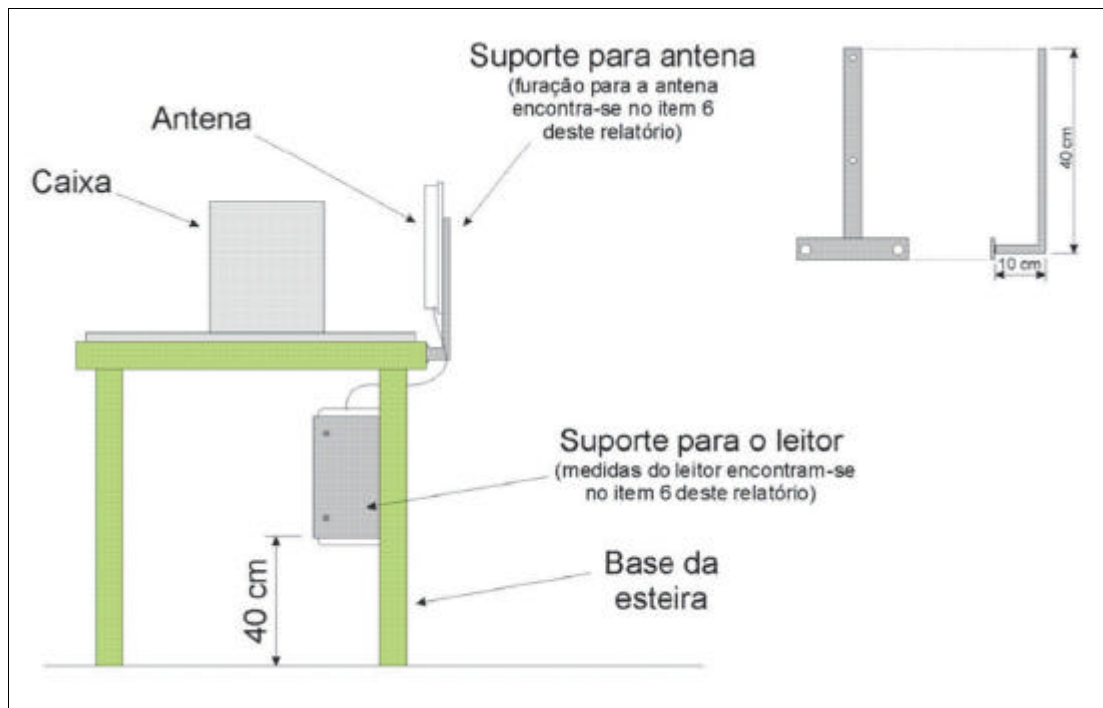


Figura 83 - Estação de inspeção RFID vista lateral

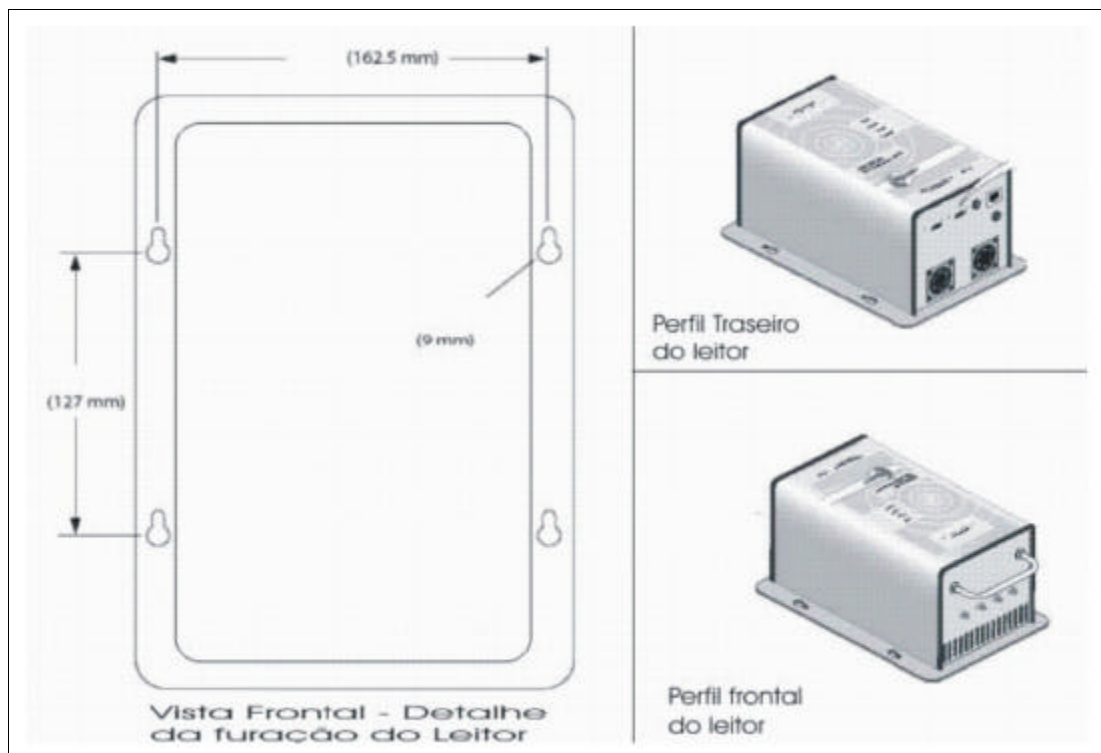


Figura 84 - Leitora RFID

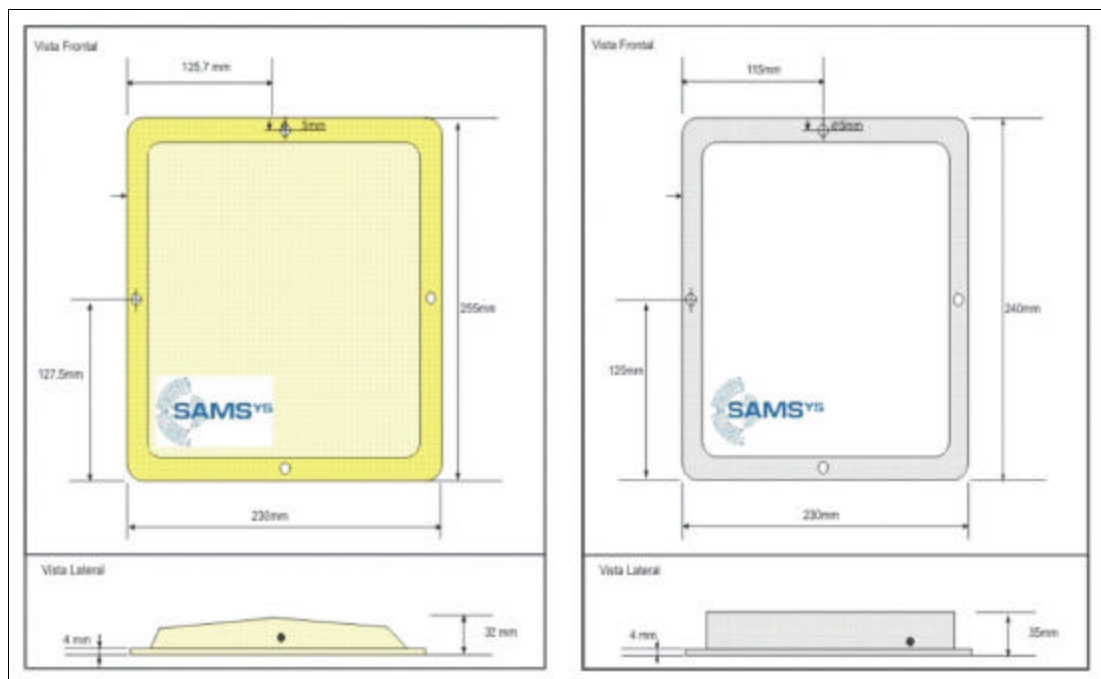


Figura 85- Antena RFID

5.7.3 Arquitetura sistêmica

Naturalmente, toda uma engenharia como esta precisa de uma arquitetura sistêmica (KNOLMAYER *et al.*, 2004) eficiente que garanta que as informações estarão disponíveis em tempo real. A grande competitividade de uma Cadeia de Suprimentos operando com a tecnologia RFID é substituir inventário por informações, minimizar o efeito chicote ao longo da cadeia e garantir um ajuste mais apropriado entre disponibilidade de produto e demanda (MCAFFE, 1998). Desenvolveu-se a arquitetura sistêmica, conforme ilustrado na Figura 86. Nesta arquitetura sistêmica nota-se uma plataforma horizontal (ERP) responsável por consolidar todos os dados provenientes das plataformas dos pontos da cadeia de suprimentos que geram informações através da tecnologia RFID para ser aplicadas na análise e interpretação dos fenômenos provenientes da variabilidade dos dados ou efeito chicote já tratado anteriormente nesta pesquisa. Observa-se que a arquitetura sistêmica sugere uma integração completa (MCAFFE, 2001) da cadeia desde os fornecedores de matéria-prima até o varejista ou cliente final e a conseqüente volta do produto velho para ser novamente transformado em matéria-prima. A manufatura é um ponto extremamente importante a ser considerado em uma cadeia integrada de suprimentos dentro do conceito de reuso do produto velho para ser transformado em matéria-prima novamente (VOLLMAN *et al.*, 2005) uma vez que cada vez mais está sendo utilizada a idéia de fazer despachos diretamente da fábrica para os clientes ou seja abolindo os centros de distribuição.

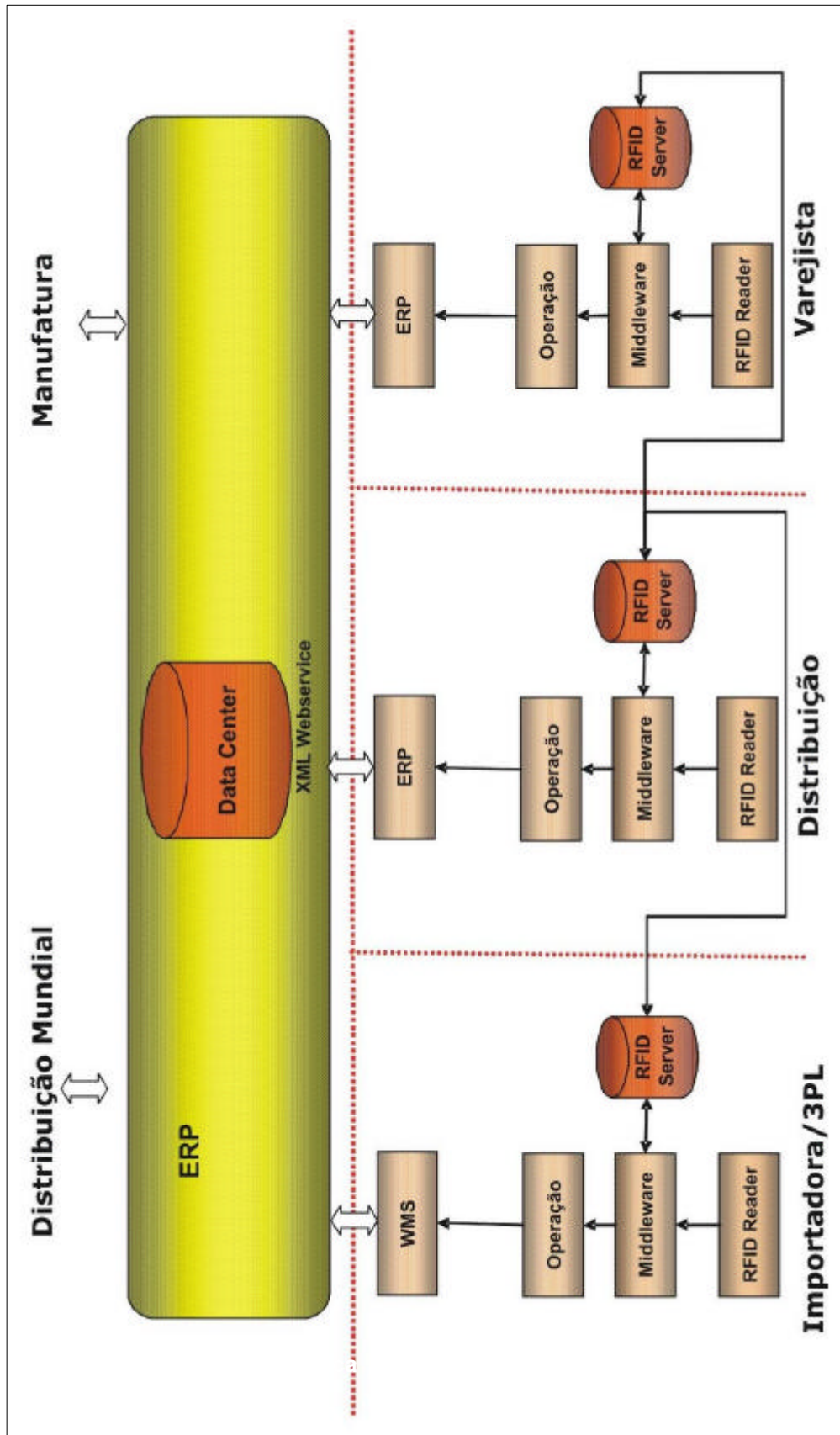


Figura 86- Arquitetura sistêmica

5.8 Análise e definição da aplicação da tecnologia RFID do ponto de vista do processo e do negócio

5.8.1 Requisitos básicos

Para que a aplicação da tecnologia RFID alcance os objetivos previstos, os seguintes requisitos devem ser cuidadosamente revisados no início, e tomadas as medidas para que estejam disponíveis:

- Informações de EPCs: é necessário que o fornecedor de informações (HP Richmond disponibilize os seguintes dados de EPCs gravados em etiquetas (e/ou ligados aos IDs através de bancos de dados):
 - paletes: identificação (ID) do palete, Part Number, quantidade de caixas, relação dos IDs de caixas;
 - caixas: ID da caixa, Part Number, Lote (InstallByDate).
- Disponibilidade dos produtos: as caixas e paletes dos produtos definidos no escopo do projeto deverão já estar “etiquetados” no recebimento de produtos. As informações referentes a estas etiquetas (já citadas) devem ser fornecidas sempre antes da chegada dos produtos, de forma eletrônica;
- Delimitação de área: deverão ser delimitadas áreas de operação no Centro de Distribuição, de modo a garantir que os processos operacionais sejam executados de forma segura;
- Disponibilidade de gestores de processo do Centro de Distribuição;
- Disponibilidade de gestores de Tecnologia de Informações dos sistemas envolvidos;

5.8.2 Escopo proposto

Descreveu-se anteriormente um escopo proposto para o projeto e seus envolvimento. Do ponto de vista de tarefas, identificam-se as seguintes para a aplicação da tecnologia RFID:

- Especificação de processos e programas, considerando os seguintes processos:
 - Conferência de recebimento;
 - Separação de paletes;
 - Montagem de novos paletes;

- Conferência de expedição;
 - Segregação de caixas;
 - Trocas de etiquetas de caixas;
 - Contagem caixa-a-caixa.
- Revisão da análise original nos locais de implantação da tecnologia RFID. Consiste em analisar novamente o relatório de origem de forma a adequá-lo a eventuais modificações geradas pela especificação dos processos e atendimento aos requisitos do projeto.
 - Definição do processo de testes. Nesta tarefa, especificam-se os testes previstos pelas áreas usuárias como o “protocolo mínimo” para aceitação da implantação do projeto e início efetivo do Piloto;
 - Implementação de sistema de Workflow de RFID. Consiste no desenvolvimento do sistema de controle dos processos citados, contendo as regras de negócio de aceitação das leituras, etc;
 - Implementação de servidores EPC-IS. Desenvolvimento e preparação dos servidores de EPC-IS, com os bancos de dados e serviços necessários ao seu funcionamento;
 - Instalação/adequação de infra-estrutura. Esta tarefa engloba as modificações e instalações de infra-estrutura física e lógica e prévias à instalação dos equipamentos de RFID ligados a eles;
 - Supervisão de infra-estrutura. Consiste na participação direta de um ou mais responsáveis pelo projeto, supervisionando as obras de infra-estrutura (acima) de forma a estarem adequadas à instalação dos equipamentos de RFID;
 - Implantação de pontos de leitura. É a instalação dos equipamentos de RFID propriamente dita;

Ativação e testes iniciais de estrutura. Este evento engloba a efetivação das instalações de RFID e sua validação inicial;

- Implantação e parametrização de “Middleware”. Nesta tarefa, efetiva-se a instalação do software middleware e configuram-se as regras necessárias de processo;

- Modificação em sistemas de retaguarda. Esta tarefa consiste em realizar as modificações nos sistemas de retaguarda da Importadora/3PL de forma a torná-los compatíveis e integrados aos processos de RFID;
- Implantação e testes de sistemas. Nesta fase, efetivamente, realizam-se os testes de integração de todos os componentes desenvolvidos, seguindo os roteiros do “protocolo mínimo” definidos inicialmente;
- Treinamentos. Os treinamentos devem ter enfoques diferentes para:
 - manutenção;
 - operação;
 - gerenciamento;
- Acompanhamento do Piloto para:
 - Gerenciamento da adaptação ao novo sistema;
 - Identificação de pontos críticos operacionais;
 - Avaliação contínua de desempenho sistêmico e operacional;
 - Ajustes e reparametrizações de equipamentos, sistemas e procedimentos.

5.8.3 Papéis e responsabilidades

Os principais papéis e responsabilidades identificados para o projeto estão apresentados no Quadro 18.

Quadro 18 - Papéis e responsabilidades

Papel	Responsabilidades
Responsável pelos processos da importadora	<ul style="list-style-type: none"> - Dar informações sobre os processos da importadora - Validar as especificações de modificação nestes - Validar os requisitos da Cisa quanto a informações, procedimentos, etc
Responsável pela Tecnologia de informações da importadora	<ul style="list-style-type: none"> - Dar informações quanto às implementações atuais e propostas de modificação nos sistemas da importadora - Coordenar internamente as modificações necessárias nos sistemas da importadora - Validar tecnicamente o projeto de RFID
Responsável pelos processos da importadora	<ul style="list-style-type: none"> - Dar informações sobre os processos da 3PL - Validar as especificações de modificação nestes - Validar os requisitos da 3PL quanto a informações, procedimentos, etc - Validar o projeto de RFID do ponto de vista de processos operacionais
Responsável pela Tecnologia de informações da 3PL	<ul style="list-style-type: none"> - Dar informações quanto às implementações atuais e propostas de modificação nos sistemas da 3PL - Coordenar internamente as modificações necessárias nos sistemas da 3PL - Validar tecnicamente o projeto de RFID
Responsável pelos EPCs para o processo de Vitória (HP Richmond)	<ul style="list-style-type: none"> - Dar informações sobre meios, conteúdo e dados envolvidos com os EPCs fornecidos - Viabilizar as interfaces sistêmicas necessárias para o projeto RFID
Responsável pelos processos HP	<ul style="list-style-type: none"> - Validar os processos propostos considerando os impactos para a cadeia de logística

Continua

Continuação

Papel	Responsabilidades
Responsável pela infra-estrutura física 3PL	<ul style="list-style-type: none"> - Contratar, coordenar e validar as modificações a serem efetuadas na infra-estrutura 3PL
Usuário-chave operacional 3PL	<ul style="list-style-type: none"> - Validar os processos operacionais propostos para o projeto RFID - Acompanhar as instalações e validar a implantação do piloto RFID - Garantir que a operação durante o piloto siga os padrões especificados
Usuário-chave Tecnologia de Informações da 3PL	<ul style="list-style-type: none"> - Validar as modificações nos sistemas 3PL e os processos de integração com RFID - Acompanhar e validar a implantação dos sistemas e sua usabilidade
Implantador de infra-estrutura	<ul style="list-style-type: none"> - Empresa responsável por efetuar as modificações de infra-estrutura previstas no projeto, a mando e coordenação do responsável
Fornecedor de sistemas RFID	<ul style="list-style-type: none"> - Empresa(s) que fornece(m) os sistemas de RFID envolvidos;
Implantador de equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> - Empresa(s) que implantam os equipamentos de RFID envolvidos com estes e adquiridos para o projeto
Implantador do projeto	<ul style="list-style-type: none"> - Empresa responsável pela implantação do Projeto de RFID como um todo. É a empresa que coordena, gerencia e executa a implantação do projeto aqui descrito

5.9 Planejamento do piloto RFID

Naturalmente, para o planejamento de um projeto, pode-se sofisticar o quanto se queira ou manter um projeto com um planejamento mínimo que garanta o seu sucesso, controlando-se tempo, custo, prazo de entrega, desvios, recursos humanos e qualidade do projeto. Ilustra-se na Figura 88 o Fluxograma do processo de etiquetagem e leitura RFID devido a importância desta operação dentro do plano de pesquisa, uma vez que a posição das etiquetas, umidade etc. São fatores fundamentais para a qualidade da leitura.

Neste piloto, apresenta-se um planejamento geral para suprimentos e impressoras um pouco diferente no início porque o projeto de impressoras já vinha caminhando alguns meses antes, mas todo o detalhamento seguiu, de modo geral, conforme a Figura 87.

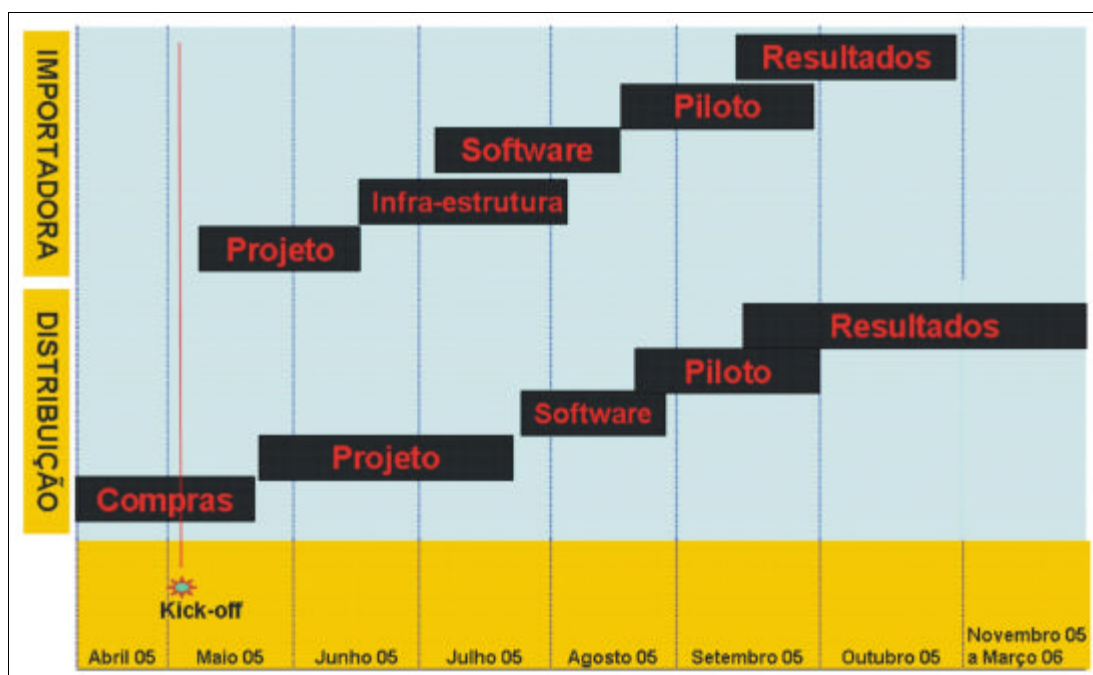


Figura 87 - RFID - Planejamento

Este planejamento foi desdobrado da seguinte forma:

Projeto

Levantamento/detalhamento
 Revisão do levantamento original
 Definição do processo de testes
 Validação do processo
 Entregável

Implementação

Infra-estrutura
 Instalação, preparação de pré-requisitos
 Instalação de equipamentos RFID
 Ativação e testes
 Entregável: Infra-estrutura

Equipamentos

Disponibilidade de equipamentos
 Instalação de equipamentos
 Ativação e Testes
 Entregável: ambiente RFID

Software

Implementação do servidor de EPC
 Implementação de processo
 Parametrização do Middleware
 Entregáveis: Sistema RFID

Validação

Testes
 De protocolo
 De volume
 De contingência
 Treinamentos
 Entregável: manuais, produção, Projeto RFID

Piloto

Assistência à operação

Revisão operacional

Apuração de resultados

Ajustes de processos e sistemas

Entregável: Relatório de resultados do piloto.

5.10 Estudar

Nesta fase, “Estudar” do método CDA²PEM, analisam-se os resultados obtidos com os testes programados na fase de planejamento. Neste caso, trata-se de índice de leitura de etiquetas RFID. A proposta é substituir a conferência dos produtos e documentação dos processos de recebimento, armazenagem e expedição por leituras eletrônicas através de etiquetas RFID (Figura 88).

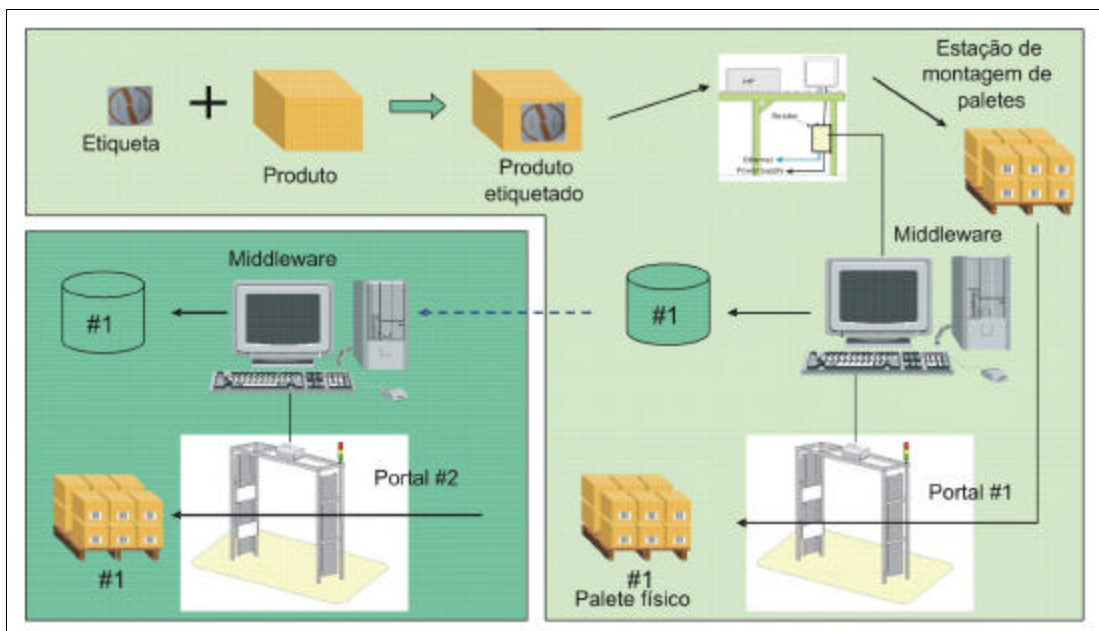


Figura 88 - Fluxograma do processo de etiquetagem e leitura RFID

Para que seja vantajosa esta operação, tem-se de ler um palete (um conjunto de caixas embaladas juntas) de uma única vez e com rapidez e acuracidade suficiente para tornar o processo mais seguro, mais confiável, mais preciso e, sobretudo mais rápido. Com isto, gera-se economia de tempo, de mão-de-obra, evita-se desperdício e aumenta-se a acuracidade do processo da Cadeia de Suprimentos. O objetivo claro é descobrir a melhor condição para ler 100% de todas as caixas etiquetadas sejam elas de suprimentos ou impressoras, com 100% de acuracidade na leitura, o que constitui pré-requisito importante para propor uma disseminação em larga escala da tecnologia, envolvendo clientes externos e dando início a uma Cadeia de Suprimentos integrada na qual as informações serão em tempo real e todo o ciclo de trabalho ao longo da mesma pode ser otimizado com relação à compra de partes e peças para manufatura e planejamento, envolvendo planejamento de manufatura e de distribuição de produtos acabados. Na área do Centro de Distribuição, será mais eficiente o controle de estoque, o tempo de recebimento, a armazenagem e a expedição de produtos e até mesmo o controle dos produtos no momento do transporte.

Na área de administração de ordens, trará enorme benefício, uma vez que o inventário poderá ser menor, os custos, menores e a visibilidade do estoque maior. Como isto minimiza o volume de ordens em condições de serem embarcadas e por razões das mais diversas como produto não disponível, produto em alocação (quando existe falta de produto e divide-se o produto disponível entre os clientes de acordo com as condições de negócios) e, com isto, perde-se a oportunidade de crescimento no mercado e, ao mesmo tempo, de bater os concorrentes. Do ponto de vista de cliente, os benefícios serão enormes. Por exemplo, pode diminuir o número de reclamações, minimizar os recalls (produto com defeito e problemas de relacionamento com o mercado) e garantir o produto disponível na prateleira do varejista.

Depois de totalmente cumprida a fase de instalação dos equipamentos, dá-se início aos testes e, como se pode observar, a seguir, os resultados não atingiram as metas previamente estabelecidas, ou seja,

leitura de 100 % dos paletes, muito embora todos os testes feitos até o momento tenham girado em torno de 20 a 40% de acuracidade ao redor do mundo.

Entretanto estabeleceu-se um plano para analisar as causas que afetam os resultados dos testes e buscar atingir o objetivo, conforme seqüência analisada a seguir.

5.10.1 Primeira fase dos testes

Nesta primeira fase de testes, foram lidos os paletes de suprimentos da mesma forma como foram embalados nos Estados Unidos, e os equipamentos RFID operaram da mesma forma como foram instalados originalmente.

Inicia-se a bateria de testes para otimizar o resultado, usando a tecnologia disponível no mercado, aplicando os seguintes equipamentos instalados (Figura 89), conforme definido pelo projeto piloto.

Objetivo

Apresentar os índices de leitura obtidos no portal de RFID instalado no Centro de Distribuição da Importadora/3PL, detalhando todos os testes e alterações que foram realizados para alcançar estes índices.

Equipamentos instalados

- 1 Leitor MP9320 EPC 2.7
- 4 Antenas circulares
- 1 Portal
- 1 Torre de sinalização
- 1 Botão



Figura 89 - Portal RFID

Paletes testados

Para realização dos testes, foram disponibilizados sete paletes com número de série distinto para que os testes de calibração fossem efetuados. Todos os paletes testados estão contemplados no projeto o primeiro caso está ilustrado no Quadro 19.

Quadro 19 - Primeiros paletes testados

Paleta	Part Number	Quantidade de caixas no Paleta	Site Survey	Projeto	Observação
A	C6615NL	80	NÃO	SIM	15 etiquetas voltadas para fora
B	C6615NL	80	NÃO	SIM	Nenhuma etiqueta voltada para fora
C	C6648AL	120	NÃO	SIM	
D	C6650AL	96	NÃO	SIM	
E	C6656AL	70	SIM	SIM	
F	C8728AL	70	NÃO	SIM	
G	C8797AL	96	NÃO	SIM	
H	C8798AL	120	NÃO	SIM	
I	C8798AL	81	NÃO	SIM	Este paleta não estava completo e estava montado torto

Procedimento

Testes de leitura com antenas circulares

Todos os paletes foram testados na mesa giratória que foi posicionada no centro do portal, tal como ilustrado na Figura 90.



Figura 90 - Portal RFID com palete no momento da leitura

Definiu-se intervalos de tempos nos quais os paletes iriam ser submetidos à mesa giratória. Os resultados obtidos estão expressos no Quadro 20.

Quadro 20 - Definição de intervalo

TAG's Lidos em:								
Palete	Part Number	Total de Caixas	10 Seg		30 Seg		Máximo	
A	C6615NL	80	41	51,25%	48	60,00%	52	65,00%
B	C6615NL	80	17	21,25%	23	28,75%	34	42,50%
C	C6648AL	120	19	15,83%	21	17,43%	24	19,99%
D	C6650AL	96	50	52,08%	57	59,38%	63	65,63%
E	C6656AL	70	65	92,86%	70	100,00%	70	100,00%
F	C8728AL	70	65	92,86%	68	97,14%	70	100,00%
G	C8797AL	96	42	43,75%	44	45,83%	45	46,88%
H	C8798AL	120	28	23,33%	31	25,83%	34	28,33%
I	C8798AL	81	32	39,51%	38	46,91%	41	50,62%
Média Parcial				48,08%		53,29%		57,19%

Analisando o Quadro 21, verifica-se que alguns paletes apresentaram maior dificuldade para leitura das etiquetas do que outros.

Percebeu-se que o mesmo número de série pertencia a paletes diferentes, o que aconteceu também com os paletes A e B, (Figura 91) que são paletes do mesmo número de série, mas um deles tinha grande parte das etiquetas voltadas pra fora - palete A (o que melhora a leitura) e outro com todas as etiquetas voltadas para dentro do palete B (o que dificulta a leitura).



Figura 91 - (A) Palete com todas as etiquetas voltadas para dentro do palete e (B) Palete com algumas etiquetas voltadas para fora do palete

No intuito de verificar um ganho de desempenho, utilizou-se uma combinação de antenas, colocando duas antenas circulares e duas antenas lineares para avaliar o desempenho do portal.

Testes de leitura com duas antenas lineares e duas antenas circulares

Com o objetivo de melhorar o desempenho de leitura, utilizou-se uma combinação de duas antenas circulares (mais imunes a diferenças na orientação das etiquetas) e duas antenas lineares (com maior irradiação de potência).

Definida a montagem das antenas, repetiram-se os testes e os valores obtidos foram os seguintes:

Quadro 21 - Testes de leitura com duas antenas circulares e lineares

TAG's Lidos em:								
Palete	Part Number	Total de Caixas	10 Seg		30 Seg		Máximo	
A	C6615NL	80	43	53,75%	53	66,25%	61	76,25%
B	C6615NL	80	17	21,25%	23	28,75%	34	42,50%
C	C6648AL	120	23	19,17%	27	22,5%	30	25,00%
D	C6650AL	96	50	52,08%	57	59,38%	63	65,63%
E	C6656AL	70	65	92,86%	70	100,00%	70	100,00%
F	C8728AL	70	57	81,43%	63	90,00%	65	92,86%
G	C8797AL	96	60	62,50%	71	73,96%	74	77,08%
I	C8798AL	81	32	39,51%	38	46,91%	41	50,62%
Média Parcial				52,57%		59,81%		64,50%

Com a nova configuração de antenas, (Quadro 21) chegou-se a uma melhora no desempenho da leitura. Os paletes que tiveram alteração de desempenho em relação à primeira bateria de testes estão marcados na cor verde.

Dois paletes do mesmo produto, apenas com a alteração do posicionamento das caixas no palete, de forma a melhorar a posição da etiqueta em relação às antenas, fizeram com que o desempenho aumentasse em mais de duas vezes.

a) Comparativo de desempenho do palete A, (Quadro 22) utilizando apenas antenas circulares e utilizando antenas circulares combinadas com antenas lineares.

Quadro 22 - Comparativo de resultados de leituras usando duas antenas circulares, combinando com uma circular e uma linear

Antenas	Part Number	10 Seg		30 Seg		Máximo	
		Count	Percentage	Count	Percentage	Count	Percentage
Combinadas	C6615NL	43	53,75%	53	66,25%	61	76,25%
Circulares	C6615NL	41	51,25%	48	60,00%	52	65,00%

b) Comparativo de desempenho do palete C, (Quadro 24) utilizando apenas antenas circulares e utilizando antenas circulares combinadas com antenas lineares.

Quadro 23 - Comparativo de antenas do palete C

Antenas	Part Number	10 seg		30 seg		Máximo	
		Count	Percentage	Count	Percentage	Count	Percentage
Combinadas	C6648AL	23	19.17%	27	22.5%	30	25.00%
Circulares	C6648AL	19	15.83%	21	17.43%	24	19.99%

c) Comparativo de desempenho do palete G, (Quadro 24) utilizando apenas antenas circulares e utilizando antenas circulares combinadas com antenas lineares.

Quadro 24 - Comparativo de antenas do palete G

Antenas	Part Number	10 Seg		30 Seg		Máximo	
		Count	Percentage	Count	Percentage	Count	Percentage
Combinadas	C8797AL	60	62,50%	71	73,96%	74	77,08%
Circulares	C8797AL	42	43,75%	44	45,83%	45	46,88%

Índices de leitura para o piloto

Depois da bateria de testes realizada, verificou-se que, para o piloto, deve-se trabalhar com índices 4% menores que os valores obtidos para a leitura de 10 segundos para o pior caso de cada número de série.

Trabalhando com esta margem de segurança, o “piloto” fica protegido contra etiquetas mortas e extraviadas, resultados mostrados no Quadro 25.

Quadro 25 - Comparativo de antenas com 4% de proteção

Palete	Part Number	Total de caixas	10 Seg		Índice para o piloto
B	C6615NL	80	17	21,25%	17,25%
C	C6648AL	120	23	19,17%	15,17%
D	C6650AL	96	50	52,08%	48,08%
E	C6656AL	70	65	92,86%	88,86%
F	C8728AL	70	57	81,43%	77,43%
G	C8797AL	96	60	62,50%	58,50%
H	C8798AL	120	28	23,33%	19,33%

Estes índices são altamente dependentes da montagem dos paletes, sendo que este parâmetro sempre deve ser avaliado quando houver muitas divergências.

Conclusão

O leitor e antena do portal de RFID instalados estão operando no máximo desempenho que a tecnologia e limitações físicas permitem. Sendo assim, para alterar-se o desempenho de leitura, deve-se avaliar os fatores externos aos equipamentos.

Os resultados dos testes mostraram que a melhor configuração de antenas que pode ser utilizada é a configuração combinada (duas antenas lineares e duas antenas circulares).

Analisando todos os resultados, verifica-se que os fatores que mais alteram o desempenho de leitura são:

- Produtos com palete entre 70 e 130 caixas, ou seja, o tamanho do palete interfere no desempenho de leitura.
- A cobertura de plástico usado para proteger o palete.
- Montagem do palete. Paletes remontados, com caixas fora de posição, apresentam melhor desempenho de leitura devido à abertura entre as caixas.
- Paletes com menores quantidades de caixas apresentam maior desempenho de leitura.

O principal fator que deve ser controlado a fim de se alcançar alta acuracidade (grande quantidade de etiquetas lidas) é controlar o

posicionamento das caixas no palete de forma que se consiga a melhor orientação e posição em relação às antenas do portal.

Para montagem do palete, devem ser observados os seguintes itens:

- impedir que etiquetas se sobreponham;
- montar o palete de forma a deixar as etiquetas o mais próximo possível dos limites do palete;
- evitar concentrar as etiquetas em um único lado do palete.

Dessa forma, o melhor trabalho a ser feito é pesquisar uma forma ótima de montagem dos paletes de modo a se conseguir o melhor desempenho possível.

Tanto no Centro de distribuição da Importadora/3PL como no Centro de Distribuição da HP, em Campinas, verificou-se que não existe padrão para montagem dos paletes, mesmo sendo do mesmo produto.

Para a operação com código de barras, isso não era fato importante, mas hoje, para a operação com RFID, este fator é significativo para que sejam alcançadas melhores taxas de leitura e maior acuracidade nos portais de leitura.

5.10.2 Segunda fase de testes

Equipamentos instalados

- 1 Leitor MP9320 EPC 2.7
- 2 Antenas circulares
- 2 Antenas lineares
- 1 Portal
- 1 Torre de sinalização
- 1 Botão

Paletes testados

Foram disponibilizados quatro paletes com “part numbers” distintos conforme mostrado no Quadro 26

Quadro 26 - Amostras selecionada para testes de leitura

Palete	Identificação	N. Série	Quantidade	N. de caixas
1	T87758	C4844AL/424	3120	130
2	T86488	C6648AL	2880	120
3	T90185	C6625AL/024	1440	60
4	T85847	C6650AL	2304	96

Testes realizados

Testes de leitura

Todos os paletes foram testados na mesa giratória que foi posicionada no centro do portal (Figura 92).



Figura 92 - Portal RFID

Os intervalos de tempo nos quais os paletes foram submetidos à mesa giratória são 10, 30 e 60 segundos.

Alternativa I

Foram realizadas 10 leituras com o palete original, considerando os tempos de 10, 30 e 60 segundos, independentemente conforme Quadro 27.

Quadro 27 - Resultados de testes - Alternativa I

Leitura	Etiqueta	Total caixas	10 seg	%	30 seg	%	60 seg	% Leitura
1	EPC1	130	40	30,77%	49	37,69%	53	40,77%
2	EPC1	130	39	30,00%	49	37,69%	55	42,31%
3	EPC1	130	39	30,00%	47	36,15%	54	41,54%
4	EPC1	130	39	30,00%	51	39,23%	53	40,77%
5	EPC1	130	42	32,31%	51	39,23%	53	40,77%
6	EPC1	130	40	30,77%	46	35,38%	51	39,23%
7	EPC1	130	39	30,00%	54	41,54%	51	39,23%
8	EPC1	130	35	26,92%	48	36,92%	54	41,54%
9	EPC1	130	37	28,46%	54	41,54%	52	40,00%
10	EPC1	130	44	33,85%	52	40,00%	52	40,00%

Observa-se que o resultado da leitura com o tempo de 10, 30 e 60 segundos, com o posicionamento das etiquetas conforme ilustrado na Figura 93 basicamente, apresenta os mesmos resultados com alguma pequena melhoria quando a exposição é de 60 segundos, mas que não resolve porque não atende o objetivo do projeto.

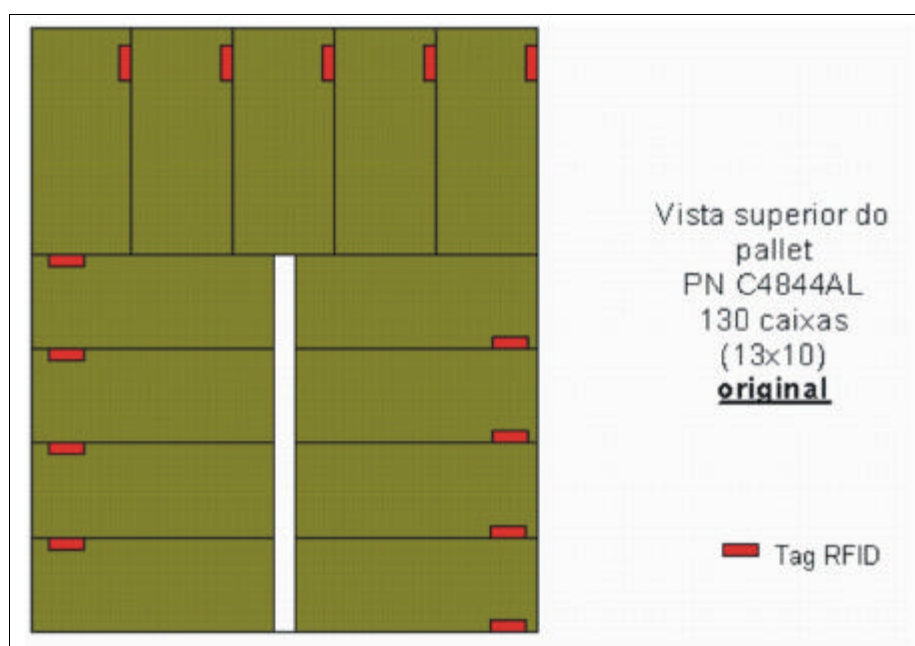


Figura 93 - Vista superior do paleta de suprimentos - Alternativa I

Como as leituras obtidas foram inferiores a 95%, os testes com este palete tiveram continuidade. Observe que a colocação das etiquetas está ligeiramente embutida dentro dos paletes coloridas em vermelho

Teste reprovado não atendeu o objetivo de 100 % de leitura, logo, continua a pesquisa.

Alternativa II

Foi montado um palete (Figura 94) com as etiquetas do lado de fora das caixas e completamente visíveis às antenas e leitoras observa-se que no nível de rendimento foi excelente (Quadro 28). Mudou-se da faixa dos 40 % para a faixa do 90%, apenas com a modificação. Apesar das melhorias em todos os tempos testados 10, 30 e 60 segundos, não atenderam o objetivo original e de negócios que é 100%.

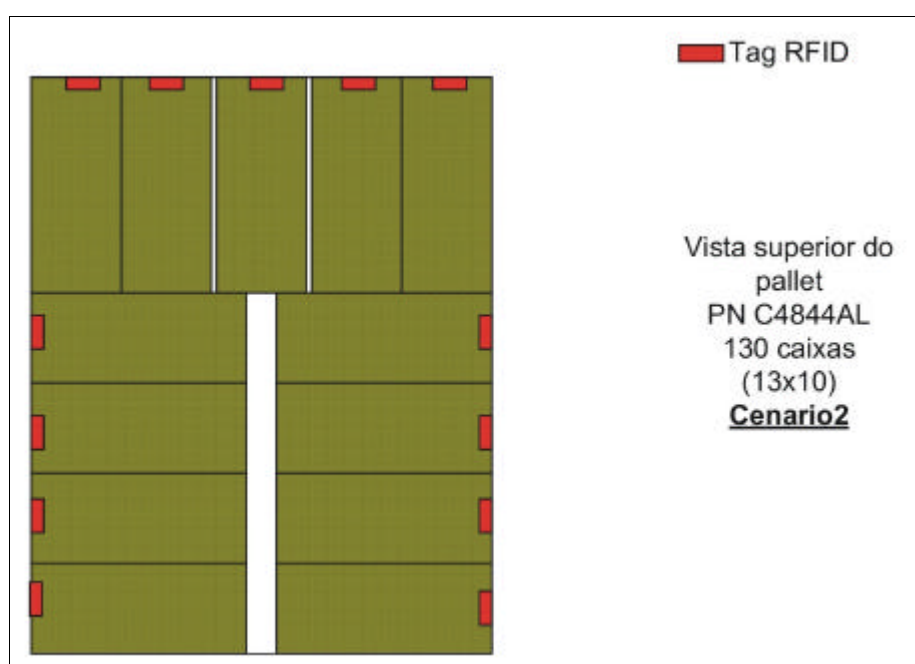


Figura 94 - Vista superior do palete de suprimentos - Alternativa II

Quadro 28 - Resultados de testes - Alternativa II

Leitura	Etiqueta	Total caixas	10 seg	%	30 seg	%	60 seg	%
1	ISO-6B	122	112	91,80%	115	94,26%	119	97,54%
2	ISO-6B	122	114	93,44%	117	95,90%	118	96,72%
3	ISO-6B	122	116	95,08%	118	96,72%	118	96,72%
4	ISO-6B	122	114	93,44%	118	96,72%	119	97,54%
5	ISO-6B	122	116	95,08%	117	95,90%	117	95,90%
6	ISO-6B	122	115	94,26%	118	96,72%	118	96,72%
7	ISO-6B	122	116	95,08%	116	95,08%	119	97,54%
8	ISO-6B	122	115	94,26%	118	96,72%	119	97,54%
9	ISO-6B	122	116	95,08%	118	96,72%	119	97,54%
10	ISO-6B	122	115	94,26%	116	95,08%	119	97,54%

Teste reprovado não atendeu o objetivo de 100 % de leitura, logo, continua a pesquisa.

Alternativa III

Monta-se um novo palete com etiquetas conforme ilustrado na Figura 95 e foram realizadas 10 leituras com o palete original, considerando os tempos de 10, 30 e 60 segundos, independentemente, este palete tem o mesmo formato da Alternativa I, cujos resultados encontram-se no Quadro 29.

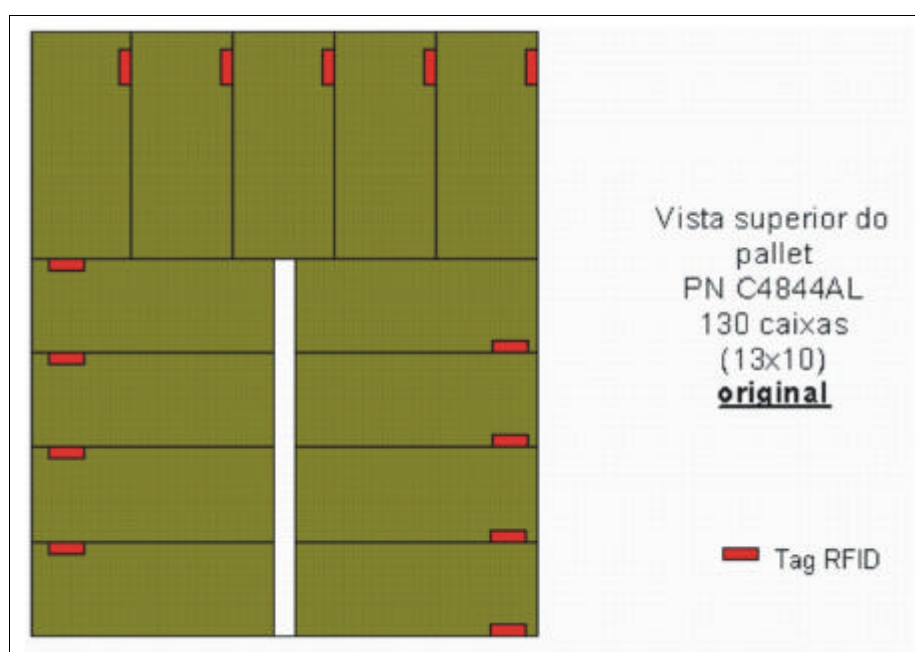


Figura 95 - Vista superior do palete de suprimentos - Alternativa III

Quadro 29 - Resultados dos testes - Alternativa III

Leitura	Etiqueta	Total de caixas	10 seg	%	30 seg	%	60 seg	%
1	EPC1	60	59	98,33%	59	98,33%	60	100,00%
2	EPC1	60	59	98,33%	59	98,33%	59	98,33%
3	EPC1	60	60	100,00%	59	98,33%	58	96,67%
4	EPC1	60	59	98,33%	59	98,33%	58	96,67%
5	EPC1	60	58	96,67%	59	98,33%	59	98,33%
6	EPC1	60	59	98,33%	59	98,33%	59	98,33%
7	EPC1	60	58	96,67%	59	98,33%	59	98,33%
8	EPC1	60	57	95,00%	59	98,33%	59	98,33%
9	EPC1	60	58	96,67%	58	96,67%	59	98,33%
10	EPC1	60	59	98,33%	59	98,33%	59	98,33%

Teste reprovado não atendeu o objetivo de 100 % de leitura, logo, continua a pesquisa.

Alternativa IV

Foram realizadas 10 leituras com o palete original, considerando os tempos de 10, 30 e 60 segundos, independentemente, cujos resultados podem ser analisados no Quadro 30 e o desenho do palete visto na Figura 96.

Quadro 30 - Resultados dos testes - Alternativa IV

Leitura	Tipo de TAG	Total de caixas	10 seg	%	30 seg	%	1 minuto	%
1	EPC1	120	37	30,83%	51	42,50%	58	48,33%
2	EPC1	120	40	33,33%	57	47,50%	63	52,50%
3	EPC1	120	41	34,17%	55	45,83%	60	50,00%
4	EPC1	120	40	33,33%	56	46,67%	66	55,00%
5	EPC1	120	44	36,67%	53	44,17%	61	50,83%
6	EPC1	120	40	33,33%	52	43,33%	60	50,00%
7	EPC1	120	36	30,00%	54	45,00%	61	50,83%
8	EPC1	120	43	35,83%	50	41,67%	60	50,00%
9	EPC1	120	38	31,67%	51	42,50%	60	50,00%
10	EPC1	120	42	35,00%	58	48,33%	59	49,17%

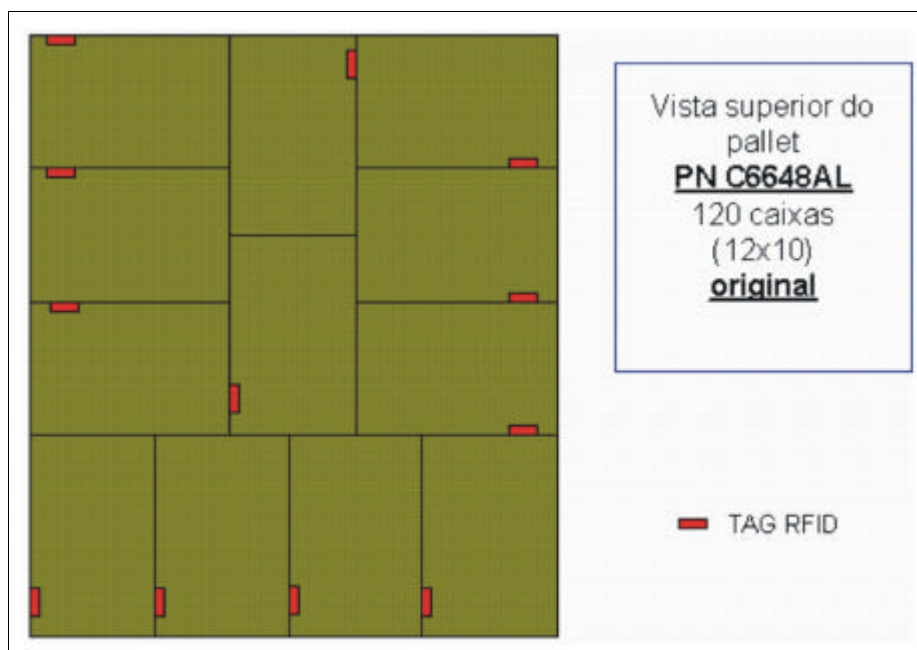


Figura 96 - Vista superior do palete de suprimentos - Alternativa IV

Teste reprovado não atendeu o objetivo de 100 % de leitura, logo, continua a pesquisa.

Alternativa V

Foi montado um palete, conforme a Figura 97. Nesta montagem, 110 de 120 etiquetas expostas. Os resultados podem ser examinados no Quadro 31.

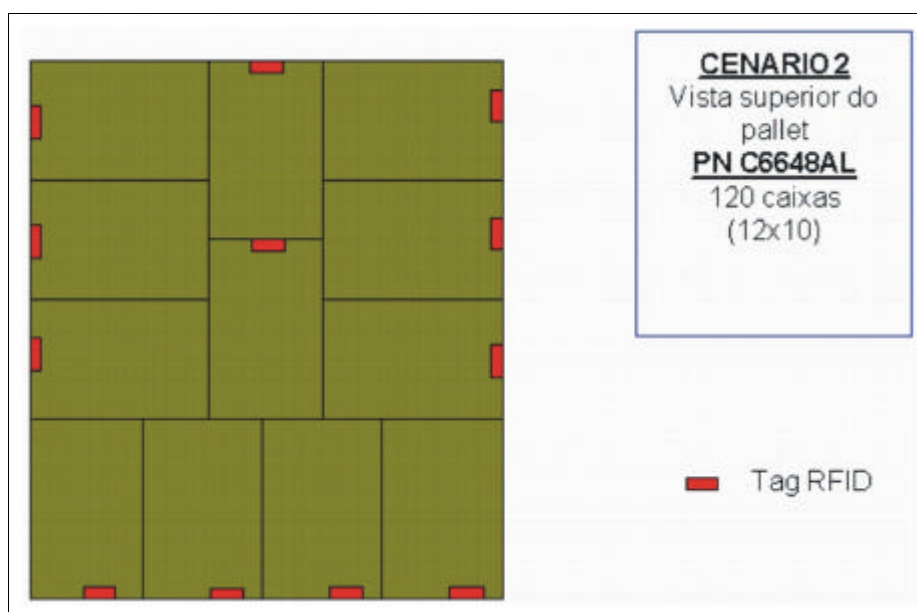


Figura 97 - Vista superior do palete de suprimentos - Alternativa V

Quadro 31 - Resultados dos testes - Alternativa V

Leitura	Tipo de TAG	Total de caixas	10 seg	%	30 seg	%	1 minuto	%
1	ISO-6B	120	103	85,83%	104	86,67%	105	87,50%
2	ISO-6B	120	101	84,17%	103	85,83%	104	86,67%
3	ISO-6B	120	103	85,83%	104	86,67%	104	86,67%
4	ISO-6B	120	102	85,00%	105	87,50%	105	87,50%
5	ISO-6B	120	103	85,83%	105	87,50%	106	88,33%
6	ISO-6B	120	101	84,17%	104	86,67%	105	87,50%
7	ISO-6B	120	101	84,17%	104	86,67%	105	87,50%
8	ISO-6B	120	100	83,33%	102	85,00%	105	87,50%
9	ISO-6B	120	104	86,67%	105	87,50%	106	88,33%
10	ISO-6B	120	102	85,00%	104	86,67%	105	87,50%

Teste reprovado não atendeu o objetivo de 100% de leitura, logo, continua a pesquisa.

Alternativa VI

Na Figura 98 nota-se a configuração do palete utilizado nesta bateria de testes. Foram realizadas 10 leituras com o palete original, considerando os tempos de 10, 30 e 60 segundos, independentemente com resultados ilustrados no Quadro 32.

Quadro 32 - Resultados dos testes - Alternativa VI

Leitura	Tipo de TAG	Total de caixas	10 seg	%	30 seg	%	1 minuto	%
1	EPC1	96	47	48,96%	49	51,04%	50	52,08%
2	EPC1	96	46	47,92%	51	53,13%	48	50,00%
3	EPC1	96	44	45,83%	52	54,17%	50	52,08%
4	EPC1	96	46	47,92%	51	53,13%	49	51,04%
5	EPC1	96	45	46,88%	48	50,00%	50	52,08%
6	EPC1	96	41	42,71%	51	53,13%	49	51,04%
7	EPC1	96	44	45,83%	51	53,13%	49	51,04%
8	EPC1	96	38	39,58%	47	48,96%	48	50,00%
9	EPC1	96	44	45,83%	50	52,08%	47	48,96%
10	EPC1	96	46	47,92%	47	48,96%	49	51,04%

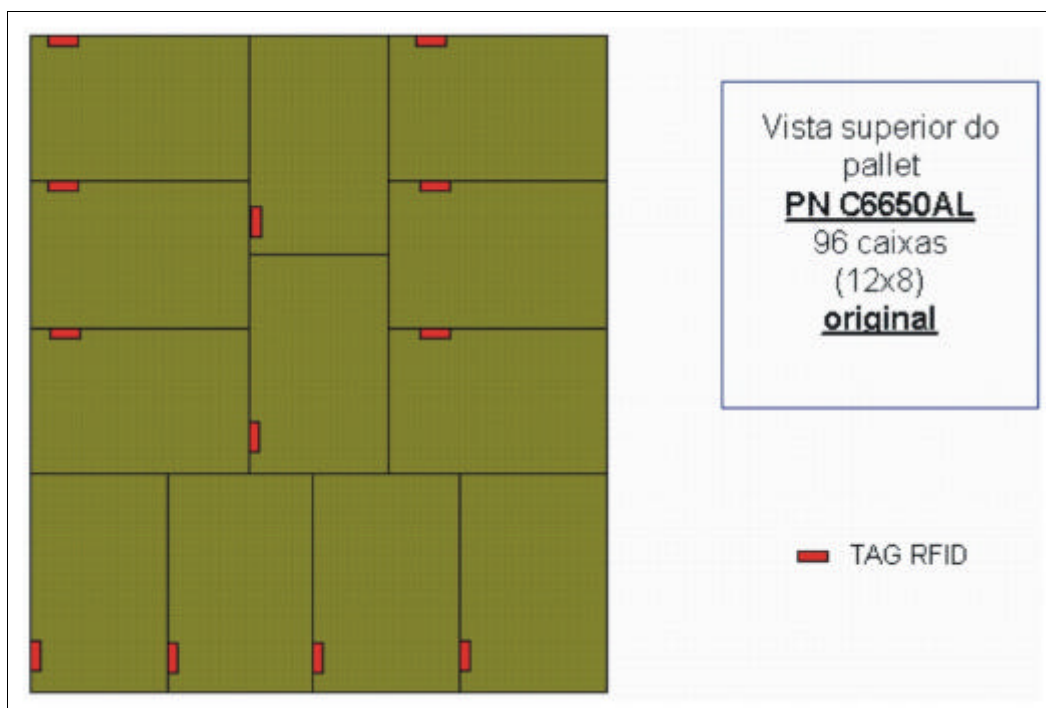


Figura 98 - Vista superior do palete de suprimentos - Alternativa VI

Teste reprovado não atendeu o objetivo de 100 % de leitura, logo, continua a pesquisa.

Alternativa VII

Remontagem do paleta da alternativa VI, mas variando o total de caixas mostra-se um resultado insatisfatório conforme pode ser notado no Quadro 33

Quadro 33 - Resultados dos testes - Alternativa VII

Leitura	Tipo de TAG	Total de caixas	10 seg	%	30 seg	%	1 minuto	%
1	EPC1	88	59	67,05%	65	73,86%	68	77,27%
2	EPC1	88	53	60,23%	63	71,59%	67	76,14%
3	EPC1	88	53	60,23%	62	70,45%	64	72,73%
4	EPC1	88	55	62,50%	62	70,45%	63	71,59%
5	EPC1	88	57	64,77%	64	72,73%	66	75,00%
6	EPC1	88	54	61,36%	64	72,73%	67	76,14%
7	EPC1	88	56	63,64%	64	72,73%	66	75,00%
8	EPC1	88	57	64,77%	64	72,73%	65	73,86%
9	EPC1	88	58	65,91%	63	71,59%	65	73,86%
10	EPC1	88	60	68,18%	64	72,73%	65	73,86%

Teste reprovado não atendeu o objetivo de 100 % de leitura, logo, continua a pesquisa.

Conclusão da segunda fase de testes

Conforme se pode observar, na alternativa III obteve-se o melhor desempenho de leitura com um palete de 60 caixas e com as etiquetas para fora, combinado com duas antenas onde ficou em torno de 98% de desempenho.

A decisão foi aperfeiçoar este palete e buscar o nível de leitura de 100%, condição esta necessária para garantir o sucesso para aplicação nos negócios.

Desenvolveu-se um modelo padrão para a montagem dos palets de acordo com o aprovado previamente durante a pesquisa.

5.10.3 Terceira fase dos testes

Apresentam-se os resultados 100% com paletes (Quadro 34) entre 60 e 70 caixas.

Quadro 34 - Resultados com leitura 100%

Resultado de testes 100%						
Portal em mesa giratória - Projeto RFID						
Item	Quantidade de caixas	Unidades	Lidas	Não lidas	% lidas	Tempo gasto
1	1	24	1	0	100%	3
2	60	1.440	60	0	100%	5
3	60	1.440	60	0	100%	5
4	60	1.440	60	0	100%	8
5	60	1.440	60	0	100%	8
6	60	1.440	60	0	100%	8
7	60	1.440	60	0	100%	8
8	70	3.360	70	0	100%	13
9	70	3.360	70	0	100%	13
10	70	3.360	70	0	100%	14
11	60	1.440	60	0	100%	17
12	70	3.360	70	0	100%	17
13	70	3.360	70	0	100%	18
14	60	1.440	60	0	100%	19
15	60	1.440	60	0	100%	19
16	70	3.360	70	0	100%	19
17	70	3.360	70	0	100%	21
18	70	3.360	70	0	100%	21
19	70	3.360	70	0	100%	22
20	1	24	1	0	100%	24
21	70	3.360	70	0	100%	34
22	70	3.360	70	0	100%	39
23	70	3.360	70	0	100%	39
24	60	1.440	60	0	100%	41
25	60	1.440	60	0	100%	41
26	70	3.360	70	0	100%	50
27	67	3.216	67	0	100%	60
28	70	3.360	70	0	100%	60
29	13	312	13	0	100%	86
30	4	96	4	0	100%	90
31	70	3.360	70	0	100%	125

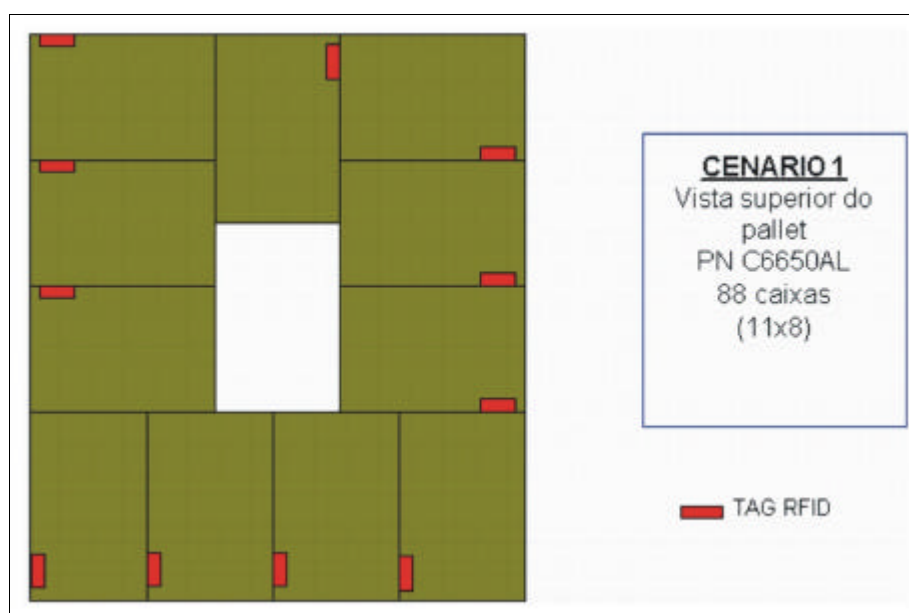


Figura 99 - Vista superior do pallet de suprimentos - Alternativa III otimizado para conseguir leitura 100%

Com os resultados mostrados, encerram-se os testes e considera-se que o objetivo do piloto foi cumprido, uma vez que se conseguiu ler 100% dos pallets montados com 60 e 70 caixas de suprimentos, (Figura 99) variando em número de unidades de 24 até 3 660, o que prova claramente que RFID é uma tecnologia que será decisiva para a melhoria do desempenho da Cadeia de Suprimentos.

5.11 Monitorar

No método CDA²PEM - monitorar o processo significa analisar a sua capacidade de entregar o produto de acordo com os limites de tolerância especificados, tal como ilustrado no Gráfico 18 (Unidade em segundos).

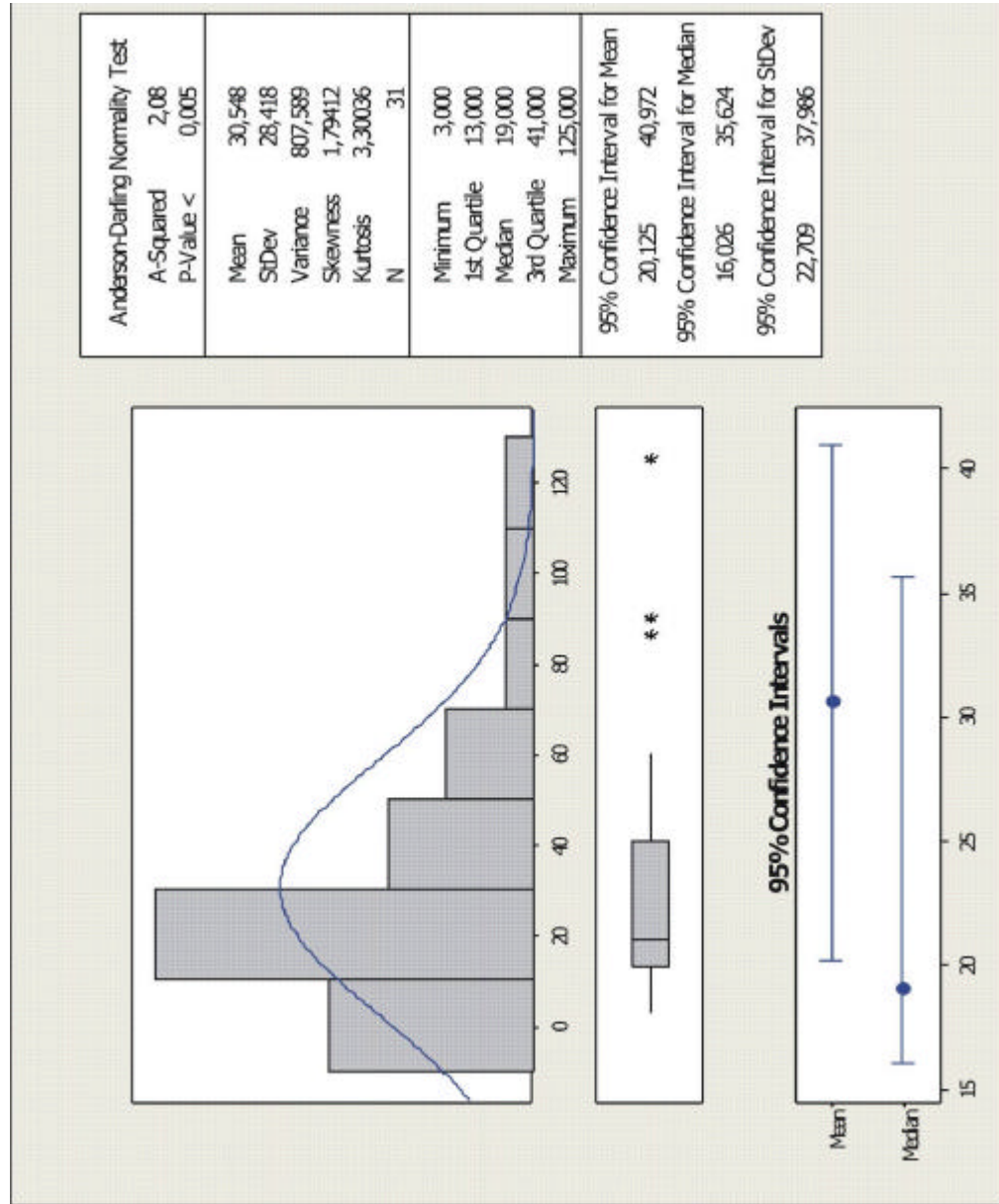
De maneira mais sistemática, pode-se dizer que monitorar um processo significa mantê-lo operando dentro dos limites de especificações e, em adição, fazer melhorias no seu desempenho e mudá-lo em um dado momento.

De maneira geral, o monitoramento de um processo passa por quatro fases importantes:

- a) **Primeira fase:** Produção dentro das tolerâncias. As medidas feitas para cumprir este propósito, às vezes na base de instrumentos passa-não-passa, devem ser analisadas e o processo mantido sobre controle.
- b) **Segunda fase:** Aplicação de gráficos de controle. Visam atingir a estabilidade de um processo, eliminando as causas especiais de variabilidade e a quantificação do efeito das causas comuns de variação que contaminam o processo.
- c) **Terceira fase:** Redução da Variabilidade – Com isto, aumenta-se a capacidade de entrega no processo. Este objetivo é atingido pelo maior conhecimento do processo que permite, muitas vezes, identificar causas especiais e, conseqüentemente, corrigi-las e controlá-las.
- d) **Otimização:** Tem-se por objetivo o estabelecimento dos valores de dimensões que funcionam melhor. Nesta etapa, com a uniformidade do processo aumentada (com a aplicação das fases anteriormente citadas), direciona-se o processo visando otimizar funções e minimizar os custos. Para cumprir esta fase, utilizam-se metodologias conhecidas como FMEA, Seis Sigma, Delineamento de Experimentos e tecnologias novas para fazer uma mudança de direção significativa no processo como é o caso de RFID, no momento.

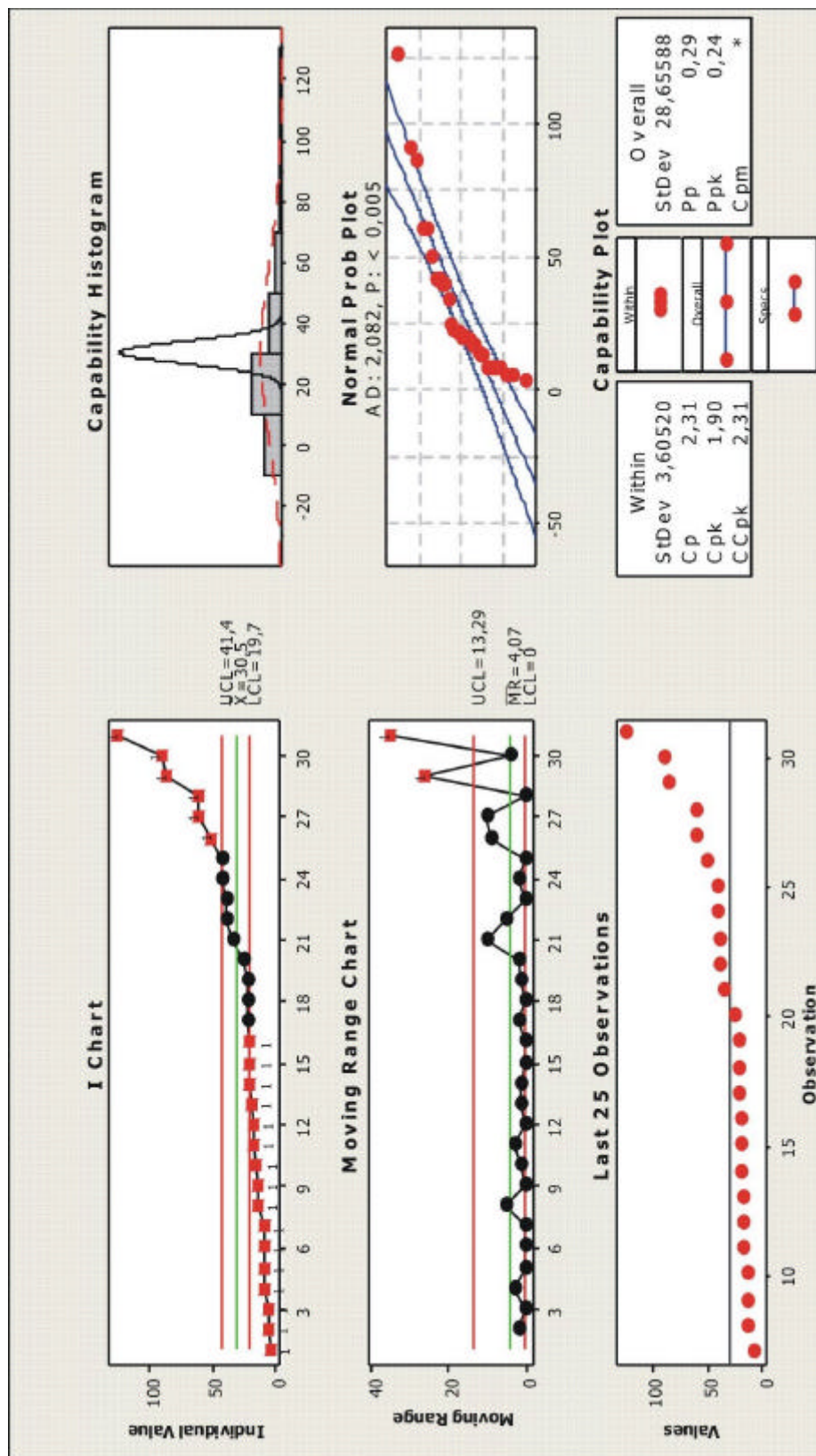
Assim sendo, apresenta-se, a seguir, o estudo de otimização do tempo de medições utilizando a tecnologia RFID com o objetivo de melhorar as leituras de etiquetas já com o processo da Cadeia de Suprimentos em outro estágio de velocidade.

Gráfico 18 - Monitoramento de desempenho de leituras com 100%



Analisa-se o tempo gasto para a leitura das caixas pelo sistema RFID. Observa-se que, de 31 leituras com resultado 100%, houve um valor mínimo de três segundos, um máximo de 125 segundos e uma média aritmética de 30,548 segundos tal como mostrado no Gráfico 19 os resultados comparativos com os dados originais serão apresentados no capítulo de resultados.

Gráfico 19 - Monitoramento - Análise de capacidade do processo



Na Figura 100, analisa-se a capacidade do processo instalado de fazer leitura dentro do especificado que, para este caso, é de 30 segundos. Nota-se que CpK é 1,99, portanto, o processo é relativamente capaz, o que faz sentido, considerando que existe muita variabilidade. A amplitude varia de três segundos a 125 segundos. Pode-se observar na curva normal virtual e na dos dados reais uma grande diferença. No Gráfico 19 são observados muitos pontos fora do limite de tolerância, o que mostra oportunidades de melhoria. Na média móvel mostrada, existem também dois pontos em vermelho fora da tolerância.

CpK	Nível do processo	Conceito
Maior ou igual a 2,00	A	Excelente - Altamente confiável, os operadores do processo exercem completo controle sobre o mesmo
1.33 até 1.99	B	Capaz - Relativamente confiável, os operadores do processo exercem completo controle das operações
1.00 até 1.32	C	Relativamente incapaz – Pouco confiável, requer controle contínuo das operações.
Menor que 1.00	D	Totalmente Incapaz - O processo não tem condições de manter as especificações ou padrões estabelecidos

Figura 100 - Interpretação do Índice CpK

6

RESULTADOS

Existiram diversas observações importantes ao longo desta pesquisa envolvendo Processos da Cadeia de Suprimentos, Desenvolvimento de uma nova metodologia para a Otimização de Processos da Cadeia de Suprimentos chamado “CDA²PEM”, onde:

C: Cliente

D: Diagnóstico

A2: Análise/Ação

P: Planejar

E: Estudar

M: Monitorar

No passo análise, foram introduzidas as técnicas de FMEA, Seis Sigma e a Tecnologia RFID como a ferramenta para suportar a solução final. Foram realizadas observações sobre o desempenho dos componentes da tecnologia RFID, notadamente as etiquetas e as leitoras, para ver o desempenho no quesito nível de leitura, buscando-se o nível de leitura em 100% como forma de viabilizar a solução.

Assim sendo, seguem-se os principais resultados:

6.1 Primeiro Resultado

Resultado (Tabela 1) da aplicação da solução desenvolvida nos processos de recebimento de impressoras e suprimentos, analisando os ganhos envolvendo comparações entre os processos atuais e os processos com a tecnologia RFID nos pontos mínimo e máximo e nas medidas de tendência central mediana e média aritmética.

Tabela 1 - Resultados apresentados com aplicação da solução RFID

Dados de recebimento de suprimentos e impressoras (horas decimais)				
Descrição	Mínimo	Mediana	Média	Máximo
Suprimentos	3,22	12,12	18,18	98,12
Impressoras	0,02	0,085	3,38	81,00
Resultados de otimização do processo com RFID para suprimentos (ganho em valor absoluto)				
Tempo 10s	1159	4363	6545	35323
Tempo 30s	386	1454	2182	11774
Tempo 60s	193	727	1091	5887
Resultados de otimização do processo com RFID para impressoras (ganho em valor absoluto)				
Tempo 10s	7	31	1217	29160
Tempo 30s	2	10	406	9720
Tempo 60s	1	5	203	4860

6.2 Segundo Resultado

Resultado (Tabela 2) da aplicação da solução desenvolvida nos processos de recebimento de impressoras e suprimentos, analisando os ganhos envolvendo comparações entre os processos atual e o com a tecnologia RFID nos pontos mínimo, máximo e no quartil 1 (Q1) Quartil 2 (Q2) Quartil 3 (Q3).

Tabela 2 - Resultados apresentados com a otimização RFID

Dados recebidos de suprimentos e impressoras (horas decimais)					
Descrição	Mínimo	Q1	Q2	Q3	Máximo
Suprimentos	3,22	7,45	12,12	22,78	98,12
impressoras	0,02	0,46	0,85	1,51	81,06
Resultados de otimização do processo com RFID para suprimentos (ganho em valor absoluto)					
Tempo 10s	1159	2682	4363	8201	35323
Tempo 30s	386	894	1454	2734	11774
Tempo 60s	193	447	727	1367	5887
Resultados de otimização do processo com RFID para impressoras (ganho em valor absoluto)					
Tempo 10s	7	166	306	544	29182
Tempo 30s	2	55	102	181	9727
Tempo 60s	1	28	51	91	4864

6.3 Terceiro Resultado

Desenvolvimento do Método “CDA²PEM” (Figura 101) para otimização da Cadeia de Suprimentos.

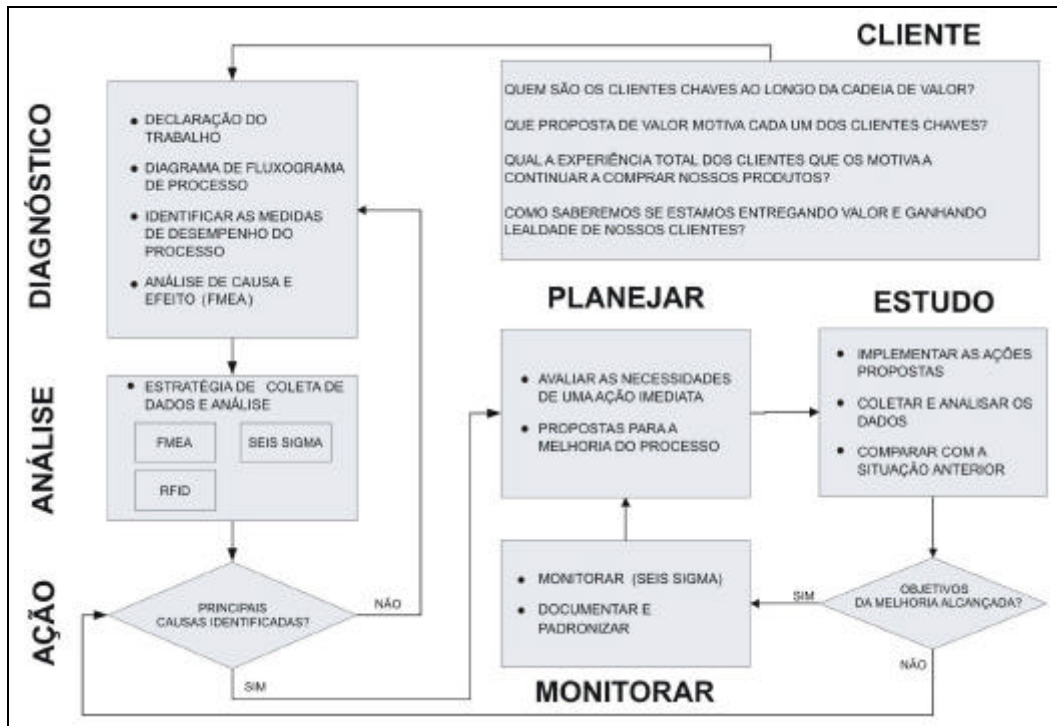


Figura 101 - Método “CDA²PEM” para otimização de processos da Cadeia de Suprimentos

6.4 Quarto Resultado

Desenvolvimento de nível de leitura de 20% a 40% a nível mundial (para paletes) até atingir a marca de 100%, tal como mostrado no Quadro 35

Quadro 35 - Resultados com leitura 100%

Resultado de testes 100%						
Portal em mesa giratória - Projeto RFID						
Item	Quantidade de caixas	Unidades	Lidas	Não lidas	% lidas	Tempo gasto
1	1	24	1	0	100%	3
2	60	1.440	60	0	100%	5
3	60	1.440	60	0	100%	5
4	60	1.440	60	0	100%	8
5	60	1.440	60	0	100%	8
6	60	1.440	60	0	100%	8
7	60	1.440	60	0	100%	8
8	70	3.360	70	0	100%	13
9	70	3.360	70	0	100%	13
10	70	3.360	70	0	100%	14
11	60	1.440	60	0	100%	17
12	70	3.360	70	0	100%	17
13	70	3.360	70	0	100%	18
14	60	1.440	60	0	100%	19
15	60	1.440	60	0	100%	19
16	70	3.360	70	0	100%	19
17	70	3.360	70	0	100%	21
18	70	3.360	70	0	100%	21
19	70	3.360	70	0	100%	22
20	1	24	1	0	100%	24
21	70	3.360	70	0	100%	34
22	70	3.360	70	0	100%	39
23	70	3.360	70	0	100%	39
24	60	1.440	60	0	100%	41
25	60	1.440	60	0	100%	41
26	70	3.360	70	0	100%	50
27	67	3.216	67	0	100%	60
28	70	3.360	70	0	100%	60
29	13	312	13	0	100%	86
30	4	96	4	0	100%	90
31	70	3.360	70	0	100%	125

6.5 Quinto Resultado - Oportunidade de Melhoria na Tecnologia RFID

Durante o processo de pesquisa e tentativa de atingir o nível de leitura de 100%, (Figura 102) descobriram-se diversos pontos relacionados à deficiência da tecnologia. Foram notadas oportunidades na área de meio ambiente, etiquetas, aplicação das etiquetas, configuração, processo e material/produto.

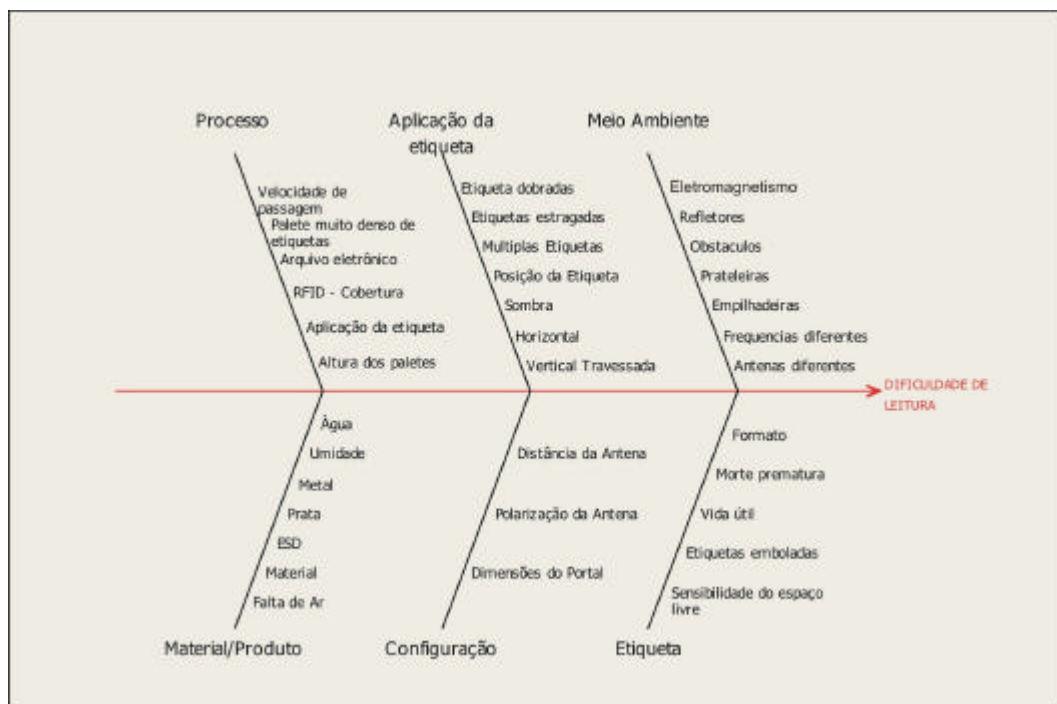


Figura 102 - Obstáculos para leitura com RFID

Neste caso de estudo de oportunidades de melhoria na tecnologia, certamente ainda há muita coisa a ser descoberta e a velocidade de melhoria da tecnologia RFID deve ser bem grande à medida que o mercado comece a demandar por mais flexibilidade e custos mais competitivos.

6.6 Discussão dos Resultados

Resumo dos resultados

Primeiramente, analisam-se os cinco resultados mais importantes conseguidos com esta pesquisa. Depois, detalha-se resultado a resultado como forma de entender melhor a abrangência e o nível da pesquisa realizada. O primeiro ponto a abordar é saber se a questão inicial ou proposição foi respondida. A questão original basicamente tratava de duas hipóteses básicas: Seria possível criar uma nova metodologia que unisse três tecnologias poderosas para otimizar a Cadeia de Suprimentos? Esta proposição foi plenamente respondida com a criação do método CDA²PEM, no qual, no módulo de análise, trabalham-se juntos FMEA como técnica para analisar o processo da Cadeia de Suprimentos de ponta a ponta e Seis Sigma para entender o processo atual, analisá-lo e saber o quanto e onde as melhorias estarão acontecendo e, sobretudo, analisar a variabilidade dos dados, seus limites e uma possível situação de controle.

Outra proposição inicial era: caso o método tenha sucesso, os resultados apresentados justificariam o investimento para uma produção em larga escala? Os resultados apresentados são excelentes. Basta ver que enquanto no processo para recebimento de suprimentos atual há uma variação entre o mínimo tempo gasto para operação que é de 3.22 horas decimais e o máximo tempo gasto para a operação é de 98,12 horas decimais, com RFID, tomando-se em consideração o tempo de 60 segundos. No pior caso, tem-se uma otimização de, no mínimo, 193 vezes e, no máximo, 5 887 vezes.

Tomando-se como exemplo o caso de recebimento de impressoras a variação entre o tempo mínimo gasto para operação que é 0,02 horas decimais e o tempo máximo gasto para a operação é de 81,00 horas decimais, com RFID, tomando-se em consideração o tempo de 60 segundos o pior no ponto mínimo empata-se com o desempenho do processo atual no ponto de máximo o ganho é de 4860 vezes.

O nível de leitura foi um ponto muito importante para a pesquisa na primeira bateria de testes de leitura. Em dezembro de 2005, os resultados

não justificavam um investimento para disseminação em larga escala. O nível de leitura ou precisão girava entre 20% e 40%.

Tomou-se a decisão de buscar o nível máximo 100%, o que foi conseguido em fevereiro de 2006. Com isto, aprendeu-se muito sobre a tecnologia RFID. Vale a pena comentar alguns pontos importantes nesta pesquisa como, por exemplo, o tamanho do palete e o número de caixas que são limitadores para o processo de aplicação de RFID. Paletes acima de 70 caixas com suprimentos apresentam algum tipo de dificuldade de leitura, conforme mostrado no diagrama de Isikawa, no tópico resultados. Etiquetas colocadas dentro do produto, como é o caso de impressoras, também representaram algum tipo de dificuldades vencidas, claro, mas surgiram áreas que demandaram tempo para resolver. Dentro deste tema de leitura, descobriu-se que, para uma Cadeia de Suprimentos, operação com a tecnologia RFID, necessita-se ter um arquivo 100%, isto é, em uma Cadeia de Suprimentos completamente integrada é esta a razão deste esforço. Necessita-se, pois, conectar eletronicamente diversas empresas que fazem parte das alianças estratégicas de uma organização. Para que isto ocorra monta-se um palete virtual, o que significa que, em algum ponto da Cadeia de Suprimentos, preferencialmente na Manufatura, monta-se um arquivo com 100% de confiabilidade, ou seja, realmente todos os números de série notificados naquele palete fazem parte dele. Isto permitirá que, ao longo da Cadeia, todas as informações estejam disponíveis em tempo real e todos os trabalhos manuais e tempos mortos podem ser desprezados.

Análise da metodologia - A metodologia CDA²PEM tornou-se um fator muito importante para a condução da pesquisa, uma vez que serviu para orientar e mostrar claramente a direção a seguir e quais os passos em cada momento do projeto. A metodologia inicia-se tendo uma visão de mercado, do cliente: faz-se um raio-X da situação atual no diagnóstico, analisa-se a situação atual com FMEA, Seis Sigma, Diagrama de Ishikawa e planeja-se e implementa-se o processo. Logo em seguida, já com os primeiros resultados, traça-se um plano de otimização até atingir os resultados esperados, no caso, o nível de leitura de 100%. Feito todo o ciclo, monitora-se o processo e compara-se com os resultados anteriores.

Pode-se interpretar os resultados de uma forma bastante positiva, levando-se em consideração que, com a tecnologia RFID, pode-se realmente ter uma “Cadeia de Suprimentos na velocidade do pensamento”, uma vez que todos os dados estarão disponíveis em tempo real e, com isto, possibilita-se corrigir ou minimizar alguns problemas crônicos da Cadeia de Suprimentos tais como efeito chicote, diferença entre inventário e demanda de mercado, falta de produto disponível no sistema, mas fisicamente estocado no Centro de Distribuição, produtos embarcados errados, dentre outros.

Pode-se, com isto, colocar cada Cadeia de Suprimentos sob um único universo e, assim, com a combinação de todos os DNA's, haveria diminuição de retornos, produtos com defeitos, falta de produtos entre outros.

Indicação para Trabalhos Futuros

Para continuar esta pesquisa, indicam-se três grandes grupos de atividades para a otimização da Cadeia de Suprimentos.

Primeiro: Integrar toda a Cadeia de Suprimentos desde os fornecedores de matéria-prima para desenvolvimento dos produtos até a reciclagem e devida destinação dos produtos usados de acordo com a legislação de cada país, respeitando-se as normas internacionais.

Naturalmente, para tanto, deve haver uma integração entre fornecedor, compras, manufatura, centro de distribuição, processamento de ordens, clientes, assistência técnica, reciclagem de produtos e, finalmente, desenvolvimento de novos produtos através de informações vindas do mercado e aproveitando tecnologias surgidas das universidades.

Segundo: Continuar a desenvolver a tecnologia RFID e levá-la ao mercado porque esta tecnologia só terá sucesso se existir uma rede pública que permita que toda a indústria possa usar. Não deve ser exclusividade de um ou outro grupo e, sim, favorecer a toda comunidade. Hoje, é preciso diminuir o custo das etiquetas, melhorar o desempenho das etiquetas e desenvolver capacidades de sistemas para trabalhar com esta nova realidade.

Terceiro: Comparação da metodologia CDA²PEM com outros métodos de otimização, tais como PDCA, Kaizen, kanban, TQC/TQM, FMEA, Seis Sigmas etc. Analisar a diferença da metodologia com relação ao enfoque no cliente (mercado), planejamento, manufatura, distribuição, assistência técnica, retornos, reciclagem e desenvolvimento de produto.

Aplicar todas as metodologias selecionadas para a pesquisa, em um processo real, comparar os resultados, analisar pontos fortes, pontos fracos, oportunidades de melhoria nos métodos e propor um método novo resultante deste estudo.

7

CONCLUSÕES

Divide-se o capítulo de conclusões em três grandes grupos:

- 1) Cadeia de suprimentos, conceitos, tendências e seus fenômenos
- 2) Metodologia desenvolvida CDA²PEM
- 3) Aplicação da metodologia combinada com RFID

1) Cadeia de suprimentos, conceitos, tendências e seus fenômenos

Analisando-se esta pesquisa de maneira genérica, pode-se tirar basicamente três tipos de conclusões:

- a) Sobre o gerenciamento da cadeia de suprimentos e os impactos nos custos do produto, definindo a sua competitividade.
- b) Sobre o desempenho da metodologia CDA²PEM, quando aplicada a um processo real, com dados reais e aspirando resultados competitivos. Notam-se pontos fortes na metodologia e áreas que necessitam atenção pelos futuros usuários da mesma.
- c) Específicas e mensuráveis na aplicação da metodologia inédita desenvolvida durante a pesquisa (CDA²PEM) combinada com a tecnologia RFID disponível no momento.

Levando em consideração a análise feita para entendimento da cadeia de suprimentos, conceitos, tendência e seus fenômenos observa-se que a competitividade dentro da indústria de informática passa necessariamente pela cadeia de suprimentos. Quando se disputa a participação de um mercado seja a nível de país, região ou mercado global as perspectivas confiabilidade, flexibilidade e receptividade, despesas, ativos fixos e utilização destes ativos, combinados com os principais indicadores de desempenho entrega no prazo,

“lead time” de cumprimento do pedido, taxa de atendimento do pedido, cumprimento perfeito do pedido, tempo de resposta da cadeia de suprimentos, flexibilidade na linha de produção, custos da gestão da cadeia de suprimentos, custos da garantia como porcentagem da receita, valor agregado por funcionário, dias totais de estoque de abastecimento, tempo de ciclo do fluxo de caixa, giro dos ativos e o nível da experiência total dos clientes definem a participação dos produtos e serviços no mercado. Logo pode-se concluir que a competitividade dentro da indústria de informática em grande parte está dentro da cadeia de suprimentos desde o momento da concepção dos produtos até a reciclagem dos mesmos quaisquer que sejam os descontroles ocorridos podem definir pontos de participação do mercado positivamente ou negativamente.

Conclui-se também que a reciclagem de produtos está se tornando mandatória dentro da indústria de informática por três razões básicas:

- a) Fonte de receita
- b) Satisfação dos clientes e atendimentos de movimentos mundiais em luta pela preservação do meio ambiente
- c) Reutilização de matéria-prima que se torna cada vez mais escassa, rara e cara como é o caso de plásticos que vêm do petróleo, assistimos no mês de abril de 2006 o preço do barril ultrapassar os \$70,00 no mercado de Nova Iorque, metais de um modo geral, ouro, cobre, prata etc.

Do ponto de vista gerencial dentro da indústria nota-se que benefícios tais como:

- a) Melhorar a experiência total dos clientes
- b) Redução do ciclo de tempo dos retornos
- c) Redução das perdas
- d) Melhor utilização dos ativos

São componentes importantes para compor o custo final dos produtos e o desempenho da cadeia de suprimentos.

O desenvolvimento dos produtos novos passa a ter ciclos mais curtos e morte prematura muitas vezes acontece mesmo antes do produto ser lançado no mercado, por falhas nos testes finais depois de desenvolvido. E com o aumento do volume de informações de dados pela humanidade tecnologias desenvolvidas com base no silício esta em fase terminal. Por esta razão que já existe uma corrida para desenvolvimento de computadores de DNA (utilizando moléculas), computadores quânticos baseados na física quântica e computadores ópticos utilizando fibra óptica.

Com relação à evolução da cadeia de suprimentos nota-se que até os anos dois mil o modelo predominante era o modelo chamado de sistema empurrado, ou seja as decisões de produção são baseadas em previsões de longo prazo. Geralmente o fabricante utiliza os pedidos recebidos dos centros de distribuição próprios e dos varejistas para prever a demanda. Desta maneira leva muito mais tempo para uma cadeia de suprimentos baseada em sistemas empurrados reagir às mudanças de mercado e com isto leva-se à incapacidade de atender mudanças nos padrões de demanda, obsolescência de estoque e favorece o efeito chicote.

Com a mudança de enfoque no mercado ou seja movendo o alvo de demanda para participação do mercado ("marketing share") ou seja a indústria não mais busca atender a demanda gerada pelos seus produtos mais a partir de uma definição de quanto a indústria quer de participação do mercado procura-se a disponibilizar os produtos necessários, naturalmente o grupo de vendas e marketing deve acompanhar esta evolução para garantir os objetivos previamente definidos e não arcar com os custos de produtos obsoletos. Nota-se claramente um aumento acirrado de competitividade e sofisticação no gerenciamento da cadeia de suprimentos.

Com este advento surge o modelo de gerenciamento de cadeia de suprimentos conhecido como auto-renovável, ou circular ou seja a combinação entre fornecimento, demanda, produto e serviços devem ter ciclos cada vez menores e desempenho cada vez maior pode-se dizer matematicamente que se a função tempo fosse definida por "t" naturalmente poder-se-ia escrever que limite de "t" esta tendendo a zero.

Dentro deste raciocínio é que surge a pergunta qual será a próxima evolução da cadeia de suprimentos? Na visão do autor o próximo passo possível de prever seria a utilização do teletransporte quântico, ou seja a desintegração da matéria e o transporte da energia reconstruindo objeto desintegrado em um outro ponto qualquer do planeta. Hoje já foi possível teletransportar um fóton de luz.

2) Metodologia CDA²PEM

Com relação à metodologia CDA²PEM pode-se notar que a mesma permite uma análise estruturada do processo desde a análise, interpretação do desejo dos clientes, análise do processo, medidas de desempenho, análise estatística dos dados do processo, um planejamento baseado em fatos, e sobretudo no módulo “Estudar” permite-se uma abordagem científica muito rica e certamente mostrou que neste ponto temos o ápice da inovação dentro do processo. Isto posto uma vez concluída e selecionada a alternativa a ser implementada basta monitorar o processo utilizando o conceito de seis sigma.

Entretanto, durante o desenvolvimento da pesquisa observaram-se algumas diferenças em relação a outros métodos de otimização de processos tais como PDCA, TQC, TQM. As principais diferenças observadas são que a metodologia CDA²PEM reúne no mesmo método de forma clara três grandes técnicas: RFID totalmente nova como aplicação abrangente na indústria a nível mundial, FMEA para análise dos pontos críticos do processo e Seis Sigma para controlar. Enquanto nas metodologias citadas acima, não existe uma recomendação clara de como otimizar o processo e controlá-lo, recorre-se a técnicas estatísticas sem uma amarração formalizada dentro do método deixando esta decisão na responsabilidade do usuário e com isto ocorrem inúmeros erros de aplicação de metodologias. Faz-se necessário comentar alguns pontos importantes observado durante a pesquisa.

Impacto na organização: O impacto foi positivo devido ao conjunto de técnicas aplicadas dentro da mesma metodologia com finalidades claras e entendidas por todos os envolvidos (70 pessoas). Notou-se, também, uma certa resistência a medida que as pessoas começavam a perceber com o

novo processo implementado poderia ter redução de pessoal. Por outro lado, o time de vendas quando tomou conhecimento dos resultados ficaram empolgados com a idéia e já temos autorização para completar o ciclo do processo até o cliente final.

Implantação: Para a implantação da metodologia torna-se necessário fazer um treinamento com o time envolvido sobre as técnicas FMEA, Seis Sigma e RFID porque o domínio destas técnicas ainda é bastante restrito dentro das organizações. Outro ponto importante a ser observado são as especificações e compras dos equipamentos de RFID tais como portal, antenas, etiquetas, leitoras hardware e software. Existem poucos fornecedores e os prazos costumam ser longos para a entrega, além da análise do conteúdo técnico que esta sendo adquirido.

Abrangência: Este método pode ser aplicado em toda a cadeia de suprimentos em parte ou no todo, pode criar um único banco de dados mesmo a nível mundial conforme foi mostrado ao longo do trabalho.

Limitações: Limitações poderia se utilizar o método CDA²PEM para otimizar processos que não serão aplicados a tecnologia RFID, entretanto também pode ser utilizado apenas FMEA e Seis Sigma em alguns casos.

Resultados: Como mostrado no capítulo de resultados, o processo foi otimizado em centenas de vezes logo se torna indiscutível a utilidade do método CDA²PEM para otimização da cadeia de suprimentos.

Modificações para aplicações futuras: Pode-se modificar este método incluindo no campo análise outras técnicas que sejam compatíveis com os demais modulos do método.

Os pontos fortes desta metodologia além da análise estruturada do processo, são a priorização de onde deve ser otimizado com o auxilio da aplicação de FMEA. E por fim, um outro ponto forte foi a integração da equipe do projeto e a definição clara do rumo a ser seguido durante todos os 18 meses de pesquisa. A integração de uma equipe é fundamental para o sucesso de qualquer atividade que requeiram participação de vários especialistas e técnicos com conhecimentos e aptidões diferentes que devem ser direcionados para atingir um único objetivo.

3) Aplicação da metodologia CDA²PEM combinada com RFID

Com os resultados obtidos nos testes durante a pesquisa onde se mostra que com uma metodologia estruturada (CDA²PEM) combinada com RFID pode-se otimizar a cadeia de suprimentos com relação a tempo de ciclos nos diferentes pontos de controle como no seu todo em dezenas, centenas e até milhares de vezes permite-se fazer algumas conclusões importantes.

No caso da HP está-se muito à frente da concorrência mundial, porque se tem o piloto da cadeia de suprimentos completamente concluído, etiquetas originalmente afixadas em paletes ou caixas, entretanto já estão sendo colocadas em produtos e componentes pela HP, e como próximo passo a implementação para o mercado anos à frente dos demais pioneiros da utilização de RFID (Figura 103).

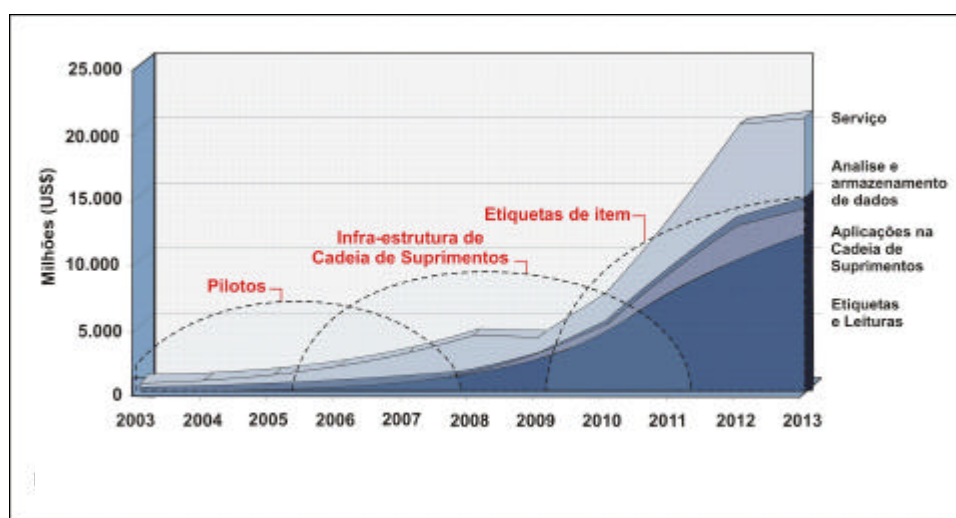


Figura 103 - Evolução da aplicação de RFID [FONTE: AMR Research, 2003]

Nota-se na Figura 103, conforme pesquisa da AMR entre 800 empresas do mundo envolvida com exploração da aplicação de RFID os pilotos estariam terminando em 2008 o início da etiquetagem nos itens, apenas concluída em 2013, no caso da HP já está na fase final da corrida mundial, portanto na frente com o conhecimento adquirido nesta pesquisa interna.

Dados os resultados obtidos e provados na aplicação da metodologia CDA²PEM combinada com RFID faz-se algumas conclusões importantes sobre otimização da cadeia de suprimentos.

Primeiro - Integração completa da cadeia de suprimentos

Com esta tecnologia permite-se integração completa da cadeia de suprimentos obtendo dados em tempo real, mesmo que os mesmos estejam sendo gerados em diversos pontos do país, região ou mundo. Para tanto cria-se o conceito de palete virtual, ou seja um lote de produtos é identificado por exemplo em uma fábrica em Singapura registrados seus dados dentro do sistema integrado de informações e reproduzida abaixo apenas a título de facilidade de visualização.

Para integrar completamente a cadeia de suprimentos toma-se em consideração as necessidades vindas dos canais de distribuição, de vendas e marketing, de gerenciamento de ordens, dos centros de distribuição e da manufatura. Prepara-se um planejamento de necessidades de demanda e faz-se perfeita comunicação entre os envolvidos considerando que os dados são em tempo real.

Com isto minimiza-se a falta de produtos no estoque, diminui-se consideravelmente os trabalhos manuais ao longo da cadeia, evita-se deixar de embarcar produtos quando os mesmos estão disponíveis e o crédito liberado e corta-se significativamente o nível de inventário.

Segundo: Impacto nos custos

Naturalmente com todos estes incrementos a tendência dos custos é cair ao longo de toda a cadeia. Neste momento ainda não é possível analisar claramente a magnitude dos mesmos em função de tratar-se apenas de um piloto de um projeto pioneiro. Mas as estimativas feitas com redução de redundâncias, minimização de custo de inventário, desburocratização etc., apontam para um número em torno de 5% do faturamento de uma empresa. Imagina se temos uma empresa de um bilhão de dólares com sua cadeia completamente integrada com sistema RFID, os resultados seriam tão surpreendentes quando os mostrados na redução de tempo.

E como última conclusão com os resultados deste projeto está-se iniciando a disseminação em massa para o mercado através dos clientes da HP. Naturalmente, para isto precisa-se ter uma rede completamente

montada, tecnologia aperfeiçoada. Precisa-se quebrar paradigmas internos das organizações para as pessoas começarem a abandonar o velho processo e buscar uma alternativa nova, com isto deve-se tomar um bom tempo para convencimento dos principais responsáveis pelas organizações.

O custo das etiquetas ainda é um inibidor para alguns casos, quando os produtos têm baixo valor agregado. A notícia boa é que em 2003 o custo de uma etiqueta era de 30 centavos de dólar agora já estamos com menos de 10 centavos e tem-se esperança de chegar a 0,05 centavos de dólar o que certamente permitiria a utilização em larga escala da tecnologia.

8

ANEXO

Anexo A - Glossário

1st Quartile

Primeiro quartil ou valor que define 25% dos dados ordenados.

3PL

Third Part Logistic - Terceirização de Logística.

3rd Quartile

Terceiro quartil ou valor que define 75% dos dados ordenados.

95% Confidence Interval for Median

Intervalo com 95% de confiança para a mediana.

95% Confidence Interval for Um

Intervalo com 95% de confiança para a média.

95% Confidence Interval for Sigma

Intervalo com 95% de confiança para o desvio padrão.

Anderson Darling Normality Test

Teste de normalidade de Anderson-Darling.

AQL

Acceptable Quality Level - Nível de Qualidade Aceitável.

A-Squared A2

Estatística de teste de normalidade.

BL

Boletim de Liberação.

BPR

Business Process Review. É o documento, cujo conteúdo se propõe a fazer uma revisão dos processos de negócio frente à adoção de RFID.

Brainstorming

Explosões de Idéias.

CALADO

Nome dado ao sistema SAP usado pela HP.

CDA²PEM

Metodologia para otimização da Cadeia de Suprimentos.

CDM

Contract Design and Manufacturer - Um fornecedor que projeta um produto para um cliente, conforme especificação funcional de um determinado produto para o cliente. Eventualmente pode fabricar o produto para o cliente. Suporte ao produto deve ser tratado em separado.

Check-List

Conferência de produtos.

CM

Contract Manufacturer - Um fornecedor que fabrica um produto para um cliente, conforme especificação de peças, montagem e qualidade determinado pelo cliente. Não tem conhecimento de projeto, somente expert em fabricação. Pode fornecer garantia de fabricação mas não do projeto do produto.

CPFR

Colaborative Panning Forcast Replanishment – Planejamento Colaborativo.

CRM

Customer Relationship Management ou Relacionamento com os Clientes.

Delivery

Ordem de venda de Logística.

Delivery(ies)

É o documento gerado pelo sistema CALADO, contendo os dados dos paletes e caixas a serem expedidos.

Delineamento dos Experimentos (DOE)

Uma série de técnicas estatísticas usadas para introduzir mudanças controladas num processo e para estudar os efeitos da mudança na produção do processo.

Detecção

A escala de índices FMEA que define a probabilidade de detecção de falha ou do efeito da falha antes dela ocorrer.

Diagrama de Caixa Box Plot

É um gráfico que exhibe simultaneamente vários aspectos importantes dos dados, tais como tendência central (média), dispersão ou variabilidade, afastamento da simetria e identificação de observações muito afastadas da maior parte dos dados (essas observações são chamadas valores discrepantes ou outliers).

Direct shipping

Processo de remessa direta de produtos aos clientes. Neste caso, trata-se da expedição de produtos de Vitória para HP Campinas.

E2E

End to End – Ponta a ponta.

EDI

Electronic Data Interchange. É o nome que designa a troca de dados entre sistemas por meio eletrônico, normalmente usando arquivos texto.

EPC

Electronic Product Code. É o nome genericamente usado para o código único de identificação RFID que segue os padrões da EPC Global.

EPC IS

EPC Information Service. Provê uma interface padrão para acesso e armazenamento de dados relativos a EPCs: dados de etiquetas (Tags), dados de eventos relacionados e dados de "classe", tais como PNs, códigos "conhecidos", como números de Nota Fiscal, Deliveries, etc.

ERP

Enterprise Resources Planning ou Planejamento de Recursos Corporativos.

Factory FGI

Embarques direto de produto acabado diretamente da fábrica, pode ser para cliente final ou para um pool point. Na Ásia, normalmente fabricam somente a maquina (engine) e depois é feito postponement em outro lugar por ex. EUA.

FGI

Finish Good Inventory - Estoque de Produto acabado.

FGI-Direct

cross-dock: Embarques direto de produto acabado da fábrica, com cross dock no destino.

FGI-Direct

Stock: Embarques direto de produto acabado da fábrica para um centro de distribuição.

FGI-Direct: Consumer Direct

Embarque direto para o usuário final.

FGI-Direct: factory pick-up

Cliente toma o produto da na doca da fábrica de origem.

FGI-Direct: pool-point

Consolida o embarque num ponto de distribuição (Transportadora), otimizando o custo de frete.

FGI-Direct: port pick-up

Cliente toma o produto do porto de origem.

FMEA

Failure Mode and Effects Analysis ou Análise de Modos e Efeitos das Falhas, uma abordagem estruturada e sistemática para melhoria do processo nos estágios de desenho e desenvolvimento.

Full postponement

Recebe o produto em bulk (granel) e faz a montagem final do produto (com embalagem, gravação de SW de HD, testes, cabos de força, testes de Isolação, etc).

Gravidade

A escala de índices FMEA que define a seriedade e a gravidade do efeito da falha, se este ocorrer.

HP

Hewlett-Packard do Brasil.

HW

Hardware.

Inbound

Cadeia de Suprimentos até o Centro de Distribuição.

InstallByDate

É a data máxima para instalação do cartucho, associada a cada caixa de cartuchos. É tratada como a data de validade do cartucho, e é informada junto ao número do lote (Batch Number).

ISO

International Organization for Standardization” ou Organização Internacional de Normalização.

ISO 9000

Programas internacionais de qualidade para desenho de produtos, fabricação e distribuição.

Kurtosis

Curtose, que verifica o formato da curva, em relação à curva normal.

Lead Time

Ciclo de Tempo.

Localization only

Recebe o produto semi-acabado e coloca os últimos acessórios da localização (destino do produto, por exemplo: Argentina, Brasil, USA, etc) tais como cabo de força, manuais, CDs na língua correta) embala o produto termina. Não faz testes no produto.

Malcolm Baldrige National Quality Award

Premio Americano de Qualidade.

Maximum

Maior valor no conjunto de dados.

Mean

Média aritmética dos dados.

Median

Mediana dos dados.

Minimum

Menor valor no conjunto de dados.

Mistake-proofing

Faz o processo tão irrepreensível que é incapaz de falhar.

N

Número de células com dados.

N*

Número de células vazias (Se existirem).

O diagrama de caixa

Exibe os três quartis, o mínimo e o máximo dos dados em uma caixa retangular, alinhada vertical ou horizontalmente. A caixa cobre o intervalo interquartil, com a linha esquerda (ou inferior) posicionada no primeiro quartil Q1, e a linha direita (ou superior) posicionada no terceiro quartil Q3.

Ocorrência

A escala de índices FMEA que define a frequência de um modo de falha.

ODM

Original Design Manufacturer - Um fornecedor que projeta e fabrica um produto para um cliente, conforme especificação de peças, montagem e qualidade determinado pelo cliente, inclusive é capaz também de dar suporte ao produto.

OEM

Original Equipment Manufacturer - Um fornecedor que customiza um produto a partir de um original, modifica o produto agregando algum valor, ou funcionalidade para um específico cliente. Pode inclusive fabricar e dar suporte ao produto integralmente.

Outbond

Cadeia de Suprimentos do Centro de Distribuição até o cliente o final.

Picking

Coleta dos produtos no Centro de Distribuição.

PN

Part Number. É o código que identifica os tipos de produto. Neste caso, os tipos de cartuchos da HP.

PO

Purchase Order. É o documento gerado pelo sistema CALADO (HP) para requisição de remessa de produtos para Vitória-ES.

Priorização (RPN)

A priorização de um modo de falha e seus efeitos correspondentes antes das melhorias.

PROGRESS

Plataforma de sistemas e banco de dados adotada pela Importadora e 3PL em suas implementações de software de retaguarda.

P-Value

Valor P, que dever ser maior que α para termos a normalidade dos dados (α é o nível de significância do teste de hipótese realizado, geralmente igual a 0,005).

QS-9000

Exigências de qualidade específicas do setor automotivo.

RFID

Radio Frequency Identification. É o nome usado para identificar a tecnologia de etiquetas inteligentes. "Identificação por Rádio Freqüência".

Return Of investments (ROI)

Retorno de Investimentos.

RPN resultante

Risk Priority Number ou a priorização de um modo de falha e seus efeitos correspondentes após melhorias e do Inglês Risk Priority Number.

SE Mean

Erro padrão da média calculado como St Dev/Raiz quadrada de "N".

Site Survey

Pesquisa original do ambiente a ser instalado o sistema RFID.

Skewness

Assimetria dos dados.

SKU

Stock-Keeping Unit. Unidade mínima de armazenamento/movimentação em determinado contexto. No caso, a 3PL movimenta/movimentará cartuchos em unidade mínima de caixas máster.

Statistic Process Control (SPC)

Controles de Processo Estatístico.

SrDev

Desvio padrão amostral dos dados.

Tag

É o nome usado para as etiquetas de RFID.

Tr Mean

Média ajustada calculada depois de excluir 5% dos menores valores e 5% dos maiores valores.

Trade off

Análise de perdas e ganhos entre duas alternativas.

Turn-Table

Mesa giratória, normalmente usada para aplicar stretch em paletes. No contexto deste projeto, prevê-se o uso de mesa giratória, porém sem a aplicação de stretch, para melhoria do índice de leitura de caixas em palete.

VAR

Value Add Reseler – Agrega Valor ao Revendedor.

Variance

Variância amostral do dados.

WEB

Word Wide Web – Rede mundial.

WIP

Work in Progress – Estoques em Processo de Fabricação.

Warehouse Management System (WMS)

Sistema de Gerenciamento do Almojarifado do 3PL. É o sistema de gerenciamento do Centro de Distribuição.

Workflow

Fluxo das atividades dentro da Cadeia de Suprimentos.

Anexo B

10 Passos que compõem a Planilha do FMEA

Passo1: Revisar o processo

Para garantir que todos do grupo FMEA tenham o mesmo entendimento do processo que está sendo conduzido, o grupo deveria revisar o projeto (ou desenho de engenharia) do produto se estiverem conduzindo um FMEA de um produto, ou uma planilha detalhada da operação se estiverem conduzindo um FMEA de um processo.

Se o projeto ou planilha não estiver disponível, o grupo precisará criar uma antes de iniciar o processo FMEA. Com o projeto ou a planilha em mãos, os membros do grupo devem ser capazes de se familiarizar com o produto ou processo. Para o FMEA de um produto, eles deveriam fisicamente ver o produto ou um protótipo deste. Para o FMEA de um processo, o grupo deveria fisicamente caminhar ao longo do processo exatamente como este flui.

É útil ter um especialista no produto ou processo disponível para responder qualquer pergunta que o grupo venha a ter.

Uma vez que o “brainstorming” (ou explosão de idéias) foi concluído, as idéias devem ser organizadas por agrupamento em categorias, já que há diferentes meios de se formar grupos com modos de falha. Você pode agrupá-los pelo tipo de falha (ex: elétrica, mecânica, criada pelo usuário), por localização da falha no produto ou processo ou pela gravidade (pelo menos a melhor opinião do grupo até este momento) da falha. Agrupar as falhas tornará o processo FMEA fácil de se trabalhar. Sem a etapa de agrupamento, o grupo pode investir muita energia pulando de um aspecto do produto para outro e então voltando para o anterior. Um modo fácil de se trabalhar o processo de agrupamento é colocar todos os modos de falha juntos em “post-its” e colá-los na parede, então sua visualização e agrupamento são facilitados.

O agrupamento também dá ao grupo a chance de considerar se algum modo de falha deveria ser combinado, porque eles são os mesmos ou muito similares entre si. Quando o modo de falha foi agrupado e combinado, se apropriado, eles deveriam ser transferidos ao formulário do FMEA, processo ou peça do produto e suas funções estão listadas seguidas pelo modo de falha potencial associado com cada item.

Passo 3: Listar efeitos potenciais de cada modo de falha

Tendo-se os modos de falha listados no Formulário de Coleta de Dados FMEA, o grupo FMEA revisa cada modo de falha e identifica os efeitos potenciais da falha que poderiam ocorrer. Para alguns modos de falha, deve haver apenas um efeito ao passo que deve haver vários para outros modos de falha.

Este passo deve ser minucioso, porque a informação vai alimentar a designação dos índices de risco para cada uma das falhas. Auxilia muito se este passo for encarado com o seguinte raciocínio: Se a falha ocorrer, então, quais são as conseqüências?

Passos 4, 5 e 6: Designando índices de gravidade, ocorrência e detecção

Cada um destes três índices é baseado numa escala de 10 pontos, sendo 1 o índice mais baixo e 10 o mais alto.

É importante estabelecer clara e concisa descrição dos pontos em cada uma das escalas, para que todos os membros do grupo possam ter o mesmo entendimento dos índices. As escalas devem ser estabelecidas antes que o grupo comece o processo de designação. Quanto mais descritivo o grupo for quando estiver definindo a escala de índices, mais fácil será chegar a um consenso durante este processo.

Um sistema de designação genérico para cada escala é mostrado nas Figuras 2, 3 e 4. Este sistema deveria ser customizado pelo grupo para seus específicos projetos FMEA ou, ainda melhor, customizados pela organização para todos os FMEAs.

Mesmo se o sistema de designação for claro e conciso, ainda pode haver desentendimento sobre os índices para um item particular. Nestes casos, as técnicas descritas no Apêndice 3 podem ajudar o grupo a chegar a um consenso.

Passo 4: Garantir um índice de gravidade para cada efeito

O índice de gravidade é uma estimativa de quão sérios os efeitos podem ser se determinada falha ocorrer. Em alguns casos é claro, por experiências passadas, quão sério o problema pode ser. Em outros casos, é necessário se estimar a gravidade baseada no conhecimento e especialidade dos membros do grupo.

Já que determinada falha pode ter vários efeitos diferentes e, cada efeito pode ter diferente nível de gravidade, é o efeito, não a falha, que é medido. Portanto, a cada efeito deveria ser dado um nível de gravidade próprio, mesmo que haja vários efeitos para um único modo de falha.

Passo 5: Garantir um índice de ocorrência para cada modo de falha

O melhor método para se determinar o índice de ocorrência é utilizar o verdadeiro dado do processo. Isso deve estar no formulário de registro de falhas ou mesmo no de dados de capacidade do processo. Quando um dado real sobre uma falha não está disponível, o grupo deve estimar com que frequência um modo de falha pode ocorrer. O grupo pode fazer uma melhor estimativa de quão provavelmente um modo de falha vá ocorrer e em que frequência, por conhecer o potencial de causa da falha. Uma vez que as causas potenciais tenham sido identificadas para todos os modos de falha, um índice de ocorrência pode ser designado, mesmo sem a informação da falha.

ESCALA DE ÍNDICE DE GRAVIDADE		
Índice	Descrição	Definição
10	Altamente perigoso	A falha pode ferir um cliente ou funcionário
9	Extremamente alto	A falha pode acarretar em não cumprimento de leis federais
8	Muito alto	A falha torna a unidade inoperante ou incapaz de ser usada
7	Alto	A falha causa alto grau de insatisfação por parte do cliente
6	Moderado	A falha resulta em um subsistema ou malfuncionamento parcial do produto
5	Baixo	A falha causa problemas na performance do aparelho suficientes para gerar reclamações por parte do cliente
4	Muito baixo	A falha pode ser superada com modificações ao processo do cliente ou produto, mas há mínimos problemas de performance
3	Mínimo	A falha pode criar um aborrecimento mínimo no cliente, e terá efeitos mínimos
2	Semi-mínimo	A falha pode não ser aparente ao cliente, mas acarretará efeitos mínimos no processo do cliente ou produto
1	Nenhum	A falha não será notável ao cliente e não afetará o processo do cliente ou produto

Figura 2 - Escala de Índice de Gravidade

Passo 6: Garantir um índice de detecção para cada modo de falha e/ou efeito

O índice de detecção aponta quão capazes somos de detectar uma falha ou o efeito de uma falha. Se não houver controles paralelos, a probabilidade de detecção será baixa e o item receberá alto índice, como 9 ou 10. Os controles paralelos poderiam ser listados primeiramente para todos os modos de falhas ou para os efeitos das falhas e então os índices de detecção designados.

ESCALA DO ÍNDICE DE OCORRÊNCIA*		
Índice	Descrição	Índice de Falha Potencial
10	Muito alto: a falha é quase inevitável	Mais que uma ocorrência por dia ou uma probabilidade de mais de três ocorrências em 10 eventos (Cpk \approx 0,33)
9		Uma ocorrência a cada três ou quatro dias ou a probabilidade de três ocorrências em 10 eventos. (Cpk \approx 0,33)
8	Alto: falhas repetidas	Uma ocorrência por semana ou a probabilidade de 5 ocorrências em 100 eventos. (Cpk \approx 0,67)
7		Uma ocorrência por mês ou uma ocorrência em 100 eventos. (Cpk \approx 0,83)
6	Moderado: falhas ocasionais	Uma ocorrência a cada três meses ou três ocorrências em 1.000 eventos. (Cpk \approx 1,00)
5		Uma ocorrência a cada seis meses a um ano ou uma ocorrência em 10.000 eventos. (Cpk \approx 1,17)
4		Uma ocorrência por ano ou seis ocorrências em 100.000 eventos. (Cpk \approx 1,33)
3	Baixo: relativamente poucas falhas	Uma ocorrência a cada um a três anos ou seis ocorrências em 10 milhões de eventos. (Cpk \approx 1,67)
2		Uma ocorrência a cada três a cinco anos ou 2 ocorrências em 1 bilhão de eventos. (Cpk \approx 2,00)
1	Remoto: falha é improvável	Uma ocorrência após cada cinco anos ou menos de 2 ocorrências em 1 bilhão de eventos. (Cpk \approx 2,00)

*deve ser modificado para adequar ao produto ou processo específico

Figura 3 - Escala do Índice de Ocorrência

Passo 7: Calcular a priorização para cada modo de falha.

A priorização (RPN) é simplesmente calculada pela multiplicação do índice de gravidade pelo de ocorrência vezes o índice de detecção para todos os itens.

RPN = Gravidade X Ocorrência X Detecção

O valor total de priorização deve ser calculado pela soma de todas as priorizações. Este número sozinho não tem nenhum significado, já que cada FMEA tem um número diferente de modos de falha e efeitos. Porém, servirá de painel mostrador se comparado ao RPN total revisado contra o RPN original, uma vez que atitudes recomendadas foram instituídas.

ESCALA DO ÍNDICE DE DETECÇÃO*		
Índice	Descrição	Definição
10	Absolutamente incerto	O produto não foi inspecionado ou o defeito causado pela falha não é detectável
9	Muito remoto	O produto é amostrado, inspecionado e distribuído baseado nos planos de amostragem do Nível de Qualidade Aceitável (AQL)
8	Remoto	O produto é aceitável baseado nos defeitos da amostra
7	Muito baixo	O produto é 100% inspecionado manualmente no processo
6	Baixo	O produto é 100% inspecionado manualmente utilizando-se mostradores que detectam erro do tipo "ir não ir"
5	Moderado	Alguns Controles de Processo Estatístico (SPC) é usado no processo e o produto é finalmente inspecionado fora da linha de produção
4	Moderadamente alto	SPC é utilizado e há reação imediata para condições fora de controle
3	Alto	Um programa de SPC efetivo é realizado com capacidade de processo (Cpk) maiores que 1,33
2	Muito alto	Todos os produtos são 100% automaticamente inspecionados
1	Quase certo	O defeito é óbvio ou há inspeção 100% automática com calibração regular e manutenção preventiva do equipamento de inspeção

*deve ser modificado para adequar ao produto ou processo específico

Figura 4 - Escala do Índice de Detecção

Passo 8: Priorizar os modos de falha para ação

Os modos de falha podem agora ser priorizados se enfileirados em ordem da maior à menor priorização. Um diagrama de Pareto é útil para visualizar as diferenças entre os vários índices.

O grupo deve agora decidir em que itens trabalhar. Geralmente ajuda determinar um RPN “de corte” (“cut-off”), onde qualquer modo de falha com um RPN acima daquele ponto seja considerado. Aqueles abaixo do número “de corte” são descartados por hora. Por exemplo, uma organização pode decidir que qualquer RPN acima de 200 cria um risco inaceitável. Esta decisão determina o RPN “de corte” em 200.

Passo 9: Agir de forma a eliminar ou reduzir os modos de falha de alto risco

Utilizar um programa de solução de problemas organizado identifica e implementa ações para eliminar ou reduzir os modos de falha de alto risco.

Quando um modo de falha foi eliminado completamente, o novo RPN se torna zero porque o índice de ocorrência nesse caso é zero.

Enquanto a eliminação de todos os modos de falha ao mesmo tempo é ideal, pode não ser possível de ser atingida em todos os casos. Quando isso acontece, é importante voltar às referências dos índices de gravidade, ocorrência e detecção que o grupo designou para cada item. Pense em formas de reduzir os índices em uma, duas ou três das escalas.

Frequentemente, a forma mais fácil de se melhorar um processo ou produto é aumentando a detectabilidade da falha, diminuindo, portanto, o índice de detecção. Porém, existem abordagens imediatistas que são frequentemente dispendiosas e não necessariamente melhoram a qualidade do produto. Aumentar a detectabilidade de falha irá simplesmente facilitar a detecção delas, uma vez que estas ocorreram.

Reduzir a gravidade é importante, especialmente em situações que podem levar a lesão ou ferimento.

Passo 10: Calcular o RPN resultante quando os modos de falha forem reduzidos

Uma vez que a atitude foi tomada para melhorar o produto ou processo, novos índices de gravidade, ocorrência e detecção devem ser determinados e um RPN resultante calculado.

Para os modos de falha onde atitudes foram tomadas, deve haver uma redução significativa no RPN. Se não, isso significa que a ação não reduziu a gravidade, probabilidade de ocorrência ou detectabilidade.

Os RPNs resultantes podem ser distribuídos em um diagrama de Pareto e comparados com os RPNs originais. Além disso, os RPNs totais antes e depois dos processos e produtos podem ser comparados e contrastados. Você pode esperar pelo menos 50% ou maior redução no RPN total depois de um FMEA.

Não há nenhum RPN alvo para FMEAs. Fica por conta do grupo FMEA e da companhia decidirem a que distância o grupo deve chegar com os avanços.

Sempre haverá o potencial para modos de falha ocorrerem. A questão que a companhia deve perguntar é quanto risco relativo o grupo está disposto a correr. Esta resposta vai depender da indústria e da seriedade da falha.

Número do FMEA Data de Início

Membros do Grupo

.....

.....

Líder do Grupo.....

1 - Todas as áreas afetadas estão representadas?
 Sim Não Ação:

2 - Existem diferentes tipos e níveis de conhecimento representados no grupo?
 Sim Não Ação:

3 - O cliente está envolvido?
 Sim Não Ação: *Marketing e vendas representarão o cliente*

4 - Quem escreverá a ata e cuidar dos registros?

Fronteiras de Liberdade do Grupo FMEA

5 - Por quais aspectos do FMEA o grupo é responsável?
 Análise do FMEA Recomendações de Melhoria Implementação de Avanços

6 - O que é o orçamento do FMEA?

7 - O projeto tem um prazo de conclusão?

8 - Os membros do grupo têm alguma limitação de tempo específica? *Fazer reunião com o Comitê de Direcionamento do FMEA*

9 - Qual é o procedimento se o grupo precisa ir além destas fronteiras?

10 - Como o FMEA deveria ser comunicado a outras pessoas? *Reportar após conclusão*

11 - Qual é o objetivo principal do FMEA? (Seja específico e inclua uma definição clara do processo ou produto a ser estudado)

Figura 5 - Formulário de Iniciação do Grupo FMEA

Anexo C

Criandoum fluxograma do processo do FMEA

Compras

Antes de comprar a maior parte dos equipamentos, um FMEA pode ser conduzido para antecipar problemas com diferentes opções de compras. Esta informação pode ser usada para melhorar decisões de compra assim como desenvolver planos de instalação uma vez que o equipamento foi comprado.

Apêndice 1: Criando um fluxograma do processo

Fluxogramas estão para processos de manufatura assim como mapas estão para motoristas. Eles provêm uma visão detalhada do processo e entendimento ampliado de como o processo flui. Com um fluxograma do processo, grupos podem identificar passos repetitivos, engarrafamentos e ineficiências no processo. Quando usados com o FMEA eles aumentam o entendimento do grupo sobre o processo que em troca ajuda o grupo a identificar falhas potenciais, efeitos e soluções.

O melhor caminho para se criar um fluxograma é andar ao longo do caminho como se você fosse a coisa a ser criada ou processada. Os passos do processo devem ser seguidos sequencialmente e devem ser tomadas notas durante a caminhada.

Para processos complicados com vários passos e subpassos ajuda criar um fluxograma onde cada um dos passos principais no processo é listado em ordem de fluxo cruzando o topo da folha e os subpassos são listados abaixo de cada passo principal. Uma vez que os passos são identificados e colocados em ordem, símbolos são designados em cada passo. Nesse ponto, passos faltando se tornam mais óbvios e podem ser adicionados se necessários. Com todos os passos no lugar, flechas conectando os símbolos são adicionadas para mostrar a direção do fluxo do processo.

Como passo final, o fluxograma deve ser testado por se caminhar pelo processo novamente, esta vez utilizando o organograma como guia.

Correções devem ser feitas e um processo deve ser estabelecido para rever e revisar o organograma periodicamente garantindo assim que seja mantido atualizado.

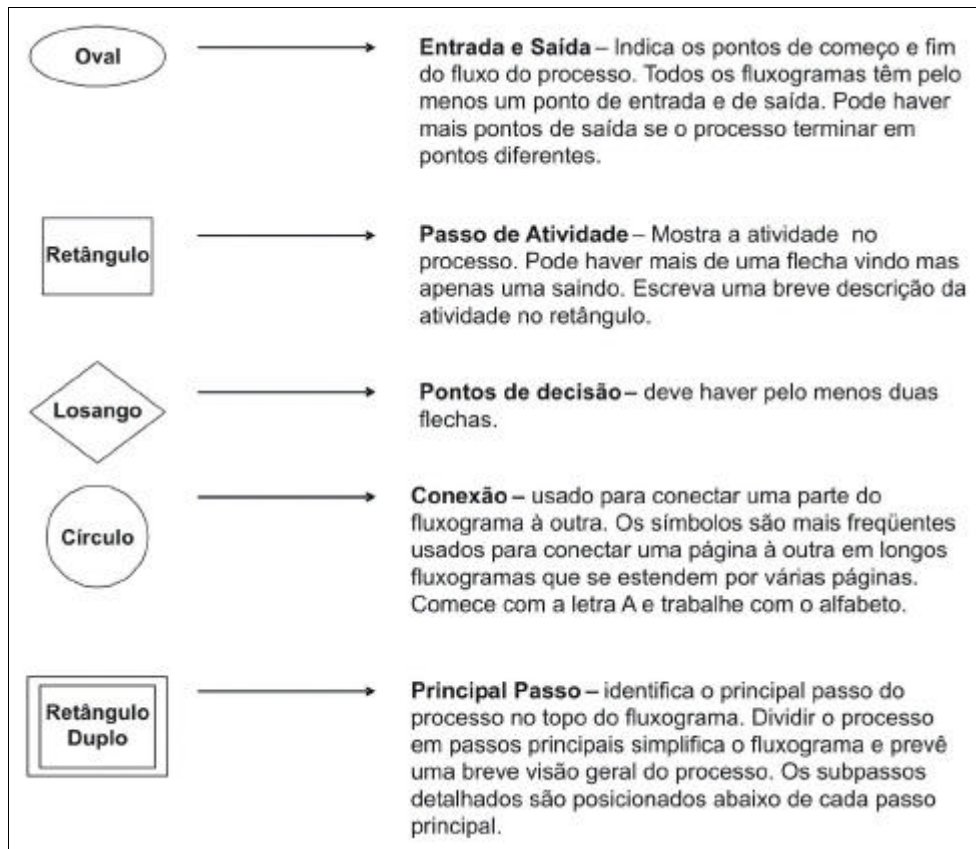


Figura 1 - Símbolos do fluxograma do processo

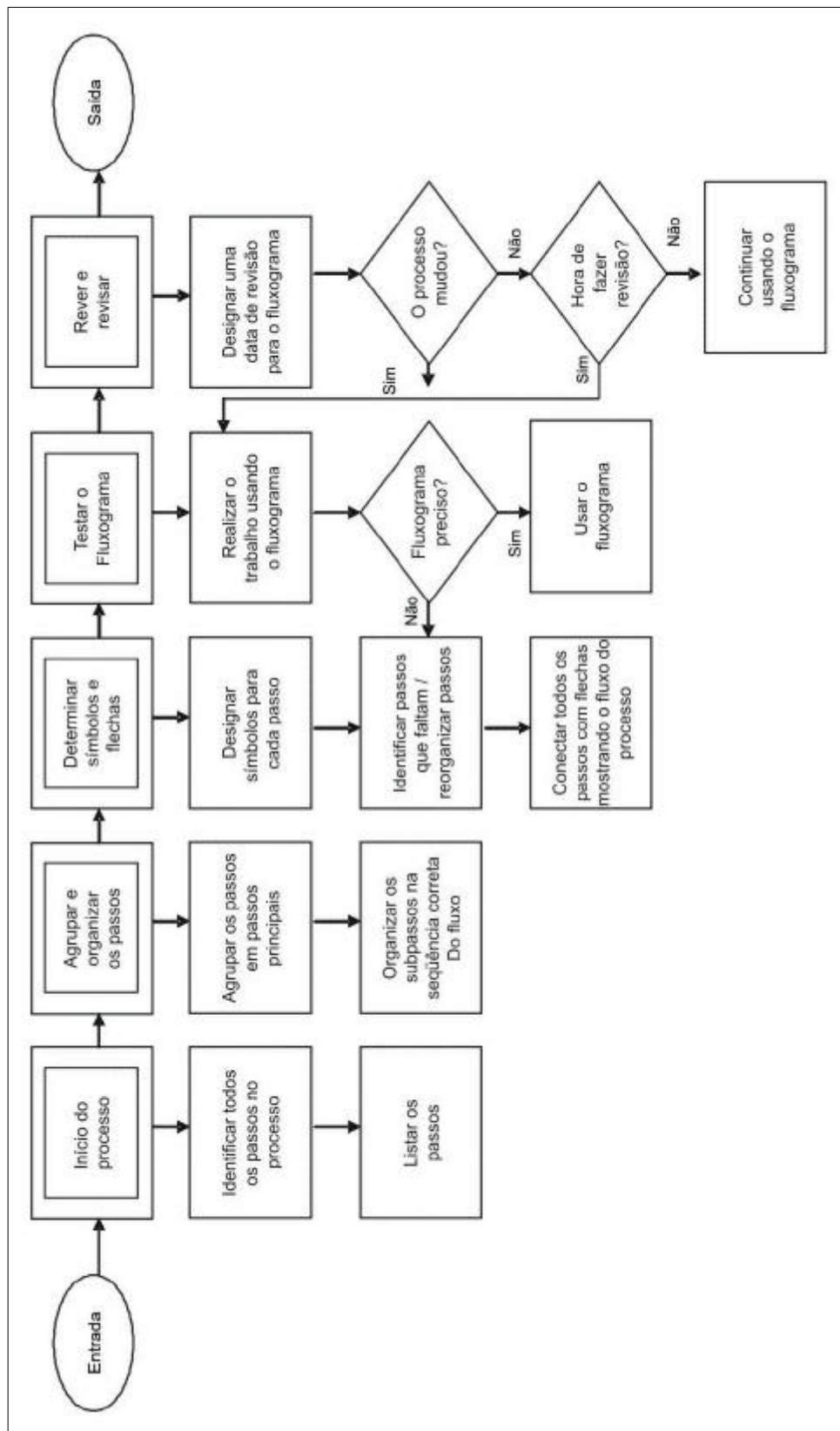


Figura 2 - Construção de um fluxograma do processo

Apêndice 2: “Brainstorming”

“Brainstorming” é uma técnica bem conhecida de geração de um grande número de idéias em um curto período de tempo. Existem diferentes modos de o fazer, dependendo dos objetivos da seção. Uma abordagem pessoa a pessoa funciona melhor para os FMEAs porque os permite expressar suas idéias, enquanto mantém um alto nível de criatividade.

Esta abordagem pessoa a pessoa para fazer o “brainstorming” permite a cada indivíduo contribuir com uma idéia por vez em sua chance na rodada. Participantes podem vir à reunião de “brainstorming” com uma lista de idéias para contribuir com o processo. Novas idéias são geradas conforme os participantes trazem ou se inspiram e constroem sobre idéias alheias. Para encorajar idéias criativas, nenhuma idéia deve ser criticada quando oferecida. Cada idéia deve ser listada e numerada, exatamente como foi sugerida, em uma planilha. Espera-se obter cerca de 50 a 60 idéias em uma seção de “brainstorming” de 30 minutos.

É importante rever as regras deste tipo de “brainstorming” antes do início da seção.

Regras do “brainstorming”

- a) Não comentar, julgar ou criticar as idéias apresentadas.
- b) Encorajar idéias criativas e diferentes.
- c) O objetivo é um grande número de idéias.
- d) Avaliar as idéias mais tarde.

Quando a seção acaba, as idéias devem ser revistas, idéias similares combinadas e, idéias que parecem não caber no contexto, eliminadas.

Apêndice 3: Chegando ao consenso sobre índices de gravidade, ocorrência e detecção

Consenso significa que todos os membros apóiam a decisão do grupo. Idealmente, todos num grupo FMEA deveriam concordar sobre os índices de gravidade, ocorrência e detecção. Em todas as probabilidades, porém, haverá desentendimentos devido às perspectivas individuais de cada membro do grupo sobre o processo ou produto. Desentendimentos sem um processo estruturado a se acessar e resolver pode desperdiçar muito tempo e energia. Aqui são apresentados alguns métodos que auxiliam a alcançar consenso.

Votação do grupo

Votação e classificação são veículos que auxiliam o grupo a chegar ao consenso sobre índices de gravidade, ocorrência e detecção. Quando existe desentendimento sobre um índice, os membros do grupo que defendem intensamente seus índices devem apresentar suas linhas de raciocínio sobre estes para o restante do grupo. Se necessário, um limite de tempo (por exemplo, cinco minutos cada) pode ser estabelecido para estas apresentações. Ligar estes argumentos aos índices pré-definidos ajudará a fortalecer suas posições. Após as apresentações terem sido concluídas, os membros do grupo devem votar nos índices que acharem apropriados. O índice médio (média aritmética) deve ser calculado e usado como ponto de referência para o grupo chegar a uma pontuação consenso.

É importante não utilizar a pontuação média como a “pontuação” sem discussões adicionais. O processo de votação é uma ferramenta para se chegar a consenso, mas em isolado não pode garantir que o grupo todo apóie os índices.

Se o processo de votação não ajuda o grupo a chegar ao consenso existem alguns outros exercícios que o grupo pode trabalhar para chegar ao entendimento.

Envolvendo o especialista no processo

Se o especialista no processo não está em seu grupo você deve convidá-lo para uma reunião para rever os índices do FMEA e dar uma opinião sobre como o item em questão deve ser classificado. O especialista não deve ter a palavra final na classificação, mas deve prover informações ao grupo que talvez eles não soubessem ou não estivessem conscientes. O grupo tem a palavra final.

Deferir a um dos membros do grupo

Seu grupo pode designar um membro deste para tomar a decisão final se há uma pessoa no grupo com muita experiência no processo ou produto. O problema com esta abordagem é que há uma chance que alguns membros do grupo podem não concordar com os índices e, portanto, terão dificuldade em dar continuidade ao FMEA deste ponto em diante.

Classifique as falhas e/ou efeitos de acordo com a categoria dos índices

Liste cada falha e efeito em um “post-it”. Não se preocupe com a verdadeira pontuação do índice em questão. Ao invés disso, coloque as falhas em ordem (da mais alta a mais baixa) de acordo com a escala em questão. Por exemplo, se a escala em questão é gravidade e o grupo é incapaz de chegar a um entendimento nos índices de um ou mais dos modos de falha, coloque cada um deles em um “post-it”. Então, como um grupo, coloque os modos de falha em ordem da gravidade mais alta à mais baixa. Neste ponto, você deve se preocupar com os índices numéricos dos modos de falha. Uma vez que as falhas estejam em ordem, indique os índices para qualquer um dos modos de falhas sobre os quais o grupo concordou. Pensando nas falhas relativas umas às outras, ao invés de colocá-las em termos de uma escala absoluta, você pode concordar em relação aos índices dos modos de falha em discussão.

Discutindo

Devido ao fato dos índices serem multiplicados, uma diferença de um ou dois décimos em qualquer das escalas de índices pode ter um impacto significativo no RPN para o modo de falha. A diferença poderia mover o item abaixo do ponto “de corte” quando deveria estar acima deste. Isso pode significar que uma falha de relativamente alto risco não iria ser eliminada ou reduzida. Entretanto, é arriscado designar índices arbitrariamente apenas para ir em frente com o processo FMEA. Às vezes, o melhor modo de chegar ao consenso em um momento particularmente delicado é discutir sobre ele.

Use o índice mais alto

Se o grupo não consegue chegar ao consenso, deve se eleger o índice mais alto. A única coisa perdida neste caso é o tempo gasto para se trabalhar em um outro item. Pode haver tremendos ganhos em se utilizar esta abordagem e operar no modo seguro.

Apêndice 4: Técnicas de melhoria do processo

Organizações têm uma ampla variedade de abordagens de melhoria disponíveis uma vez que uma oportunidade de avanço tenha sido identificada. As oportunidades de melhoria identificadas através do FMEA não têm exceção. Algumas técnicas efetivas a serem seguidas identificam oportunidades e estão descritas abaixo.

“Mistake-proofing”

Técnicas de “mistake-proofing”, quando implementadas adequadamente, são impossíveis de falhar. Um excelente exemplo desta técnica é um carro que não dá partida a menos que o pedal de embreagem esteja pressionado. Isso impede que o carro de mover adiante quando é dada a partida. Antes desta técnica ter sido aplicada a este caso, um motorista poderia tentar dar a partida com o carro engatado, fazendo o carro mover para frente em direção a carros, objetos ou mesmo pessoas.

Técnicas de “mistake-proofing” incluem meios de tornar impossível o cometimento de erros em ambos fabricação e uso de produtos. Interruptores, sensores, códigos de barra e técnicas de contagem podem todos ser utilizados como técnicas de “mistake-proofing” para produtos e processos.

Desenho dos experimentos (DOE)

O desenho dos experimentos é uma família de técnicas estatísticas que primeiro ajudam a identificar as variáveis de um processo e então determinam os parâmetros ideais do processo para a mais alta qualidade. O desenho dos experimentos é efetivo em processos contínuos e não-contínuos. DOE pode também ser usado no estágio de desenvolvimento do produto.

Controle estatístico do processo (SPC)

O controle estatístico do processo, uma outra técnica estatística é uma ferramenta que pode ser usada para monitorar processos e garantir que eles não mudaram ou comparar a produção de um processo à especificação. Uma técnica de SPC permite ao operador monitorar o processo-chave e ajustar o processo quando ele muda, antes que fuja do controle e produza produto de má qualidade.

O grupo FMEA pode usar planilhas de controle para ter uma visão realista do processo. Quando a falha ocorre no processo, as planilhas de controle sinalizarão a mudança. Por reagir rapidamente ao sinal, o grupo pode trabalhar para encontrar a causa-raiz da falha antes que o assunto esfrie. Uma vez que a causa-raiz é encontrada, a técnica de “mistake-proofing” pode ser usada para eliminar o modo de falha, movendo o RPN resultante a zero.

Apêndice 5: Exigências do QS-9000 para FMEAs

O QS-9000 é o Requerimento de Sistemas de Qualidades originalmente desenvolvido pela “Crysler/Ford/General Motors Supplier Quality Requirements Task Force”. Seus alvos eram desenvolver um sistema de qualidade fundamental que provesse para melhoria contínua, enfatizando a prevenção de defeitos e a redução de desperdício na cadeia de suprimento.

A base do QS-9000 é o ISO-9000 com sólida ênfase no ISO 9001, Seção 4. É suplementado com interpretações adicionais e exigências do sistema de qualidade e são aplicados a todos os fornecedores internos e externos dos materiais de produção, produção ou parte de serviços, tratamento com calor, pintura, revestimento ou outros serviços de acabamento diretamente para Crysler, Ford, General Motors e fabricantes inscritos no programa.

Com este conjunto de informações mostrado torna-se claro o roteiro para utilização do Processo FMEA em produto, serviço e processo da Cadeia de Suprimentos, como foi o caso desta pesquisa onde foi aplicada com um resultado excelente que será mostrado no capítulo referente a aplicação da metodologia par otimização da Cadeia de Suprimentos (CDA²PEM).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERNATHY, F.H.; DUNLOP, J.T.; HAMMOND, J.H.; WEIL, D. Retailing and supply chains in the information age. **Technology in Society**. v. 22, n. 1, p. 5-31, 2000.

AKKERMANS, H.A.; BOGERD P.; YÜCESAN E.; WASSENHOVE L.V. The impact of ERP on supply chain management: exploratory findings from a european delphi study. **Eur J Oper Res**. n. 146, p. 284-301, 2003.

AMR Research – The AMR research supply chain top 25 and the New trillion-dollar opportunity. Novembro, 2004.

ANDERSON Jr.; E.G. Managing the impact of high market growth and learning on knowledge worker productivity and service quality. **European Journal of Operational Research**. v. 134, n. 3, p. 508-24, 2001.

ANUPINDI, R.; CHOPRA, S.; SUDHAKAR, D.; DESHMUKH, S.D. van MIEGHEM, J.A.; ZEMEL, E. **Managing business process flows: Principles Of Operations Management - Pearson**. Prentice Hall, 2003.

BARUT, M.; FAISST, W.; KANET, J.J. Measuring supply chain coupling: an information system perspective. **European Journal of Purchasing & Supply Management**. v. 8, n. 3, p. 161-71, 2002.

BESTEWRFIELD, D.H. **Quality control**. Ohio: Prentice Hall; 2001.

- BHUPTANI, M.; MORADPOUR, S. **RFID field guide – Deploying radio frequency identification systems**. Prentice Hall, 2004.
- BOYSON, S.; CORSI, T.; VERBRAECK, A. The e-supply chain portal: a core business model. *Transportation Research Part E: **Logistics and Transportation Review***. v. 39, n. 2, p. 175-92, 2003.
- BROTHERS, Lehman. **The View of the Supply Chain From Wall Street 2005**. Disponível em <<http://www.lehman.com/annual/2005/>>.
- BURKE, S.; GAUGHRAN, W. F. Intelligent environmental management for SMEs in manufacturing. ***Robotics and Computer-Integrated Manufacturing***. v 22, n. 5-6, p. 566-75, 2006.
- BYRD, T.A.; DAVIDSON, N.W. Examining possible antecedents of IT impact on the supply chain and its effect on firm performance. ***Information & Management***. v. 41, n. 2, p. 243-55, 2003.
- CARAYANNIS, E.G.; SAGI, J. Exploiting opportunities of the new economy: developing nations in support of the ICT industry. ***Technovation***. v. 22, n. 8, p. 517-24, 2002.
- CARLSON, R.; ERIXON, M.; FORSBERG, P.; PALSSON, A.C. System for integrated business environmental information management. ***Advances in Environmental Research***. v. 5, n. 4, p. 369-75, 2001.
- CHANG, H.H. A model of computerization of manufacturing systems: an international study. ***Information & Management***. v. 39, n. 7, p. 605-24, 2002.

- CHANG, S.; VISSER, J.J. A framework of distributed quality control. **Computers & Industrial Engineering**. v. 35, n.s 1-2, p. 181-4, 1998.
- CHOY, K.L.; LEE, W.B.; LO, V. An intelligent supplier management tool for benchmarking suppliers in outsource manufacturing. **Expert Systems with Applications**. v. 22, n. 3, p. 213-24, 2002.
- CHUNG, W.W.C.; YAM, A.Y.K.; CHAN, M.F.S. Networked enterprise: A new business model for global sourcing. **International Journal of Production Economics**. v. 87, n. 3, p. 267-80, 2004.
- COUGHLAN, A.T.; ANDERSON, E.; STERN, L.W.; EL-ANSARY, A.I. **Canais de marketing e distribuição**. Bookman, 2002.
- CUNNINGHAM, C.; TYNAN, C. Electronic trading, interorganizational systems and the nature of buyer-seller relationships: The need for a network perspective. **International Journal of Information Management**. v. 13, n. 1, p. 3-28, 1993.
- DAUGHERTY, P.J.; RICHEY, R.G.; GENCHEV, S.E.; CHEN, H. Reverse logistics: superior performance through focused resource commitments to information technology. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. v. 41, n. 2, p. 77-92, 2005.
- DEMING, W.E. **Quality productivity and competitive position**. Boston: Cambridge, Massachusetts. Massachusetts Institute of Technology. Center of Advanced Engineering Study, 1982.
- DEMING, W.E. **Qualidade e a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

ENVER; Y. - **Insead University Technology and operations management area**. França: Fontenebleau, 2005.

FIALA, P. Information sharing in supply chains. *Omega*. v. 33, n. 5, p. 419-23, 2005.

FINE, C. H. **Clock speed sloon School of Management**. M.I.T, 1998a.

FINE, C.H. **Clockspeed: winning industry control in the age of temporary advantage**. cidade: Perseus Books. 1998b.

FINKENZELLER, K. **RFID Handbook**. Wiley, 2003.

FORMAN, H.; LIPPERT, S.K.; KOTHANDARAMAN, P. Understanding users' performance evaluation of IT solutions. **Industrial Marketing Management** [*In Press, Corrected Proof*]. Disponível online 18 July 2006.

FORZA, C.; SALVADOR, F. Product configuration and inter-firm coordination: an innovative solution from a small manufacturing enterprise. **Computers in Industry**. v. 49, n. 1, p. 37-46, 2002.

GATES, Bill. **Business @ the speed of thought: Using a Digital Nervous System** (Hardcover). New York: Warner Books Inc, 1999.

GAYIALIS, S.P.; TATSIPOULOS, I.P. Design of an IT-driven decision support system for vehicle routing and scheduling. **European Journal of Operational Research**. v. 152, n. 2 p. 382-98, 2004.

GEORGE, M.L. **Lean Six Sigma**. McGraw-Hill, 2002.

- GEORGIADIS, P.; VLACHOS, D.; IAKOVOU, E.A system dynamics modeling framework for the strategic supply chain management of food chains. **Journal of Food Engineering**. v. 70, n. 3, p. 351-64, 2005.
- GHIASSI, M.; SPERA, C. Defining the Internet-based supply chain system for mass customized markets. **Computers & Industrial Engineering**. v. 45, n. 1, p. 17-41, 2003.
- GOEL, A.; ZOBEL, C.W.; JONES E.C. A multi-agent system for supporting the electronic contracting of food grains. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 48, n. 2, p. 123-37, 2005.
- GRIEGER, M. Electronic marketplaces: A literature review and a call for supply chain management research. **European Journal of Operational Research**. v. 144, n. 2, p. 280-94, 2003.
- GUNASEKARAN, A.; MARRI, H.B.; McGAUGHEY, R.E.; NEBHWANI, M.D. E-commerce and its impact on operations management. **International Journal of Production Economics**. v. 75, n.s 1-2, 10 p. 185-97, 2002.
- GUNASEKARAN, A.; NATH, B. The role of information technology in business process reengineering. **International Journal of Production Economics**. v. 50, n.s 2-3, p. 91-104, 1997.
- GUNASEKARAN, A.; NGAI, E.W.T. Build-to-order supply chain management: a literature review and framework for development. **Journal of Operations Management**. v. 23, n. 5, p. 423-51, 2005.

- GUNASEKARAN, A.; NGAI, E.W.T.; McGAUGHEY, R.E. Information technology and systems justification: A review for research and applications. **European Journal of Operational Research**, v.173, n. 3, p. 957-83, 2006.
- GUNASEKARAN, A.; WILLIAMS, H.J.; McGAUGHEY, R.E. Performance measurement and costing system in new enterprise. **Technovation**. v. 25, n. 5, p. 523-33, 2005.
- GUNASEKARAN, A.;NGAI, E.W.T. Information systems in supply chain integration and management. **European Journal of Operational Research**. v. 159, n. 2, p. 269-95, 2004.
- GUPTA, P. **The Six Sigma performance handbook**. Mc Graw Hill Books, 2004.
- HARTLEY, J.R. **Concurrent engineering-productivity**. Oregon: Press Portland, 2005.
- HENDRICKS, Kivin; SINGHAL, Vinod R. **Supply Chain Performance and Shareholder Value**, 2000.
- HILL, C.A.; SCUDDER, G.D. The use of electronic data interchange for supply chain coordination in the food industry. **Journal of Operations Management**. v. 20, n. 4, p. 375-87, 2002.
- HOFFMAN, K.L. Combinatorial optimization: Current successes and directions for the future. **Journal of Computational and Applied Mathematics**. v. 124, n.s 1-2, p. 341-60, 2000.

<http://search.portal.hp.com>, 2006. Acesso em 28 ago 2006.

<http://www.alientechonology.com>. Acesso em 28 ago 2006.

<http://www.ecrnet.org>. Acesso em 28 ago 2006.

<http://www.epcglobalinc.org>. Acesso 28 ago 2006.

<http://www.intermec.com>. Acesso em 28 ago 2006.

<http://www.quality.nist.gov>. Acesso em 28 ago 2006.

<http://www.rfidjournal.com>. Acesso em 28 ago 2006.

<http://www.samsys.com>. Acesso em 28 ago 2006.

<http://www.sciencedirect.com>. Acesso em 28 ago 2006.

<http://www.seal.com.br>, 2006. Acesso em 28 ago 2006.

<http://www.symbol.com>. Acesso em 28 ago 2006.

HUMPHREYS, P.K.; LAI, M.K.; SCULLI, D. An inter-organizational information system for supply chain management. **International Journal of Production Economics**. v. 70, n. 3, p. 245-55, 2001.

HUNT, I.; WALL, B.; JADGEV, H. Applying the concepts of extended products and extended enterprises to support the activities of dynamic supply networks in the agri-food industry. **Journal of Food Engineering**. v. 70, n. 3, p. 393-402, 2005.

JIE, N.S. TNT Express Woldwide Singapore - Palestra na Universidade de Singapura. 2005.

JORNAL O ESTADO DE SÃO PAULO. Caderno de Economia, São Paulo, B4-5, 5 mar. 2006. Jornal.

KNOLMAYER, G.; MERTENS, P.; ZEIER, A. **Supply chain management based on SAP systems**. Germany: Springer, 2004.

KOKURYO, J. Development of IT in Japan amid financial difficulties. **The Journal of Strategic Information Systems**. v. 8, n. 1, p. 7-12, 1999.

KOTHARI, T.; HU, C.; ROEHL, W.S. e-Procurement: an emerging tool for the hotel supply chain management. **International Journal of Hospitality Management**. v. 24, n. 3, p. 369-89, 2005.

KULMALA, H.I.; PARANKO, J.; UUSI-RAUVA, E. The role of cost management in network relationships. **International Journal of Production Economics**. v. 79, n. 1, p. 33-43, 2002.

KUME, H. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade**. Editora Gente, 1993.

KURT SALMON AND ASSOCIATES. **Efficient consumer response: enhancing consumer value in the grocery industry**. 1993.

LAI, K.H.; WONG, C.W.Y.; CHENG, T.C.E. Institutional isomorphism and the adoption of information technology for supply chain management. **Computers in Industry**. v. 57, n. 1, p. 93-8, 2006.

- LAMBERT, D.M. **Supply chain management process. Partnerships, performance SCMI – Supply Chain Management Institute.** 2005.
- LEE, H; PADMANABHAN, P.; WHANG, S. The paralyzing curse of the bullwhip effect in the supply chain. **Sloan Manage Rev.** p. 93-102. 1997.
- LEITE, P.R. **Logística reversa meio ambiente e competitividade.** Prentice Hall, 2003.
- LEVINE, D.M.; BERENSON, M.L.; STEPHAN, D. **Estatística: Teoria e aplicações.** LTC Editora, 2000.
- LI, E.Y.; DU, T.C.; WONG, J.W. Access control in collaborative commerce. *Decision Support Systems.* [In Press, Corrected Proof]. Disponível online 5 July 2005.
- LIANG, W.Y.; HUANG, C. C. Agent-based demand forecast in multi-echelon supply chain. **Decision Support Systems.** v 42, n. 1, p. 390-407, 2006.
- MAHAJAN, J.; VAKHARIA, A.J. Determining firm-level IT investments to facilitate value chain activities: Should spillovers accruing to value chain members be incorporated? **European Journal of Operational Research.** v. 156, n. 3, p. 665-82, 2004.
- MANGINA, E.; VLACHOS, I.P. The changing role of information technology in food and beverage logistics management: beverage network optimisation using intelligent agent technology. **Journal of Food Engineering.** v. 70, n. 3, p. 403-420, 2005.

MAY, A.; CARTER, C. A case study of virtual team working in the European automotive industry. **International Journal of Industrial Ergonomics**. v. 27, n. 3, p. 171-86, 2001.

MCAFEE, A.P. The impact of information technology on operational effectiveness: an empirical investigation. **Harv Bus Rev**. Working Paper. Cambridge, MA, 1998.

MCAFEE, A.P.; ASHIA, M. Synchra Systems. **Harv Bus Rev**. 2001.

MONCZKA-RENT-HANDFIELD. **Purchasing & supply chain management**. Thompson, 2005.

MONTGOMERY, D.C. **Introduction to statistical quality control**. John Wiley e Sons, Inc., 2005.

MONTGOMERY, D.C. **Statistical quality control**. John Wiley & Sons, 1995.

MONTGOMERY, D.C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. LTC Editora, 2001.

NAUGHTON J. **Rev. Carta Capital**. n. 408, 2006.

OTTO, A.; KOTZAB, H. Does supply chain management really pay? Six perspectives to measure the performance of managing a supply chain. **European Journal of Operational Research**. v. 144, n. 2, p. 306-20, 2003.

- OVALLE, O.R.; MARQUEZ, A.C. The effectiveness of using e-collaboration tools in the supply chain: an assessment study with system dynamics. **Journal of Purchasing and Supply Management**. v. 9, n. 4, p. 151-63, 2003.
- PAUL [Reference to Schönsleben] With agility and adequate partnership strategies towards effective logistics networks. **Computers in Industry**. v. 42, n. 1, p. 33-42, 2000.
- PETRICK, I.J.; ECHOLS, A.E. Technology roadmapping in review: A tool for making sustainable new product development decisions. **Technological Forecasting and Social Change**. v. 71, n.s 1-2, p. 81-100, 2004.
- PLOUFFE, C.R.; VANDENBOSCH, M.; HULLAND, J. Intermediating technologies and multi-group adoption: a comparison of consumer and merchant adoption intentions toward a new electronic payment system. **Journal of Product Innovation Management**. v. 18, n. 2, p. 65-81, 2001.
- PORTER, M. E. **Vantagem competitiva das nações**. Tradução Waltensir Dutra. 12 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1989.
- PRATER, E.; GHOSH, S. A comparative model of firm size and the global operational dynamics of U.S. firms in Europe. *Journal of Operations Management*. v. 24, n. 5, p. 511-29, 2006.
- RAO, B.P. Improving retail effectiveness through technology:: a survey of analytical tools for physical and on-line retailers. **Technology in Society**. v. 22, n. 1, p. 111-22, 2000.

- RODRIGUES, M. V. Entendendo, aprendendo, desenvolvendo qualidade padrão Seis Sigma. Rio de Janeiro: QualityMark. 2006.
- RUST, R.T.; ZEITHAML, V.; LEMON, K.N. **O valor do cliente**. Bookman, 2001.
- SACKETT, P.; McCLUNEY, D. Inter enterprise CIM - a mechanism for graduate education. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**. v. 9, n. 1, p. 9-13, 1992.
- SAHIN, F.; ROBINSON Jr., E.P. Information sharing and coordination in make-to-order supply chains. **Journal of Operations Management**. v. 23, n. 6, p. 579-98, 2005.
- SALIN, V. Information technology in agri-food supply chains. **The International Food and Agribusiness Management Review**. v. 1, n. 3, p. 329-34, 1998.
- SANDERS, N.R.; MANRODT, K.B. The efficacy of using judgmental versus quantitative forecasting methods in practice. **Omega**. v. 31, n. 6, p. 511-22, 2003.
- SCHNEIDER, R.; MARQUARDT, W. Information technology support in the chemical process design life cycle. **Chemical Engineering Science**. v. 57, n. 10, p. 1763-92, 2002.
- SCHONBERGER, R.J. **Construindo uma corrente de clientes – Unindo as funções organizações para criar a empresa de classe universal**. São Paulo: Pioneira, 1992.

- SCHONBERGER, R.J. **Fabricação classe universal**. Pioneira Editora, 1986.
- SEGGIE, S.H.; KIM, D.; CAVUSGIL, S.T. Do supply chain IT alignment and supply chain interfirm system integration impact upon brand equity and firm performance? *Journal of Business Research*. v. 59, n. 8, p. 887-95, 2006.
- SEO, Y.; JUNG, S.; HAHM, J. Optimal reorder decision utilizing centralized stock information in a two-echelon distribution system. **Computers & Operations Research**. v. 29, n. 2, p. 171-93, 2002.
- SHEU, C.; CHAE, B.; YANG, C.L.C.L. National differences and ERP implementation: n.s and challenges. **Omega**. v. 32, n. 5, p. 361-71, 2004.
- SHEU, J.B. A sequential group decision-making approach to strategic planning for the development of commercial vehicle operations systems. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. v. 36, n. 4, p. 335-50, 2002.
- SILVER, E.A; PIKE, D.; PETERSON, R. **Inventory management and production planning and scheduling**. Third Edition, 1998.
- SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Cadeia de suprimentos: projetos e gestão**. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- STAMATIS, D.H. **Failure mode and effect analysis - FMEA from theory to execution**. 2ª ed., ASQ American Society of Quality, 2003.

- STEFANSSON, G. Business-to-business data sharing: A source for integration of supply chains. **International Journal of Production Economics**. v. 75, n.s 1-2, 10 p. 135-46, 2002.
- SUNDARRAJ, R.P.; TALLURI, S. A multi-period optimization model for the procurement of component-based enterprise information technologies. **European Journal of Operational Research**. v. 146, n. 2, p. 339-51, 2003.
- THEODOROU, P.; FLOROU, G. Manufacturing strategies and financial performance - The effect of advanced information technology: CAD/CAM systems. **Omega**. [In Press, Corrected Proof]. Disponível online 15 February 2006.
- THOMAS, D.J.; GRIFFIN, P.M. Coordinated supply chain management. **European Journal of Operational Research**. v. 94, n. 1, p. 1-15, 1996.
- TRIOLA, M.F. **Introdução à estatística**. LTC Editora, 1998.
- TSERNG, H.P.; LIN, P.H. An accelerated subcontracting and procuring model for construction projects. **Automation in Construction**. v. 11, n. 1 p. 105-25, 2002.
- UPTON, D.M.; A. McAFEE. The real virtual factory. **Harv Bus Rev**. July-August, p. 123-33. 1996.
- VICKERY, S.K.; JAYARAM, J.; DROGE, C.; CALANTONE, R. The effects of an integrative supply chain strategy on customer service and financial performance: an analysis of direct versus indirect relationships. **Journal of Operations Management**. v. 21, n. 5, p. 523-39, 2003.

- VOLLMAN, T.E.; BERRY, W.L.; WHYBARK, D.C. **Manufacturing planning & control systems**. Irwin McGraw – Hill. 2005.
- WHITE, A.; DANIEL, E.M.; MOHDZAIN, M. The role of emergent information technologies and systems in enabling supply chain agility. **International Journal of Information Management**. v. 25, n. 5, p. 396-410, 2005.
- WIEFELS, Paul. **The chasm companion harperbusiness**, 2006.
- WONG, M.M.; TAN, C.H.; ZHANG, J.B.; ZHUANG, L.Q.; ZHAO, Y.Z.; LUO, M. On-line reconfiguration to enhance the routing flexibility of complex automated material handling operations. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**. [*In Press, Corrected Proof*]. Disponível online 20 March 2006.
- WU, F.; YENIYURT, S.Y.; KIM, D.; CAVUSGIL, S.T. The impact of information technology on supply chain capabilities and firm performance: A resource-based view. **Industrial Marketing Management**. v. 35, n. 4, p. 493-504, 2006.
- YAO, D.Q.; LIU, J.J. Competitive pricing of mixed retail and e-tail distribution channels. **Omega**. v. 33, n. 3, p. 235-47, 2005.
- YEN, B.P.C. Electronic commerce front-end in apparel supply chain. **Computers & Industrial Engineering**. v. 42, n.s 2-4, p. 471-80, 2002.
- YEN, D.C.; HUANG, S.M.; KU, C.Y. The impact and implementation of XML on business-to-business commerce. **Computer Standards & Interfaces**. v. 24, n. 4, p. 347-62, 2002.

YUSUF, Y.; GUNASEKARAN, A.; ABTHORPE, M.S. Enterprise information systems project implementation:: A case study of ERP in Rolls-Royce. **International Journal of Production Economics**. v. 87, n. 3, p. 251-66, 2004.

ZEILINGER, A. Teletransporte quântico. **Rev Sci Am Br**. n 8, Portugal: Editora Ediouro.

ZHANG, C; TAN, G. W. ROBB, D. J. Sharing shipment quantity information in the supply chain. **Omega**. v. 34, n. 5, p. 427-38, 2006.

<http://search.portal.hp.com>, 2006

10

APÊNDICE

Apêndice A

ZEILINGER, Anton. Teletransporte Quântico - A Terceira Geração da Cadeia de Suprimentos. **Scientific American. 2005, n.8, p. 34-43.**

A cena é familiar na ficção científica e nos seriados de TV: um bando de exploradores intrépidos entra em uma câmara especial. Luzes piscam, efeitos sonoros se fazem ouvir, e nossos heróis desaparecem de vista para reaparecer na superfície de um planeta distante. Este é o sonho do teletransporte - a capacidade de se deslocar de um lugar para outro sem ter de transpor tediosos quilômetros intermediários a bordo de um veículo ou ingerindo comida de avião. Embora o teletransporte de objetos grandes ou seres humanos ainda não passe de fantasia, o teletransporte quântico tornou-se uma realidade de laboratório no caso dos fótons, as partículas individuais de luz.

O teletransporte (ou teleporte) quântico explora algumas das características mais básicas (e peculiares) da mecânica quântica. Desde o início, os teóricos perceberam que a física quântica leva a uma abundância de novos fenômenos, alguns dos quais desafiam o senso comum. O progresso tecnológico no último quarto do século XX permitiu que os pesquisadores realizassem vários experimentos que, além de demonstrar aspectos fundamentais, às vezes bizarros, da mecânica quântica, a exemplo do teletransporte quântico, foram aplicados para obter resultados anteriormente inconcebíveis.

Nas histórias de ficção científica, o teletransporte muitas vezes permite uma viagem instantânea, violando o limite de velocidade imposto pela teoria da relatividade de Albert Einstein, segundo a qual nada consegue se deslocar mais rápido do que a luz. O teletransporte também é menos complicado do que as formas mais comuns de viagem espacial. Diz-se que Gene Roddenberry, o criador de Jornada nas Estrelas, inventou o "raio transportador" como forma de poupar despesas com simulação de aterrissagens e decolagens em planetas estranhos.

O procedimento de teletransporte em ficção científica varia de história para história, mas geralmente ocorre assim: um dispositivo faz uma

varredura do objeto original para extrair todas as informações necessárias a fim de descrevê-lo. Um transmissor envia as informações a uma estação receptora, onde são usadas para a obtenção de uma réplica exata do original. Em alguns casos, o material que constituía o original também é transportado para a estação receptora, talvez como algum tipo de energia. Em outros casos, a réplica é montada com átomos e moléculas que já estavam presentes na estação receptora.

A mecânica quântica parece tomar tal sistema impossível. Segundo o princípio da incerteza de Heisenberg, não se pode saber a posição precisa de um objeto e, ao mesmo tempo, o seu momento. Assim, não é possível fazer uma varredura perfeita do objeto a ser teleportado: a localização ou a velocidade de cada átomo e elétron estariam sujeitas a erros. O princípio da incerteza também se aplica a outros pares de quantidades, impossibilitando a medição do estado quântico exato e total de qualquer objeto. No entanto, essas medições seriam necessárias para a obtenção de todas as informações que descrevem com precisão o original. (Em *Jornadas nas Estrelas*, o "Compensador de Heisenberg" milagrosamente contorna essa dificuldade).

Uma equipe de físicos desafiou esse pensamento convencional em 1993, ao descobrir um meio teórico de usar a própria mecânica quântica para o teletransporte. A equipe - Charles H. Bennett, da IBM; Gilles Brassard, Claude Crépeau e Richard Josza, da Universidade de Montreal; Asher Peres, do Instituto de Tecnologia de Israel (Technion); e William K. Wootters, do Williams College - descobriu que um aspecto peculiar, mas fundamental, da mecânica quântica, o emaranhamento, pode ser usado para contornar a limitação imposta pelo princípio da incerteza de Heisenberg, sem violá-lo.

Emaranhamento

Estamos em 2100. Um amigo que gosta de física e de brincadeiras de salão trouxe uma coleção de pares de dados. Ele pede que os jogue, dois de cada vez. Você joga o primeiro par cautelosamente, lembrando do fiasco do

microburaco negro do Natal passado. Tira dois 3. Joga o próximo par: dois 6. O seguinte: dois 1. Eles sempre dão números iguais. Os pares de dados comportam-se como partículas quanticamente entrelaçadas. Cada um dos dados isoladamente é aleatório e imparcial, mas seu parceiro emaranhado sempre chega ao mesmo número. Esse comportamento foi demonstrado e intensivamente estudado com partículas reais entrelaçadas. Nos experimentos típicos, pares de átomos, íons ou fótons substituem os dados, e propriedades como a polarização substitui os diferentes lados dos dados.

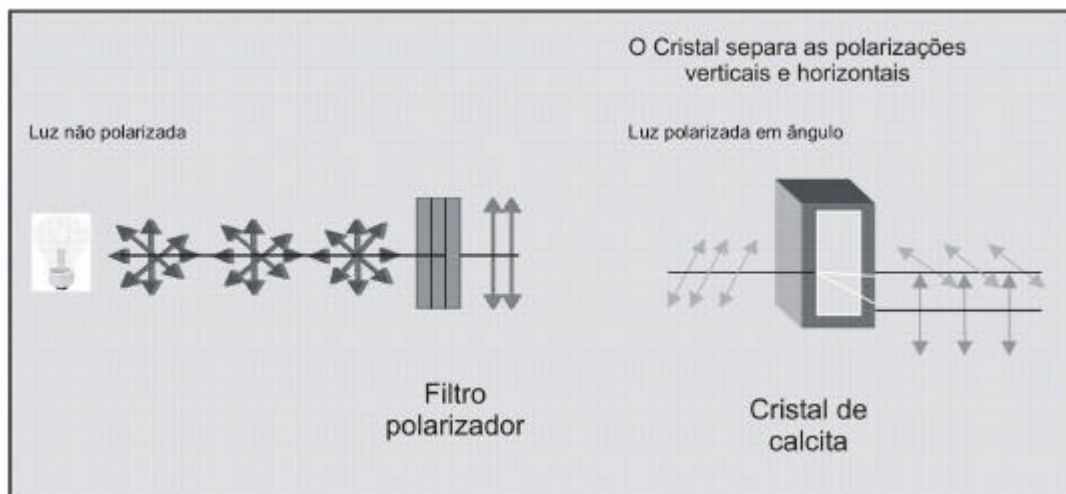


Figura 1 - A LUZ NÃO POLARIZADA consiste em fótons polarizados em todas as direções [a]. Na luz polarizada, as oscilações do campo elétrico dos fótons [setas] estão todas alinhadas. Um cristal de calcita [b] divide um feixe de luz, enviando os fótons com polarização paralela ao eixo para um feixe com polarização perpendicular para outro. Ângulos intermediários vão para uma superposição quântica de ambos os feixes. Cada um desses fótons pode ser detectado em um ou outro feixe – a probabilidade depende do ângulo. Devido ao envolvimento de probabilidades, não é possível medir com certeza a polarização de um fóton individual.

Consideremos o caso de dois fótons com polarizações entrelaçadas para serem aleatórias, mas idênticas. Feixes de luz e até fótons individuais consistem em oscilações de campos eletromagnéticos, e a polarização envolve o alinhamento das oscilações do campo elétrico (ver Figura 1). Suponhamos que Alice possui um dos fótons emaranhados e Bob possui o fóton parceiro. Quando Alice mede seu fóton para ver se está horizontal ou verticalmente polarizado, há chances de 50% para cada resultado. O fóton

de Bob tem as mesmas probabilidades, mas o emaranhamento assegura que obterá exatamente o mesmo resultado de Alice. Assim que obtém o resultado, digamos, "horizontal", Alice sabe que o fóton de Bob também estará horizontalmente polarizado. Antes da medição de Alice, os dois fótons não possuem polarizações individuais: o estado emaranhado especifica somente que um" medição descobrirá que as duas polarizações são iguais.

Um aspecto surpreendente desse processo é que não importa se Alice e Bob estão distantes um do outro; o processo funciona enquanto o emaranhamento dos fótons estiver preservado. Ainda que Alice esteja em Alfa Centauro e Bob na Terra, seus resultados coincidirão quando forem comparados. Em cada caso, é como se o fóton de Bob fosse magicamente influenciado pela medição distante de Alice, e vice-versa.

Pode-se indagar se conseguimos explicar o emaranhamento imaginando que cada partícula carrega consigo certas instruções gravadas. Ao entrelaçar as duas partículas, talvez sincronizemos algum mecanismo oculto que determina quais resultados darão quando forem medidas. Isso explicaria o efeito misterioso sobre a partícula de Bob da medição de Alice. Na década de 1960, porém, o físico irlandês John Bell provou um teorema segundo o qual, em certas situações, as explicações sobre o emaranhamento quântico baseadas em "variáveis ocultas" teriam de produzir resultados diferentes dos previstos pela mecânica quântica comum. Ora, os experimentos confirmaram as previsões da mecânica quântica com grande precisão.

O físico austríaco Erwin Schrödinger, um dos co-inventores da mecânica quântica, considerou o emaranhamento "o aspecto essencial" da física quântica. O emaranhamento costuma ser chamado de efeito EPR, e as partículas, de pares EPR, iniciais de Einstein, Boris Podolsky e Nathan Rosen, que em 1935 analisaram seus efeitos a grandes distâncias. Einstein referiu-se a ele como "ação fantasmagórica à distância". Caso alguém tentasse explicar os resultados em termos do deslocamento de sinais entre os fótons, esses sinais teriam de se deslocar além da velocidade da luz. Naturalmente, muitas pessoas se perguntaram se esse efeito poderia ser

usado para transmitir informações mais rápido do que a velocidade da luz.

Infelizmente, as regras quânticas tomam isso impossível. Cada medição local de um fóton, considerado isoladamente, produz um resultado totalmente aleatório, e não traz nenhuma informação do local distante. Informa apenas quais seriam as probabilidades do resultado da medição distante, dependendo do que fosse medido ali. Mesmo assim, podemos pôr o emaranhamento a funcionar de forma engenhosa para obter teletransporte quântico.



Figura 2 - O TELETRANSPORTE QUÂNTICO DE UMA PESSOA (impossível na prática, mas um bom exemplo para estimular a imaginação) começaria com a pessoa dentro de uma câmara de medição (esquerda), ao lado de uma massa igual de material auxiliar (verde). A matéria auxiliar foi quanticamente entrelaçada com seu correspondente, que está na estação receptora remota (direita).

Fótons em viagem

Alice e Bob prevêm que vão querer teletransportar um fóton no futuro. Como preparação, compartilham um par auxiliar emaranhado, sendo que Alice pega o fóton A e Bob, o fóton B. Em vez de medi-los, cada um guarda seu fóton sem perturbar seu delicado estado emaranhado (Figura 3).

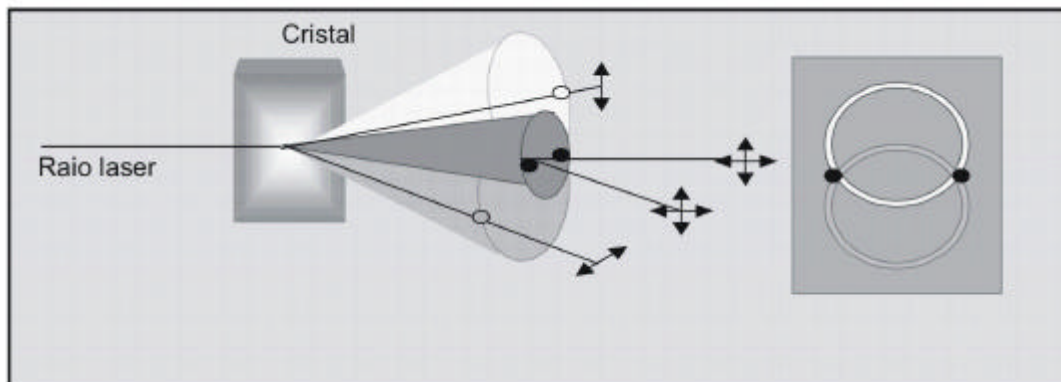


Figura 3 - PARES DE FÓTONS EMARANHADOS são criados quando um raio laser passa por um cristal como beta-borato. O cristal ocasionalmente converte um fóton ultravioleta individual em dois fótons de menor energia, um polarizado verticalmente [no cone vermelho], outro polarizado horizontalmente [no cone azul]. Se os fótons calharem de se deslocar ao longo das interseções dos cones [verde], nenhum dos fótons terá polarização definida, mas suas polarizações relativas serão complementares. Eles estarão emaranhados. A imagem colorizada [à direita] é uma fotografia de luz de conversão descendente. As cores da imagem não representam a cor da luz

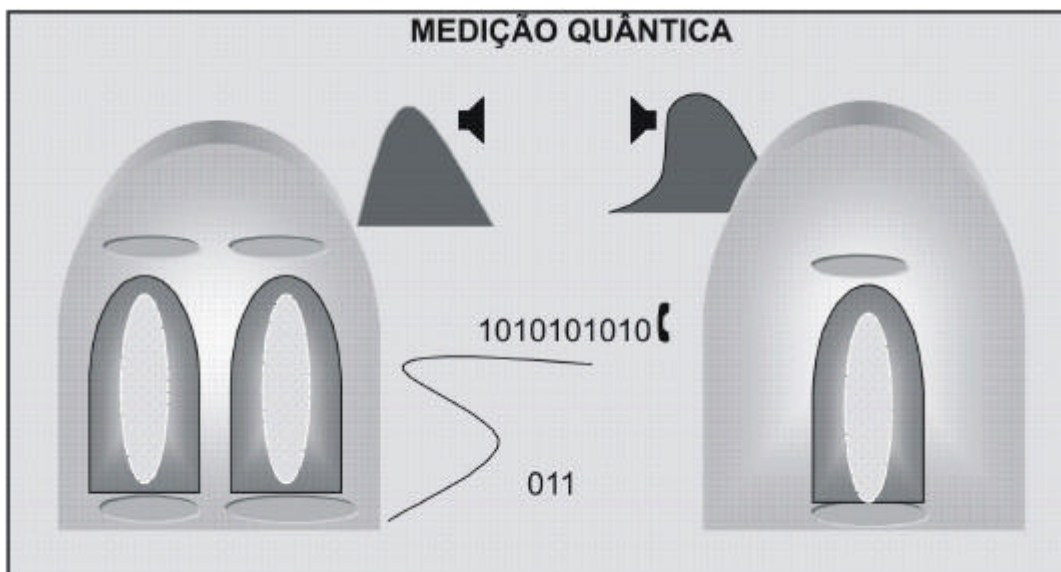


Figura 4 - A MEDIÇÃO CONJUNTA realizada na matéria auxiliar e na pessoa [esquerda] muda-se para um estado quântico aleatório e produz grande quantidade de dados aleatórios, mas significativos – dois bits por estado elementar. Por uma “ação fantasmagórica” à distância, a medição também altera instantaneamente o estado quântico da matéria correspondente remota [direita]

No devido tempo, Alice terá um terceiro fóton - vamos chamá-lo de fóton X – que quer enviar para Bob. Ela não sabe o estado do fóton X, mas quer que Bob obtenha um fóton com o mesmo estado de polarização. Ela não pode simplesmente medir a polarização do fóton e mandar o resultado a Bob. Em geral, o resultado de sua medição não seria idêntico ao estado original do fóton. É o princípio da incerteza de Heisenberg em ação.

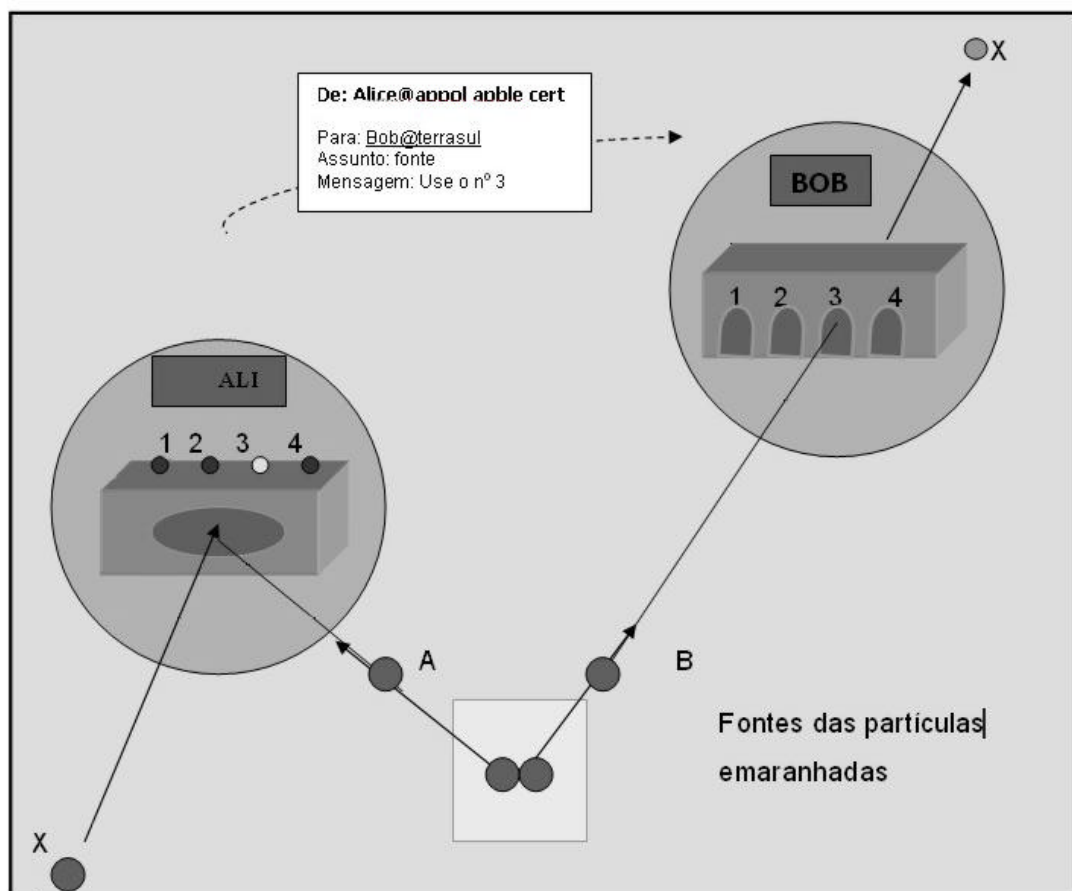


Figura 5 - O TELETRANSPORTE QUÂNTICO IDEAL requer que Alice, a transmissora, e Bob, o receptor, compartilhem um par de partículas emaranhadas A e B. Alice possui uma partícula que está em estado quântico desconhecido X. Alice realiza uma medição do estado de Bell das partículas A e X, gerando um de quatro resultados possíveis. Ela informa Bob do resultado, pelos meios normais. Dependendo do resultado de Alice, Bob deixa sua partícula inalterada [1] ou gira-a [2, 3, 4]. Em qualquer dos casos, ele obtém uma réplica da partícula X

Pelo contrário, para teletransportar o fóton X, Alice o mede com o fóton A, sem detectar suas polarizações individuais. Ela poderia descobrir, por exemplo, que suas polarizações são "perpendiculares" entre si (mas continua sem saber a polarização absoluta de cada fóton). Tecnicamente, a medição conjunta entrelaça os fótons A e X, sendo chamada de medição do estado de Bell. A medição de Alice produz um efeito sutil: ela modifica o fóton de Bob para que corresponda a uma combinação do resultado de sua medição com o estado original do fóton X. Na verdade, o fóton de Bob carrega agora o estado do fóton X de Alice, do mesmo jeito ou modificado de forma simples.

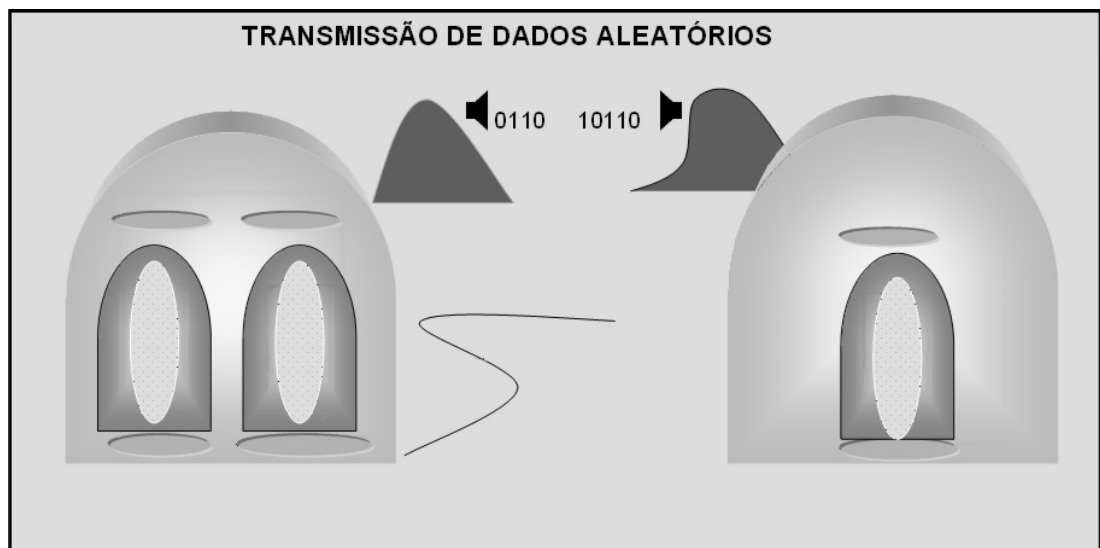


Figura 6 - OS DADOS DA MEDIÇÃO precisam ser enviados à estado receptora remota por meios convencionais. Esse processo está limitado à velocidade da luz, tornando impossível teletransportar a pessoa acima dessa velocidade

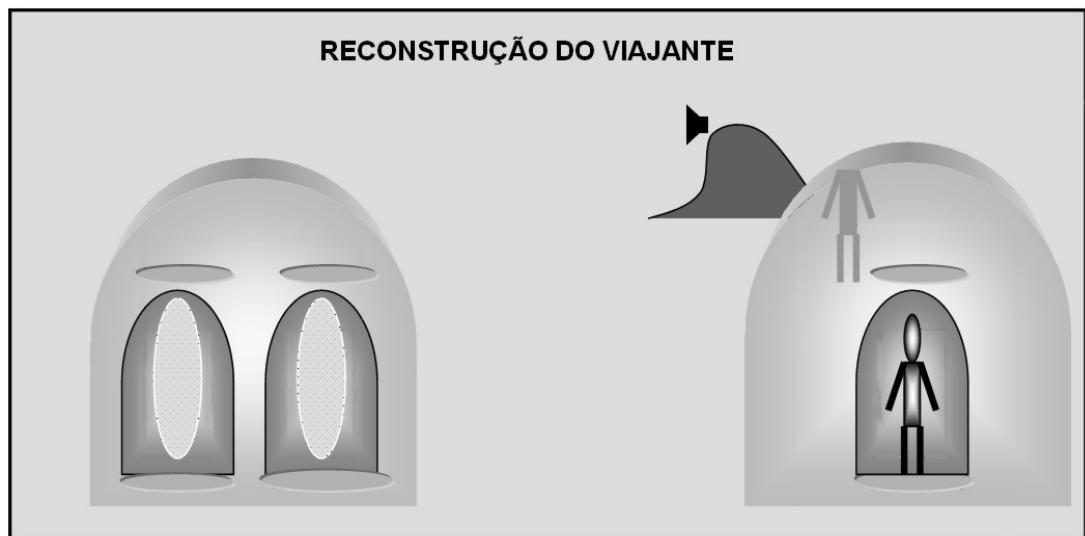


Figura 7 - O RECEPTOR RECREIA O VIAJANTE, descendo ao estado quântico de cada átomo e molécula, ajustando o estado da matéria correspondente de acordo com os dados na medição aleatória enviados pela estação de varredura

Para completar o teletransporte, Alice precisa enviar uma mensagem a Bob pelos meios convencionais, por telefone ou bilhete. Depois de receber essa mensagem, se necessário Bob pode transformar seu fóton B, obtendo como resultado final uma réplica exata do fóton X original. A transformação que Bob precisa fazer depende do resultado da medição de Alice. Quatro são as possibilidades, correspondendo a quatro relações quânticas entre seus fótons A e X. Uma transformação típica que Bob deve realizar no fóton é alterar sua polarização em 90° , o que pode fazer passando-o por um cristal com as propriedades ópticas apropriadas.

Qual dos quatro resultados possíveis Alice obtém é completamente aleatório e independente do estado original do fóton X. Bob, portanto, só sabe como processar seu fóton depois de conhecer o resultado da medição de Alice. Pode-se dizer que o fóton de Bob contém instantaneamente todas as informações do original de Alice, transportadas para lá pela mecânica quântica. No entanto, para saber como captar essas informações, Bob precisa aguardar as informações clássicas, consistindo em dois bits que não podem se deslocar acima da velocidade da luz.

Os céticos poderiam reclamar que a única coisa teletransportada é o

estado de polarização do fóton ou, em termos mais genéricos, seu estado quântico, e não o fóton em si. Mas, como o estado quântico de um fóton é a sua característica definidora, transportar seu estado equivale a transportar a partícula.

Observe que o teletransporte quântico não resulta em duas cópias do fóton X. Informações clássicas podem ser copiadas inúmeras vezes, mas a cópia perfeita de informações quânticas é impossível, resultado conhecido como o teorema da não clonagem, provado em 1982 por Wootters e Wojciech H. Zurek, do Laboratório Nacional Los Alamos. (Se pudéssemos clonar um estado quântico, poderíamos usar as cópias para violar o princípio de Heisenberg.) A medição de Alice na verdade entrelaça seu fóton A com o fóton X, e o fóton X perde toda a memória, por assim dizer, de seu estado original. Como membro de um par emaranhado, não possui estado de polarização individual. Desse modo, o estado original do fóton X desaparece do domínio de Alice.

Drible em Heisenberg

Além disso o estado do fóton foi transferido para Bob sem que nem Alice nem Bob saibam qual é. O resultado da medição de Alice, sendo aleatório, nada informa sobre esse estado. É assim que o processo contorna o princípio de Heisenberg, que nos impede de descobrir o estado quântico completo de uma partícula, mas não impede o teletransporte desse estado, enquanto não tentamos ver qual é ele!

Igualmente, as informações quânticas teletransportadas não viajam materialmente de Alice para Bob. O que viaja materialmente é a mensagem sobre o resultado da medição de Alice, que diz para Bob como processar seu fóton, mas não contém nenhuma informação sobre o próprio estado do fóton x.

Em um dos quatro casos, Alice tem sorte na medição, e o fóton de Bob toma-se imediatamente uma réplica idêntica do original de Alice. Parece que as informações viajaram instantaneamente de Alice até Bob,

ultrapassando o limite de velocidade de Einstein. No entanto, essa estranha característica não pode ser usada para enviar informações, porque Bob não tem como saber se seu fóton já é uma réplica exata. Somente depois que souber o resultado da medição do estado de Bell de Alice, transmitido pelas vias clássicas, poderá explorar as informações no estado quântico teletransportado. Se ele tentar descobrir em quais casos o teletransporte foi instantaneamente bem-sucedido, errará 75% das vezes, e não saberá quais tentativas estão corretas. Se usar os fótons com base nessas tentativas, terá os mesmos resultados de um feixe de fótons com polarizações aleatórias. Desse modo, a relatividade de Einstein prevalece: mesmo a ação fantasmagórica instantânea à distância da mecânica quântica não consegue enviar informações utilizáveis acima da velocidade da luz.

A proposta teórica que acabamos de descrever, longe de constituir um projeto claro de construção de um teletransportador, representou um grande desafio experimental. Produzir pares emaranhados de fótons tornou-se rotina nos experimentos da física nos últimos dez anos, mas fazer uma medição do estado de Bell em dois fótons independentes jamais havia sido realizado.

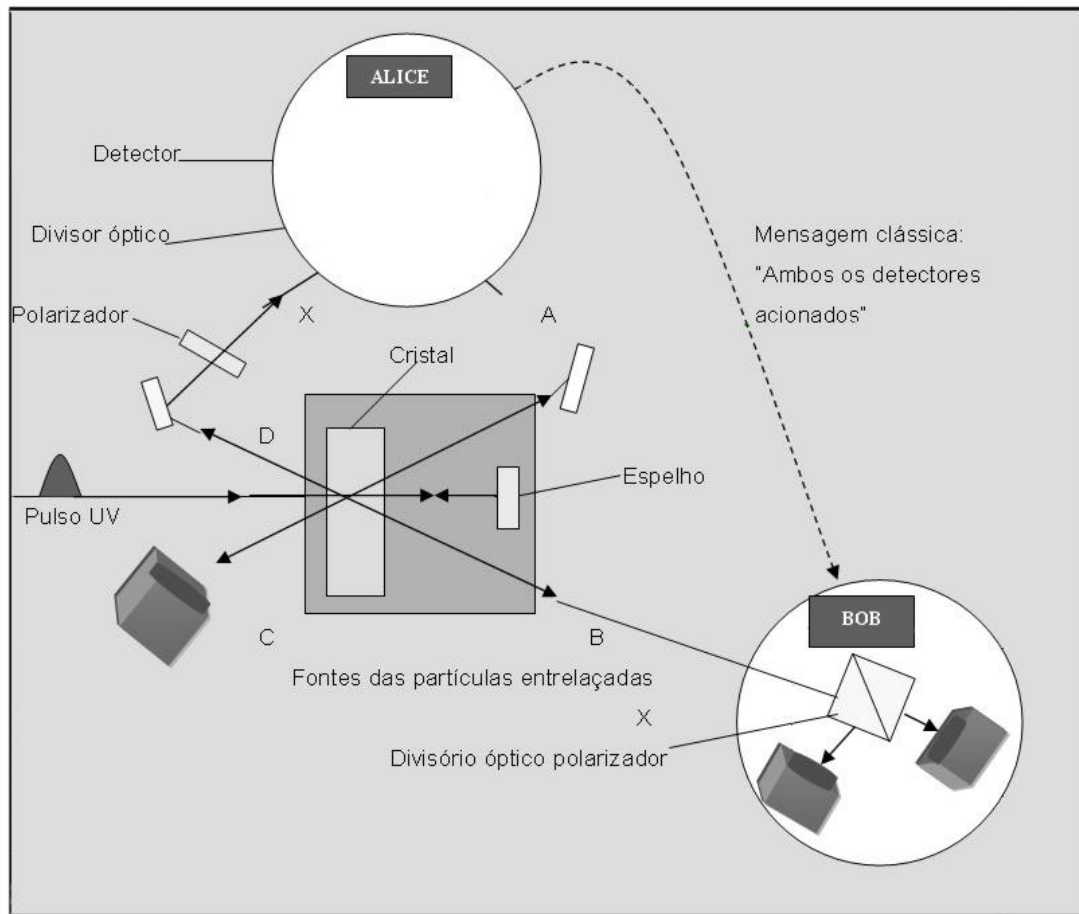


Figura 8 - O EXPERIMENTO DE INNSBRUCK começa com um pulso de luz de laser ultravioleta. Deslocando-se da esquerda para a direita através de um cristal, esse pulso produz o par emaranhado de fótons A e B, que se deslocam até Alice e Bob. Refletido de volta pelo cristal, o pulso cria dois fótons adicionais, C e D. Um polarizador prepara o fóton D em um estado específico, X. O fóton C é detectado, confirmado que o fóton X foi enviado a Alice. Alice combina os fótons A e X por meio de um divisor óptico. Se detectar um fóton em cada detector (como ocorre no máximo 25% das vezes), notifica Bob, que usa um divisor óptico polarizador para confirmar que seu fóton adquiriu a polarização de X, demonstrando assim o teletransporte

Uma forma poderosa de produzir pares emaranhados de fótons é a conversão paramétrica descendente espontânea: um fóton individual, passando por um cristal especial, às vezes gera dois fótons novos de tal maneira emaranhados que mostrarão polarizações opostas quando medidos.

Um problema bem mais difícil é entrelaçar dois fótons independentes que já existem, como precisa ocorrer durante a operação de um analisador

do estado de Bell. Isso significa que os dois fótons (A e X) precisam, de algum modo, perder suas características particulares. Em 1997, meu grupo (Dik Bouwmeester, Jian-Wei Pan, Klaus Mattle, Manfred Eibl e Harald Weinfurter), então na Universidade de Innsbruck, aplicou uma solução a este problema.

Em nosso experimento, um pulso breve de luz ultravioleta de um laser atravessa um cristal e cria os fótons emaranhados A e B. Um deles vai até Alice, o outro vai até Bob. Um espelho reflete o pulso ultravioleta de volta pelo cristal, onde pode criar outro par de fótons, C e D. (Estes também estarão emaranhados, mas não usamos seu emaranhamento.) O fóton C vai para um detector, que nos alerta que seu parceiro D está disponível para ser teleportado. O fóton D passa por um polarizador, que podemos orientar como bem entendermos. O fóton polarizado resultante é nosso fóton X, aquele a ser teleportado, que continua se deslocando até Alice. Uma vez que passa pelo polarizador, X é um fóton independente, não mais emaranhado. E, embora nós conheçamos sua polarização pelo modo como regulamos o polarizador, Alice não sabe. Reutilizamos o mesmo pulso ultravioleta desta maneira para assegurar que Alice receba os fótons A e X ao mesmo tempo.

Agora chegamos ao problema de realizar a medição do estado de Bell. Para isso, Alice combina seus dois fótons (A e X) usando um espelho semi-refletor, dispositivo que reflete metade da luz incidente. Um fóton individual possui uma chance de 50% de passar pelo espelho ou de ser refletido. Em termos quânticos, o fóton entra em uma sobreposição dessas duas possibilidades.

Suponhamos que dois fótons atingem o espelho de lados opostos, com trajetórias alinhadas de modo que a refletida por um fóton esteja ao longo da trajetória transmitida pelo outro, e vice-versa. Um detector espera no final de cada trajetória. Normalmente, os dois fótons seriam refletidos de maneira independente, e haveria uma chance de 50% de chegarem a detectores separados. Se os fótons são indistinguíveis e chegam ao espelho

no mesmo instante, porém, ocorre a interferência quântica: algumas possibilidades se neutralizam mutuamente e não ocorrem, enquanto outras se reforçam e ocorrem com mais frequência. Os fótons, quando interferem, possuem chance de apenas 25% de chegarem a detectores separados. Além disso, esse resultado corresponde a detectar um dos quatro estados possíveis de Bell dos dois fótons - o caso que chamamos de "sorte" antes. Nas demais 75% das vezes, os dois fótons chegarão ao mesmo detector, o que corresponde aos outros três estados de Bell, mas não os distingue.

Quando Alice detecta simultaneamente um fóton em cada detector, o fóton de Bob torna-se instantaneamente uma réplica do fóton X original de Alice. Confirmamos a ocorrência desse teletransporte mostrando que o fóton de Bob tinha a polarização que impusemos ao fóton X. Nosso experimento não foi perfeito, mas a polarização foi detectada em 80% das vezes (fótons aleatórios resultariam em 50%). Demonstramos o procedimento com uma variedade de polarizações: vertical, horizontal, linear a 45° e até a polarização não-linear, circular.

O aspecto mais difícil de nosso analisador do estado de Bell é tomar os fótons A e X indistinguíveis. Mesmo o momento em que os fótons chegam poderia ser usado para identificar qual é qual, portanto é importante "apagar" as informações de tempo trazidas pelas partículas. Em nosso experimento, usamos um artifício sagaz sugerido inicialmente por Marek Zukowski, da Universidade de Gdansk, Polônia: enviamos os fótons por filtros de comprimento de onda de banda bastante estreita. Esse processo toma o comprimento de onda dos fótons extremamente preciso, e, pela relação da incerteza de Heisenberg, torna-os indistinguíveis no tempo.

Um caso intrigante surge quando o fóton teletransportado está emaranhado com outro e, portanto, não possui sua própria polarização. Em 1998, meu grupo de Innsbruck demonstrou esse cenário dando a Alice o fóton D sem polarizá-lo, para que continuasse emaranhado com o fóton C.

Mostramos que, no teletransporte bem sucedido, o fóton B de Bob acabava emaranhado com C. a emaranhamento com C havia sido transmitido de D para B.

Meu grupo atual na Universidade de Viena conseguiu realizar o teletransporte do emaranhamento com tamanha precisão que a correlação não-local entre os fótons B e C violava uma desigualdade de Bell. A qualidade foi boa o suficiente para tornar possíveis os repetidores quânticos, necessários para conectar computadores quânticos a grandes distâncias. Pouco depois, superamos uma limitação de nosso experimento inicial. Anteriormente, Bob tinha de realmente detectar e destruir seu fóton X para ter certeza do êxito do teletransporte. O nosso experimento fez emergir, do lado de Bob, um feixe de qubits teletransportados propagando-se livremente, mostrando assim que essa etapa não é essencial. Isto é importante caso os bits venham a ser reutilizados de alguma maneira.

Na Garupa

Nosso experimento demonstrou claramente a possibilidade de teletransporte, mas o índice de sucesso foi baixo. Como só conseguíamos identificar um estado de Bell, pudemos teletransportar o fóton de Alice em apenas 25% das vezes. Não existe nenhum analisador de estado de Bell completo para fótons independentes ou para quaisquer duas partículas quânticas criadas independentemente. Assim, no momento não existe uma forma experimentalmente comprovada de aumentar a eficiência de nosso método para 100%.

Em 1994, uma forma de contornar esse problema foi proposta por Sandu Popescu, então na Universidade de Cambridge. Ele sugeriu que poderia ser teletransportado um estado quântico "montado na garupa" do fóton auxiliar A de Alice. O grupo de Francesco de Martini, da Universidade de Roma 1, "La Sapienza", conseguiu realizar esse experimento em 1997. O par auxiliar de fótons foi emaranhado de acordo com os locais dos fótons: o fóton A foi dividido, como que por um divisor óptico, e enviado para duas partes diferentes do aparato de Alice, com as duas alternativas ligadas por emaranhamento a uma divisão semelhante do fóton B de Bob. O estado a ser teletransportado também fez parte do fóton A de Alice - seu estado de

polarização. Com ambos os papéis desempenhados por um único fóton, detectar todos os quatro estados de Bell possíveis toma-se a medição comum de uma só partícula: detectar o fóton de Alice em um de dois locais possíveis, com uma de duas polarizações possíveis. A desvantagem desse esquema é que Alice não consegue teletransportar um fóton X desconhecido separado. Para isso, ela teria de transferir de alguma forma seu estado para o fóton A, o que é essencialmente um procedimento de teletransporte em si.

A polarização de um fóton, característica empregada pelos experimentos de Innsbruck e Roma, é uma quantidade discreta, já que qualquer estado de polarização pode ser expresso como uma sobreposição de apenas dois estados discretos, como polarização vertical e horizontal. O campo eletromagnético associado à luz também possui características contínuas, que equivalem a sobreposições de um número infinito de estados básicos. Por exemplo, um feixe de luz pode ser "comprimido", no sentido de que uma de suas propriedades é dotada de extrema precisão, tomando-se livre de ruído, à custa de uma maior aleatoriedade em outra propriedade (à Heisenberg). Em 1998, o grupo de Jeffrey Kimble, do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), teletransportou um estado comprimido de um feixe de luz para outro, demonstrando assim o teleporte de uma característica contínua. Em 2002, um grupo da Universidade Nacional da Austrália, em Canberra, encabeçado por Ping Koy Lam, realizou um teletransporte desses com precisão sem precedentes.

Mas, por mais notáveis que sejam esses experimentos, ainda estão muito distantes do teletransporte quântico de objetos grandes. Há dois problemas essenciais: primeiro, é preciso um par emaranhado deles. Segundo, o objeto a ser transportado e os pares emaranhados precisam estar suficientemente isolados do meio ambiente. Se as informações vazarem do ambiente para eles, ou vice-versa, através de interações casuais, os estados quânticos dos objetos se degradam, num processo denominado decoerência. É difícil imaginar como conseguir tal isolamento extremo de um objeto, ainda mais de um ser vivo que respira ar e emite calor. Mas quem sabe até onde avançaremos?

Certamente, poderíamos usar a tecnologia existente para teletransportar estados elementares, como os dos fótons de nosso experimento, por distâncias de alguns quilômetros e talvez até para satélites. A tecnologia para transportar estados de átomos individuais está disponível: o grupo encabeçado por Serge Haroche, da Escola Normal Superior de Paris, demonstrou o emaranhamento de átomos. É razoável esperar o emaranhamento e teletransporte de moléculas nos próximos dez anos. O que vai acontecer, além disso, é pura especulação. Em 2002, o grupo de Eugene Polzik, na Universidade de Arhus, Dinamarca, demonstrou o emaranhamento do spin de dois conjuntos, cada qual contendo cerca de 10¹² átomos, que abre a possibilidade de teletransportar sistemas contendo números maiores de átomos.

Uma aplicação importante do teletransporte poderia se dar na computação quântica, onde a noção corriqueira de bits (Os elos) é generalizada para bits quânticos, ou qubits, que podem existir como sobreposições e emaranhamentos de Os elos. Também poderia ser usado para transferir informações quânticas entre processadores quânticos. Os teletransportadores quânticos também podem ser usados para construir um computador quântico. Os quadrinhos da página ao lado ilustram uma situação intrigante, na qual uma combinação de teletransporte e computação quântica poderia ocasionalmente representar uma vantagem, como se alguém tivesse recebido uma informação teletransportada instantaneamente, em vez de aguardar sua chegada pelos meios normais.

A mecânica quântica é provavelmente uma das teorias mais profundas já formuladas. Os problemas que traz para nossa intuição corriqueira sobre o mundo fizeram com que Einstein a criticasse com vigor. Ele insistiu que a física deveria ser uma tentativa de captar a realidade que existe independentemente de sua observação. No entanto, percebeu que esbarramos em sérios problemas quando tentamos atribuir essa realidade física independente aos membros individuais de um par emaranhado. Seu colega; o físico dinamarquês Niels Bohr, insistiu que é preciso levar em

conta o sistema inteiro - no caso de um par emaranhado, a disposição conjunta das duas partículas, por mais distantes que estejam uma da outra.

O teletransporte quântico é um descendente direto dos cenários debatidos por Einstein e Bohr. Topamos com todo tipo de problema quando perguntamos quais são as propriedades individuais reais das partículas quando estão emaranhadas. Temos de analisar cuidadosamente o que significa "ter" uma polarização. Não dá para escapar da conclusão de que só podemos falar sobre certos resultados experimentais obtidos por medições. Em nossa medição da polarização, um sinal do detector permite que formemos uma imagem mental na qual o fóton realmente "tinha" certa polarização. No entanto, não podemos esquecer que isso não passa de uma história inventada. Ela só é válida se falamos daquele experimento específico, e devem, os ser cautelosos ao usá-la em outras situações.

De fato, seguindo Bohr, diria que podemos entender a mecânica quântica se percebemos que a ciência não descreve como a Natureza é, mas enuncia o que podemos dizer sobre a Natureza. Expresso em linguagem moderna, significa que a mecânica quântica é uma ciência do conhecimento, de informações. O valor atual de experimentos fundamentais como o teletransporte está em nos ajudar a atingir uma compreensão mais profunda de nosso misterioso mundo quântico.

Anton Zeillnger trabalha no Instituto de Física Experimental da Universidade de Viena, tendo sido teletransportado para lá, em 1999, da Universidade de Innsbruck. Considera-se afortunado ter o privilégio de trabalhar exatamente nos mistérios e paradoxos da mecânica quântica que o atraíram para cerca de 40 anos atrás. Em seu escasso tempo livre, Zeilinger interage com música clássica e o jazz, e adora esquiar.